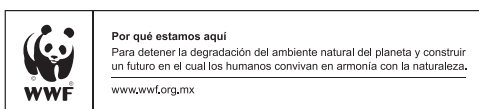




El Proyecto Mixteca fue creado por iniciativa y gestión de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) ante el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), a través del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en coordinación con el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

De este modo, el Proyecto Mixteca es el resultado del trabajo conjunto de varias instituciones que logra sus objetivos con la participación y decisión de las comunidades, el apoyo de las instancias de investigación y las organizaciones de la sociedad civil, así como con el respaldo de los tres niveles de gobierno.





Proyecto financiado por el

FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA

Análisis de información espacial y aplicación de herramientas
para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de
decisiones en la Región de la Mixteca

Jorge Carranza Sánchez

20 de octubre, 2014.

Contenido	Pag.
Informe de actividades	2
Objetivo 1. Tasa de transformación	2
Meta 1.	2
Actividades.	2
Productos.	3
Objetivo 2. InVEST	7
Meta 2.	7
Actividades.	7
Productos.	7
Objetivo 3. Protocolo	10
Meta 3.	10
Actividades.	10
Productos.	10
Objetivo 4. Corredores Biológicos	11
Meta 4.	11
Actividades.	11
Productos.	12
Objetivo 5. Sistema de Soporte a las Decisiones	13
Meta 5.	13
Actividades.	13
Productos.	14
Objetivo 6. Capacitación	15
Meta 6.	15
Actividades.	15
Productos.	15

Informe de actividades

Objetivo 1. Tasa de transformación

Revisar la información de uso del suelo y vegetación obtenida a través de imágenes SPOT de los años 2000 y 2010, y complementar la información para cubrir el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca. Obtener la información del periodo 1970-2000 y del año 2005, utilizando imágenes del mismo sensor SPOT con la finalidad de contar con la tasa de transformación de los periodos 1970-2000, 2000-2005, 2005-2010. Así mismo obtener información de sitios de interés a escala mayor para el desarrollo de proyectos especiales, como la captura de carbono.

Meta 1.

En seis meses realizar la revisión de la información de uso del suelo y vegetación de los años 2000 y 2010, y complementar la información para cubrir el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, así como, obtener la información de los años 70's al 2000 y 2005.

Actividades.

1.- Ortorectificación de imágenes de satélite del sensor SPOT5

Las imágenes de satélite ortorectificadas del sensor SPOT5 de uso del suelo y vegetación para cada fecha de 2005 y 2010 se listan en el inciso a) de la sección productos.

2.- Clasificación automatizada de imágenes ortorectificadas

Las imágenes ortorectificadas, clasificadas automáticamente son productos intermedios que se integraron en los mapas de coberturas de clasificación de los años de 1979 a 2010 de la actividad 4.

3.- Interpretación asistida por el ordenador

Las imágenes interpretadas y asistidas por el ordenador son productos intermedios que se integraron en los mapas de coberturas de clasificación de los años de 1979 a 2010 de la actividad 4.

4.- Interpretación interdependiente para generar dato histórico

Las imágenes de interpretación interdependiente integran los resultados de las actividades 2 y 3 en un solo producto y estos resultados son los mapas de coberturas de clasificación de los años de 1979 a 2010 y se encuentran especificados en el inciso b) de la sección productos.

5.- Análisis de cambio por periodos F1-F2, F2-F3, Fn-Fn...

Los mapas de cambios en la cobertura de los periodos de 1979-1989, 1989-1999, 1999-2005 y 2005-2010 se listan en el inciso c) de la sección productos.

6.- Calculo de la Tasa de Transformación

El dato de la tasa de transformación se calcula a partir de los mapas USV de cada uno de los años del periodo que se va a calcular, el método mediante el cual se efectuó su cálculo se especifica en el documento de informe final del módulo y el resultado de la tasa de

transformación de los periodos de 1979-1989, 1989-1999, 1999-2005 y 2005-2010 se encuentra en la tabla mencionada en el inciso d) de la sección productos.

7.- *Determinar la tasa de transformación del Municipio Santa María Yucuhiti, Tlaxiaco, Oaxaca*

Para determinar los resultados del sitio de interés a mayor escala Yucuhiti, se emplearon herramientas y métodos que se encuentran integrados en el documento de informe Yucuhiti.

Productos.

- a) Imágenes de satélite ortorectificadas del sensor SPOT5 de uso del suelo y vegetación para cada fecha de 2005 y 2010.

Las imágenes rubber sheeting 2005 se encuentran en el folder

\TTH\2005\insumos\imagenes_rubber_sheeting

591_314_05jun05_merge.img
591_315_05jun05_merge.img
591_316_05jun05_merge.img
592_314_21ene05_merge.img
592_315_09jun05_merge.img
592_316_09jun05_merge.img
592_375_09jun05_merge.img
593_314_03nov05_merge.img
593_315_03nov05_merge.img
593_316_07ago05_merge.img
593_317_28mzo06_merge.img
594_316_07nov05_merge.img

Las imágenes lps 2005 se encuentran en el folder

\TTH\2005\insumos\lps2005\merge

591_314_05jun05_merge.img
591_315_05jun05_merge.img
591_316_05jun05_merge.img
592_315_09jun05_merge.img
592_316_09jun05_merge.img
592_317_09jun05_merge.img
593_314_03nov05_merge.img
593_315_03nov05_merge.img
593_317_28mzo06_merge.img
594_316_07nov05_merge.img

Las imágenes lps multiespectrales 2005 se encuentran en el folder

\TTH\2005\insumos\lps2005\multi

591_314_05jun05_merge.img

591_315_05jun05_merge.img
591_316_05jun05_merge.img
592_314_21ene05_merge.img
592_315_09jun05_merge.img
592_316_09jun05_merge.img
592_317_09jun05_merge.img
593_314_03nov05_merge.img
593_315_03nov05_merge.img
593_316_07ago05_merge.img
593_317_28mzo06_merge.img
594_316_07nov05_merge.img

Las imágenes pancromáticas Ips 2005 se encuentran en el folder

\TTH\2005\insumos\lps2005\pancro

591_314_05jun05_merge.img
591_315_05jun05_merge.img
591_316_05jun05_merge.img
592_315_09jun05_merge.img
592_316_09jun05_merge.img
592_317_09jun05_merge.img
593_314_03nov05_merge.img
593_315_03nov05_merge.img
593_317_28mzo06_merge.img
594_316_07nov05_merge.img

Las imágenes 2010 se encuentran en el folder

\TTH\2010\insumos\merge

591_314_25dic09_merge.img
591_315_25dic09_merge.img
591_316_25dic09_merge.img
592_314_20ene10_merge.img
592_315_20ene10_merge.img
592_316_20ene10_merge.img
592_317_26dico8_merge.img
593_314_09dic09_merge.img
593_315_18abr10_merge.img
594_316_15feb10_merge.img

Las imágenes multiespectrales 2010 se encuentran en el folder

\TTH\2010\insumos\multi

591_314_25dic09_merge.img
591_315_25dic09_merge.img
591_316_25dic09_merge.img

592_314_20ene10_merge.img
592_315_20ene10_merge.img
592_316_20ene10_merge.img
592_317_26dico8_merge.img
593_314_09dico9_merge.img
593_315_18abr10_merge.img
593_316_18abr10_merge.img
593_317_21dico8_merge.img
594_316_21feb10_merge.img

Las imágenes pancromáticas 2010 se encuentran en el folder

\\TTH\2010\insumos\pancro

591_314_25dico9_pancro.img
591_315_25dico9_pancro.img
591_316_25dico9_pancro.img
592_314_20ene10_pancro.img
592_315_20ene10_pancro.img
592_316_20ene10_pancro.img
592_317_26dico8_pancro.img
593_314_09dico9_pancro.img
593_315_18abr10_pancro.img
593_316_18abr10_pancro.img
593_317_21dico8_pancro.img
594_316_21feb10_pancro.img

- b) Mapas de coberturas de clasificación de los años de 1979 a 2010 del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

\\TTH\2010\shapes\USV2010_v22sep2014.shp
\\TTH\2005\shapes\usv_mixteca_2005.shp
\\TTH\1999\shapes\usv_mixt_1999.shp
\\TTH\1989\shapes\usv_mixt_1989.shp
\\TTH\1979\shapes\usv_mixt_79.shp

- c) Mapas de cambios en la cobertura de los periodos de 1979-1989, 1989-1999, 1999-2005 y 2005-2010 para el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

\\TTH\2005\shapes\cambio_usv_mixt_05_10.shp
\\TTH\1999\shapes\cambio_usv_mixt_99_05.shp
\\TTH\1989\shapes\cambio_usv_mixt_89_99.shp
\\TTH\1979\shapes\cambio_usv_mixt_79_89.shp

- d) Dato de la tasa de transformación de los periodos de 1979-1989, 1989-1999, 1999-2005 y 2005-2010 para el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

La tabla está integrada en el documento de informe final tasa de transformación (Anexo 1)

- e) Archivos de informe final en formato Word y pdf que integra el análisis de tasa de transformación para los periodos de 1979 a 1989, 1989 a 1999, 1999 a 2005 y de 2005-2010 para el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca se localizan en el **ANEXO I: Informe Final Módulo TTH.**
- f) Las imágenes y los archivos shp del sitio de interés a mayor escala: Yucuhiti se encuentran en el folder:

“\Yucuhiti”

Mientras que el archivo de informe final en formato Word y pdf que integra la información del sitio de interés Yucuhiti se adjunta en el **ANEXO II. Final Yucuhiti.**

Objetivo 2. InVEST

Aplicar los módulos del InVEST a los servicios ecosistémicos claves del Proyecto GEF-Mixteca

Meta 2.

En tres meses obtener información de los servicios ecosistémicos claves del Proyecto GEF-Mixteca utilizando el InVEST.

Actividades.

- 1.- Selección de los servicios ecosistémicos clave del Proyecto GEF-Mixteca que puedan aplicar los módulos del InVEST
- 2.- Preparar los insumos en tablas, formato vectorial y/o raster según se especifica en cada uno de los módulos del InVEST a ejecutar.
- 3.- Análisis de los resultados de cada uno de los módulos aplicados
- 4.- Integración del informe final con los resultados obtenidos de los módulos del InVEST aplicado a los servicios ecosistémicos clave del Proyecto GEF-Mixteca.

Productos.

- a) Los servicios ecosistémicos clave determinados para el Proyecto GEF-Mixteca para los que se han aplicado los módulos InVEST son:
 1. Calidad de hábitat
 2. Retención de sedimentos (control de la erosión)
 3. Captura de carbono
- b) Los archivos digitales en tablas, formato vectorial y/o raster de los insumos utilizados para obtener datos de los servicios ecosistémicos clave de la Mixteca y sus amenazas se mencionan por módulo a continuación:

1. Calidad de hábitat

Las tablas y los archivos se encuentran en el folder:

“\InVEST\Biodiversidad\insumos”

Estas entradas están separadas en sub-folders, en el subdirectorio

“\BASE”

En donde se encuentran los insumos generales, comunes para todas las especies, mientras que las tablas, archivos vectoriales y/o raster pertenecientes a cada especie o grupo de especies se encuentran en el folder que lleva el nombre de cada especie o grupo de especies:

“\Abronía, \Felinos, \Hyla, \Iguana, \Murciélagos, \Ortalis, \Rapaces diurnas, \Salamandras, \Trogon”.

El subdirectorio de cada especie o grupo de especies se subdivide en tres folders

\Input, \Intermediate y \Output.

En el folder “\InVEST\Biodiversidad\insumos\nombre_de_especie\Input” se ubican las tablas con la información particular de entrada para cada especie o grupo de especies.

2. Retención de sedimentos (control de la erosión)

Las tablas y los archivos vectoriales y raster de los insumos para este módulo se localizan en el folder:

“\InVEST\Retencion de suelos\insumos\Sedimentos”

3. Captura de carbono

Las tablas y los archivos vectoriales y raster de los insumos para este módulo se localizan en los directorios:

“\InVEST\Captura de carbono\insumos” e

“\InVEST\Captura de carbono\insumos\InVEST_Carbono\Input”.

- c) Los archivos digitales en formato vectorial y raster de los resultados obtenidos de la aplicación de los modelos para la obtención de los servicios ecosistémicos clave del Proyecto, por módulo, se pueden localizar como se indica a continuación:

1. Calidad de hábitat

Los resultados que se integran en el informe final del módulo (Anexo IV), se localizan en la carpeta:

“\InVEST\ Biodiversidad\mxd”

Así como en el folder “\InVEST\Biodiversidad\insumos\ nombre_de_especie \Intermediate” se localiza el sub-folder “\habitat” que aloja los archivos vectoriales y raster que contiene los resultados que arroja el módulo para cada especie o grupo de especies.

2. Retención de sedimentos (control de la erosión)

Los resultados que se integran en el informe final del módulo (Anexo III), se localizan en la carpeta:

“\InVEST\Retencion de suelos\mxd”

Así mismo, en el folder “\InVEST\Retencion de suelos\insumos\Sedimentos”

El cual contiene los subdirectorios “\Hydro_layers, \Intermediate, \Output y \Service” con información sobre flujos de agua, pendientes, y diversos productos.

3. Captura de carbono

Los resultados que se integran en el informe final del módulo (Anexo V), se localizan en la carpeta:

“\InVEST\Captura de carbono\mxd”

Así mismo, en el folder “\InVEST\Captura de carbono\insumos\InVEST_Carbono\” y en los subdirectorios “\Intermediate y \Output”.

- d) El análisis de los resultados obtenidos de los módulos se integra en el informe final de cada módulo:

Anexo IV. Calidad de hábitat, Anexo III. Retención de sedimentos, y Anexo V. Captura de carbono.

- e) Los archivos de informe final en formato Word y pdf con datos obtenidos de la aplicación de modelos para el mapeo de los servicios ecosistémicos claves de la Mixteca y sus amenazas, incluyendo la interpretación de los resultados en cada caso para el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca (**ANEXO III: Informe Final Módulo retención Sedimentos, ANEXO IV: Final Módulo Biodiversidad, ANEXO V: Final Módulo Captura de carbono**).

Objetivo 3. Protocolo

Elaborar un protocolo para la evaluación de los servicios ecosistémicos clave de la Mixteca con la aplicación del Sistema de Información Geográfica.

Meta 3.

En tres meses elaborar un protocolo para la evaluación de los servicios ecosistémicos clave de la Mixteca con la aplicación del Sistema de Información Geográfica.

Actividades.

- 1.- *Elaboración del protocolo de los servicios ecosistémicos clave.*
- 2.- *Elaborar el informe final.*

Productos.

- a) Protocolo para la evaluación de los servicios ecosistémicos clave con la aplicación del Sistema de Información Geográfica que se integra en el informe final de la evaluación de los servicios ecosistémicos clave de la Mixteca.
- b) Archivos de informe final en formato Word y pdf de la evaluación de los servicios ecosistémicos clave de la Mixteca en el área de intervención del Proyecto (Anexo VI: Final Módulo Protocolo).

Objetivo 4. Corredores Biológicos

Definir áreas con potencial para el establecimiento de corredores biológicos priorizando la conectividad de ecosistemas.

Meta 4.

En cuatro meses definir áreas con potencial para el establecimiento de corredores biológicos priorizando la conectividad de ecosistemas.

Actividades.

1.- Recopilación de ejemplos de corredores biológicos establecidos en México.

Entre los ejemplos referidos en el documento de informe final de este módulo se encuentran el Corredor Biológico Chichinautzin, el Corredor Sian Ka'an – Calakmul, el Corredor Biológico Mesoamericano, el Sistema Arrecifal Mesoamericano, el Corredor Ecológico Sierra Madre Oriental, y el Corredor Biocultural Centro Occidente.

2.- Análisis de la información generada por otras consultorías en relación al establecimiento de corredores biológicos.

De acuerdo a la revisión de información disponible por otras consultorías en cuanto al diseño de corredores biológicos, se puede mencionar que no existen trabajos disponibles para consulta. El único trabajo que propuso el diseño de un corredor biológico fue el realizado por la CONABIO en el 2009a¹. En este reporte proponen la ampliación del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) hacia los estados de Oaxaca, Tabasco y Veracruz y se encuentra detallado en informe final del módulo.

3.- Análisis multicriterio de las áreas de interés.

Por medio de la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio dentro del SIG se puede alcanzar una valoración sobre la capacidad del territorio en relación con ciertas funciones o actividades, que se seleccionan como objetivos concretos de la evaluación. Por lo anterior, para llevar este tipo de análisis fue necesario recopilar los insumos necesarios entre los que se encuentran la preparación de capas y selección de las especies, la elaboración del modelo de disponibilidad del hábitat para cada especie o grupo de especies, y por último hacer el diseño del corredor con las herramientas proporcionadas por el Módulo *Corridor Design* el cual mostró tener fortalezas en la generación de estos productos. Los pasos del método empleado, así como las herramientas utilizadas se encuentran incluidas en el informe final del módulo.

4.- Integración de la información y análisis multicriterio.

Se determinaron tres grupos de vegetación que comparten todas las especies del estudio. Los grupos de vegetación fueron: Bosque (incluye Bosque de Encino, Bosque de Pino, Bosque de Pino-Encino y Encino-Pino, todos dentro de la categoría primario y con vegetación secundaria), Selva (Selva Baja Caducifolia primaria y con vegetación secundaria) y Bosque

¹ CONABIO. 2009a. Ampliación del Corredor Biológico Mesoamericano - México, en los estados de Tabasco, Oaxaca y Veracruz. Informe técnico interno. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Mesófilo de Montaña con vegetación secundaria. Se puede observar que las especies seleccionadas en este estudio comparten tres ecosistemas clave para la región Mixteca, por lo que es importante conservar o mantener la salud de estos sistemas para poder sostener a éstas y otras especies que se presentan en el área de estudio.

5.- Informe final que integre las áreas con potencial para corredores biológicos.

Productos.

- a) Los archivos digitales en formato vectorial y raster y las tablas empleadas en la definición de Corredores biológicos en la Mixteca se encuentran en el folder “\Corredores Biologicos\insumos\”. Esta carpeta se divide en subdirectorios que llevan el nombre de cada especie o grupo de especies y que, a su vez, contienen las tablas y los archivos raster específicos utilizados por cada especie o grupo de especies:

“\Corredores Biologicos\insumos\Abronia”,

“\Corredores Biologicos\insumos\Felinos”,

“\Corredores Biologicos\insumos\Hyla”,

“\Corredores Biologicos\insumos\Iguana”,

“\Corredores Biologicos\insumos\Murciélagos”,

“\Corredores Biologicos\insumos\Ortalis”,

“\Corredores Biologicos\insumos\Rapaces diurnas”,

“\Corredores Biologicos\insumos\Salamandras”,

“\Corredores Biologicos\insumos\Trogon”.

Mientras que los resultados del módulo se localizan en el folder:

“\Corredores Biologicos\mxd”

En donde se alojan los resultados que comprenden los registros de las especies o grupos de ellas, la disponibilidad de hábitat, los parches potenciales y el modelo del corredor biológico en un subdirectorio para cada especie o grupo de especies.

- b) El informe final del módulo de la definición de Corredores biológicos en la Mixteca Oaxaqueña, integrando las propuestas elaboradas por otros consultores y los resultados del análisis multicriterio, se adjunta en el **ANEXO VII. Final Módulo Corredores Biológicos.**

Objetivo 5. Sistema de Soporte a las Decisiones

Elaborar una propuesta para un sistema de soporte para la toma de decisiones con modelado de escenarios de servicios ecosistémicos clave para el Proyecto GEF-Mixteca.

Meta 5.

En cinco meses elaborar una propuesta para un sistema de soporte para la toma de decisiones con modelado de escenarios de servicios ecosistémicos clave para el Proyecto GEF-Mixteca.

Actividades.

1.- Análisis de las herramientas de Sistema de Soporte a las Decisiones (DSS)

Se realizó una investigación sobre lo que son los sistemas de soporte a las decisiones, en función a sus componentes, su aplicación para el medio ambiente, la teoría que se ha desarrollado al respecto, la complejidad de los mismos que involucra ciencias de sistemas expertos y tecnologías de inteligencia artificial, que requieren un equipo de gente experta con amplio conocimiento en el área de servicios ecosistémicos y del medio ambiente para diseñar los modelos que simulan los procesos biológicos y de los ecosistemas y que requieren de análisis muy complejos que serían implementados en una etapa posterior en el sistema, después de un periodo de toma de requerimientos de varios meses, para que posteriormente se comenzara a desarrollar el sistema, si es que se cuenta con todos los recursos necesarios. Este análisis se encuentra en el primer informe entregado para el Proyecto GEF-Mixteca en el mes de diciembre del año 2013.

2.- Evaluación de los SIG en la Web como herramienta DSS

Se efectuó una evaluación de los SIG en la web en función de sus características y la funcionalidad que ofrecen, tomando en cuenta aspectos como la interfaz gráfica, las ayudas para usar el sistema, los enlaces a otra información relacionada y de contacto, los requerimientos de sistema, la velocidad de navegación y el tipo de consultas que brindan, así como la información presentada y su formato y también las aplicaciones que se usaron de base para el desarrollo del SIG en cuestión y el año en el que fue desarrollado. Esta evaluación se encuentra en el segundo informe entregado para el Proyecto GEF-Mixteca en el mes de abril del año 2014.

3.- Análisis de los usuarios de las herramientas

Se diseñó un cuestionario de usuarios, mismo que se distribuyó en internet a través del sitio de encuestas SurveyMonkey,² y estuvo siendo contestado durante los meses de junio y julio del presente año, cuyos resultados se anexaron al informe que integra las propuestas. Se realizó además un taller con el propósito de tener mayor claridad en cuanto a las necesidades específicas de los usuarios potenciales del sistema, información que no se había recabado en las encuestas, dicho taller tomó lugar el 14 de agosto del año en curso con la participación de 30 personas aproximadamente, la mayoría representantes de algún puesto

²Página internet <https://es.surveymonkey.com/>

de responsabilidad en una institución de gobierno en alguno de sus tres niveles y además algunos pocos representantes de instituciones de investigación, y por supuesto, con la participación de los representantes del Proyecto GEF-Mixteca.

4.- Propuesta de herramienta de DSS para el Proyecto GEF-Mixteca

Se elaboró un documento propuesta que contiene información sobre los sistemas de soporte a las decisiones y los sistemas de información geográfica, además de la teoría del proceso de elaboración de sistemas (RUP) que se anexó al mismo. A partir de esta teoría y tomando en cuenta los resultados de las encuestas y del taller, se preparó una propuesta en base a los 11 servicios ecosistémicos identificados para la región que abarca el Proyecto GEF-Mixteca, se modelaron los componentes funcionales del sistema con sus servicios ecosistémicos y cada uno se representó en un caso de uso en lenguaje UML. También se sugirió la plataforma hardware-software sobre la cual el sistema trabajaría.

5.- Informe final que integre las propuestas

Productos.

- a) El informe final que integra las propuestas se encuentra en el **ANEXO VIII. Final Módulo Sistema de Soporte.**

Objetivo 6. Capacitación

Capacitar a los miembros del Proyecto GEF-Mixteca y a los tomadores de decisiones con las herramientas desarrolladas en el sistema de información geográfica.

Meta 6.

En un mes realizar la capacitación a los miembros del Proyecto GEF-Mixteca y a los tomadores de decisiones con las herramientas desarrolladas en el sistema de información geográfica.

Actividades.

- 1.- *Taller de capacitación con miembros del Proyecto GEF-Mixteca*
- 2.- *Taller de capacitación con tomadores de decisiones en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.*
- 3.- *Elaboración de memoria técnica de los talleres de capacitación.*

Productos.

- c) Capacitación a los miembros del Proyecto GEF-Mixteca y técnicos de las instituciones vinculadas.
- d) Capacitación con tomadores de decisiones en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.
- e) Memoria técnica de las sesiones de capacitación con sus respectivos anexos.

ANEXO I

Informe final que integra el análisis de tasa de transformación para los periodos de 1970 a 2000, 2000-2005 y 2005-2010 para el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

Elaboración:

Jorge Carranza Sánchez
Héctor Martín Cruz Rojas
Leonel Ruiz Paniagua
Cesar Octavio Silva González

Contenido	
Resumen ejecutivo	1
1. Introducción	2
1.1. Antecedentes	5
1.2. Justificación	9
2. Objetivo General	11
2.1. Objetivo específico:	11
3. Área de estudio	11
4. Material y Método.	12
4.1. Imágenes SPOT	12
4.1.1. Corrección Atmosférica.....	12
4.1.2. Corrección Geométrica.	17
4.1.3. Fusión de imágenes.....	17
4.2. Imágenes Landsat	18
4.3. Clasificación de imágenes	18
4.3.1 Diseño de la Leyenda.	18
4.3.2. Clasificación automatizada y visual.....	18
4.4. Validación	19
4.4.1. Inventario Forestal Nacional.	19
4.4.3. Ordenamiento Ecológico Oaxaca.	20
4.4.4. Proyecto GEF-Mixteca.....	20
4.4.5. Recorrido consultoría.....	20
4.4.6. Matriz de confusión.	21
4.5 Análisis de cambio	21
4.5.1. Cálculo de las matrices de transición.	23
4.5.4. Tasa de transformación del hábitat.....	23
4.5.2. Pesos de evidencia.....	24
5. Resultados.	25
5.1. Imágenes Landsat	25
5.1.1 Corrección Geométrica.	25
5.1.2. Fusión de imágenes.....	26
5.2. Imágenes SPOT	27
5.2.1 Corrección atmosférica.	27
5.2.1 Corrección geométrica.....	28
5.2.2. Fusión de imágenes.	35
5.3. Clasificación	37
5.4. Validación.	41
5.4.1. Inventario Forestal Nacional.....	41
5.4.2. Ríos 2012.....	41
5.4.3. Ordenamiento Ecológico Oaxaca.	42
5.4.4. Proyecto GEF-Mixteca.....	42
5.4.5. Recorrido consultoría.....	43
5.4.6. Matriz de confusión.	44
5.6. Análisis de la Tasa de Transformación del Hábitat	45
5.6.1. Matrices de transición.....	45

5.6.2. Tasa de transformación del hábitat.....	66
5.6.3. Pesos de evidencia.	67
6. Conclusiones.	72
7. Referencias.....	73

Índice de figuras.

Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.....	12
Figura 2. Arreglo de bandas SPOT del formato GeoTIFF a IMG.....	13
Figura 3. Modelo para obtener los valores de reflectancia de las imágenes SPOT.....	14
Figura 4. Imágenes Landsat MSS de los años 1977-1979.....	25
Figura 5. Imágenes Landsat TM del año 1989.....	26
Figura 6. Imágenes Landsat ETM+ del año 1999.	27
Figura 7. Ángulo de incidencia de las imágenes SPOT 2005.	32
Figura 8. Ángulo de incidencia de las imágenes SPOT 2010.	33
Figura 9. Fecha de toma de las imágenes SPOT 2005.....	34
Figura 10. Fecha de toma de las imágenes SPOT 2010.	34
Figura 11. Imágenes SPOT 5 del año 2005.	35
Figura 12. Imágenes SPOT 5 del año 2010.	36
Figura 13. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 1979.....	38
Figura 14. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 1989.	39
Figura 15. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 2000.....	39
Figura 16. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 2005.....	40
Figura 17. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 2010.....	40
Figura 18. Puntos del Inventario Forestal Nacional y de Suelos (CONAFOR).	41
Figura 19. Levantamiento de campo Ríos (2012).	42
Figura 20. Puntos de verificación CIDIIR.	42
Figura 21. Puntos Base de datos Proyecto GEF-Mixteca.	43
Figura 22. Puntos de verificación consultoría.	43
Figura 23. Áreas transformadas en el periodo 1979-1989.	49
Figura 24. Áreas transformadas en el periodo 1989-1999.....	52
Figura 25. Áreas transformadas en el periodo 1999-2005.....	56
Figura 26. Áreas transformadas en el periodo 2005-2010.....	60
Figura 27. Áreas transformadas en el periodo 1979-2010.	64
Figura 28. Tendencia de la transformación del hábitat.....	64
Figura 29. Peso de evidencia - Distancia a ríos.....	68
Figura 30. Peso de evidencia - Distancia a asentamientos humanos.	69
Figura 31. Peso de evidencia - Vías de comunicación.	70
Figura 32. Peso de evidencia – Altura sobre el nivel de mar.	71
Figura 33. Peso de evidencia – Pendiente topográfica.	72

Índice de tablas.

Tabla 1. Valores de las imágenes SPOT de la época 2005.....	16
Tabla 2. Valores de las imágenes SPOT de la época 2010.....	16
Tabla 3. Imágenes Landsat de las décadas 80's, 90's y 2000.	18
Tabla 4. Formato de matriz de confusión	21
Tabla 5. Valores de ortorectificación de las imágenes SPOT época 2005.	28
Tabla 6. Valores de ortorectificación de las imágenes SPOT época 2010.	29
Tabla 7. Valores de imágenes SPOT 2005 con realce espacial para corrección geométrica.	30
Tabla 8. Uso de suelo y vegetación en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.....	37
Tabla 9. Matriz de confusión con base en los puntos CONAFOR.....	44
Tabla 10. Matriz de transición periodo 1979-1989.	46
Tabla 11. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 1979-1989.....	47
Tabla 12. Áreas de rotación periodo 1979-1989.....	47
Tabla 13. Matriz de transición periodo 1989-1999.	50
Tabla 14. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 1989-1999.	51
Tabla 15. Áreas de rotación periodo 1989-1999.	51
Tabla 16. Matriz de transición periodo 1999-2005.....	54
Tabla 17. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 1999-2005.....	55
Tabla 18. Áreas de rotación periodo 1999-2005.....	55
Tabla 19. Matriz de transición periodo 2005-2010.	58
Tabla 20. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 2005-2010.	59
Tabla 21. Áreas de rotación periodo 2005-2010.	59
Tabla 22. Matriz de transición periodo 1979-2010.....	62
Tabla 23. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 1979-2010.....	63
Tabla 24. Tasa de transformación del hábitat.....	66
Tabla 25. Peso de evidencia -Distancia a ríos.	67
Tabla 26. Peso de evidencia - Asentamientos humanos.	68
Tabla 27. Peso de evidencia - Vías de comunicación.....	69
Tabla 28. Peso de evidencia - Altitud sobre el nivel del mar.	70
Tabla 29. Peso de evidencia - Pendiente topográfica.....	71

Acrónimos.

ANP. Áreas Naturales Protegidas.

CIIDIR. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

DIMAP. Digital Image Map.

Dinámica Ego. Environment For Geoprocessing Objects.

FAO. Food and Agriculture organization u Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.

HRG. High Geometrical Resolution.

HRS. High Resolution Stereoscopic.

INECOL. Instituto Nacional de Ecología.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IUCN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

LUCC. Use Change and Land Cover.

NASA. Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (inglés: National Aeronautics and Space Administration).

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PR. Percepción Remota.

REDD.- Reducción de Emisiones de Carbono causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques

SIG. Sistema de Información Geográfica.

TTH. Tasa de Transformación del Hábitat.

USV. Uso del suelo y vegetación.

WWF.- World Wildlife Fund.

Resumen ejecutivo

Durante los últimos 50 años en México se han transformado los ecosistemas enormemente, este periodo en particular se caracteriza por una tasa muy alta de cambio en la cobertura de la vegetación y el uso del suelo. De acuerdo a estimaciones presentadas por la FAO en 2010, México se encuentra entre los diez países con mayor pérdida neta anual de área de bosque, registrando una disminución importante en los bosques primarios en los últimos 20 años. Una de las principales causas por la que gran parte de los cambios en el paisaje natural de México está siendo transformado a un ritmo alarmante, es debido a las actividades antrópicas, para satisfacer necesidades básicas de alimentación y vivienda.

Ante la importancia de contar con información sobre el comportamiento y las tendencias de los procesos de degradación en los que intervienen factores ecológicos y socioeconómicos, surge la necesidad de realizar estudios sobre la pérdida de vegetación y la dinámica en la transformación en las coberturas y uso del suelo. Estos proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. Mediante el uso de los SIG y la Percepción Remota (PR), se puede evaluar el análisis de cambio de uso de suelo en un lugar en específico, determinando la dinámica de los usos del suelo y la vegetación a través del tiempo.

El objetivo del presente trabajo es estimar la tasa de transformación en diferentes periodos a partir de los años 70's, con el fin de conocer la dinámica de cambio del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, en una superficie de 1.7 millones de hectáreas. A través del tratamiento de imágenes de satélite de diferentes sensores Landsat y Spot.

Los resultados indican que la cubierta forestal representada en 19 clases, para el año 2010 se distribuye de la siguiente forma: el bosque de encino primario y con vegetación secundaria representa la mayor proporción con aproximadamente el 19.88% de la superficie total, el siguiente tipo de vegetación está representado por el pino-encino primario y con vegetación secundaria con el 16.77% de la superficie total. Mientras que la selva baja caducifolia cuenta con una superficie de aproximadamente el 14.53%.

En tanto que en los usos del suelo predominan la áreas de pastizales ya que cuentan con una superficie de 363,259 hectáreas que representa el 21.19%, mientras que las áreas agrícolas ocupan una superficie de 151,326 hectáreas que representa el 8.83%, mientras que los polígonos marcados como asentamientos humanos suman una superficie de 17,840 hectáreas, que representa el 1.04% de la superficie total.

Los datos obtenidos para el periodo 1979-2010 muestran pocas áreas de transformación, para un periodo de 31 años solo se registraron un total de 6,161 hectáreas transformadas por las actividades humanas, donde los pastizales son la actividad que tiene el mayor impacto, siendo los bosques de encino los que presentan la mayor transformación por este tipo de actividades. Por otra parte la actividad agrícola afectó varios tipos de vegetación en donde los bosques de pino-encino con vegetación secundaria fue la que tuvo mayor afectación.

1. Introducción.

México presenta una situación compleja en cuanto a la conservación y manejo de los recursos naturales, lo que representa, por un lado importantes oportunidades para el desarrollo, así como una mayor complejidad para el manejo de sus recursos (CONAFOR, 2011¹). Nuestro país está considerado mundialmente dentro de los 17 países megadiversos, ya que cuenta con un inventario biológico extenso el cual lo ubica entre los dos países con mayor número de ecosistemas y entre los cinco con mayor diversidad de especies en el mundo, representando el 12% de la biota mundial concentrado mayormente en el trópico húmedo (Mas *et al.*, 1996²; PNUMA, 2005³; CONABIO, 2009⁴; IUCN, 2011⁵). Esta riqueza biológica se debe en gran medida a la privilegiada ubicación geográfica que México posee entre la región Neártica y Neotropical.

Sin embargo, a pesar de contar con una gran diversidad los ecosistemas son muy susceptibles a los procesos de cambio y transformación del hábitat. Durante los últimos 50 años se han transformado los ecosistemas enormemente, este periodo en particular se caracteriza por una tasa muy alta de cambio en la cobertura de la vegetación y el uso del suelo (Challenger y Dirzo, 2009⁶). De acuerdo a estimaciones presentadas por la FAO en 2010, México se encuentra entre los diez países con mayor pérdida neta anual de área de bosque, registrando una disminución importante en los bosques primarios en los últimos 20 años. En México, el 53% del área de bosque está clasificado como bosque primario, por lo que es considerado uno de los países con mayor superficie de estos bosques, y un 43% está representado por vegetación secundaria (CONAFOR, 2011⁷; FAO, 2011⁸).

De la superficie total del territorio nacional (196.4 millones de hectáreas), poco más del 33% (64.8 millones de hectáreas) está cubierto por selvas y bosques templados, el 37% está cubierto por ecosistemas áridos y otros tipos de vegetación, mientras que el 30% restante corresponde a usos principalmente agrícolas, pecuarios y zonas urbanas; de manera que estamos hablando que aproximadamente la tercera parte del país está cubierta por bosques y selvas (CONAFOR, 2011⁹).

Una de las principales causas por la que gran parte de los cambios en el paisaje natural de México está siendo transformado a un ritmo alarmante, es debido a las actividades antrópicas, para satisfacer necesidades básicas de alimentación y vivienda. Algunos de esos

¹CONAFOR. 2011. Plan de Inversión México, Programa de Inversión Forestal. Banco Mundial, Financiera Rural, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

²Mas, J.F., V. Sorani, R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 5: 43-57. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

³PNUMA. 2005. Grupo de países megadiversos afines. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Para consulta: <http://www.pnuma.org/deramb/GroupofLikeMindedMegadiverseCountries.php>

⁴Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. *Biodiversidad Mexicana*. Reporte País: Riquezas Naturales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

⁵IUCN. 2011. *Las áreas protegidas de América Latina, situación actual y perspectivas para el futuro*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, España.

⁶Challenger, A. R. y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: Capital Natural de México. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México pp. 63-73.

⁷*Idem 1.*

⁸FAO. 2011. *Situación de los bosques del mundo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

⁹*Idem 1.*

cambios son provocados por las prácticas específicas de manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos del suelo (Bocco *et al.*, 2001¹⁰).

El estado de la cubierta vegetal nos da un indicio del grado de conservación de los ecosistemas, siendo la cobertura vegetal (los atributos biofísicos de la superficie terrestre) y los usos del suelo (los distintos propósitos humanos con los que se aprovechan estos atributos) los factores que determinan el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Lambin *et al.*, 2001¹¹; Velázquez, *et al.* 2007¹²). Los bosques y selvas ofrecen varios servicios al ecosistema ya que participan en el ciclo hidrológico, constituyen protección del suelo evitando la erosión y presentan un gran reservorio de información genética.

Al invadir y producir cambios en estos sistemas, surgen otros procesos de deterioro, que entre los más importantes se encuentran la deforestación, fragmentación y la dinámica de cambio en el uso del suelo (Lambin *et al.*, 2001¹³; CONAFOR, 2011¹⁴), ya que constituyen la causa principal de otros eventos como la pérdida y alteración de la diversidad biológica y hábitat (Figueroa, 2008¹⁵), el cambio climático a diferentes escalas (Chase *et al.* 2000¹⁶), la degradación del suelo (erosión y pérdida de fertilidad), alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, la pérdida de los servicios ecosistémicos entre otros (Mas *et al.*, 1996¹⁷; Lambin *et al.*, 2001¹⁸; Velázquez *et al.* 2002¹⁹; Figueroa, 2008²⁰; Cuevas, 2005²¹; Velázquez y Larrazábal, 2011²²).

El impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas terrestres no se ha limitado a la explotación de los bosques y selvas, se debe de considerar como parte de los elementos de degradación de la vegetación natural el desmonte y la sustitución por cultivos, potreros o asentamientos humanos. En muchos casos, esos impactos directos van seguidos por la

¹⁰ Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía*. **44**: 18-38.

¹¹ Lambin, E.F., B.L. Turner, H.J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkam, C. Vogel y J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. **11**: 261-269.

¹² Velázquez, A., E. Durán, A. Larrazábal, F. López y C. Medina. 2007. La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. En: Atlas fisiográfico de la Cuenca de Tepalcatepec. Manuel Mendoza, Alejandro Velázquez, Alejandra Larrazábal, Alejandro Toledo (compiladores). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología (INE).

¹³ *Idem* 11.

¹⁴ *Idem* 1.

¹⁵ Figueroa, D. E. M. F. 2008. El contexto socioeconómico y la efectividad de las ANP de México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. Tesis para obtener el grado académico de Doctora en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

¹⁶ Chase, T. N., Pielke Sr, R. A., Kittel, T. G. F., Nemani, R. R. and S. W. Running. 2000. Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics*. **16**: 93-105.

¹⁷ *Idem* 2.

¹⁸ *Idem* 11.

¹⁹ Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz Gallegos, R. Mayorga Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Instituto Nacional de Ecología. *Gaceta Ecológica*, **62**: 21-37. México, D.F.

²⁰ *Idem* 15.

²¹ Cuevas, G. G. 2005. Pronóstico del cambio de uso del suelo en áreas forestales del estado de Michoacán. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

²² Velázquez, A. y A. Larrazábal. 2011. Conservación participativa del paisaje. En: Geografía y Ambiente en América Latina. Gerardo Bocco, Pedro S. Urquijo y Antonio Vieyra (coordinadores). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Instituto Nacional de Ecología (INE).

aplicación de malas prácticas de manejo forestal o agrícola, incluso sobrepastoreo, que han producido serios problemas de degradación del suelo (Sánchez *et al.*, 2009²³).

Ante la importancia de contar con información sobre el comportamiento y las tendencias de los procesos de degradación en los que intervienen factores ecológicos y socioeconómicos, surge la necesidad de realizar estudios sobre la pérdida de vegetación y la dinámica en la transformación en las coberturas y uso del suelo.

El cambio de cobertura y uso de suelo representa la modificación de los elementos biofísicos que interactúan sobre la superficie, o de las actividades que ahí se llevan a cabo; pues tanto cobertura como el uso, son dinámicos en tiempo y espacio. Una manera confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es a través del estudio de la dinámica espacio-temporal de uso del suelo, análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo, o también llamada Tasa de Transformación del Hábitat (TTH).

Este tipo de estudios son considerados un elemento básico del diagnóstico para el ordenamiento territorial y para entender los mecanismos del proceso de deterioro de los ecosistemas, ya que permite caracterizar una región ofreciendo información sobre las modificaciones en la vegetación debido al uso humano, así como la distribución e incremento (o decremento) de las tierras dedicadas a actividades antrópicas, ya sea productivas o como asentamientos humanos en un intervalo de tiempo en determinada porción de terreno (Castelán *et al.*, 2007²⁴; Velázquez *et al.*, 2007²⁵). Éste análisis se ha mencionado ser de gran importancia para apoyar políticas encaminadas a disminuir o revertir el deterioro ambiental (Velázquez *et al.*, 2002²⁶).

La dinámica que se produce en el paisaje al cambiar el uso que se da al suelo a lo largo del tiempo, en términos conceptuales se puede ver como un flujo de terrenos que pasan de una cierta cobertura vegetal o forma de uso a otra (Sánchez *et al.*, 2009²⁷). La manera en que se rige esta dinámica depende de los tipos de cobertura involucrados, los mecanismos de sucesión ecológica y regeneración, los componentes físicos del entorno, las actividades económicas que se realizan, el contexto cultural de la población, los eventos meteorológicos y los desastres naturales. Su dinámica incluye procesos de pérdida y recuperación de cobertura y el balance final es la consecuencia de ganancias y pérdidas (Flamenco-Sandoval *et al.*, 2007²⁸).

En un estudio realizado por Sánchez y colaboradores (2009)²⁹, reportan que de acuerdo a la información disponible hasta el año 2002, habría ocurrido una pérdida neta de hasta 103,289 km² de selvas húmedas; 94,223 km² de selvas subhúmedas; 129,000 km² de bosques

²³Sánchez, C., S. A. Flores Martínez, I. A. Cruz-Leyva y A. Velázquez. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En: Capital Natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México, D.F. pp. 75-129

²⁴Castelán, V. R., J. Ruiz C., G. Linares F., R. Pérez A. y V. Tamariz Flores. 2007. Dinámica de cambio espacio temporal de uso del suelo de la subcuenca del Río San Marcos, Puebla, México.

²⁵*Idem* 12.

²⁶*Idem* 19.

²⁷*Idem* 23.

²⁸Flamenco-Sandoval, A., M. Martínez Ramos y O. Maserá. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation*. **138**:131-145.

²⁹*Idem* 23.

templados; 91,000 km² de matorrales xerófilos y más de 59,000 km² de pastizales. La mayor parte de estas transformaciones ocurrió antes de los años setenta, pero en las últimas décadas se han seguido registrando pérdidas importantes. De permanecer constantes los procesos y ritmos de transformación, los ecosistemas que continuarán presentando disminuciones considerables en sus superficies son las selvas en primer lugar, los bosques templados en segundo lugar y los matorrales xerófilos en tercer lugar.

La expansión de las fronteras agrícola y pecuaria, ha sido el proceso más importante de transformación de los ecosistemas terrestres del país. La sustitución por pastizales para la actividad ganadera ha predominado en la zona de selvas húmedas, en tanto que la conversión a terrenos agrícolas ha sido más importante en las zonas de selvas subhúmedas, matorrales xerófilos y bosques templados (Sánchez *et al.*, 2009³⁰).

Debido a la creciente amenaza que enfrenta la diversidad ante el cambio de uso del suelo y otros procesos que afecten la biodiversidad y medio ambiente, la estrategia ha sido adoptar políticas de conservación que promuevan el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) para disminuir el aceleramiento en la pérdida de coberturas vegetales (Halffter, 1994³¹; Velázquez *et al.*, 2010³²; Velázquez y Larrázabal, 2011³³). En 2014, México cuenta con 176 áreas naturales de carácter federal que cubren poco más de 25 millones de hectáreas. El 81% corresponde a superficie terrestre, mientras que un 19% a zonas marinas. Los parques nacionales constituyen la categoría más numerosa; sin embargo, las reservas de biosfera, representan aproximadamente el 50% de la superficie total protegida. El país se destaca a nivel mundial por ser uno de los que cuentan con el mayor número de áreas con declaratoria internacional (IUCN, 2011³⁴; CONANP, 2012³⁵).

Dentro de las mismas ANP, se presentan de igual forma procesos de degradación los cuales varían de un área a otra ya que la mayor parte de los bosques de México son propiedad de comunidades locales o ejidos (FAO, 2011³⁶). Gran parte de las ANP de México están sujetas a ciertos grados de procesos de deterioro, que van desde la remoción de especies o recursos de manera selectiva, hasta la transformación del ecosistema (Figueroa, 2008³⁷).

1.1. Antecedentes

De los primeros trabajos que fueron realizados para estimar la TTH, fue el Dirzo y García en 1992³⁸. Estos autores realizaron mapas de distribución de la selva tropical húmeda, de la

³⁰*Idem* 23.

³¹Halffter, G. 1994. Conservación de la biodiversidad y áreas protegidas en los países tropicales. *Revista Ciencias*36: 4-13.

³²Vázquez-Cuevas, G. M. e I. E. Roldán Aragón. 2010. Evaluación de los cambios de cobertura del suelo en la reserva de la biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo México (1973-1976). *Papeles de Geografía*. 51-52: 307-316.

³³*Idem* 22.

³⁴*Idem* 5.

³⁵CONANP. 2012. Base de datos de las Áreas Naturales Protegidas de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Dirección de Evaluación y Seguimiento, Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática. Morelia, Michoacán México.

³⁶*Idem* 8.

³⁷*Idem* 15.

³⁸Dirzo, R. y M. C. García. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast Mexico. *Conservation Biology*6(1): 84-90.

parte norte de la Sierra de los Tuxtlas, Veracruz. Mediante mapas de cobertura vegetal para 1967, 1976 y 1986, muestran una intensa deforestación procedente de las tierras bajas, encontrándose la vegetación natural remanente, cada vez más restringida a los sectores más inaccesibles de las Sierras. De sus resultados se desprende que durante de 1967 a 1986 la vegetación sufrió una disminución considerable en un 56%. Las tasas anuales de selva remanente que es cortada por año fueron estimadas en un 4.2% para el periodo 1967–1976, y 4.3% para 1976–1986. Si estas tendencias se hubieran mantenido, para el año 2000 quedaría solamente un 8.7% de la selva original.

En el mismo año, se realizó un estudio sobre la evaluación de la deforestación, en el cual incluyeron datos sobre estimaciones de cambios de usos del suelo en 16 ANP de Chiapas. Dentro de las poligonales de las ANP, en cinco de las 16 ANP elegidas fue poco más del 50% el porcentaje ocupado por áreas transformadas y/o perturbadas (que incluyeron “selvas fragmentadas” y “bosques perturbados”). Entre los datos de tasas anuales de transformación o perturbación, las ANP que tuvieron los registros más altos fueron principalmente la reserva de la biosfera La Sepultura (3,848 ha/año), Montes Azules (593 ha/año) y El Triunfo (551 ha/año). Con base a los resultados obtenidos, concluyeron que es urgente iniciar una estrategia de conservación que permita garantizar el mantenimiento de la biodiversidad que se pretende conservar en las ANP de Chiapas (March y Flamenco, 1992³⁹).

Posteriormente Ben de Jong *et al.* 2003⁴⁰, estimaron los escenarios de cambios de uso del suelo de 1970 al 2000 para la Reserva El Ocote y áreas protegidas en la Selva Lacandona y sus respectivas áreas de amortiguamiento. Investigaron el efecto de diferentes factores sobre los procesos de cambio de uso del suelo como protección, cercanía a poblaciones y caminos. Para esto, realizaron un análisis cartográfico a diversas escalas y con diferentes fuentes de información. Entre los resultados que encontraron, fue que buena parte del cambio se ha dirigido al establecimiento de pastizales, y por lo tanto una disminución alta de la biomasa en los últimos treinta años. Concluyen que existe una relación clara entre la densidad poblacional y el cambio en el uso del suelo, siendo que la tasa de cambio disminuye con la distancia de los asentamientos.

En el 2006, Mas y colaboradores⁴¹ analizaron los cambios en el uso del suelo y vegetación entre 1972 y el año 2000 para el PN Nevado de Toluca. Obtuvieron cartografía digital mediante procesos de digitalización y fotointerpretación, esto lo procesaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) identificando los procesos de disminución y/o incremento en la densidad de las zonas forestales. En el periodo estudiado un poco más del 20% de la superficie del ANP sufrió pérdidas principalmente de bosque de pino y oyamel. Concluyen que la metodología que emplearon resultó válida para obtener información detallada y con alto nivel de precisión.

³⁹March, M. I. J. y A. Flamenco Sandoval. 1992. Evaluación rápida de la deforestación en las áreas naturales protegidas de Chiapas (1970-1993). The Nature Conservancy, El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

⁴⁰De Jong, B., M. A. Castillo, O. Maser y A. Flamenco. 2003. Dinámica de cambio de uso de suelo y emisiones de carbono en el trópico húmedo de México. Resultados finales del análisis de cambio de uso entre 1975 y 2000, Selva Lacandona y El Ocote. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) e Instituto de Ecología, Campus Morelia.

⁴¹Mas, S. F., H. H. Regil García, C. González Esquivel y G. Nava Bernal. 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el periodo 1972-2000. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. 61: 38-57

Para ese mismo año se realizó un estudio en la reserva de la biosfera Pantanos de Centla, en el cual identificaron y cuantificaron la variación espacial de los tipos de vegetación y usos del suelo durante 1990 y 2000. Generaron bases geográficas digitales referentes a geología, edafología, hidrología, temperaturas mínimas, temperaturas máximas, precipitación, vías de comunicación y localidades, las cuales fueron almacenadas en un SIG. Realizaron también la clasificación de imágenes Landsat, generando mapas de vegetación y usos del suelo para 1990 y 2000. De los resultados obtenidos mostraron que las tasas de cambio estimadas fueron del 6.06% para la selva de púcté y de 34.96% para selva de tinto; en tanto que hubo una tasa de incremento de 1.15% para el manglar, 0.72% para las comunidades de hidrófitas y un 27.82% para el pastizal. Concluyeron que los cambios encontrados se relacionaron con la presencia de carreteras pavimentadas, localidades y canales, siendo éstos últimos los que más afectaron a la tasa de cambio (Guerra y Ochoa, 2006⁴²).

Otro trabajo sobre TTH fue el realizado por Durán y colaboradores (2007)⁴³, en el cual se analizaron los procesos de cambio en las coberturas de la vegetación comparando áreas donde se realiza un manejo forestal comunitario bien organizado (10 ejidos de Guerrero y 12 ejidos de Quintana Roo) versus el mantenimiento de la vegetación nativa en 67 ANP de México. Estos ejidos fueron seleccionados a partir del buen manejo colectivo de sus bosques durante casi dos décadas. Para realizar el análisis de procesos de cambio en las coberturas de vegetación y usos del suelo, cruzaron mapas digitales de dos fechas distintas. Encontraron que los ejidos, lograron conservar alrededor de 95.1% de la cobertura de vegetación nativa, mientras que las ANP mantuvieron el 98.8% de dicha cobertura entre 1993 y 2000. En las ANP las coberturas de vegetación nativa tendieron a decrecer, mientras que las áreas con usos antropogénicos aumentaron. Concluyeron que los dos grupos de ejidos analizados han adoptado sus propios modelos de zonificación de sus territorios y, de esta manera, tienen mayor influencia en los procesos de cambio, tanto positivos como negativos. Mientras que los procesos de cambio en las ANP siguen un modelo más impredecible, no necesariamente relacionado con su categoría de protección.

Más recientemente se cuenta con la investigación realizada en la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo publicada en 2010 (Velazquez *et al.*, 2010)⁴⁴. En dicho trabajo se evaluaron los cambios de cobertura del suelo durante el periodo de 1973 a 2006, utilizando clasificación supervisada e interpretación visual de imágenes satelitales Landsat y Spot de la cual obtuvieron mapas de cambio para ambas fechas. Reportaron que la cobertura con mayor superficie ocupada fue el matorral con un 70.3% (para 1973) y un 62.3% (para 2006); mientras que el 87.81% del área total del ANP no presentó cambios en el periodo estudiado. Concluyeron que la mayor parte de los cambios se localizaron en áreas bajo influencia directa de las actividades humanas, siendo el pastizal la cobertura con la mayor

⁴²Guerra, M. V. y S. Ochoa Gaona. 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 59: 7-25. UNAM.

⁴³Durán-Medina, E., Jean-Francois Mas y A. Velázquez. 2007. Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. En los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales. David Bray, Leticia Merino Pérez y Deborah Barry (eds). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Civil para Silvicultura Sostenible y Florida International University. México, D.F. pp. 444.

⁴⁴*Idem* 32.

tasa de crecimiento (Vázquez *et al.*, 2010⁴⁵).

Durante el 2011 se publicó un estudio en el que evaluaron la efectividad de las ANP para contener los procesos de cambio de uso del suelo y vegetación. El estudio fue basado en datos de 44 ANP de México en los que se cuantificó el porcentaje de superficie transformada (ST) en 2002 y su tasa de cambio entre 1993 y de 2002, y fueron comparadas las tasas de cambio observadas en las ANP, en las áreas circundantes de cada área y en sus respectivas ecorregiones. Entre sus resultados se puede mencionar que las tendencias generales observadas en los análisis de efectividad muestran que las ANP fueron efectivas para prevenir el cambio de uso del suelo en el periodo de tiempo estudiado. Mencionan que algunas ANP están bajo una presión de cambio particularmente alta, como la reserva de la biosfera Los Tuxtlas y Barranca de Metztlán, así como el parque nacional Cofre de Perote, los cuales ameritan atención especial para detener o revertir estos procesos. Concluyen que la efectividad de las ANP y su relación con factores ambientales, económicos, políticos y sociales constituye un problema de investigación complejo (Figuroa *et al.*, 2011⁴⁶).

Otro estudio fue el realizado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y el Instituto de Ecología A. C. (INECOL) en el PN Pico de Orizaba, Veracruz. En él reportan un análisis multitemporal del uso del suelo y vegetación en el periodo 2003-2011 con la finalidad de detectar cambios y estimar la tasa de transformación mediante teledetección. Mencionan que los tipos de vegetación dominantes son el bosque de pino, bosque de oyamel y la pradera de alta montaña. Reportan que la superficie de cambios detectados fue de ≈ 750 hectáreas, durante el periodo de estudio se perdieron 679.2 hectáreas de bosque de pino y bosque de pino secundario, que fueron transformadas a pastizal y área agrícola, y 73.1 hectáreas fueron áreas incendiadas. Concluyen que las tasas de cambio obtenidas son “relativamente bajas” pero coinciden con otros estudios para la zona. Mencionan que probablemente ampliando el periodo de análisis se obtenga una perspectiva más completa de los cambios de uso del suelo y vegetación (CONANP e INECOL, 2011⁴⁷).

Por último, se tiene el estudio realizado en el 2011 en la reserva de la biosfera Mariposa Monarca la cual es bien conocida por sus altas tendencias de pérdida y degradación del bosque principalmente en su zona núcleo. Realizaron un análisis comparativo de los años 2003, 2005, 2007 y 2009 para mostrar el proceso de degradación y deforestación del ANP, sus posibles causas y sus tendencias de cambio a través del tiempo. Entre sus resultados reportan que hubo cambios en la cobertura forestal pero no en el uso del suelo, siendo que para el periodo de 2003 al 2009, aproximadamente 2,152 hectáreas fueron alteradas por el proceso de deforestación, y de ese total, 165 hectáreas sufrieron cambios a través del tiempo. Concluyeron que hay una tendencia a disminuir las perturbaciones en el ANP debido a la promoción de actividades productivas y trabajo social en el área así como los pagos por servicios ambientales (López, 2011⁴⁸).

⁴⁵Idem 32.

⁴⁶Figuroa, F., V. Sánchez Cordero, P. Illoldi-Rangel y M. Linaje. 2011. Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio de uso del suelo y la vegetación. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 951-963.

⁴⁷CONANP e INECOL, A.C. 2011. Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz México en el periodo 2003-2011. Xalapa, Veracruz.

⁴⁸López, G. J. 2011. Deforestation and forest degradation in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico 2003-2009. *Journal of*

Para el estado de Oaxaca se realizó un estudio que consistió en un diagnóstico del grado de deforestación, tanto a nivel estatal, como local, en la región de la cuenca del Río Copalita (Duran, et al. 2002⁴⁹). Efectuaron análisis de los cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo, para un periodo de 20 años (1980- 2000). Para ello se usaron mapas de dos fechas, que se analizaron en un sistema de información geográfica. Los resultados muestran que aun gran parte del territorio Oaxaqueño y de la región de Copalita presentan bosques y selvas, sin embargo, la disminución de sus coberturas fue la tendencia recurrente. La deforestación a nivel estatal, fue ligeramente menor que la media nacional (-0.39% y -0.43%, respectivamente), pero comparativamente esta fue mayor en la región de Copalita (-0.69%). Aunque la recuperación de bosques y selvas está ocurriendo tanto a nivel del estado como en la región de Copalita, esta no superó la superficie perdida durante el mismo periodo. Las tasas de deforestación sugirieron una continua antropización de los paisajes naturales y la reducción y alteración del hábitat; y, en consecuencia, efectos negativos aún desconocidos sobre numerosas especies, particularmente aquellas de distribución restringida. Las iniciativas comunitarias para proteger áreas altamente biodiversas y para hacer un manejo sustentable de los recursos naturales de sus territorios, son positivas y podrían ayudar a disminuir la deforestación.

Para la Región Mixteca, Ríos (2012)⁵⁰ desarrollo del proyecto OM49 “*Dinámica de cambio de las cubiertas de uso de suelo en la Mixteca, Oaxaca, México.*” financiado por el Programa Mixteca de WWF. El proyecto tuvo como objetivo principal el analizar documentar y evaluar la dinámica de cambio y cálculo de la tasa de transformación del hábitat de los periodos 2000-2007-2010 para un polígono de 954,720 hectáreas de la Mixteca Oaxaqueña. La tasa anual de transformación para todo el período fue de 0.0986%, lo cual supone un cambio negativo absoluto de 532 hectáreas por año. Por los resultados obtenidos hace suponer que los cambios más dramáticos en el uso de suelo en la región de estudio ocurrieron en una escala de tiempo anterior a la del estudio.

Cómo puede observarse son cada vez más frecuentes los estudios que reportan la tasa de transformación del hábitat en las ANP y en otras áreas de importancia biológica. Es urgente que se implementen medidas de mitigación para revertir y/o mantener dichos procesos que inevitablemente seguirán sucediendo.

1.2. Justificación

En México, estudiar la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es una tarea prioritaria (Bocco et al., 2001⁵¹). La conversión de vegetación original a otro tipo de uso causado principalmente por actividades antropogénicas, es un tema clave en varias disciplinas ambientales. Ante esta situación es

*Maps*7(1): 626-633.

⁴⁹Duran, E., Gopar, F., Velázquez, A., López, F., Larrazabal, A., y C. Medina. 2002. Análisis de cambio en las coberturas de vegetación y usos del suelo en Oaxaca. CONACYT-SEMARNAT-2002-01-C01-001-00133, Banco Mundial, a través del programa PROCYMAF.

⁵⁰Ríos S. G. 2012. “Dinámica de cambio de las cubiertas de uso de suelo en la Mixteca, Oaxaca, México.” WWF Proyecto OM49.

⁵¹*Idem* 10.

necesario realizar estudios que documenten la tasa de transformación del hábitat en los paisajes para poder conocer las causas que detonan ese cambio y eventualmente apoyar a los gestores en la búsqueda de alternativas para tomar medidas de mitigación y entonces revertir dichos procesos (Velázquez y Larrazábal, 2011⁵²).

La Región Mixteca cuenta con ecosistemas de importancia global por su riqueza única, integridad biológica y el grado de endemismo. El área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca cuenta con una mezcla impresionante de vegetación tropical y bosques templados y bosques nubosos. Sin embargo, la diversidad biológica está siendo cada vez más amenazada por la pérdida de especies y la diversidad genética, debido a la pérdida del hábitat, la destrucción los ecosistemas y la degradación del suelo. Los hábitats en la Mixteca han sido negativamente afectados principalmente por una productividad baja en las actividades agrícolas. Estos incluyen la deforestación por sistemas productivos de Roza-Tumba-Quema y para necesidades de energía; la crianza de ganado y cabras con una presión de pasto que puede alcanzar 4-5 veces la tarifa sostenible; y una migración anual de más de 100,000 animales, en su mayoría cabras⁵³.

El Proyecto GEF-Mixteca busca alejar las amenazas que enfrentan la conservación de diversidad biológica en la región. Lo anterior mediante el diseño de un programa adaptado para evaluar los servicios ecosistémicos, considerando el alivio a la pobreza, la agricultura y programas de infraestructura. La razón fundamental es que integridad ecosistémica y la resiliencia se puede alcanzar con la implementación de técnicas de manejo de los ecosistemas basado en la evaluación de los servicios ecosistémicos. Estos de manera sustentables que incluyan mejor agua para beber, condiciones de suelo y mejor productividad agrícola, concentrada en las áreas sustentables, disminuyendo la pérdida de los hábitat naturales frágiles y biológicamente significativos⁵⁴.

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo, proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. Mediante el uso de los SIG y la Percepción Remota (PR), se puede evaluar el análisis de cambio de uso de suelo en un lugar en específico, determinando la dinámica de los usos del suelo y la vegetación a través del tiempo.

⁵²*Idem 22.*

⁵³ GEF, 2010. Integrating trade offs between supply of ecosystem services (ES) and land use options into poverty alleviation efforts and development planning in the Mixteca. UNEP México. 206 pp.

⁵⁴*Idem 22*

2. Objetivo General

Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca Oaxaqueña.

2.1. Objetivo específico:

Revisar la información de uso del suelo y vegetación obtenida a través de imágenes SPOT de los años 2000 y 2010, y complementar la información para cubrir el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca. Así mismo, obtener la información del periodo 1970-2000 y del año 2005, utilizando imágenes del mismo sensor SPOT con la finalidad de contar con la tasa de transformación de los periodos 1970-2000, 2000-2005, 2005-2010. Así mismo obtener información de sitios de interés a escala mayor para el desarrollo de proyectos especiales, como la captura de carbono.

3. Área de estudio

La región de la Mixteca se encuentra al Oeste del estado de Oaxaca y colinda al Oeste con el límite del estado de Guerrero y al norte con el estado de Puebla, con la Región de la Cañada al Este, al Sureste con Los Valles Centrales y al Sur con la Sierra Sur. Se ubica entre las coordenadas extremas de 16° 35' 11.928" N y 18° 17' 49.390" N de Latitud Norte y 96° 57' 58.692" W y 98° 30' 0.810" W de Longitud Oeste (Figura 1).

El área de intervención del proyecto ocupa una superficie de 1'714,097 hectáreas y se encuentra localizada en la Región Mixteca con siete distritos: Silacayoapam, Huajuapam, Coixtlahuacan, Juxtlahuaca, Teposcula, Nochitlan y Tlaxiaco; y parte de la región Sierra Sur. Con 155 municipios de la Región Mixteca y 5 de la Región Sierra Sur⁵⁵ y un total de 2,364 localidades⁵⁶. Con base en los datos del Censo Nacional de Población 2010⁵⁷, la Región Mixteca, cuenta con una población de 522,252 habitantes, donde la Heroica Ciudad de Huajuapam de León, es la población que cuenta con el mayor número de habitantes con 69,839.

La región de La Mixteca se caracteriza por ser un territorio de gran diversidad de flora y fauna dado por sus condiciones geográficas que abarcan ecosistemas áridos, montañosos y pequeños valles donde también existen diversos grupos étnicos (Feria-Pérez 2010⁵⁸).

⁵⁵INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión

5.0A.http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

⁵⁶Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

⁵⁷INEGI 2010. Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

⁵⁸Feria-Pérez, C. R. 2010. El paisaje de la mixteca: el espacio abierto en la vida cotidiana de Santa Cruz Nundaco, Oaxaca. Tesis que presenta para obtener el título de Arquitecto Paisajista. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arquitectura.

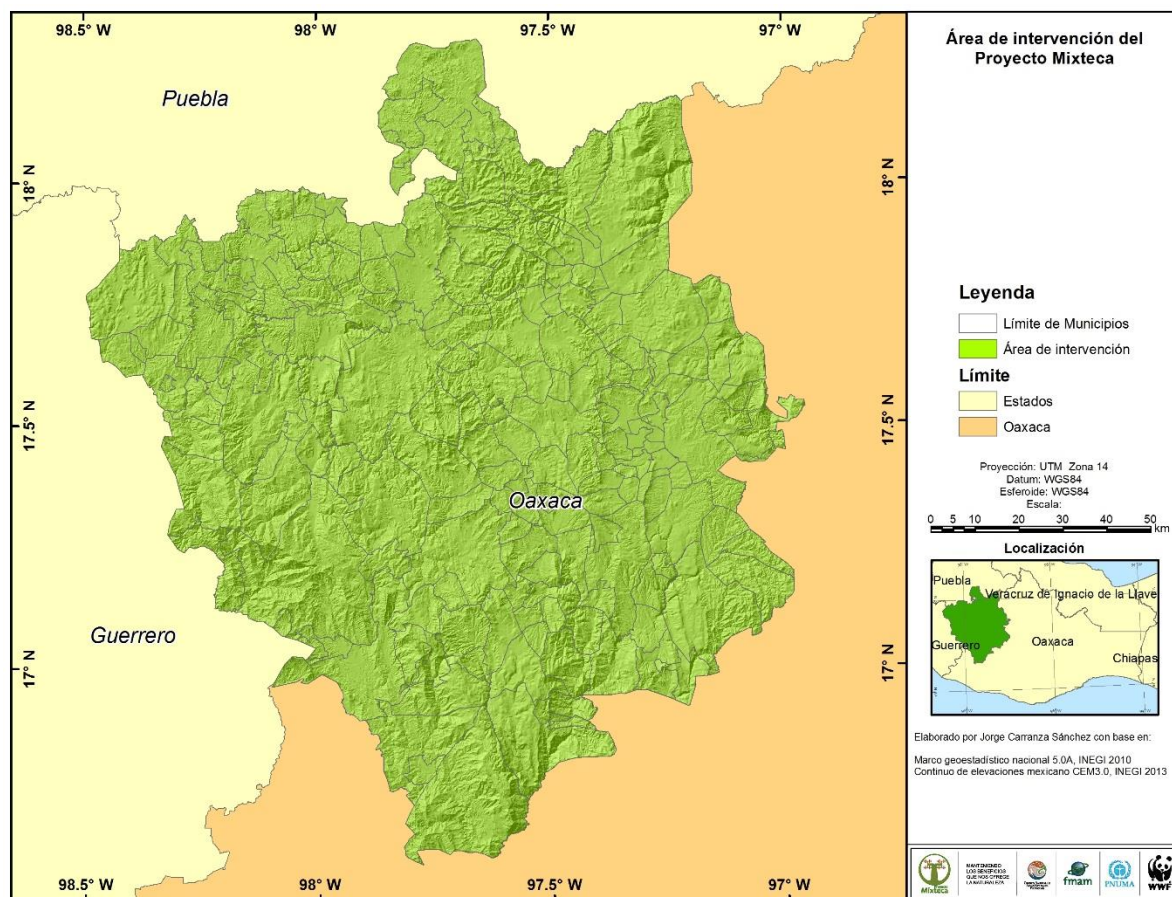


Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

4. Material y Método.

4.1. Imágenes SPOT

Para el desarrollo del trabajo, fueron utilizadas imágenes de satélite SPOT del sensor 5. La resolución espacial más fina en modo P (pancromático) es de 2.5 m, mientras que la resolución más fina en modo XS (multiespectral) es de 10 m en las dos bandas visibles y en el infrarrojo. Asimismo los 20 m en el SWIR (Short Wave Infrared) infrarrojo cercano, esenciales en el estudio de la vegetación, remuestreadas a 10 m.

Las imágenes fueron obtenidas a través de la Estación de Recepción México de la constelación SPOT (ERMEXS) por el convenio establecido a partir del año 2004 con la CONANP para la recepción de imágenes. Las imágenes utilizadas, fueron solicitadas a la Dirección de Evaluación y Seguimiento de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de México. Y forman parte del acervo de imágenes con el que cuenta la Subdirección Encargada de la Coordinación de Geomática.

4.1.1. Corrección Atmosférica

Los productos SPOT se encuentran con el formato DIMAP, este formato tiene dos partes: la

parte descriptiva y la parte de imagen. La parte de imagen está, por defecto, descrita en formato GeoTIFF. En el caso en que un usuario no pueda leer el GeoTIFF, una opción del formato DIMAP permite la producción al formato crudo BIL (Band interleaved by line) y toda la información referida al tamaño, cantidad de bandas y georeferencia de la imagen se encuentra contenida en la parte descriptiva asociada.

En el archivo raster BIL el XS3 infrarrojo cercano está en la banda 3, pero en el archivo GeoTIFF la banda XS3 se encuentra en la banda 1⁵⁹. Las imágenes proporcionadas por la ERMEXS se encuentran en formato GeoTIFF, por lo anterior es necesario modificar el orden de las bandas del archivo original, a fin de identificar el orden de las bandas.

Para el arreglo de bandas, se procedió a trabajarlas en el programa ERDAS Imagine, con la herramienta Modeler. Donde la imagen de entrada es la original en formato GeoTIFF y a través del layer stack se ordenan las bandas en una imagen de salida en formato IMG (Figura 2).

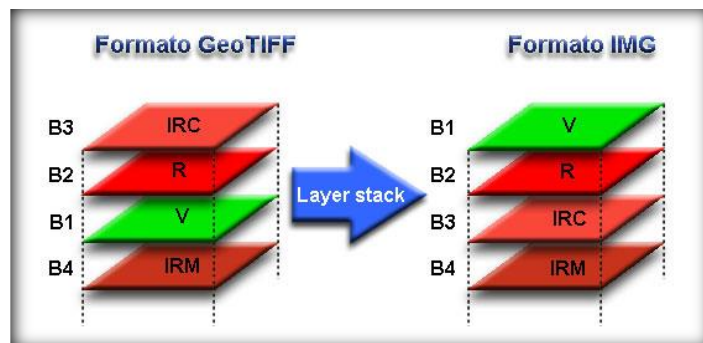


Figura 2. Arreglo de bandas SPOT del formato GeoTIFF a IMG.
Tomado de Carranza, 2012⁶⁰.

Para realizar la corrección atmosférica a las imágenes SPOT se utilizó el modelo descrito por Carranza, 2012⁶¹ utilizando la herramienta Modeler de ERDAS a las imágenes de fechas más recientes, este se encuentra dividido en tres partes, la primera antes descrita que corresponde al arreglo de las bandas, la segunda para obtener los valores de radiancia a partir de los niveles digitales, y una última para obtener los valores de reflectividad (Figura 3).

⁵⁹DIMAP Dictionary. 2006. SPOT Scene profile Versión 1.1.2.

⁶⁰Carranza, S.J. 2010. Protocolo para el monitoreo de la Zona Núcleo de la reserva de la biosfera Mariposa Monarca, México. Trabajo Fin de Master en Tecnologías de la Información Geográfica, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid. 47 pp.

⁶¹*Idem* 60.

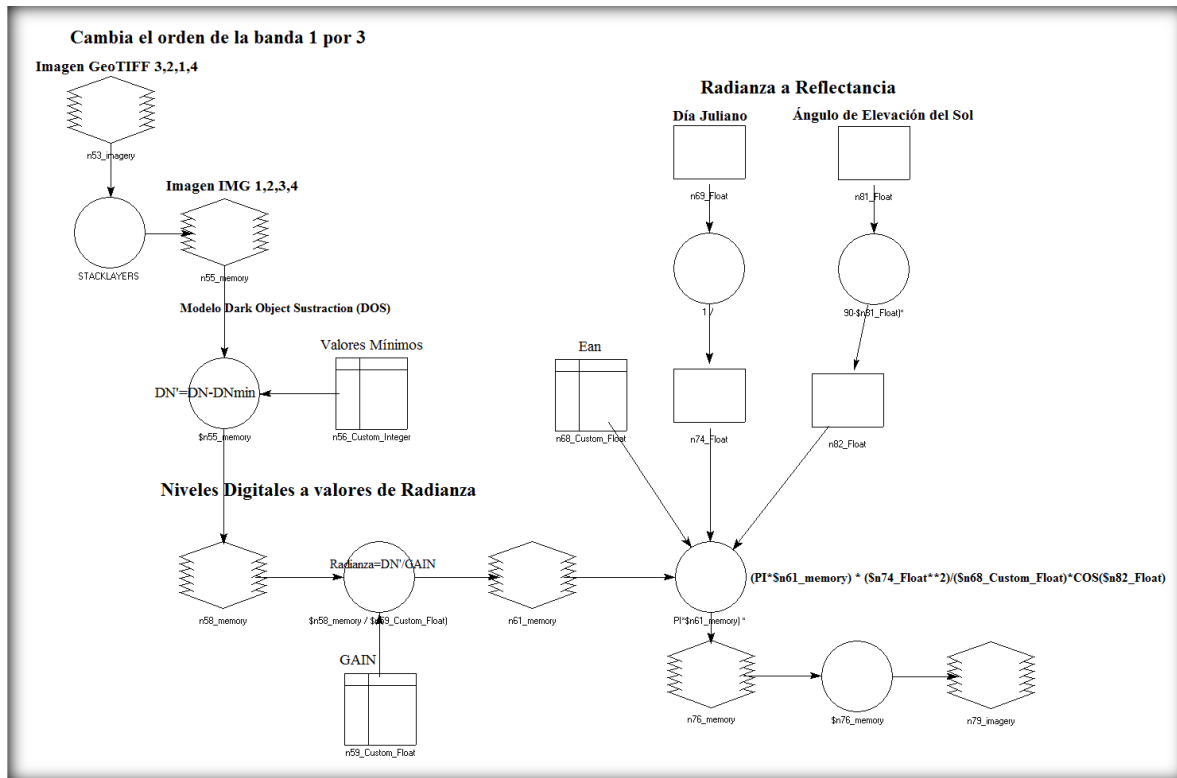


Figura 3. Modelo para obtener los valores de reflectancia de las imágenes SPOT.
Tomado de Carranza, 2012.

Después de obtener el arreglo de las bandas, se realiza la resta del objeto obscuro “dark object subtraction” (DOS), la cual está enfocada en determinar la porción de la radiancia en el sensor que es atribuido a la atmósfera. Este método ha demostrado ser bastante exacto y es el enfoque más viable para la corrección atmosférica cuando los datos de terreno no están disponibles Chávez (1996)⁶² y Lu *et al.* (2002)⁶³. Para determinar el **Lhaze** para cada banda de las imágenes, se obtuvieron los datos del histograma seleccionando el valor mínimo, ya que este valor se le atribuye a la atmósfera. Para convertir los Niveles Digitales a valores de radiancia se dividió el ND/GAIN, de esta forma se obtuvieron los valores de radiancia.

El último proceso fue para obtener los valores de reflectividad a partir de los valores de radiancia, para lo cual se aplicó la ecuación de Warner (2008)⁶⁴, la cual está basada en la fórmula publicada por Chávez (1996)⁶⁵ y Lu *et al.* (2002)⁶⁶, descrita a continuación:

⁶²Chávez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62: 1025-1036 p.

⁶³ Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E. 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 23, no. 13, 2651–2671.

⁶⁴Warner, T. 2008. Conversion of Landsat DN to reflectance using the CosT approach. University of West Virginia.

⁶⁵Chávez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62: 1025-1036 p.

⁶⁶ Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E. 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 23, no. 13, 2651– 2671.

$$\rho = \frac{\pi * (L_{sat} - L_{haze}) * d^2}{E_{sun} * [(\cos \theta)^2]}$$

Donde:

- ρ = reflectividad para la banda N
- π = constante de la geometría euclidiana
- L_{sat} = radiancia registrada en el sensor para la banda N
- L_{haze} = radiancia atribuible a los efectos atmosféricos
- d = distancia del sol a la tierra
- E_{sun} = irradiación exoatmosférica de cada banda
- θ = ángulo cenital solar

d, es la distancia del sol a la tierra, calculada mediante la fórmula (Achardm y D'Souza 1994, citado por Eva y Lambin, 1998; Smith, 2004)⁶⁷: $d=1 / (1-(0.016729 * \cos((0.9856 * (\text{Julian Day} - 4)) * \pi / 180)))$. E_{sun} es la irradiación exoatmosférica de cada banda, estos valores dependen del instrumento, en este caso para el sensor SPOT5 y de los valores de HRG1 y HRG2 de las imágenes utilizadas, las imágenes utilizadas corresponden al HRG2. θ , es el ángulo cenital solar, el cual es el ángulo complementario del ángulo de elevación solar en radianes. Algunas versiones de esta ecuación mantienen a θ sin elevarlo al cuadrado, pero aquí se hace para aproximar a la transmisividad atmosférica. Warner (2008)⁶⁸ y USU (2008)⁶⁹, afirman que este método es apropiado para climas húmedos o tropicales. Los datos utilizados para las correcciones atmosféricas de cada imagen se presentan en la siguiente Tabla 1 para la época 2005 y Tabla 2 para la época 2010.

⁶⁷Smith, M.S. 2004. How to convert ASTER radiance values to reflectance. En online guide. En: University of Idaho, <http://www.cnrhome.uidaho.edu/default.aspx?pid=85984>. 3 p.; consulta: junio 2010.

⁶⁸Idem 64.

⁶⁹Utah State University Remote Sensing (USU) /GIS Laboratory. 2008. Image standardization: at-sensor reflectance and COST correction. USU, Logan, UT. Online: <http://ftp.nr.usu.edu/imagestd>, Consultado en mayo 2010.

Tabla 1. Valores de las imágenes SPOT de la época 2005.

Sensor	K/J	Fecha de Toma	Instrumento	Valores Mínimos				Gain				Día	Juliano	Elevación Solar
				Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4			
SPOT 5	591/314	05-jun-05	HRG2	83	41	29	1	2.139452	1.6269	1.73855	8.225268	156	69.31	
SPOT 5	591/315	05-jun-05	HRG2	73	32	32	21	2.139452	1.6269	1.73855	8.225268	156	69.10	
SPOT 5	591/316	05-jun-05	HRG2	73	32	42	15	2.139452	1.6269	1.73855	8.225268	156	68.87	
SPOT 4	592/314	21-ene-05	HRVIR1	52	30	7	11	3.34419	4.26591	2.97073	13.82981	21	48.30	
SPOT 5	592/315	09-jun-05	HRG2	51	22	23	5	2.139452	1.6269	1.73855	8.225268	160	74.37	
SPOT 5	592/316	09-jun-05	HRG2	48	22	23	2	2.139452	1.6269	1.73855	8.225268	160	74.09	
SPOT 5	592/317	09-jun-05	HRG2	63	26	37	1	2.139452	1.6269	1.73855	8.225268	160	73.80	
SPOT 5	593/314	03-nov-05	HRG2	38	24	14	1	2.139452	2.85396	1.73855	10.694748	307	52.39	
SPOT 5	593/315	03-nov-05	HRG2	41	27	17	21	2.139452	2.85396	1.73855	10.694748	307	52.79	
SPOT 4	593/316	07-ago-05	HRVIR2	17	7	13	15	1.37678	1.23137	1.36245	8.20724	219	72.40	
SPOT 5	593/317	28-mar-06	HRG2	41	19	15	15	1.829788	1.597198	1.315116	6.355	87	64.78	
SPOT 5	594/316	11-jul-05	HRG2	79	33	29	11	2.322763	1.598954	1.313555	8.364986	192	70.20	

Tabla 2. Valores de las imágenes SPOT de la época 2010.

Sensor	K/J	Fecha de Toma	Instrumento	Valores Mínimos				Gain				Día	Juliano	Elevación Solar
				Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4			
SPOT 5	591/314	25-dic-09	HRG2	53	28	19	19	2.751015	2.795202	2.34087	10.564695	359	42.96	
SPOT 5	591/315	25-dic-09	HRG2	47	22	15	15	2.751015	2.795202	2.34087	10.564695	359	43.36	
SPOT 5	591/316	25-dic-09	HRG2	48	22	18	13	2.751015	2.795202	2.34087	10.564695	359	43.76	
SPOT 5	592/314	20-ene-10	HRG2	47	25	13	15	2.751015	2.795202	2.34087	10.564695	20	44.75	
SPOT 5	592/315	20-ene-10	HRG2	44	22	14	17	2.751015	2.795202	2.34087	10.564695	20	45.12	
SPOT 5	592/316	20-ene-10	HRG2	44	21	16	11	2.751015	2.795202	2.34087	10.564695	20	45.49	
SPOT 5	592/317	26-dic-08	HRG2	52	25	1	12	2.834345	2.835213	1.719888	10.638167	361	43.24	
SPOT 5	593/314	09-dic-09	HRG2	1	3	1	1	2.751015	2.795202	2.34087	10.564695	343	45.75	
SPOT 5	593/315	18-abr-10	HRG2	42	26	18	18	2.027292	2.193804	1.698675	6.255000	108	69.77	
SPOT 5	593/316	18-abr-10	HRG2	38	20	15	15	2.027292	2.193804	1.698675	6.255000	108	69.83	
SPOT 5	593/317	21-dic-08	HRG2	46	28	18	10	2.834345	3.84142	2.370103	10.638167	356	43.31	
SPOT 5	594/316	15-feb-10	HRG2	47	23	13	14	2.751015	2.795202	1.698675	8.125245	46	51.24	

4.1.2. Corrección Geométrica.

Para las imágenes SPOT, se utilizó el modelo de corrección orbital, modelando las fuentes de error geométrico conocidas, a partir de aplicar transformaciones inversas a las que realiza el sensor en el momento de la adquisición, tomando en consideración las ventajas de la precisión que ofrecen los sistemas de navegación del satélite SPOT5 en especial del pasajero DORIS.

Las imágenes son procesadas en el programa ERDAS Imagine 9.1, con el módulo Leica Photogrammetry Suite. Para la corrección geométrica, se realizó una ortorectificación que incluye el dato de las coordenadas X-Y y el valor de altitud de cada pixel, que se obtiene con el Modelo Digital de Elevación (MDE) escala 1:50,000 obtenido del continuo de elevaciones mexicano del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)⁷⁰.

El dato de las efemérides incluye la posición del satélite al momento de capturar las escenas, con los cuales se definen los parámetros de orientación interior y exterior, lo que permite con el apoyo del MDE, contar de forma automática con los datos de altitud (Z). Aunado a esto, la selección de puntos de control terrestres (GCP) optimiza los resultados. De esta forma se realiza el proceso de ortorectificación con una corrección orbital de manera sencilla y rápida, con una precisión inferior a uno, obteniendo un mejor producto en comparación con el proceso de georeferenciación.

Este método de ortorectificación aplicado tanto a la banda pancromática de 2.5 m, como a la imagen con las 4 bandas multiespectrales de 10 m, permitirá combinar a través de la fusión de imágenes (realce espacial) para obtener un producto con una resolución espacial de 2.5 m y la resolución espectral de las cuatro bandas. El contar con una imagen de alta resolución espacial a color, permite realizar una verificación visual de los datos.

4.1.3. Fusión de imágenes.

En las imágenes SPOT, al aplicar el método de ortorectificación tanto a la banda pancromática de 2.5 m, como a la imagen con las 4 bandas multiespectrales de 10 m, permite combinar a través de la fusión de imágenes (realce espacial) para obtener un producto con una resolución espacial de 2.5 m y la resolución espectral de las cuatro bandas. El contar con una imagen de alta resolución espacial a color, permite realizar una verificación visual de los datos.

⁷⁰<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>

4.2. Imágenes Landsat

Para el desarrollo del trabajo, fueron utilizadas imágenes de satélite Landsat del sensor Multiespectral Scanner (MSS) para el periodo 80's, Tematic Mapper (TM) para el periodo de los 90's y Enhanced Thematic Mapper (ETM+) para el periodo 2000. La relación de las imágenes se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Imágenes Landsat de las décadas 80's, 90's y 2000.

Path/Row	SENSOR	Fecha de Toma	Resolución Espacial	
			Pancromática	Multiespectral
026/047	MSS	25-may-77		60
026/048	MSS	08-nov-79		60
027/047	MSS	04-oct-79		60
027/048	MSS	21-feb-79		60
024/048	TM	04-ago-89		30
025/047	TM	26-oct-89		30
025/048	TM	26-oct-89		30
024/048	ETM+	24-abr-99	15	30
025/047	ETM+	12-dic-99	15	30
025/048	ETM+	12-dic-99	15	30

4.3. Clasificación de imágenes

4.3.1 Diseño de la Leyenda.

El diseño de leyenda de las cubiertas del suelo, se genera a partir de la capa de uso de suelo y vegetación serie IV (INEGI, 2009); y la descripción de las clases, se hace de acuerdo al Diccionario de Datos de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2007), en el que los tipos de vegetación se agrupan por formaciones vegetales para formar entidades. De ser requerido, se realizan algunas modificaciones, por ejemplo, no se especifican los tipos de agricultura (nómada, temporal, humedad y de riego), sólo se categoriza como áreas agrícolas. Por otra parte, en los trabajos de validación de la información generada, es posible agregar clases que debido a la escala trabajada el INEGI no las incluye, como son las áreas afectadas por quemas o incendios forestales o aquellas identificadas como áreas de plantaciones forestales.

4.3.2. Clasificación automatizada y visual.

Para el proceso de clasificación visual se hace una conversión de datos raster a formato vectorial, donde a la capa se les elimina el área mínima cartografiada (AMC), esto permite una coherencia en la representación espacial y eficiencia en la utilidad del vector. Este principio indica que a partir de determinada escala de trabajo, los polígonos se eliminarán por no cumplir con el mínimo de superficie requerido de acuerdo al sensor de origen y la misma escala. Para el caso de la imagen SPOT se utilizó una escala de trabajo 1:50,000, cuya representación cartografiada en el papel de 2 mm que corresponde una superficie de una hectárea.

Posteriormente, se generaron las tablas de atributos, se ajustaron los límites del área de

estudio y finalmente se redelimitan las fronteras entre categorías que pudieran presentar errores de categorización generados por el proceso de clasificación automatizada. En esta etapa, también se pueden eliminar elementos registrados por el sensor, como nubes y sombras, con el apoyo del registro histórico. En formato vectorial, se realiza una validación topológica para garantizar que las capas no tengan errores de etiqueta, polígonos dobles o empalmados, sin valor, entre otros.

Estas técnicas para la extracción de información a partir de insumos de percepción remota, generalmente se aplican por separado, algunos autores han realizado comparaciones para determinar cuál es mejor al momento de asignar categorías, los tiempos para obtener resultados, la exactitud de los datos, entre otros (Ramírez y Zubieta 2005⁷¹; Mas 2000⁷²). El método híbrido, que incluye el tratamiento digital de los insumos, la clasificación automatizada para la extracción de datos, y la interpretación visual de las imágenes de satélite, resaltan las ventajas, potencializando las virtudes y reduciendo las limitaciones que se presentan cuando se manejan estas técnicas por separado (Chuvieco, 2008⁷³; Paniagua, 2009⁷⁴; Paniagua et al., 2011⁷⁵).

4.4. Validación.

Teniendo el dato de las cubiertas del suelo a partir de las imágenes de satélite de la fecha más reciente, se realiza la validación a partir de distintas fuentes de información: 1) puntos de levantamiento del Inventario Forestal Nacional⁷⁶, 2) verificación de campo Ríos (2012)⁷⁷, 3) puntos de verificación del Ordenamiento Ecológico de Oaxaca, 4) base de datos de especies Proyecto GEF-Mixteca⁷⁸, 5) verificación de campo de esta consultoría, además de contar con el apoyo del personal del área, quien en base al conocimiento propio, aportan observaciones a la capa preliminar y se realizan las modificaciones pertinentes.

4.4.1. Inventario Forestal Nacional.

El muestreo de campo para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009, consiste en el levantamiento de alrededor de 25,000 puntos de muestreo distribuidos en las

⁷¹Ramírez, M.I. y R. Zubieta. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México D.F. Septiembre 2005.

⁷²Mas, J. F. 2000. "Une revue des Méthodes et des Techniques de Télédétection du Changement". Canadian Journal of Remote Sensing *Journal Canadien de Télédétection*, Col. 26, Nú. 4 P. pp 349-363.

⁷³Chuvieco, 2008. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. 3ra. Edición Actualizada Septiembre. Editorial Ariel S.A. España. 595 p.

⁷⁴Paniagua, I. 2009. Tesis "Análisis Híbrido para la identificación anual de cambios en la cubierta del suelo. La Chinantla, Oaxaca, 2004-2005". Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

⁷⁵Paniagua, I., Carranza, J., y Ramírez, I. 2011. Método híbrido para la detección de cambios en la cubierta de suelo en áreas naturales protegidas. Memorias de la XIX Reunión Nacional SELPER, Morelia 3-7 de octubre. Morelia, Mich. México.

⁷⁶CONAFOR, 2004. Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. SEMARNAT-CONAFOR.

⁷⁷*Idem* 50.

⁷⁸Chagoya, V. 2011. Biodiversidad de fauna de la región mixteca. World Wildlife Fund México. México, D.F.

diferentes condiciones de vegetación presentes en todo el país⁷⁹.

La agrupación realizada para la intensificación del muestreo se basa en las diferentes condiciones de las comunidades vegetales del país, la variabilidad estadística y su importancia forestal. Con una distancia de 5x5, 10x10 y 20x20 Km en función a las comunidades vegetales. La red de puntos a cada 5 km y el carácter continuo de este Inventario Nacional, está diseñada para que en el futuro, el número de unidades de muestreo pueda aumentar con la finalidad de contar con mayor detalle sea para inventarios estatales y/o a nivel de manejo.

Para la Región Mixteca se cuenta con 302 puntos, los cuales se encuentran distribuidos a 5 Km.

4.4.2. Ríos 2012.

Se llevaron a cabo dos validaciones cartográficas con recorrido en campo del 16 al 26 de febrero y del 16 al 26 de marzo de 2012. El trabajo de campo consistió en llevar a cabo recorridos diurnos que permitieron visitar tanto la Sierra Mixteca Alta como la Sierra Mixteca Baja. Durante el trayecto, se eligieron puntos de interés para georeferenciar y caracterizar las principales coberturas y grados de perturbación.

Durante los recorridos, fue posible observar principalmente, las siguientes comunidades de vegetación: bosques de pino, bosques de encino, asociaciones de estos dos, selvas bajas caducifolias, matorrales xerófilos, bosque mesófilo, bosques de galerías, palmerales así como sitios urbanos, áreas con una fuerte erosión, zonas de agricultura, cuerpos de agua, etc. Es posible observar y relacionar la ruta que seguimos según la imagen que se presenta en el informe. En cada sitio se realizó una lectura GPS y registro por fotografías. En total se levantaron 162 puntos de verificación en el campo⁸⁰.

4.4.3. Ordenamiento Ecológico Oaxaca.

Se contó con puntos de verificación que fueron obtenidos por el personal del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) en la elaboración del Ordenamiento Ecológico para el estado de Oaxaca.

4.4.4. Proyecto GEF-Mixteca.

El Proyecto GEF-Mixteca ha integrado una base de datos de especies vegetales, que cuenta en algunos casos con el punto georeferenciado del sitio de muestreo. Esta base ha ido integrando diferentes trabajos contando principalmente con los datos de Chagoya 2011⁸¹

4.4.5. Recorrido consultoría.

Se realizó un recorrido por el área de intervención del Proyecto Mixteca en la semana del 3 al

⁷⁹Idem 76.

⁸⁰Idem 50.

⁸¹Chagoya, L.V. 2011, Biodiversidad de fauna de la región mixteca, Word Wildlife Fund-México, Convenio OL93. México D.F.

9 de agosto de 2014, con la intención de verificar algunos puntos de interés que fueron marcados en el mapa preliminar de la clasificación, entre los puntos de interés se encontraban, área de matorrales, selva baja caducifolia, áreas de palmares y bosque mesófilo de montaña. En el recorrido se contó con el apoyo de personal de proyecto, así como de gente de las comunidades.

4.4.6. Matriz de confusión.

Es un diseño de tabla específica que permite la visualización de la ejecución de un algoritmo, por lo general un aprendizaje supervisado. Es una matriz de un clasificador de dos o más clases. Contiene información acerca de las clasificaciones actuales y predicciones hechas por un sistema de clasificación. La matriz es n por n , donde n es el número de clases. Cada columna de la matriz representa los casos que el algoritmo predijo, mientras que cada fila representa los casos en una clase real⁸².

La siguiente Tabla 4 representa las posiciones que comúnmente muestra una matriz de confusión:

Tabla 4. Formato de matriz de confusión

		Real	
		Abrir (P)	Cerrar (N)
Predicho	Abrir (P)	TP	FP
	Cerrar (N)	FN	TN

accuracy: es la proporción del número total de predicciones que son correctas, se determina utilizando la siguiente ecuación:

Fórmula 2.

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Donde:

TP: son los casos que pertenecen a la clase y el clasificador los definió en esa clase.

FN: son los casos que sí pertenecen a la clase y el clasificador no los definió en esa clase.

FP: son los casos que no pertenecen a la clase pero el clasificador los definió en esa clase.

TN: son los casos que no pertenecen a la clase y el clasificador definió que no pertenecen a esa clase.

4.5 Análisis de cambio

DINAMICA es una herramienta de modelación con posibilidades excepcionales para el diseño

⁸² <http://es.scribd.com/doc/96442557/Matriz-de-Confusion-Listo>

de modelos que van, desde los espaciales estáticos hasta complejos modelos dinámicos, los cuales pueden involucrar iteraciones anidadas, retroalimentaciones dinámicas, aproximaciones multi-regionales, manipulación y combinación algebraica de datos en distintos formatos, tales como mapas, tablas, matrices, constantes, y procesos de decisión para bifurcar y juntar flujos de ejecución, además de una serie de complejos algoritmos para el análisis y simulación de fenómenos espacio-temporales (Britaldo *et al.*, 2009⁸³).

Dinámica EGO ha sido aplicado a numerosos estudios medioambientales, incluyendo el modelado de deforestación en un área local del Amazonas en base a amplias escalas⁸⁴, uso del suelo y cambio de cubierta del Bosque Atlántico⁸⁵ y del bosque seco tropical de México⁸⁶, dinámica urbana⁸⁷, explotación forestal en el Amazonas⁸⁸, y el riesgo de incendio forestal⁸⁹. Además, el uso de Dinámica EGO fue central para ayudar a desarrollar estudios pionero de REDD, tal como el costo y beneficio para reducir emisiones de carbón de la deforestación y la degradación forestal en Amazonas brasileñas⁹⁰, el papel de áreas protegidas en reducir emisiones de carbón en Amazonas brasileñas, los co-beneficios de REDD en la cabecera Xingu⁹¹, una propuesta para terminar con la deforestación en el Amazonas brasileñas⁹², y como REDD+ podría aumentar la producción de nuez brasileña en Madre de Dios, Perú⁹³, entre otros.

Cuenta con un modelo para construcción de simulación del cambio de uso del suelo y cobertura (Land Use Change and Land Cover – LUCC). El desarrollo de estos modelos espacio-temporales, en los que el estado o atributo de una cierta ubicación geográfica, o celda, cambia a través del tiempo como respuesta a una serie de causas o drivers, es un requisito de extrema importancia para el modelado ambiental y, por lo tanto, ofrece una gama de posibilidades para la representación de fenómenos dinámicos.

⁸³Britaldo S. Soares Filho, Hermann O. Rodrigues, William L. Costa. 2009. Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG).Brazil

⁸⁴Soares-Filho B. S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Voll, E.; Cerqueira, G.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*, London, v. **440**, p. 520-523, 2006.

⁸⁵Teixeira, A. M.; Soares-Filho, B. S.; Freitas, S.; Metzger, J. P. W. Modeling Landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 257, 1219–1230, 2009.

⁸⁶Cuevas S G, Mas J-F. Land use scenarios: a communication tool with local Communities. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag, 2008.

⁸⁷Godoy, M. M. G. & Soares-Filho, B. S. Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighbourhood, Belo Horizonte city, Brazil. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag.

⁸⁸Merry, F.; Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D.; Aamacher, G.; Rodrigues, H. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. *Environmental Management*, EUA, 44 (3): 395-407.2009.

⁸⁹Soares-Filho B. S.; Silvestrini, R.; Nepstad, D.; Brando, P.; Rodrigues, H.O.; Alencar, A.; Coe, M.; Locks, C.; Lima, L.; Hissa, L.B.V. et al. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. *Landscape Ecology*. Volume 27, Number 4 (2012), 585-598.

⁹⁰Nepstad, D.; Soares-Filho, B. S.; Merry, F.; Moutinho, P.; Rodrigues, H.; Bowman, M.; Schwartzman, S.; Almeida, O.; Rivero, S.. The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. A report for Bali COP-13.

⁹¹Stickler, C.M.; D.C. Nepstad; Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Merry, F.; Bowman, M.S.; Walker, W.S.; Kelndofer, J.M.; Almeida, O.T. The opportunity costs of reducing carbon emissions in an Amazonian agroindustrial region: the Xingu River headwaters. A paper prepared for and presented at the 2008 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, February 22-23, 2008, Berlin, Germany.

⁹²Nepstad, D.; Soares-Filho, B.S.; Merry, F.; Lima, A.; Moutinho, P.; Carter, J.; Bowman, M., Cattaneo, A.; Rodrigues, H., Schwartzman, S.; Mcgrath, D.; Stickler, C.; Lubowski, P. P.; Rivero, S.; Alencar, A.; Almeida, O.; Stella, O. The End of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*326 (5958) 1350-1351. 2009

⁹³Nunes F.; Soares-Filho B. S.; Giudice, R. Rodrigues H. O.; Bowman M. S.; Silvestrini, R.; Mendoza, E. Economic benefits of forest conservation: assessing the potential rents from Brazil nut concessions in Madre de Dios, Peru, to channel REDD+ investments. *Environmental Conservation*, 39 (3): 2012.

4.5.1. Cálculo de las matrices de transición.

Los datos de la dinámica de cambio en las cubiertas del suelo se presentan en la matriz de transición que propuso Ramírez y Zubieta (2005)⁹⁴. La matriz de transición describe los cambios de un sistema a través de periodos discretos de tiempo, en los cuales, el valor de cualquier variable (e.g. hectáreas de bosque) en un periodo dado, es la suma de los porcentajes fijos del valor de las variables en el periodo de tiempo previo. La suma de fracciones a lo largo de las columnas de la matriz de transición es igual a uno. La línea diagonal de la matriz de transición no necesita ser especificada, ya que Dinámica EGO no modela el porcentaje de celdas que no cambian, y tampoco aquellas transiciones iguales a cero.

La matriz de un sólo paso (single-step matrix) representa las tasas de transición para un único intervalo de tiempo (intervalo total) entre el estado inicial y final de un paisaje. Por el contrario, la matriz de múltiples pasos (multiple-step matrix) representa las tasas de transición para cada periodo de tiempo (año, mes, día, etc.) especificado al dividir el intervalo de tiempo total por el número de pasos que se desea analizar. Para Dinámica EGO, el intervalo de tiempo puede comprender cualquier espacio de tiempo, ya que la unidad de tiempo es sólo una referencia externa.

Las tasas de transición determinan la cantidad neta de cambios, es decir, el porcentaje de área que será cambiado a otro estado (a un tipo de uso del suelo o cobertura diferente al original). Por lo tanto, son tasas adimensionales. En cambio, las tasas brutas son especificadas como unidades de área, tales como hectáreas o Km² por unidad de tiempo.

4.5.4. Tasa de transformación del hábitat.

Con las capas de uso de suelo y vegetación multifecha, se recategorizan en dos grandes grupos: Forestal y No Forestal, tomando como referencia la superficie del polígono que delimita al área de estudio, para posteriormente calcular la tasa de transformación, a partir de la fórmula de la FAO (1996⁹⁵,2001⁹⁶):

Fórmula 3.

$$\delta = 1 - \left[1 - \frac{S_2}{S_1} \right]^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

δ = Tasa de Transformación

S_1 = Superficie Forestal, al inicio del periodo

S_2 = Superficie Forestal, al final del periodo

⁹⁴Idem 71.

⁹⁵FAO, 1996. Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, Rome.

⁹⁶FAO. 2001. Global Forest Resources Assessment 2000. FAO Forestry Paper 140. Rome. Para consulta:

<http://www.fao.org/forestry/fra/2000/report/en/>

n = Número de años entre las dos fechas

Haciendo uso de la matriz de tipo de transición (Ramírez y Zubieta 2005), se obtienen los datos de tipo de cambio, se genera la matriz de dinámica de cambio y finalmente se construyen los mapas de tipo de cambio y cambio acumulado.

4.5.2. Pesos de evidencia

El método geo-estadístico de pesos de evidencia (Goodacre *et al.*, 1993⁹⁷; Bonham-Carter, 1994⁹⁸) se aplica en Dinámica EGO para producir un mapa de probabilidades de transición, el cual muestra las áreas donde el cambio es más propenso a ocurrir (Soares-Filho *et al.*, 2002⁹⁹, 2005¹⁰⁰).

Los pesos de evidencia se basan en el método Bayesiano, en el cual, el efecto que tiene una variable espacial sobre una transición, es calculado independientemente. Los pesos de evidencia representan la influencia de cada una de las variables en la probabilidad espacial de ocurrencia de una transición $i \rightarrow j$.

Dado que el método de pesos de evidencia sólo es aplicable a variables categóricas, es necesario categorizar aquellas variables continuas (datos cuantitativos, tales como mapas de distancias, altitud, y pendiente). Es fundamental que durante el proceso de categorización, se preserve la estructura de la información inicial.

Este modelo calcula los rangos para categorizar las variables continuas y obtener de esta forma los pesos de evidencia. El modelo selecciona el número de intervalos y el tamaño de sus buffers buscando conservar la estructura original de los datos de la variable continua. El resultado es usado como insumo para el cálculo de los coeficientes de los pesos de evidencia.

Las variables que se utilizaron se presentan a continuación, las cuales se integran en el Raster_cube: áreas naturales protegidas, distancia a ríos, distancia a áreas urbanas, distancia a vías de comunicación, elevación, pendientes y vegetación inicial.

⁹⁷Goodacre C. M., Bonham-Carter G. F., Agterberg, F. P., Wright D. F. A statistical analysis of spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. *Tectonophysics* 217, 205-305 (1993).

⁹⁸ Bonham-Carter, G. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS. Pergamon, 398 pp.(1994).

⁹⁹ Soares-Filho, B. S., Pennachin, C. L., Cerqueira, G. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling* 154, 217-235 (2002).

¹⁰⁰ Soares-Filho, B. S., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Vera-Diaz, M., Rivero, S., Solórzano, L. & Voll, E. Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor. *Global Change Biology* 10, 745-764(2004).

5. Resultados.

5.1. Imágenes Landsat.

Se procesaron un total de 13 imágenes, 10 del tipo multiespectral y 3 pancromáticas, para los periodos 80's (1979), 90's (1989) y 2000 (1999).

5.1.1 Corrección Geométrica.

En agosto de 1998, la NASA produjo el GEOCOVER con imágenes Landsat ortorectificadas con una posición exacta que cubren la mayoría de la superficie de la Tierra. Las escenas Landsat utilizadas para crear los productos GEOCOVER-ORTHO fueron seleccionadas por contar con un porcentaje de nubes baja y en lo posible una calidad de datos alta. GEOCOVER combinó la mejor disponibilidad horizontal y control vertical detallando manualmente puntos entre imágenes adyacentes para crear una alta exactitud de la relación espacial entre las imágenes Landsat y la superficie de la Tierra, con una exactitud en la posición de 50 metros de error medio cuadrático¹⁰¹.

Las imágenes del periodo 1979 se presentan en la Figura 4. La imagen del año 1979 fue adquirida con el sensor MSS que cuenta con 4 bandas, la combinación de bandas que se presenta es RGB 321, donde el tono rojo representa la vegetación más vigorosa donde la respuesta a la banda infraroja está determinada por la reflectancia de la clorofila donde el tono más intenso se presenta en los bosques de pino y encino, mientras que el tono más claro está representado por aquellas áreas donde la vegetación es más escasa.

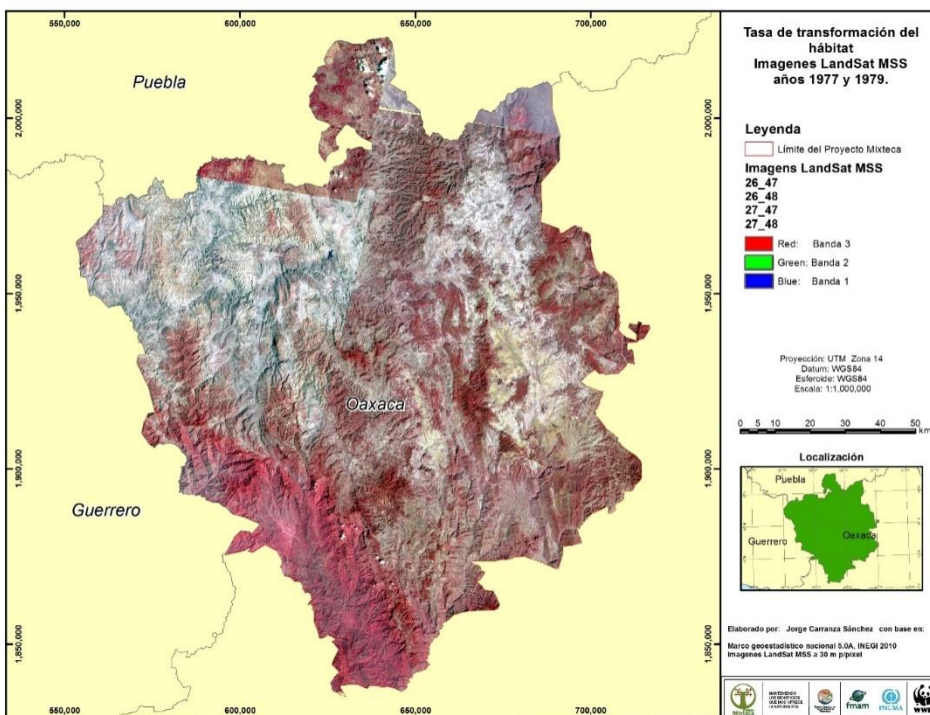


Figura 4. Imágenes Landsat MSS de los años 1977-1979.

Las imágenes del periodo 1989 se presentan en la Figura 5. La imagen del año 1989 fue adquirida con el sensor TM que cuenta con 7 bandas, la combinación de bandas que se presenta es RGB 542, donde el verde representa la vegetación más vigorosa donde la respuesta a la banda infraroja está determinada por la reflectancia de la clorofila donde el tono más intenso se presenta en los bosques de pino y encino, mientras que el tono violeta está representado por aquellas áreas donde la vegetación es más escasa y se presenta una mayor reflectancia de los suelos.

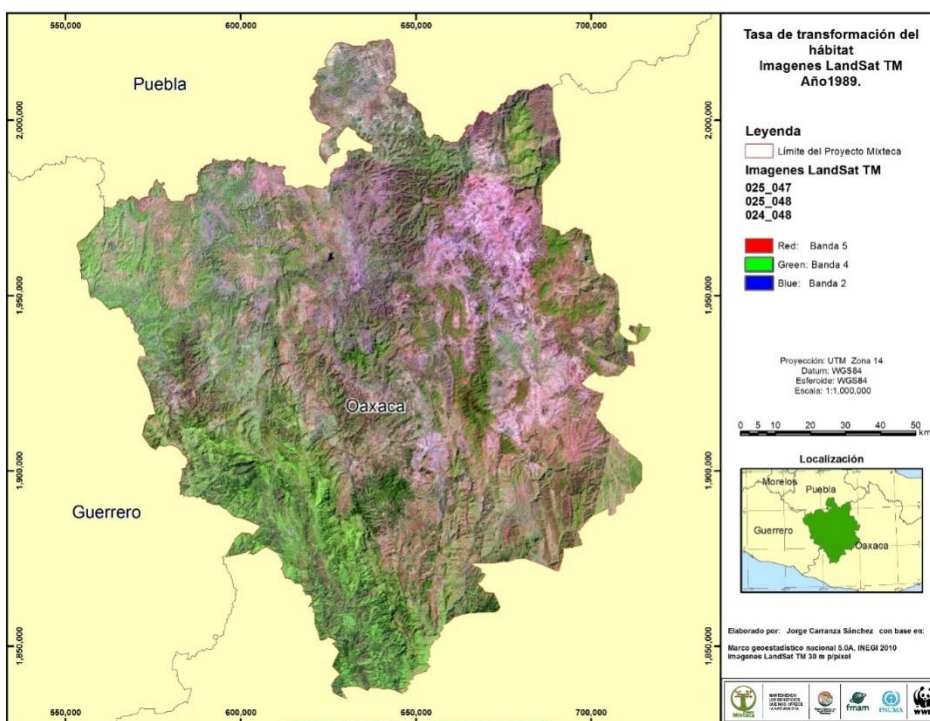


Figura 5. Imágenes Landsat TM del año 1989.

5.1.2. Fusión de imágenes.

Debido a que las imágenes landsat del sensor ETM+ cuentan con la banda pancromática a 15 m, se realizó la fusión de imágenes para crear un realce espacial de la imagen, obteniendo como resultado las bandas multi espectrales con una resolución de 15 m/píxel. Estas imágenes se encuentran ortorectificadas y proyectadas en UTM WGS84.

Las imágenes del periodo 1999 se presentan en la Figuras 6. La imagen del año 1999 fue adquirida con el sensor ETM+ que cuenta con 8 bandas, que incluye la banda pancromática, la combinación de bandas que se presenta es RGB 542, donde el verde representa la

vegetación más vigorosa donde la respuesta a la banda infraroja está determinada por la reflectancia de la clorofila donde el tono más intenso se presenta en los bosques de pino y encino, mientras que el tono violeta está representado por aquellas áreas donde la vegetación es más escasa y se presenta una mayor reflectancia de los suelos. La diferencia de la imagen de 1989 con la del año 1999 es que en esta última la resolución se presenta a 15m, lo que permite tener una mejor definición de todos los elementos que se presentan en el área.

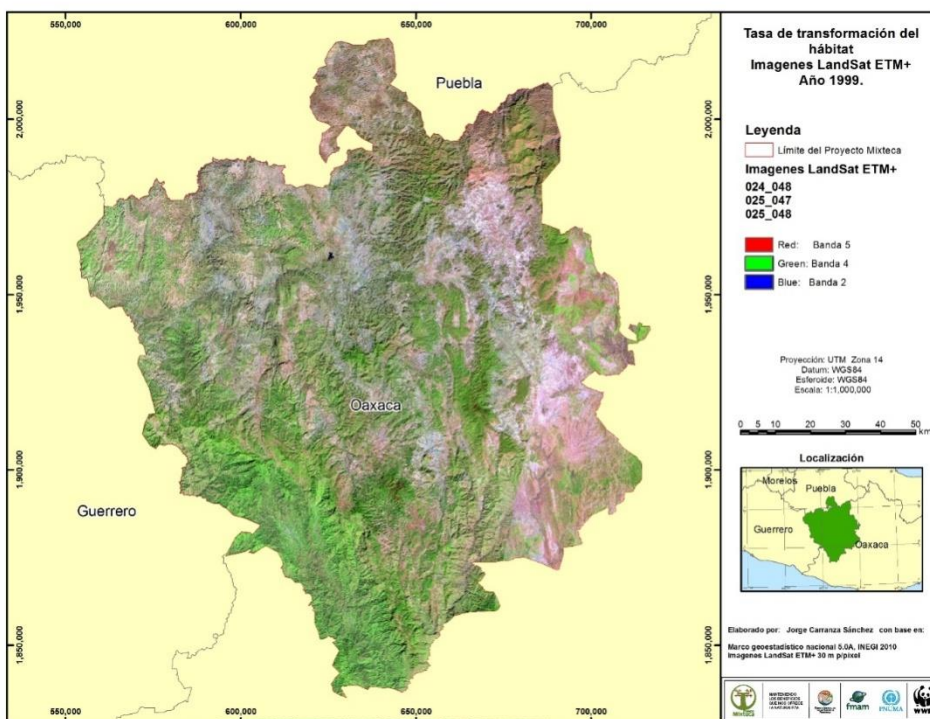


Figura 6. Imágenes Landsat ETM+ del año 1999.

5.2. Imágenes SPOT

Se procesaron un total de 44 imágenes, 23 del tipo multiespectral y 21 pancromáticas. A continuación se presentan las imágenes del sensor SPOT utilizadas para el presente trabajo, que cubren los periodos 2005 y 2010.

5.2.1 Corrección atmosférica.

Las imágenes SPOT del sensor 5 del año 2005 y 2010 cuentan con los valores de reflectancia después de haber realizado la corrección atmosférica, esto permite contar con un mejor

contraste de la imagen y realizar la clasificación automatizada.

5.2.1 Corrección geométrica.

El nivel de procesamiento, así como las fechas y los ángulos de incidencia no fueron definidos en específico para este proyecto, por lo anterior, fueron procesadas las imágenes proporcionadas por la ERMEXS.

5.2.1.1. Nivel de procesamiento.

Las imágenes de la época 2005 cuentan con un nivel de procesamiento 2A, mientras que las imágenes de la época 2010 cuentan con un nivel 1A.

Las imágenes Spot están disponibles en diferentes niveles de procesamiento geométrico, entre las que se encuentra el **Nivel 1A, 1B, 2A y 3 (Ortho)**. El **Nivel 1A** consiste en corregir los errores radiométricos originados en las diferencias de sensibilidad entre los detectores elementales del instrumento de captura de imagen (igualación radiométrica). No se aplica ninguna corrección geométrica. Se trata de un nivel de procesamiento cuasi-grueso. Destinado a los usuarios que deseen efectuar **por sí mismos los procesamientos geométricos (ortorectificación)** en las imágenes. Las imágenes del periodo 2010 cuentan con este nivel de procesamiento (1A), para lo cual se aplicó el método de ortorectificación descrito en la sección 4.1.2., obteniendo un excelente registro en las imágenes. Los datos obtenidos del procesamiento se presentan en la Tabla 6, con un RMS en su mayoría inferior a 1.

Mientras que en el **Nivel 2A** las escenas ya cuentan con una *corrección geométrica* efectuada dentro de la proyección cartográfica estándar (UTM WGS84) sin toma de puntos de apoyo (puntos de control terrestre). Se emplea un Modelo de Elevación Digital (DEM) mundial con mallas de 1 km de lado. Estas correcciones se basan en un modelo de remuestreo teniendo en cuenta las distorsiones debidas a las condiciones de captura de imagen y las transformaciones necesarias para transponer la imagen a la proyección cartográfica estándar anteriormente señalada. Este modelo se calcula sobre la base de los parámetros de la captura de imagen conocidos como las efemérides del satélite, consiguiendo así, que la corrección geométrica sea constante sobre todas la escenas¹⁰². Las imágenes del periodo 2005 cuentan con este nivel de procesamiento (2A), esta situación dificultó el proceso de ortorectificación descrito en la sección 4.1.2. Sin embargo, aunque los datos en la Tabla 5 muestran valores de RMS inferior a 1, existe un desplazamiento en el registro de la imagen que puede variar en función del relieve del terreno.

Tabla 5. Valores de ortorectificación de las imágenes SPOT época 2005.

K/J	Fecha	Resolución Espacial	Angulo de Incidencia	Puntos de Control	Error Medio Cuadrático
-----	-------	---------------------	----------------------	-------------------	------------------------

¹⁰²http://www2.astrium-geo.com/files/pmedia/public/r2006_9_spot_niveles_de_preprocesamiento_esp_sept2010.pdf

	de Toma					Terrestre			
		Pancromática	Multiespectral	Pancromática	Multiespectral	Pancromática	Multiespectral	Pancromática	Multiespectral
591/31 4	05-jun-05	2.5	10	R 16.924	R 16.916	14	12	0.67	0.63
591/31 5	05-jun-05	2.5	10	R 16.925	R 16.916	12	12	0.52	0.49
591/31 6	05-jun-05	2.5	10	R 16.925	R 16.917	14	11	0.86	0.71
592/31 4	02-ene-05		20		L 30.6		17		1.03
592/31 5	09-jun-05	2.5	10	L 30.702	L 30.698	21	19	1.16	1.07
592/31 6	09-jun-05	2.5	10	L 30.704	L 30.697	16	21	1.01	0.99
592/31 7	09-jun-05	2.5	10	L 30.701	L 30.696	20	16	1.12	0.88
593/31 4	03-nov-05	2.5	10	R 16.813	R 16.804	15	12	0.88	0.76
593/31 5	03-nov-05	2.5	10	R 16.813	R 16.805	17	12	0.92	0.79
593/31 6	07-ago-05		10		L 20.6		16		0.98
593/31 7	28-mzo-06	2.5	10	L 5.955	L 5.929	9	9	0.71	0.66
594/31 6	11-jul-05	2.5	10	L 9.647	L 9.632	11	9	0.86	0.72

Tabla 6. Valores de ortorectificación de las imágenes SPOT época 2010.

K/J	Fecha de Toma	Resolución Espacial		Angulo de Incidencia		Puntos de Control Terrestre		Error Medio Cuadrático	
		Pancromática	Multiespectral	Pancromática	Multiespectral	Pancromática	Multiespectral	Pancromática	Multiespectral
591/31 4	25-dic-09	2.5	10	R 17.683	R 17.677	26	6	1.07	0.56
591/31 5	25-dic-09	2.5	10	R 17.684	R 17.678	46	9	0.88	0.85
591/31 6	25-dic-09	2.5	10	R 17.685	R 17.678	42	9	1.08	0.89
592/31 4	20-ene-10	2.5	10	R 13.530	R 13.519	20	8	1.01	0.89
592/31 5	20-ene-10	2.5	10	R 13.530	R 13.520	20	16	0.94	0.52
592/31 6	20-ene-10	2.5	10	R 13.530	R 13.520	21	11	0.91	0.87
592/31 7	26-dic-08	2.5	10	R 14.178	R 14.168	15	8	0.92	0.4
593/31 4	09-dic-09	2.5	10	L 5.909	L 5.880	27	9	1.07	0.8
593/31 5	18-abr-10	2.5	10	L 5.944	L 5.920	19	9	0.98	0.79
593/31 6	18-abr-10	2.5	10	L 5.943	L 5.920	16	7	0.92	0.64
593/31 7	21-dic-08	2.5	10	R 17.613	R 17.606	28	13	1.39	0.88
594/31 6	15-feb-10	2.5	10	R 5.449	R 5.426	18	11	0.87	0.53

Como una alternativa para las imágenes 2005, se utilizó un método de georeferencia en sustitución a la ortorectificación, para lo cual se procedió a realizar el realce espacial (Merge) antes de la corrección geométrica.

El método utilizado fue el Rubber Sheeting estableciendo puntos de control terrestre para cada imagen. Este método permite ir viendo las deformaciones que sufren los datos para ajustarse a la cartografía de referencia según se van asignando los Puntos de Control Terrestre, y por tanto se puede seguir un proceso de prueba y error para realizar el ajuste. Este método suele utilizarse sobre productos del sensor SPOT, debido a la alta resolución espacial que presentan con gran detalle en los elementos geográficos, por lo cual dicho método ajusta de mejor forma a los puntos de control terrestre aun con relieves pronunciados dentro de la escena.

La calidad del ajuste (aunque el error medio cuadrático este cercano a cero) no garantiza que la imagen se adapte igualmente bien en su totalidad al nuevo espacio de proyección. La calidad del ajuste mide exclusivamente la capacidad de las ecuaciones de transformación para calcular las coordenadas de los puntos de apoyo en el espacio de proyección a partir de las del espacio imagen, es decir sólo está garantizada en los propios puntos de apoyo, no en el resto de las localizaciones lo que da como resultado que haya desfaseamiento en algunas partes de la imagen. Mientras que la calidad de la corrección geométrica mide la exactitud posicional del producto^{103, 104}.

El número de puntos de control, así como el error medio cuadrático (RMS) se presentan en la Tabla 7. Uno de los inconvenientes de las correcciones geométricas realizadas mediante estos métodos es que no tiene en cuenta los desniveles del terreno, y por tanto las imágenes resultantes conservan unas "deformaciones" debidas a estos desniveles. Estas deformaciones suelen ser poco importantes (de unos 2 ó 3 píxeles en los casos más habituales con un relieve plano) en el caso de satélites, como el Landsat, que tienen siempre una dirección de toma de vista vertical, pero pueden ser muy grandes en satélites, como el SPOT, que tienen la posibilidad de "inclinarse" la dirección de toma hasta unos 27°.

Tabla 7. Valores de imágenes SPOT 2005 con realce espacial para corrección geométrica.

Sensor	K/J	Fecha de Toma	Modo	Resolución Espacial (metros)	Ángulo de Incidencia	Puntos de Control Terrestre
SPOT 5	591/314	05-jun-05	Merge	2.5	R 16.924	88
SPOT 5	591/315	05-jun-05	Merge	2.5	R 16.925	91
SPOT 5	591/316	05-jun-05	Merge	2.5	R 16.925	95
SPOT 5	592/314	21-ene-05	Multispectral	20	L 14.537	24
SPOT 5	592/315	09-jun-05	Merge	2.5	L 30.702	122
SPOT 5	592/316	09-jun-05	Merge	2.5	L 30.704	119
SPOT 5	592/317	09-jun-05	Merge	2.5	L 30.701	127

¹⁰³ERDAS, 2010. Field Guide. ERDAS, Inc.

¹⁰⁴ Cuartero, A., Felicísimo, A. M. (2003): "Rectificación y ortorectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión", GeoFocus (Artículos), n° 3, 2003, p. 45-57. ISSN: 1578-5157

SPOT 5	593/314	03-nov-05	Merge	2.5	R 16.813	93
SPOT 5	593/315	03-nov-05	Merge	2.5	R 16.813	96
SPOT 5	593/316	07-ago-05	Multiespectral	10	R 18.482	59
SPOT 5	593/317	28-mzo-06	Merge	2.5	L 5.955	46
SPOT 5	594/316	11-jul-05	Merge	2.5	L 9.647	53

5.2.1.2. Ángulo de incidencia.

En tanto que los ángulos de incidencia para la época 2005 se encuentran entre L5.929 a L30.697 para las imágenes multiespectral y L5.955 a L30.704 para las pancromáticas. Y el ángulo de incidencia para la época 2010 se encuentra entre L5.426 a R17.678 para las imágenes multiespectral y L5.943 a R17.685 para las pancromáticas.

En el 2002 se puso en órbita el SPOT5 que incluyó dos nuevos instrumentos de alta resolución derivados del instrumento HRVIR del SPOT4 el High Geometrical Resolution (HRG) y el High Resolution Stereoscopic (HRS). El HRG puede efectuar observaciones oblicuas, hasta $\pm 27^\circ$ de la vertical del satélite. La orientación del espejo de entrada de cada instrumento puede telecontrolarse desde las estaciones en Tierra, permitiendo así observar las regiones particulares que no están necesariamente en la vertical del satélite. Sin embargo, esto afecta el proceso de corrección geométrica, ya que, entre mayor sea el ángulo de incidencia este dificulta la ortorectificación de las imágenes, considerando además las características topográficas de la Región Mixteca. Es recomendable poder contar con imágenes cuyo ángulo de incidencia sea lo más cercano al cero.

En las figuras 7 y 8 se puede observar las variaciones que se presentan en cuanto a los ángulos de incidencia lo cual tiene un efecto al momento de realizar la interpretación de las imágenes debido al ángulo de visión en una fecha visto desde el lado izquierdo y en el siguiente visto desde el lado derecho.

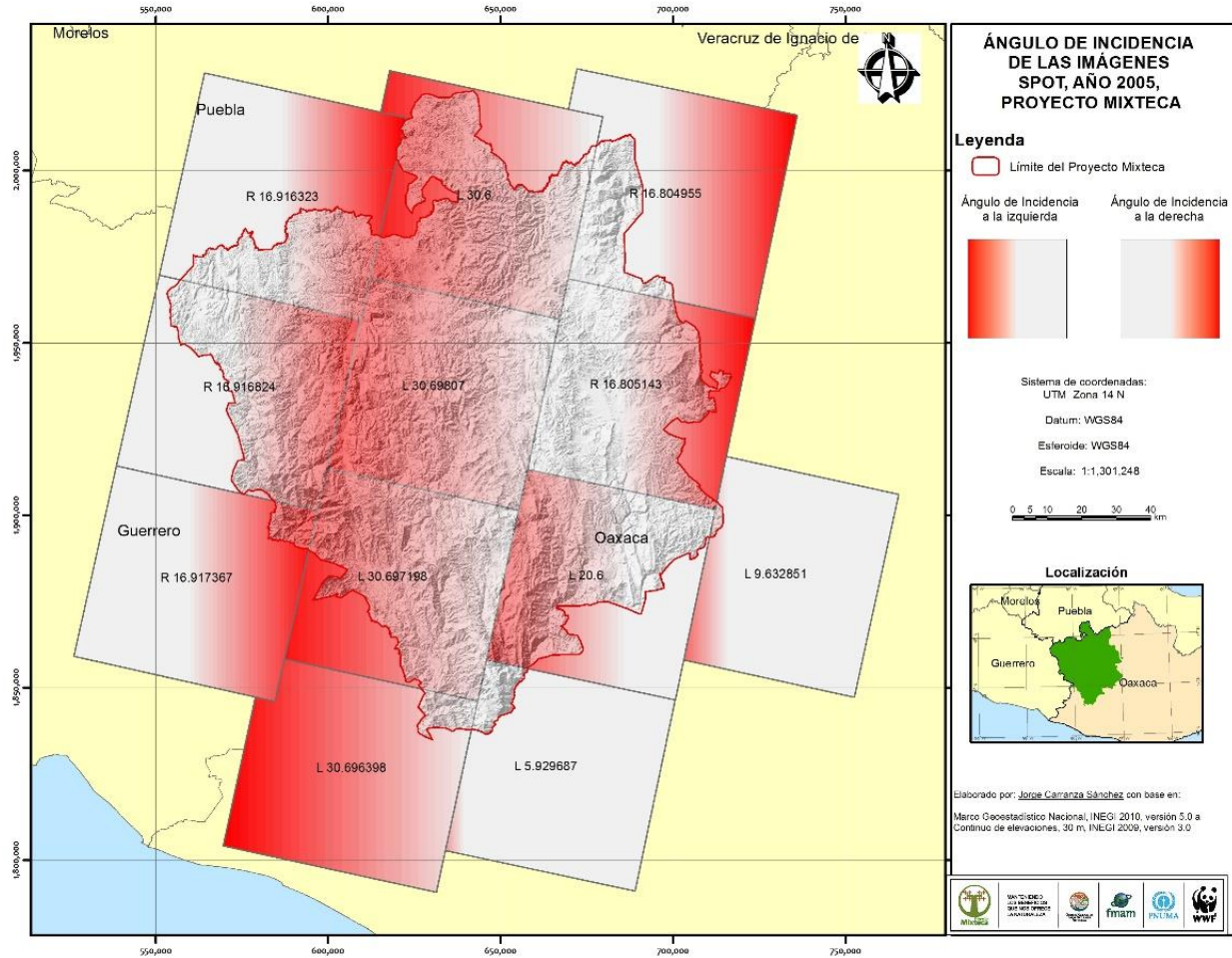


Figura 7. Ángulo de incidencia de las imágenes SPOT 2005.

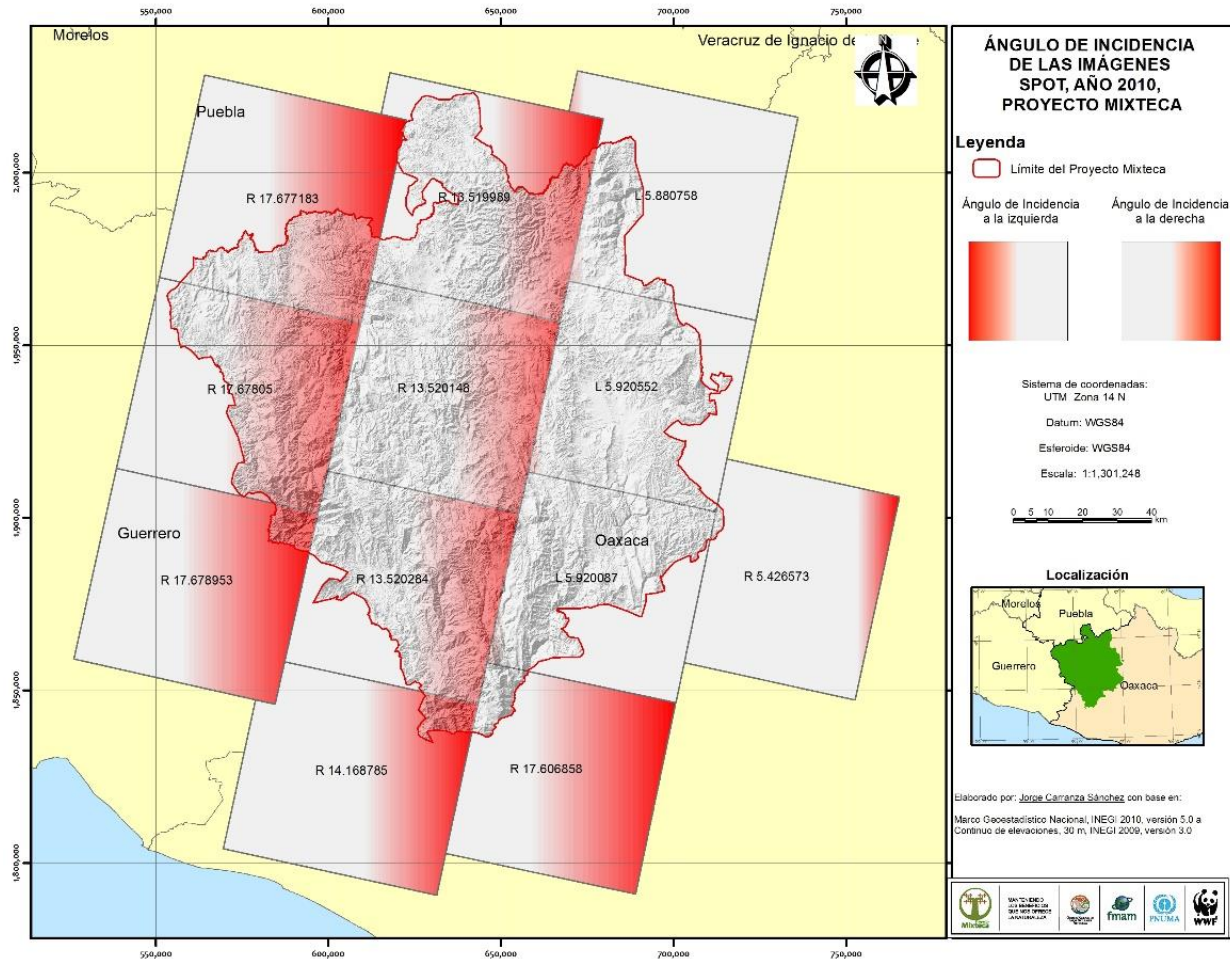


Figura 8. Ángulo de incidencia de las imágenes SPOT 2010.

5.2.1.3. Fecha de toma.

En tanto que las fechas de toma, lo más conveniente es que correspondan a la época de secas, que para la zona corresponde a los meses de diciembre a mayo, además de que permiten contar con una buena cobertura ya que son los meses donde se presenta el menor porcentaje de nubes. Sin embargo las imágenes recibidas para la época 2005 (Figura 9) corresponde al mes de enero, marzo, junio, julio, agosto y noviembre, prácticamente durante todo el año, lo que ocasiona que correspondan tanto a la época de secas como a la época de lluvias (Tabla 3 y 5), lo cual dificulta la detección de cambios por la abundancia de vegetación debido a la influencia por las lluvias. Mientras que para la época 2010 (Figura 10) corresponde prácticamente a la época de secas (diciembre, enero, febrero, abril).

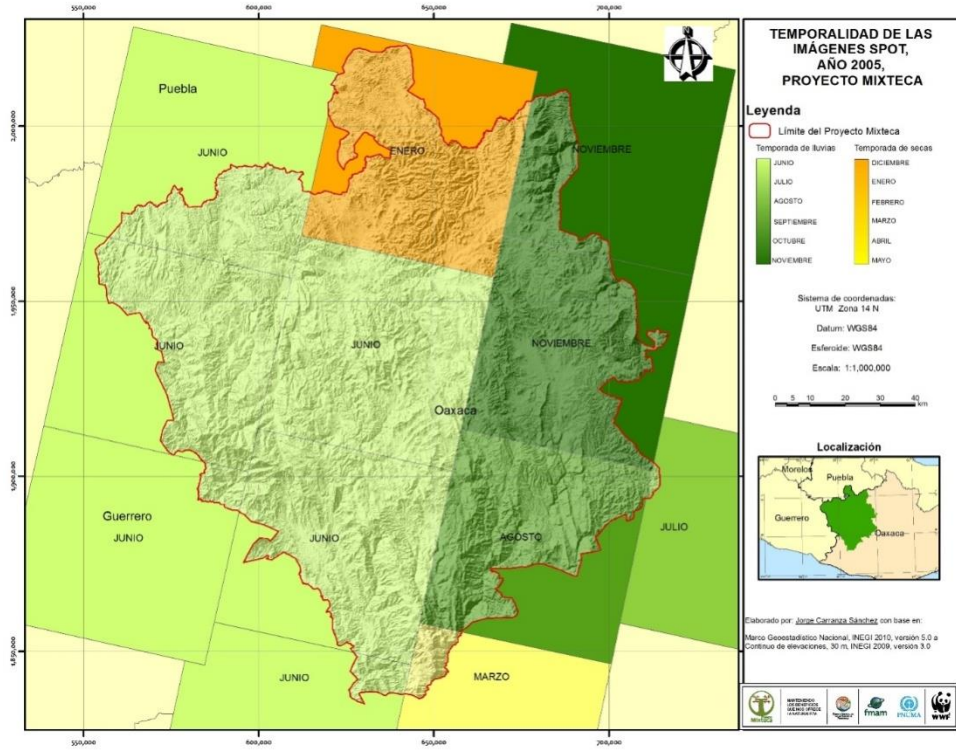


Figura 9. Fecha de toma de las imágenes SPOT 2005.

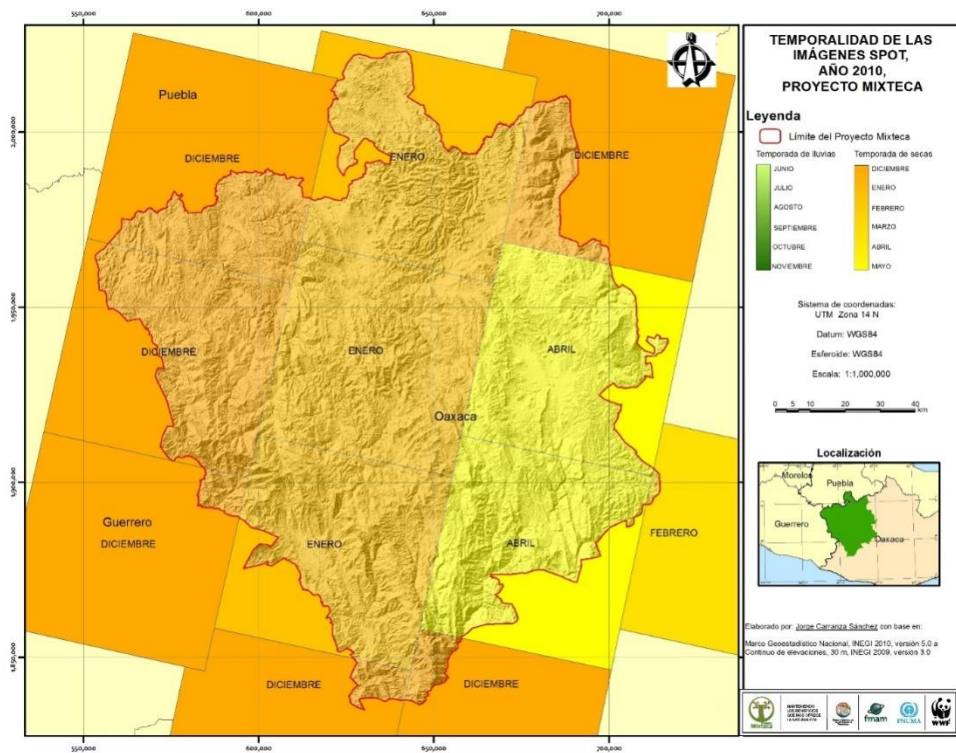


Figura 10. Fecha de toma de las imágenes SPOT 2010.

5.2.2. Fusión de imágenes.

Después de realizar la corrección atmosférica se aplicó el realce espacial con la finalidad de contar con imágenes a color con una resolución de 2.5 m, como se muestra en las Figuras 11 y 12.

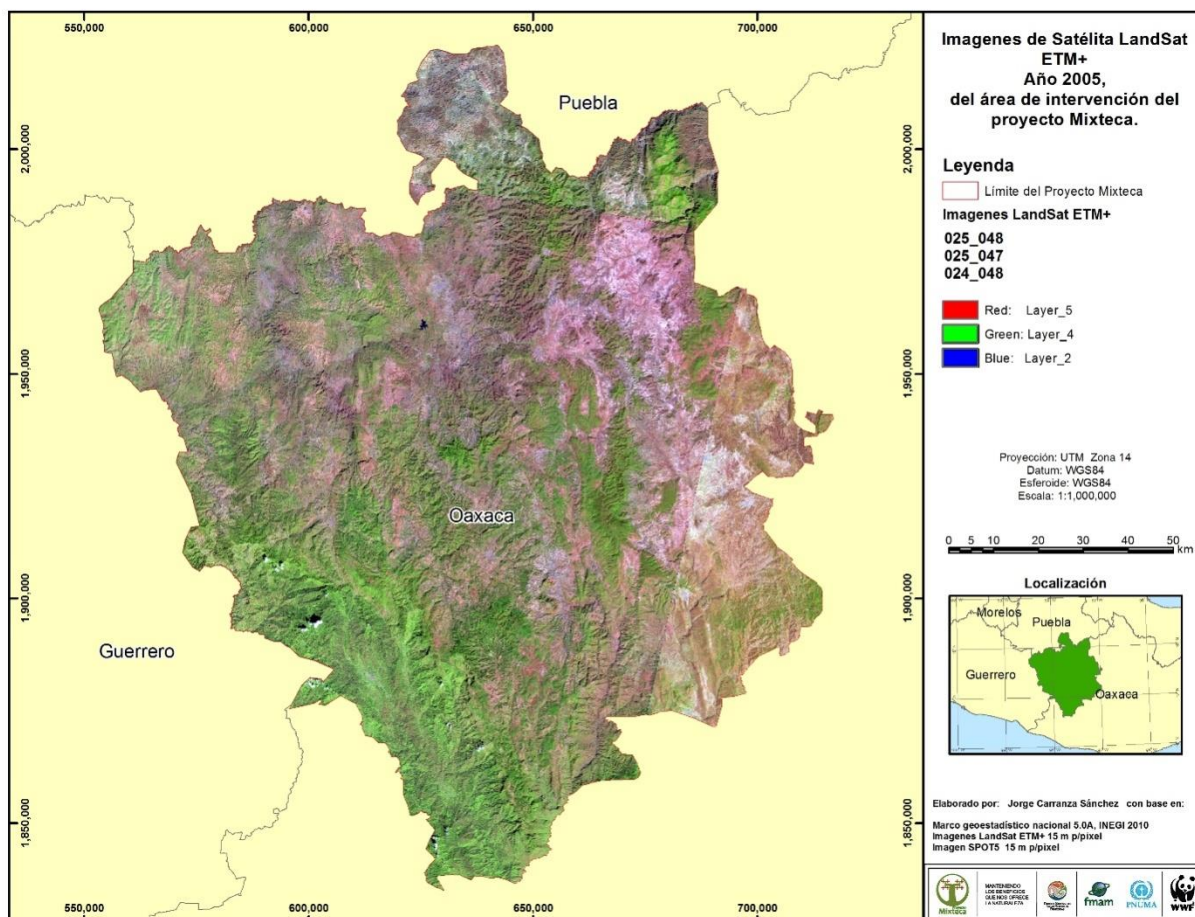


Figura 11. Imágenes SPOT 5 del año 2005.

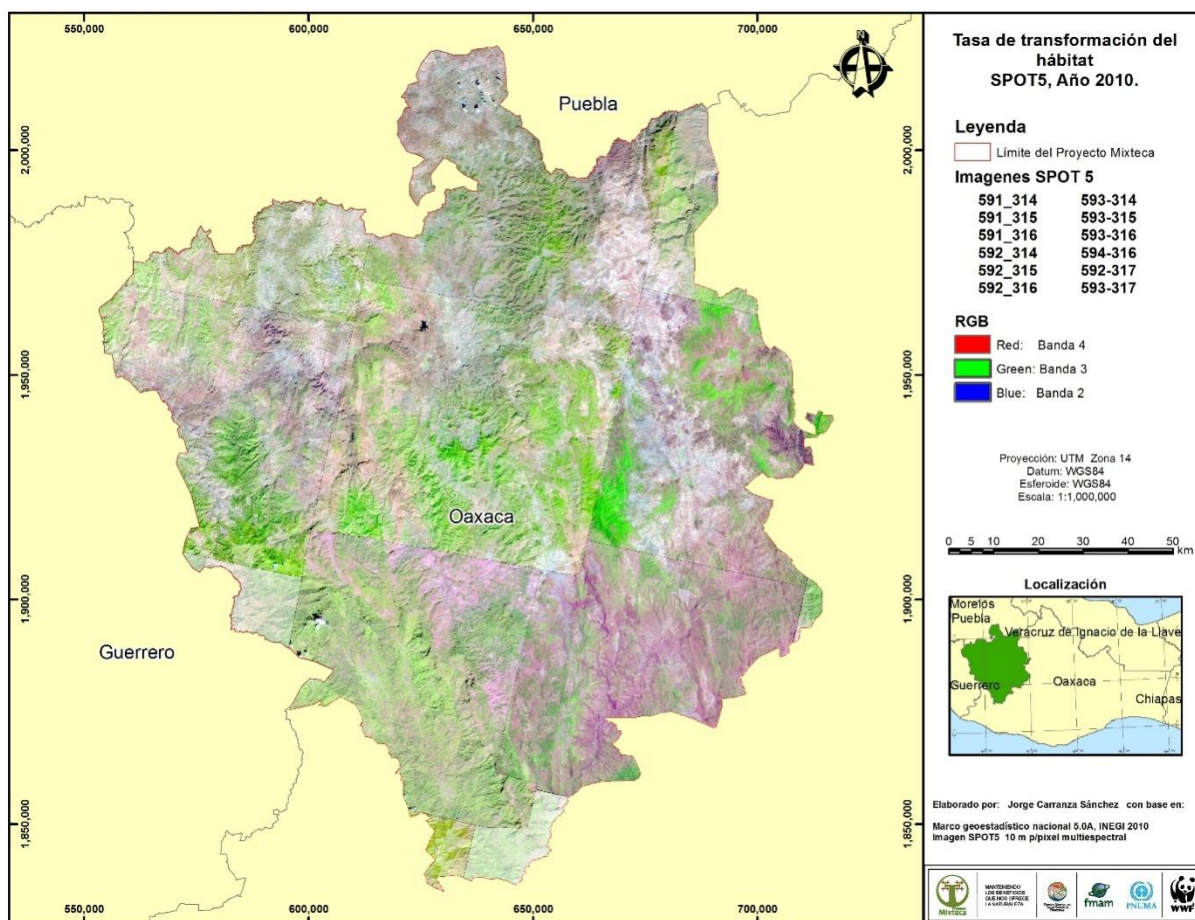


Figura 12. Imágenes SPOT 5 del año 2010.

5.3. Clasificación.

Como resultado de la clasificación de las imágenes de satélite SPOT y Landsat, se presenta en la siguiente Tabla 8. En ésta se muestran las superficies por tipo de vegetación y uso del suelo, agrupado en dos clases, la primera la cubierta forestal que incluye los tipos de vegetación y la segunda la cubierta no forestal en donde se incluyen aquellas áreas identificadas como de uso humano y que corresponde a: áreas agrícolas, áreas impactadas por incendios o quemas agrícolas, asentamientos humanos, así como las áreas de pastizales.

De manera general se puede apreciar que el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca ocupa una superficie de 1'714,097 hectáreas, de las cuales el 69% corresponde a cubierta forestal y el 31% a la cubierta no forestal, mientras que los cuerpos de agua representa aproximadamente el 0.22% de la superficie total.

Tabla 8. Uso de suelo y vegetación en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

Superficie en hectáreas										
Uso del suelo y vegetación	1979	%	1989	%	1999	%	2005	%	2010	%
Cubierta Forestal										
Área sin Vegetación Aparente	8,001	0.47	7,999	0.47	8,005	0.47	8,030	0.47	8,030	0.47
Bosque Mesófilo de Montaña con v/s	9,460	0.55	9,456	0.55	9,450	0.55	9,444	0.55	9,444	0.55
Bosque de Encino	18,049	1.05	17,730	1.03	17,730	1.03	17,726	1.03	17,726	1.03
Bosque de Encino v/s	326,079	19.02	326,100	19.02	323,239	18.86	322,844	18.83	323,153	18.85
Bosque de Pino	95,590	5.58	95,365	5.56	95,019	5.54	95,042	5.54	95,028	5.54
Bosque de Pino v/s	52,793	3.08	52,718	3.08	52,585	3.07	52,802	3.08	52,802	3.08
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	120,225	7.01	119,807	6.99	119,669	6.98	119,879	6.99	119,857	6.99
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	168,463	9.83	168,095	9.81	167,751	9.79	167,582	9.78	167,615	9.78
Bosque de Tascáte	5,159	0.30	5,159	0.30	5,064	0.30	5,064	0.30	5,064	0.30
Bosque de Tascáte con v/s	22,206	1.30	22,116	1.29	22,109	1.29	22,108	1.29	22,108	1.29
Chaparral	11,657	0.68	11,657	0.68	11,657	0.68	11,657	0.68	11,657	0.68
Matorral Crasicáule	1,304	0.08	1,304	0.08	1,304	0.08	1,304	0.08	1,304	0.08
Matorral Crasicáule con v/s	2,294	0.13	2,294	0.13	2,294	0.13	2,294	0.13	2,294	0.13
Matorral Xerófilo	84,810	4.95	84,494	4.93	84,183	4.91	84,134	4.91	84,134	4.91
Palmar	6,783	0.40	6,783	0.40	6,758	0.39	6,758	0.39	6,772	0.40
Plantación Forestal		0.00	112	0.01	200	0.01	211	0.01	211	0.01
Selva Baja Caducifolia	119,825	6.99	119,817	6.99	119,570	6.98	119,562	6.98	119,562	6.98
Selva Baja Caducifolia con v/s	129,584	7.56	129,476	7.55	129,374	7.55	129,350	7.55	129,381	7.55
Selva Mediana Subcaducifolia v/s	1,573	0.09	1,573	0.09	1,567	0.09	1,556	0.09	1,554	0.09
Subtotal	1,183,856	69	1,182,055	69	1,177,527	69	1,177,346	69	1,177,695	69
Cubierta No Forestal										
Área Agrícola	151,915	8.86	152,322	8.89	150,686	8.79	151,274	8.83	151,326	8.83
Área Impactada por Incendio	1,292	0.08	1,073	0.06	1,586	0.09	574	0.03	143	0.01
Asentamientos Humanos	15,307	0.89	15,720	0.92	17,812	1.04	17,839	1.04	17,840	1.04
Pastizales	357,729	20.87	358,941	20.94	362,556	21.15	363,229	21.19	363,259	21.19
Subtotal	526,243	31	528,056	31	532,640	31	532,916	31	532,568	31
Cuerpos de Agua	3,998	0.23	3,987	0.23	3,929	0.23	3,834	0.22	3,834	0.22
Subtotal	3,998	0.23	3,987	0.23	3,929	0.23	3,834	0.22	3,834	0.22
Total	1,714,097	100	1,714,097	100	1,714,097	100	1,714,097	100	1,714,097	100

La cubierta forestal está representada en 19 clases, con base en los datos obtenidos en las imágenes de 2010 la superficie se distribuye de la siguiente forma: el bosque de encino primario y con vegetación secundaria representa la mayor proporción con aproximadamente

el 19.88% de la superficie total, el siguiente tipo de vegetación está representado por el pino-encino primario y con vegetación secundaria con el 16.77% de la superficie total. Mientras que la selva baja caducifolia cuenta con una superficie de aproximadamente el 14.53%.

En tanto que en los usos del suelo predominan la áreas de pastizales ya que cuentan con una superficie de 363,259 hectáreas que representa el 21.19%, mientras que las áreas agrícolas ocupan una superficie de 151,326 hectáreas que representa el 8.83%, mientras que los polígonos marcados como asentamientos humanos suman una superficie de 17,840 hectáreas, que representa el 1.04% de la superficie total.

La distribución de la vegetación del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca es un mosaico complejo, debido a combinación de diferentes factores entre los que se encuentran la precipitación, la topografía, el tipo de suelo. De manera general se puede mencionar que en la porción Norte del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca se distribuyen las zonas de matorrales, así como la selva baja caducifolia, combinadas con los bosques de encino. Mientras que la porción Sur se distribuyen los bosques de pino, pino-encino, así como, los bosques mesófilos de montaña (Figuras 13 al 17).

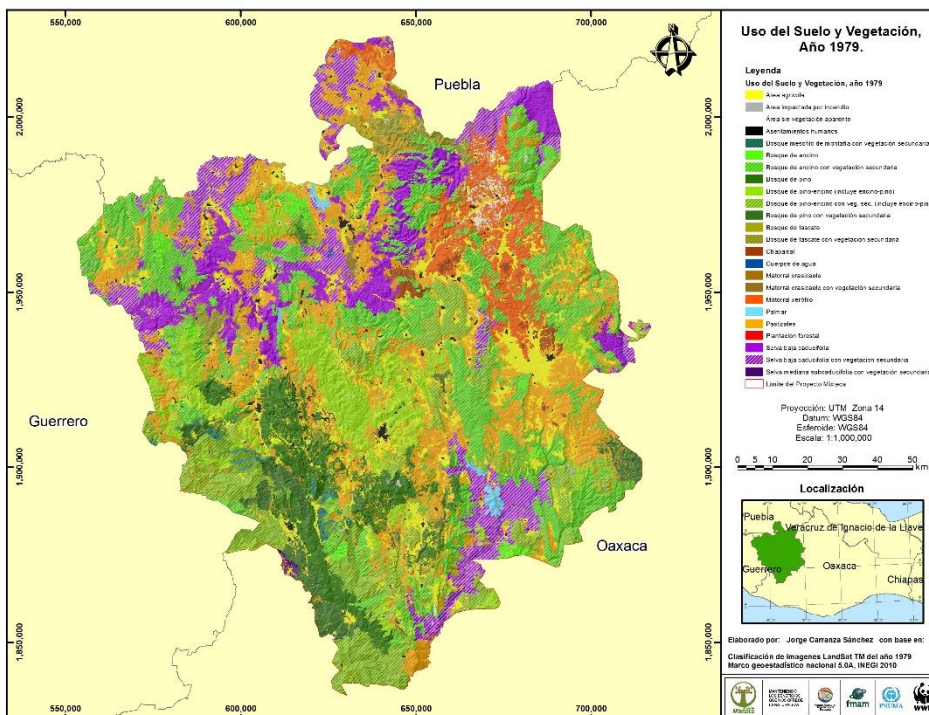


Figura 13. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 1979.

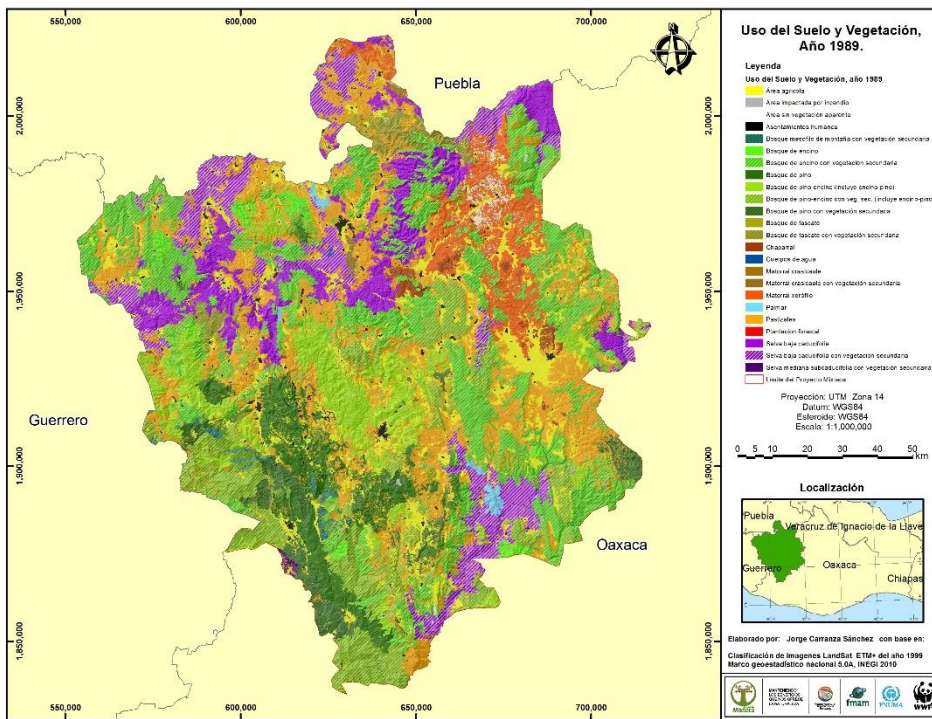


Figura 14. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 1989.

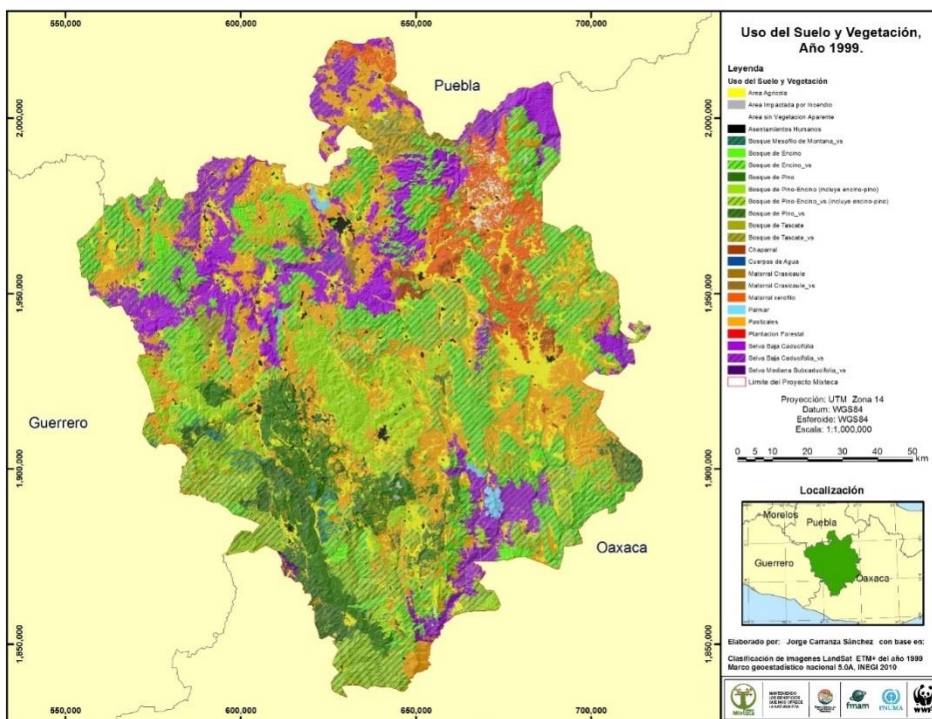


Figura 15. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 2000.

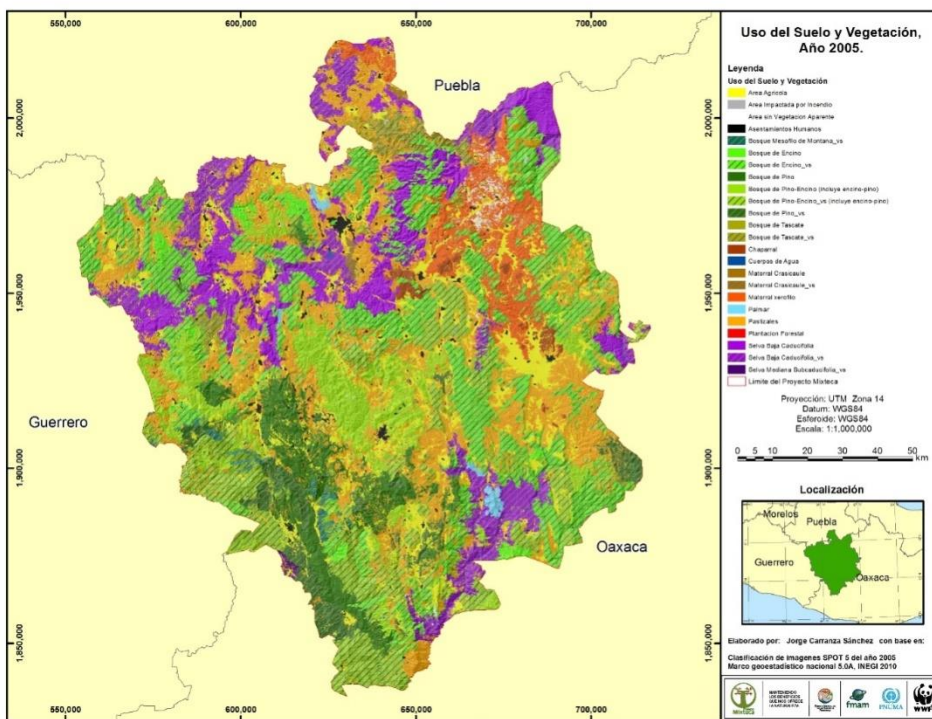


Figura 16. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 2005.

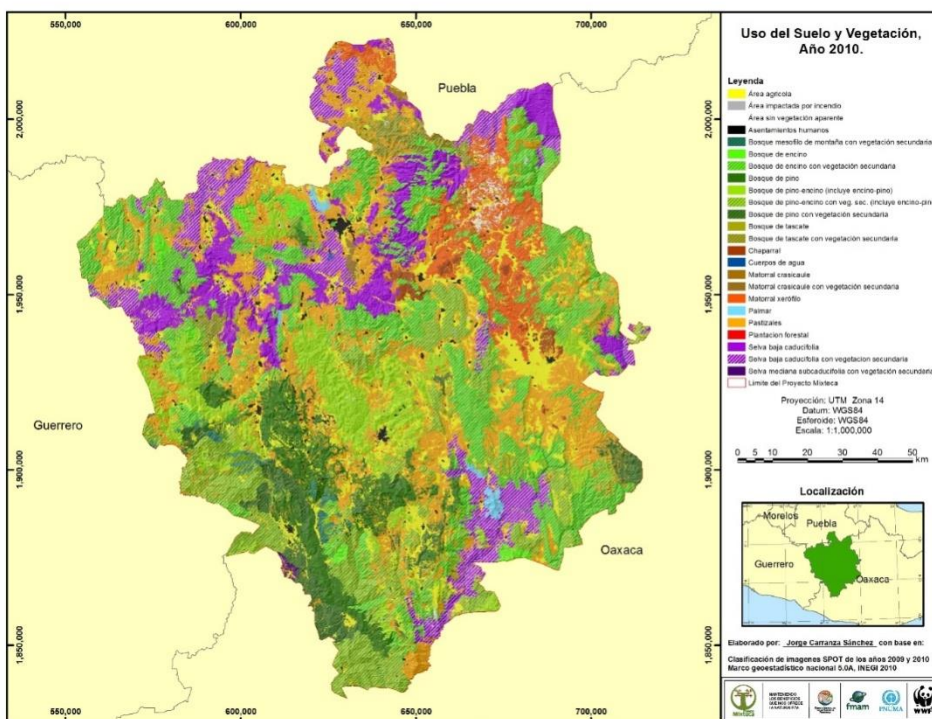


Figura 17. Clasificación de uso del suelo y vegetación año 2010.

5.4. Validación.

5.4.1. Inventario Forestal Nacional.

Se utilizaron un total de 1,708 puntos de verificación obtenidos de diferentes fuentes, 302 corresponden a los datos obtenidos por la (CONAFOR) (Figura 18) estos se encuentran distribuidos en toda el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, con un intervalo entre puntos de 5x5 Km, aunque existen áreas sin puntos de verificación, posible debido a que corresponden a zonas de intervención humana.

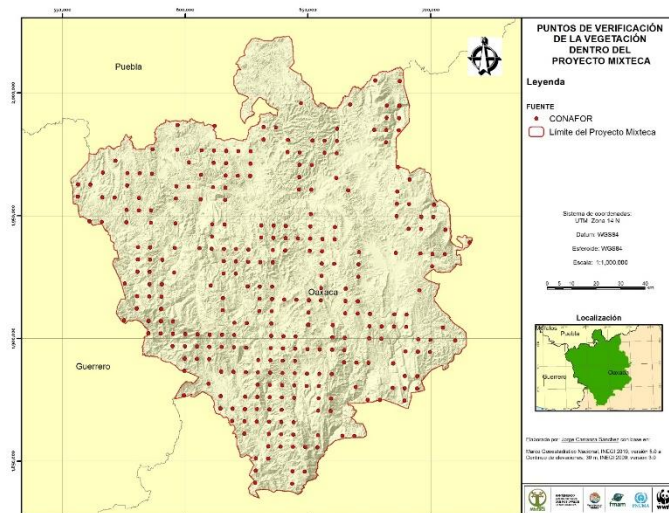


Figura 18. Puntos del Inventario Forestal Nacional y de Suelos (CONAFOR).

5.4.2. Ríos 2012.

Del trabajo realizado por Ríos (2012)¹⁰⁵ obtuvo un total de 161 puntos de verificación (Figura 19), los recorridos se realizaron principalmente con lo que corresponde a la Subcuenca del Río Mixteco, por lo anterior no abarca toda el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

¹⁰⁵ *Idem* 50.

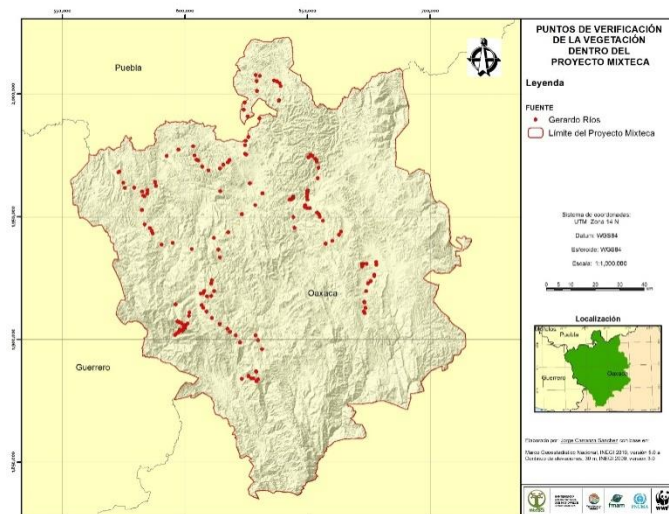


Figura 19. Levantamiento de campo Ríos (2012).

5.4.3. Ordenamiento Ecológico Oaxaca.

Datos obtenidos por el CIDIIR, se contó con una base de datos de 17 puntos que se ubican en la porción Este del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca (Figura 20).

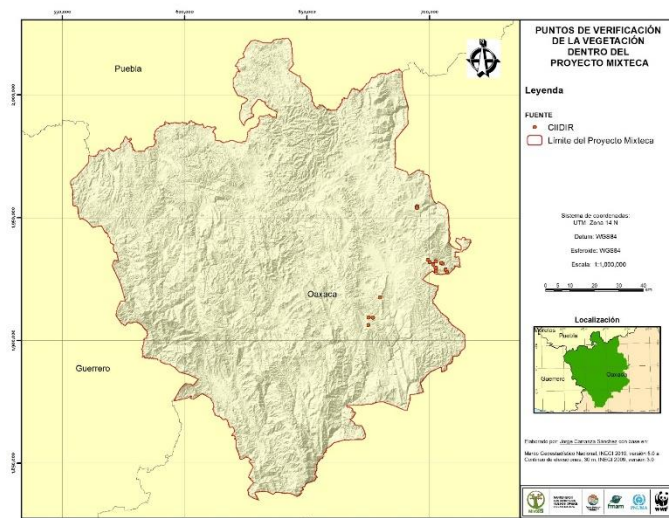


Figura 20. Puntos de verificación CIDIIR.

5.4.4. Proyecto GEF-Mixteca.

El Proyecto GEF-Mixteca ha elaborado una base de datos de especies, a través de una recopilación de diferentes proyectos y fuentes de información, en donde se encuentra información de colecta a través del tiempo, muchos de estos registros cuentan con datos de georeferencia, así como el tipo de vegetación al que pertenecen, de ahí que fueron seleccionados aquellos registros que cuentan con estos datos y que pudieran ser utilizados para la verificación de la clasificación de las imágenes de satélite. De esta base se obtuvieron un total de 1,179 registros cuya fuente de información corresponde a BGFLORA (11), OM93

(31), ON13 (883) y TRANSECTOS (254) (Figura 21).

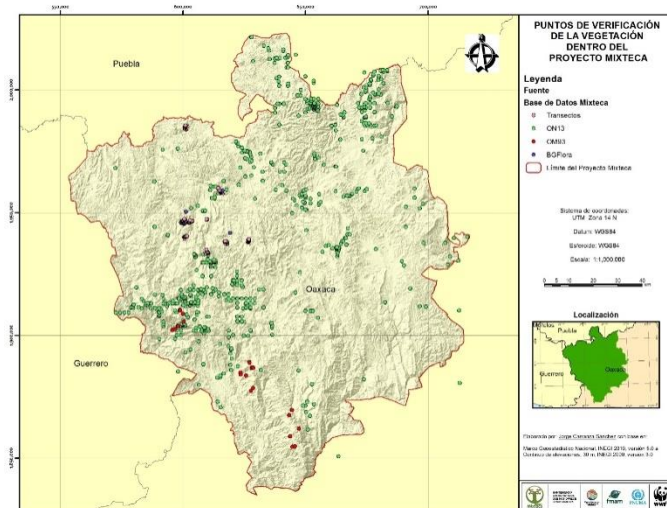


Figura 21. Puntos Base de datos Proyecto GEF-Mixteca.

5.4.5. Recorrido consultoría.

Debido a la cantidad de puntos que se cuentan, el recorrido de campo como parte de este trabajo se realizó con la intención de verificar aquellos sitios en donde se presentaban en la clasificación de las imágenes de satélite. En el recorrido se logró abarcar la mayor proporción del área. Para lo cual se identificaban los sitios en un mapa impreso y con el apoyo de un GPS (Sistema de posicionamiento global por sus siglas en inglés). Fueron registrados un total de 40 puntos, en donde se registró la ubicación geográfica y se tomó una fotografía con la vegetación característica del lugar. (Figura 22).

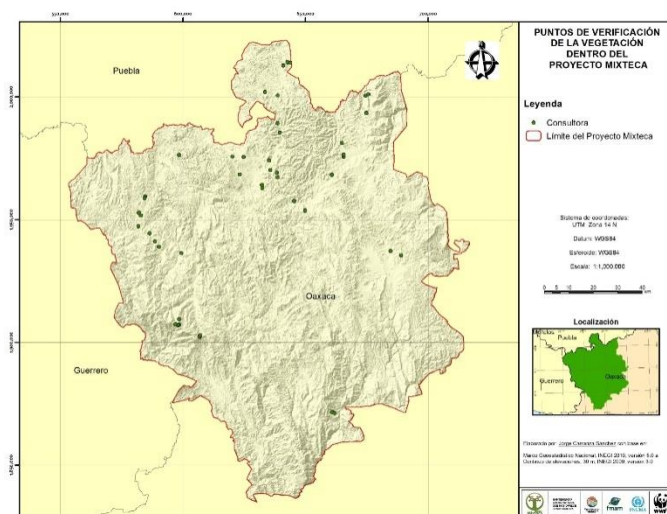


Figura 22. Puntos de verificación consultoría.

5.4.6. Matriz de confusión.

En un sentido estricto ninguna clasificación puede considerarse completa hasta que su grado de exactitud sea evaluado. Este puede definirse como el grado de concordancia entre las clases asignadas por el clasificador y sus ubicaciones correctas según datos de campo colectados y considerados como datos de referencia. Aunque no hay que olvidar que este procedimiento constituye sólo una evaluación de la calidad de selección de las áreas de entrenamiento.

Para obtener los datos de verificación se utilizaron los puntos de CONAFOR, debido a que presentan una distribución uniforme en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca. En total se cuenta con 302 puntos (Tabla 9).

Tabla 9. Matriz de confusión con base en los puntos CONAFOR.

Etiquetas de fila	Área Agrícola	Asentamientos Humanos	Bosque de Encino	Bosque de Encino_vs	Bosque de Pino	Bosque de Pino_vs	Bosque de Pino-Encino	Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	Bosque de Tascate	Bosque de Tascate_vs	Bosque Mesófilo de Montaña	Bosque Mesófilo de Montaña vs	Montaña_vs	Chaparral	Palmar	Palmar_vs	Plantación Forestal	Pastizales	Selva Baja Caducifolia	Selva Baja Caducifolia_vs	Selva Mediana Subcaducifolia_vs	Total general
Área Agrícola																							
Asentamientos Humanos																							
Bosque de Encino	1	8	6		1	4													4				24
Bosque de Encino vs	2	2	77	3	1	1	2												11	1			100
Bosque de Pino				12																	1		12
Bosque de Pino vs	1	1	2	15	1	1													4				25
Bosque de Pino-Encino (incluye	2	1	2	1	1	26	1												1				35
Bosque de Pino-Encino vs				6		6	37												3				52
Bosque de Tascate									1														1
Bosque de Tascate vs										1													1
Bosque Mesófilo de Montaña	1			1																			2
Bosque Mesófilo de Montaña vs	1			1			2					1							1				6
Chaparral													1		1								1
Palmar		1														4							5
Palmar vs																2							2
Plantación Forestal								1															1
Pastizales																					4		1
Selva Baja Caducifolia																				4	17		21
Selva Baja Caducifolia vs																				2	11		13
Selva Mediana Subcaducifolia vs																						1	1
Total general	8	1	12	85	26	18	38	44	1	1	1	1	1	6				28	20	11	1	302	

Con base en los 302 puntos de verificación se obtiene un valor de exactitud de **0.7**. Sin embargo se verificó con la imagen de satélite que 8 se encuentran en áreas agrícolas, uno se encuentra en área de asentamientos humanos y 28 en zona de pastizales. Al descartar los 37 puntos que se encuentra en áreas agrícolas, asentamientos humanos y pastizales se obtiene un valor de exactitud de **0.8**. Los datos de exactitud obtenidos se encuentran en una calidad “buena”.

5.6. Análisis de la Tasa de Transformación del Hábitat

Haciendo uso de la matriz de tipo de transición, se obtienen los datos de tipo de cambio, se genera la matriz de dinámica de cambio y finalmente se construyen los mapas de tipo de cambio y cambio acumulado.

5.6.1. Matrices de transición.

A continuación se presentan la matriz de transición para el periodo 1979-1989 (Tabla 10). En la matriz la diagonal marcada en tono gris corresponde a la superficie por tipo de uso del suelo y vegetación que se mantiene sin cambios, también se indican las superficies de transición en el periodo, el tono amarillo corresponde a aquellas superficies que sufrieron una perturbación (de vegetación primaria a vegetación secundaria), el tono naranja para las áreas que tuvieron una deforestación (de vegetación primaria y secundaria a usos del suelo), mientras que la zona en tono verde claro para aquellas áreas que presentan una revegetación (de usos del suelo a vegetación secundaria) y el tono verde oscuro para aquellas áreas que cuentan con una recuperación (de vegetación secundaria a primaria). Finalmente aquellas áreas que presentan una rotación están indicadas en la matriz con el tono azul claro y cambios en el nivel de agua con el tono azul fuerte.

Tabla 10. Matriz de transición periodo 1979-1989.

Matriz de Transición	LANDSAT 1989																			Total 1979							
	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	Bosque de Tascáte	Chaparral	Matorral Crasicáule	Matorral Xerófilo	Palmar	Selva Baja Caducifolia	Plantación Forestal	Bosque Mesófilo de Montaña v/s	Bosque de Encino v/s	Bosque de Pino v/s	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	Bosque de Tascáte v/s	Matorral Crasicáule v/s	Selva Baja Caducifolia v/s	Selva Mediana Subcaducifolia con v/s		Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua		
Área sin Vegetación Aparente	7,999									2															8,001		
Bosque de Encino		17,730										319														18,049	
Bosque de Pino			95,365																	57		3	165			95,590	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)				119,807																50	41		327			120,225	
Bosque de Tascáte					5,159																					5,159	
Chaparral						11,657																				11,657	
Matorral Crasicáule							1,304																			1,304	
Matorral Xerófilo								84,494																184		84,810	
Palmar									6,783															0		6,783	
Selva Baja Caducifolia										119,817																119,825	
Plantación Forestal																											
Bosque Mesófilo de Montaña v/s												9,456											2	2		9,460	
Bosque de Encino v/s													325,490												545	326,079	
Bosque de Pino v/s														52,715											56	52,793	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s															168,095										190	168,463	
Bosque de Tascáte v/s																22,116									90	22,206	
Matorral Crasicáule v/s																	2,294									2,294	
Selva Baja Caducifolia v/s																		129,476							106	129,584	
Selva Mediana Subcaducifolia v/s																			1,573							1,573	
Área Agrícola														2							151,849		32	32		151,915	
Área Impactada por Incendio													290									1,002				1,292	
Asentamientos Humanos																							15,307			15,307	
Pastizales																								357,243	1	357,729	
Cuerpos de Agua																								104	13	368	357,243
TOTAL 1989	7,999	17,730	95,365	119,807	5,159	11,657	1,304	84,494	6,783	119,817	112	9,456	326,100	52,718	168,095	22,116	2,294	129,476	1,573	152,322	1,073	15,720	358,941	3,987	1,714,097		

Tabla 11. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 1979-1989.

	Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua
Área sin Vegetación Aparente					
Bosque de Encino					
Bosque de Pino	-57		-3	-165	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	-50	-41		-327	
Bosque de Tascáte					
Chaparral					
Matorral Crasicáule					
Matorral Xerófilo	-23			-184	
Palmar					
Selva Baja Caducifolia	-8				
Plantación Forestal					
Bosque Mesófilo de Montaña v/s			-2	-2	
Bosque de Encino v/s	-43	290		-545	
Bosque de Pino v/s	-17		-3	-56	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	-155	-17	-5	-190	
Bosque de Tascáte v/s				-90	
Matorral Crasicáule v/s					
Selva Baja Caducifolia v/s	-2			-106	
Selva Mediana Subcaducifoliacon v/s					
	-355	232	-13	-1666	
Transformación negativa					-2,034
Transformación positiva					232
Transformación en el periodo					-1801

En el periodo 1979-1989 se registró una superficie de 2,034 hectáreas de cambios negativos y 232 hectáreas de cambios positivos obteniendo una superficie total transformada de 1,801 hectáreas debido a las actividades humanas, donde la que causó mayor impacto fueron los pastizales, seguida de las áreas agrícolas. Los bosques de encino con vegetación secundaria fue el tipo de vegetación más afectado por la transformación a pastizales, mientras que el bosque de pino-encino con vegetación secundaria fue el tipo de vegetación más afectado por las actividades agrícolas. Los incendios tuvieron un impacto sobre áreas de bosque de pino-encino con vegetación primaria y secundaria (Tabla 11).

Los números con signo negativo indican una transformación de los tipos de vegetación a usos del suelo, mientras con aquellos números positivos indican una revegetación o recuperación de aquellas áreas de uso del suelo que pasan a diferentes tipos de vegetación, en este periodo se presentaron 290 hectáreas que habían sido afectadas en 1979 por incendios forestales que se encuentran restablecidos para la fecha de 1989. De esta manera el balance real de la afectación por incendios forestales sea positiva de 232 hectáreas.

Tabla 12. Áreas de rotación periodo 1979-1989.

1979-1989	Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua
Área Agrícola			32	32	
Pastizales	104	13	368		1

Cuerpos de Agua	12				
TOTAL	116	13	400	32	1

La rotación se presenta entre áreas transformadas por lo que no genera diferencias en la superficie de transformación, sin embargo están teniendo una dinámica de cambio entre éstas áreas transformadas (Tabla 12). Aquí se puede observar cómo se presenta un cambio entre estas áreas no forestales. Los cambios en el nivel del agua en ocasiones propician el desarrollo de actividades agrícolas o campos de pastoreo.

En la figura 23 se puede apreciar aquellas áreas que presentan algún tipo de transformación, en este caso el tono rojo marca aquellas que fueron deforestadas, mientras que las áreas marcadas con el tono morado corresponden a las áreas que fueron perturbadas. Las áreas de recuperación y revegetación se indican por los tonos verde oscuro y claro. Mientras que las áreas que se presenta una rotación están indicadas por el tono naranja. El tamaño de los parches es pequeño en relación al área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

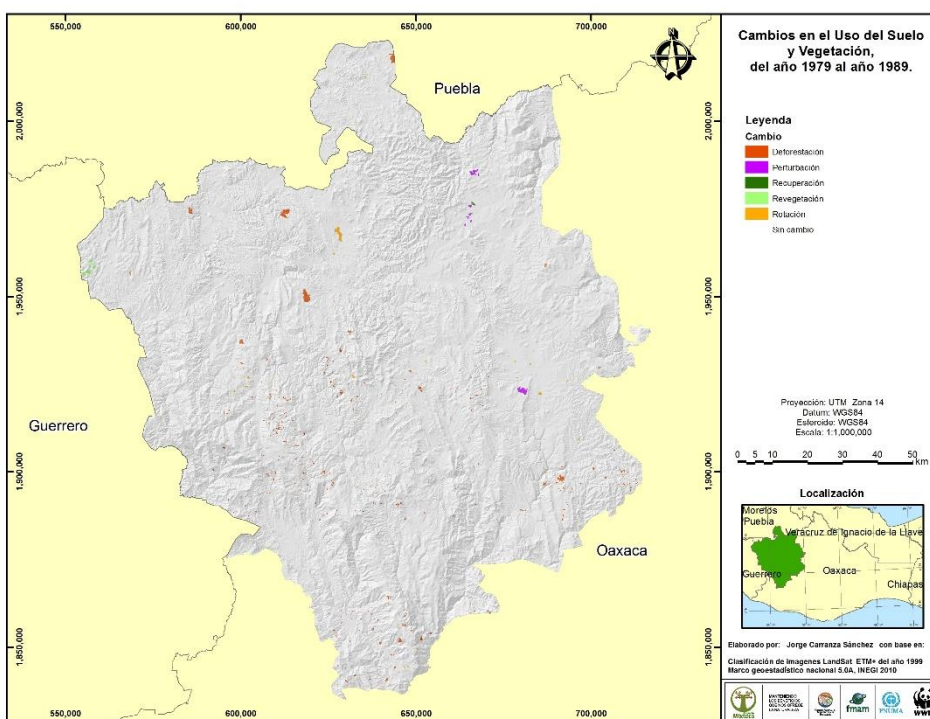


Figura 23. Áreas transformadas en el periodo 1979-1989.

A continuación se presentan la matriz de transición para el periodo 1989-1999 (Tabla 13). En la matriz la diagonal marcada en tono gris corresponde a la superficie por tipo de uso del suelo y vegetación que se mantiene sin cambios, también se indican las superficies de transición en el periodo, el tono amarillo corresponde a aquellas superficies que sufrieron una perturbación (de vegetación primaria a vegetación secundaria), el tono naranja para las áreas que tuvieron una deforestación (de vegetación primaria y secundaria a usos del suelo), mientras que la zona en tono verde claro para aquellas áreas que presentan una revegetación (de usos del suelo a vegetación secundaria) y el tono verde oscuro para aquellas áreas que cuentan con una recuperación (de vegetación secundaria a primaria). Finalmente aquellas áreas que presentan una rotación están indicadas en la matriz con el tono azul claro y cambios en el nivel de agua con el tono azul fuerte.

Tabla 13. Matriz de transición periodo 1989-1999.

Matriz de Transición	LANDSAT 1999																			Total 1989								
	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	Bosque de Tascáte	Chaparral	Matorral Crasicáule	Matorral Xerófilo	Palmar	Selva Baja Caducifolia	Plantación Forestal	Bosque Mesófilo de Montaña v/s	Bosque de Encino v/s	Bosque de Pino v/s	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	Bosque de Tascáte v/s	Matorral Crasicáule v/s	Selva Baja Caducifolia v/s	Selva Mediana Subcaducifoliacon v/s		Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua			
Área sin Vegetación Aparente	7,983										10														6		7,999	
Bosque de Encino		17,730																										17,730
Bosque de Pino			95,019																		12	234	2	98				95,365
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)				119,669																	7	68		63				119,807
Bosque de Tascáte					5,064																11		3	82				5,159
Chaparral						11,657																						11,657
Matorral Crasicáule							1,304																					1,304
Matorral Xerófilo								84,152			78										164		54	46				84,494
Palmar									6,758												7			18				6,783
Selva Baja Caducifolia										119,570																		119,817
Plantación Forestal											112																	112
Bosque Mesófilo de Montaña v/s												9,450									5		1					9,456
Bosque de Encino v/s													323,239								15	113	9	2,723				326,100
Bosque de Pino v/s														52,585							34			93		6		52,718
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s															167,704						55	145	12	156				168,095
Bosque de Tascáte v/s																22,109					2		5					22,116
Matorral Crasicáule v/s																	2,294											2,294
Selva Baja Caducifolia v/s																		129,374										129,476
Selva Mediana Subcaducifolia v/s																			1,567									1,573
Área Agrícola																					149,882		727	1,708	5			152,322
Área Impactada por Incendio					46																31	996						1,073
Asentamientos Humanos																							15,720					15,720
Pastizales																								357,274				358,941
Cuerpos de Agua									31												37	30	1,246					3,918
TOTAL 1999	8,005	17,730	95,019	119,716	5,064	11,657	1,304	84,183	6,758	119,570	200	9,450	323,239	52,585	167,704	22,109	2,294	129,374	1,567	150,686	1,586	17,812	362,556	3,929	3,929	1,714,097		

Tabla 14. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 1989-1999.

	Área Agrícola	Área Impactada por incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua
Área sin Vegetación Aparente			-6		
Bosque de Encino					
Bosque de Pino	-12	-234	-2	-98	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	-7	-68		-63	
Bosque de Tascáte	-11		-3	-82	
Chaparral					
Matorral Crasicáule					
Matorral Xerófilo	-164		-54	-46	31
Palmar	-7			-18	
Selva Baja Caducifolia	-16			-232	
Plantación Forestal					
Bosque Mesófilo de Montaña v/s	-5		-1		
Bosque de Encino v/s	-15	-113	-9	-2723	
Bosque de Pino con Veg. Sec.	-34			-93	-6
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s.	-55	-99	-12	-156	
Bosque de Tascáte v/s	-2		-5		
Matorral Crasicáule v/s					
Selva Baja Caducifolia v/s	-17		-26	-58	
Selva Mediana Subcaducifolia v/s					-5
	-345	-514	-119	-3575	25
Transformación negativa					-4,553
Transformación positiva					25
Transformación en el periodo					-4,527

En el periodo 1989-1999 se registró una superficie de 4,553 hectáreas de cambios negativos y 25 hectáreas de cambios positivos obteniendo una superficie total transformada de 4,527 hectáreas transformadas por las actividades humanas, la actividad que causó mayor impacto fue la de los pastizales, seguida por los incendios. Los bosques de encino con vegetación secundaria fue el tipo de vegetación más afectado por la transformación a pastizales y por la afectación por los incendios o quemas agrícolas (Tabla 14).

Los números con signo negativo indican una transformación de los tipos de vegetación a usos del suelo, mientras con aquellos números positivos indican una revegetación o recuperación de aquellas áreas de uso del suelo que pasan a diferentes tipos de vegetación, en este periodo solo se identificaron 31 hectáreas con transformación positiva, que corresponde a matorral xerófilo a cuerpo de agua, esto puede deberse a la acumulación de agua en algunas represas.

Tabla 15. Áreas de rotación periodo 1989-1999.

1989-1999	Área Agrícola	Área Impactada por incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua
Área Agrícola			727	1,708	5

Área Impactada por Incendio	31				
Pastizales	391	30	1,246		
Cuerpos de Agua	37				
TOTAL	459	30	1,973	1,708	5

La rotación se presenta entre áreas transformadas por lo que no genera diferencias en la superficie de transformación, sin embargo están teniendo una

dinámica de cambio entre éstas áreas transformadas (Tabla 15). Aquí se presenta principalmente un cambio de 1,708 hectáreas destinadas a la agricultura que pasan a ser pastizales, al tiempo que una superficie de 1,246 hectáreas de pastizales que pasa a formar parte del área de asentamientos humanos, entre otros.

En la figura 24 se puede apreciar aquellas áreas que presentan algún tipo de transformación, el tono rojo marca aquellas que fueron deforestadas, mientras que las áreas marcadas con el tono morado corresponden a las áreas que fueron perturbadas. Las áreas de recuperación y revegetación se indican por los tonos verde oscuro y claro. Mientras que las áreas que se presenta una rotación están indicadas por el tono naranja. El tamaño de los parches es pequeño en relación al área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

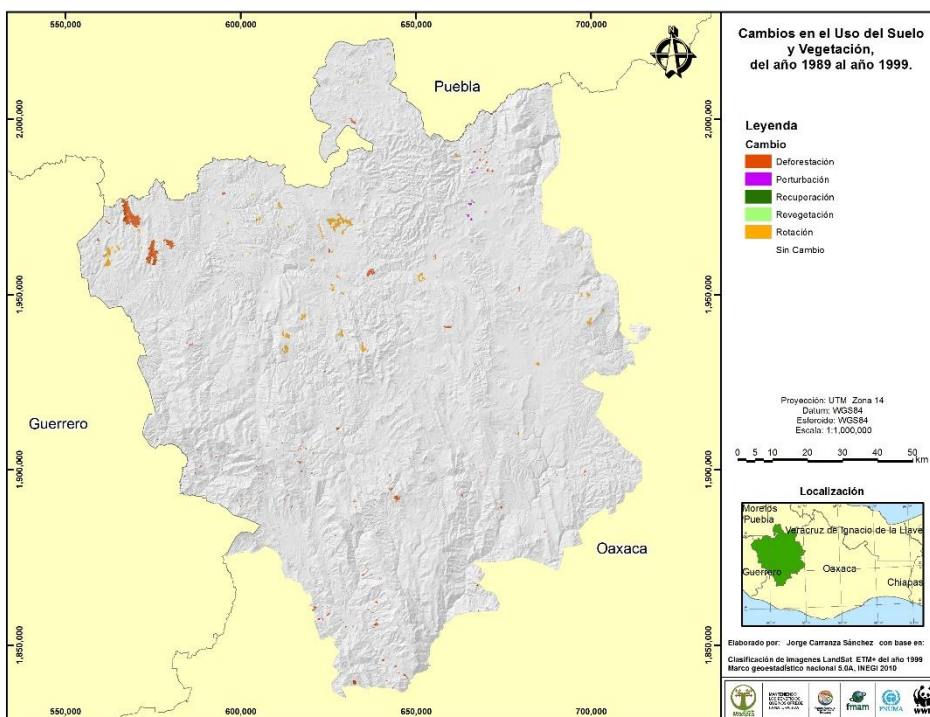


Figura 24. Áreas transformadas en el periodo 1989-1999.

A continuación se presentan la matriz de transición para el periodo 1999-2005 (Tabla 16). En la matriz la diagonal marcada en tono gris corresponde a la superficie por tipo de uso del

suelo y vegetación que se mantiene sin cambios, también se indican las superficies de transición en el periodo, el tono amarillo corresponde a aquellas superficies que sufrieron una perturbación (de vegetación primaria a vegetación secundaria), el tono naranja para las áreas que tuvieron una deforestación (de vegetación primaria y secundaria a usos del suelo), mientras que la zona en tono verde claro para aquellas áreas que presentan una revegetación (de usos del suelo a vegetación secundaria) y el tono verde oscuro para aquellas áreas que cuentan con una recuperación (de vegetación secundaria a primaria). Finalmente aquellas áreas que presentan una rotación están indicadas en la matriz con el tono azul claro y cambios en el nivel de agua con el tono azul fuerte.

Tabla 16. Matriz de transición periodo 1999-2005.

Matriz de Transición	LANDSAT 2005																			Total 1999						
	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	Bosque de Tascáte	Chaparral	Matorral Crasicáule	Matorral Xerófilo	Palmar	Selva Baja Caducifolia	Plantación Forestal	Bosque Mesófilo de Montaña v/s	Bosque de Encino v/s	Bosque de Pino v/s	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	Bosque de Tascáte v/s	Matorral Crasicáule v/s	Selva Baja Caducifolia v/s	Selva Mediana Subcaducifolia con v/s		Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua	
Área sin Vegetación Aparente	8,005																								8,005	
Bosque de Encino		17,726																			4					17,730
Bosque de Pino			94,809																		46	4	161			95,019
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)				119,559																	16		95			119,669
Bosque de Tascáte					5,064																					5,064
Chaparral						11,657																				11,657
Matorral Crasicáule							1,304																			1,304
Matorral Xerófilo	8							84,126			9													15	0	84,183
Palmar									6,758																0	6,758
Selva Baja Caducifolia										119,562																119,570
Plantación Forestal											200															200
Bosque Mesófilo de Montaña v/s												9,444													6	9,450
Bosque de Encino v/s													322,682									66	321	2	171	323,241
Bosque de Pino v/s	6													52,475								43	11		47	52,583
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	6														167,296							48	84	19	298	167,751
Bosque de Tascáte v/s																22,108									2	22,109
Matorral Crasicáule v/s																	2,294									2,294
Selva Baja Caducifolia v/s																		129,350							5	129,374
Selva Mediana Subcaducifolia v/s																			1,556						12	1,567
Área Agrícola																					150,684					150,684
Área Impactada por Incendio			233	321							2	162	327	286								8	109		140	1,587
Asentamientos Humanos																							17,812			17,812
Pastizales	5																					221	50	2	362,278	362,556
Cuerpos de Agua								8																	3,833	3,929
TOTAL 2005	8,030	17,726	95,042	119,879	5,064	11,657	1,304	84,134	6,758	119,562	211	9,444	322,844	52,802	167,582	22,108	2,294	129,350	1,556	151,274	574	17,839	363,229	3,834	1,714,097	

Tabla 17. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 1999-2005.

	Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua
Área sin Vegetación Aparente				5	
Bosque de Encino	-4				
Bosque de Pino	-46	233	-4	-161	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	-16	321		-95	
Bosque de Tascáte					
Chaparral					
Matorral Crasicáule					
Matorral Xerófilo	-16			-15	0
Palmar					0
Selva Baja Caducifolia	-7				
Plantación Forestal		2			
Bosque Mesófilo de Montaña v/s				-6	
Bosque de Encino v/s	-66	-159	-2	-171	
Bosque de Pino con Veg. Sec.	-43	316		-47	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	-48	203	-19	-298	-1
Bosque de Tascáte v/s				-2	
Matorral Crasicáule v/s					
Selva Baja Caducifolia v/s	-19			-5	
Selva Mediana Subcaducifolia v/s				-12	
	-264	916	-24	-807	-1
	Transformación negativa				-1,096
	Transformación positiva				916
	Transformación en el periodo				-181

En el periodo 1999-2005 se registró una superficie de 1,096 hectáreas de cambios negativos y 916 hectáreas de cambios positivos obteniendo una superficie total transformada de 181 hectáreas transformadas por las actividades humanas, la actividad que causó mayor impacto fueron los pastizales afectando diferentes tipos de vegetación, siendo los bosques de pino-encino con vegetación secundaria y los más afectados. Para este periodo la transformación a áreas agrícolas ocupa el segundo lugar con una afectación sobre los diferentes tipos de vegetación siendo los bosques de encino con vegetación secundaria los más afectados por esta actividad (Tabla 17).

Los números con signo negativo indican una transformación de los tipos de vegetación a usos del suelo, mientras con aquellos números positivos indican una revegetación o recuperación de aquellas áreas de uso del suelo que pasan a diferentes tipos de vegetación, para el periodo 1999-2005 se identifican áreas de recuperación que fueron impactadas por incendios o quemas sobre bosque de pino, encino y pino-encino, primario y con vegetación secundaria. Se presenta una recuperación de 916 hectáreas de bosques que fueron afectados por incendios, por lo anterior se obtiene una superficie transformada en el periodo de solo -181 hectáreas.

Tabla 18. Áreas de rotación periodo 1999-2005.

1999-2005	Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales
Área Agrícola				

Área Impactada por Incendio	8			140
Asentamientos Humanos				
Pastizales	221	50	2	
Cuerpos de Agua	88			
TOTAL	317	50	2	140

La rotación se presenta entre áreas transformadas por lo que no genera diferencias en la superficie de transformación, sin embargo están teniendo una dinámica de cambio entre éstas áreas transformadas (Tabla 18). Aquí

se presenta principalmente un cambio de 221 hectáreas de pastizales que pasaron a formar parte de áreas agrícolas. Así como 88 hectáreas de cuerpos de agua, que pasan a áreas agrícolas, esto debido a la disminución en el nivel de los cuerpos de agua que permiten el desarrollo de la agricultura.

En la figura 25 se puede apreciar aquellas áreas que presentan algún tipo de transformación, el tono rojo marca aquellas que fueron deforestadas, mientras que las áreas marcadas con el tono morado corresponden a las áreas que fueron perturbadas. Las áreas de recuperación y revegetación se indican por los tonos verde oscuro y claro. Mientras que las áreas que se presenta una rotación están indicadas por el tono naranja. El tamaño de los parches es pequeño en relación al área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

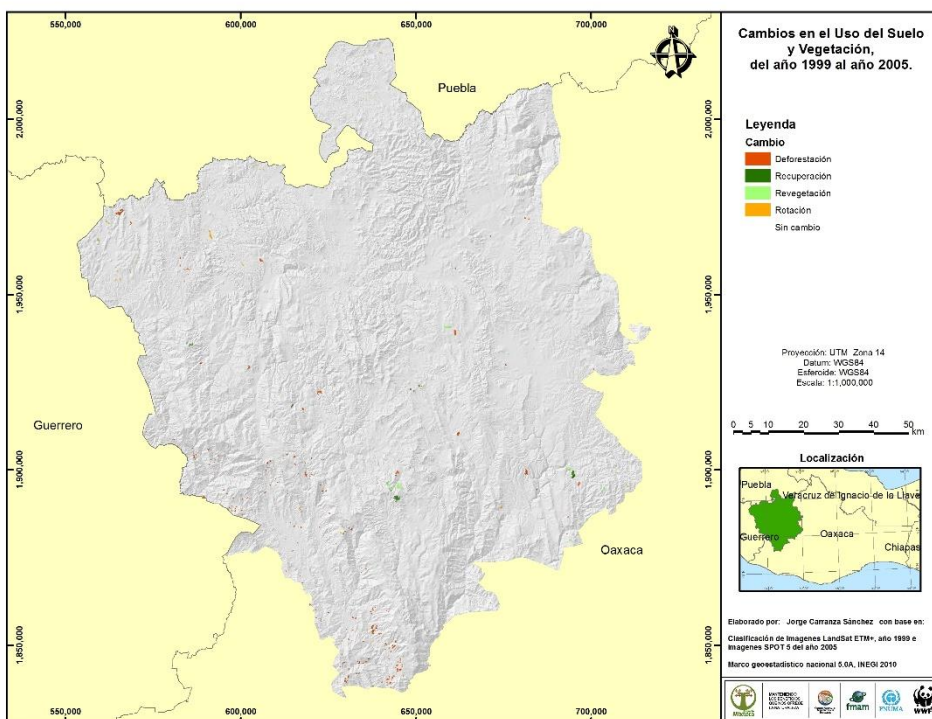


Figura 25. Áreas transformadas en el periodo 1999-2005.

A continuación se presentan la matriz de transición para el periodo 2005-2010 (Tabla 19). En

la matriz la diagonal marcada en tono gris corresponde a la superficie por tipo de uso del suelo y vegetación que se mantiene sin cambios, también se indican las superficies de transición en el periodo, el tono amarillo corresponde a aquellas superficies que sufrieron una perturbación (de vegetación primaria a vegetación secundaria), el tono naranja para las áreas que tuvieron una deforestación (de vegetación primaria y secundaria a usos del suelo), mientras que la zona en tono verde claro para aquellas áreas que presentan una revegetación (de usos del suelo a vegetación secundaria) y el tono verde oscuro para aquellas áreas que cuentan con una recuperación (de vegetación secundaria a primaria). Finalmente aquellas áreas que presentan una rotación están indicadas en la matriz con el tono azul claro y cambios en el nivel de agua con el tono azul fuerte.

Tabla 19. Matriz de transición periodo 2005-2010.

Matriz de Transición	LANDSAT 2010																	Total 2005								
	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	Bosque de Tascáte	Chaparral	Matorral Crasicáule	Matorral Xerófilo	Palmar	Selva Baja Caducifolia	Plantación Forestal	Bosque Mesófilo de Montaña v/s	Bosque de Encino v/s	Bosque de Pino v/s	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	Bosque de Tascáte v/s	Matorral Crasicáule v/s		Selva Baja Caducifolia v/s	Selva Mediana Subcaducifoliacon v/s	Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua	
Área sin Vegetación Aparente	8,030																								8,030	
Bosque de Encino		17,726																								17,726
Bosque de Pino			95,028																		2			11		95,042
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)				119,857																	6			16		119,879
Bosque de Tascáte					5,064																					5,064
Chaparral						11,657																				11,657
Matorral Crasicáule							1,304																			1,304
Matorral Xerófilo								84,134																		84,134
Palmar									6,758																	6,758
Selva Baja Caducifolia										119,562																119,562
Plantación Forestal											211															211
Bosque Mesófilo de Montaña v/s												9,444														9,444
Bosque de Encino v/s													322,835											7		322,844
Bosque de Pino v/s														52,791										10		52,802
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s															167,546									1	26	167,582
Bosque de Tascáte v/s																22,108										22,108
Matorral Crasicáule v/s																	2,294									2,294
Selva Baja Caducifolia v/s																		129,348						1		129,350
Selva Mediana Subcaducifolia v/s																			1,554					2		1,556
Área Agrícola																					151,274					151,274
Área Impactada por Incendio									14				317	11	69						32				41	574
Asentamientos Humanos																							17,839			17,839
Pastizales																								363,145		363,229
Cuerpos de Agua																									3,834	3,834
TOTAL 2010	8,030	17,726	95,028	119,857	5,064	11,657	1,304	84,134	6,772	119,562	211	9,444	323,153	52,802	167,615	22,108	2,294	129,381	1,554	151,326	143	17,840	363,259	3,834	1,714,097	

Tabla 20. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 2005-2010.

	Área Agrícola	Área Impactada por incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua
Área sin Vegetación Aparente					
Bosque de Encino	-2			-11	
Bosque de Pino	-6			-16	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)					
Bosque de Tascáte					
Chaparral					
Matorral Crasicáule					
Matorral Xerófilo					
Palmar					
Selva Baja Caducifolia					
Plantación Forestal					
Bosque Mesófilo de Montaña v/s					
Bosque de Encino v/s	-1	317		-7	
Bosque de Pino v/s	-2	11		-10	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	-9	69	-1	-26	
Bosque de Tascáte v/s					
Matorral Crasicáule v/s					
Selva Baja Caducifolia v/s		32		-1	
Selva Mediana Subcaducifolia v/s				2	
	-20	429	-1	-59	
Transformación negativa					-80
Transformación positiva					429
Transformación en el periodo					349

En el periodo 2005-2010 se registró una superficie de 80 hectáreas de cambios negativos y 429 hectáreas de cambios positivos obteniendo una superficie total transformada de 349 hectáreas transformadas por revegetación de áreas impactadas por incendios, que se habían presentado principalmente sobre áreas de bosque de encinos con vegetación secundaria. (Tabla 20).

Los números con signo negativo indican una transformación de los tipos de vegetación a usos del suelo, mientras con aquellos números positivos indican una revegetación o recuperación de aquellas áreas de uso del suelo que pasan a diferentes tipos de vegetación, en este periodo se presentan en total 429 hectáreas de pino, encino, pino-encino y selva baja caducifolia que habían sido afectadas por incendios que se encuentran restablecidos para la fecha 2010.

Tabla 21. Áreas de rotación periodo 2005-2010.

2005-2010	Área Agrícola	Área Impactada por incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales
Área Agrícola				
Área Impactada por incendio	1			41
Asentamientos Humanos				
Pastizales	31	54		
TOTAL 2010	32	54	0	41

La rotación se presenta entre áreas transformadas por lo que no genera diferencias en la superficie de transformación, sin embargo están teniendo una dinámica de cambio entre éstas áreas transformadas (Tabla 21). Aquí se presenta principalmente un cambio de pastizales que pasaron a formar parte de áreas agrícolas.

En la figura 26 se puede apreciar aquellas áreas que presentan algún tipo de transformación, el tono rojo marca aquellas que fueron deforestadas, mientras que las áreas marcadas con el tono morado corresponden a las áreas que fueron perturbadas. Las áreas de recuperación y revegetación se indican por los tonos verde oscuro y claro. Mientras que las áreas que se presenta una rotación están indicadas por el tono naranja. El tamaño de los parches es pequeño en relación al área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

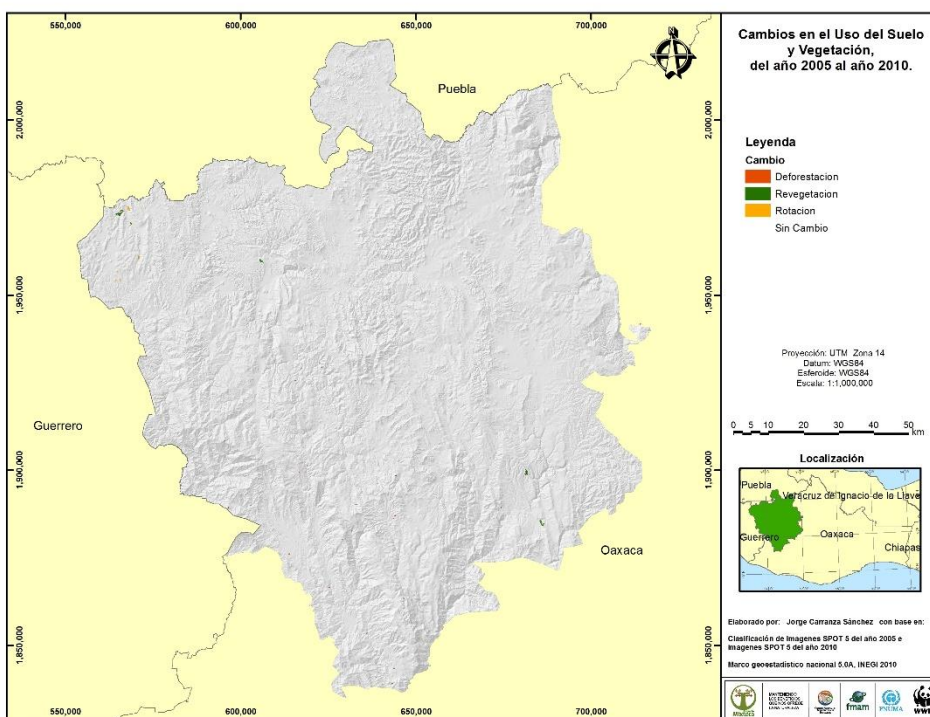


Figura 26. Áreas transformadas en el periodo 2005-2010.

A continuación se presentan la matriz de transición para el periodo 1979-2010 (Tabla 22). En la matriz la diagonal marcada en tono gris corresponde a la superficie por tipo de uso del suelo y vegetación que se mantiene sin cambios, también se indican las superficies de transición en el periodo, el tono amarillo corresponde a aquellas superficies que sufrieron una perturbación (de vegetación primaria a vegetación secundaria), el tono naranja para las

áreas que tuvieron una deforestación (de vegetación primaria y secundaria a usos del suelo), mientras que la zona en tono verde claro para aquellas áreas que presentan una revegetación (de usos del suelo a vegetación secundaria) y el tono verde oscuro para aquellas áreas que cuentan con una recuperación (de vegetación secundaria a primaria). Finalmente aquellas áreas que presentan una rotación están indicadas en la matriz con el tono azul claro y cambios en el nivel de agua con el tono azul fuerte.

Tabla 22. Matriz de transición periodo 1979-2010.

Matriz de Transición	LANDSAT 2010																	Total 1979								
	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	Bosque de Tascáte	Chaparral	Matorral Crasicáule	Matorral Xerófilo	Palmar	Selva Baja Caducifolia	Plantación Forestal	Bosque Mesófilo de Montaña v/s	Bosque de Encino v/s	Bosque de Pino v/s	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	Bosque de Tascáte v/s	Matorral Crasicáule v/s		Selva Baja Caducifolia v/s	Selva Mediana Subcaducifolia con v/s	Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua	
Área sin Vegetación Aparente	7,983									12										6					8,001	
Bosque de Encino		17,726										319								4						18,049
Bosque de Pino			94,991										38							118	8	436				95,590
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)				119,645																79		501				120,225
Bosque de Tascáte					5,064															11	3	82				5,159
Chaparral						11,657																				11,657
Matorral Crasicáule							1,304																			1,304
Matorral Xerófilo	8							84,095		197										221	54	235	0			84,810
Palmar									6,772											7		4				6,783
Selva Baja Caducifolia										119,562										31		232				119,825
Plantación Forestal																										
Bosque Mesófilo de Montaña v/s											9,444									5	3	8				9,460
Bosque de Encino v/s				69									322,382							128	60	9	3,431			326,079
Bosque de Pino v/s		6												52,472						98	5	206	6			52,793
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s		28													167,376					266	84	37	670	1		168,463
Bosque de Tascáte v/s																22,108				2	5	92				22,206
Matorral Crasicáule v/s																	2,294									2,294
Selva Baja Caducifolia v/s																		129,348		38	26	171				129,584
Selva Mediana Subcaducifolia v/s																			1,554			18				1,573
Área Agrícola										2			2							149,407		760	1,740	5		151,915
Área Impactada por Incendio			37	212								452	289	170						35		65				1,292
Asentamientos Humanos																					15,307					15,307
Pastizales		5																		738		1,617	355,368	1		357,729
Cuerpos de Agua								39												138				3,820		3,998
TOTAL 2010	8,030	17,726	95,028	119,926	5,064	11,657	1,304	84,134	6,772	119,562	211	9,444	323,153	52,802	167,546	22,108	2,294	129,381	1,554	151,326	149	17,834	363,259	3,834	1,714,097	

Tabla 23. Transformación de los tipos de vegetación, periodo 1979-2010.

	Área Agrícola	Área Impactada por Incendio	Asentamientos Humanos	Pastizales	Cuerpos de Agua
Área sin Vegetación Aparente		-6		5	
Bosque de Encino	-4				
Bosque de Pino	-118	37	-8	-436	
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	-79	212		-501	
Bosque de Tascáte	-11		-3	-82	
Chaparral					
Matorral Crasicáule					
Matorral Xerófilo	-221		-54	-235	39
Palmar	-7			-4	
Selva Baja Caducifolia	-31	32		-232	
Plantación Forestal	2				
Bosque Mesófilo de Montaña v/s	-5		-3	-8	
Bosque de Encino v/s	-128	392	-9	-3,431	
Bosque de Pino v/s	-95	289	-5	-206	-6
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) v/s	-266	87	-37	-670	-1
Bosque de Tascáte v/s	-2		-5	-92	
Matorral Crasicáule v/s					
Selva Baja Caducifolia v/s	-38		-26	-171	
Selva Mediana Subcaducifoliacon v/s				-18	
	-1,004	1,043	-151	-6,081	31
	Transformación negativa				-7,236
	Transformación positiva				1,074
	Transformación en el periodo				-6,161

Los datos obtenidos para el periodo 1979-2010 se registró una superficie de 7,236 hectáreas de cambios negativos y 1,074 hectáreas de cambios positivos obteniendo en el periodo de 31 años solo se registraron un total de 6,161 hectáreas transformadas por las actividades humanas, donde los pastizales son la actividad que tiene el mayor impacto, siendo los bosques de encino los que presentan la mayor transformación por este tipo de actividades. Por otra parte la actividad agrícola afectó varios tipos de vegetación en donde los bosques de pino-encino con vegetación

secundaria fue la que tuvo mayor afectación (Tabla 23).

Por otra parte el crecimiento de los asentamientos humanos se presenta sobre diferentes tipos de vegetación, siendo los principales aquellos ocupados por matorrales, bosques de pino-encino y selvas. En tanto que las áreas afectadas por incendios suman una superficie de 1,043 hectáreas con afectación principalmente sobre los bosques de pino y encino, ambas con vegetación secundaria, así como el pino-encino (Tabla 23).

La distribución de las áreas transformadas se puede apreciar en la Figura 27, con una distribución en toda el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca. En el mapa se pueden observar que las áreas transformadas se encuentran aledañas a las zonas con actividades humanas (pastizal, área agrícola y asentamientos humanos). En la mayoría de los casos se presenta como incremento a las actividades que ya se vienen desarrollando. Adicionalmente se presenta otra actividad que es difícil de determinar con el análisis de las imágenes de satélite, esto es, el momento en el que las áreas dedicadas a la agricultura que se convierten en pastizales para las actividades de pastoreo, ya sea por abandono de la actividad agrícola o bien con la intención directa de realizar la actividad agrícola por algunos años y posteriormente convertir a zonas de pastos para la crianza del ganado.

En los periodos de análisis no se registran grandes áreas transformadas, si bien es cierto la deforestación ha transformado aproximadamente el 30% de la superficie del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, se considera que a la fecha esta actividad que se sigue manteniendo a un ritmo muy lento, ya que con los datos aquí obtenidos no se presentan grandes áreas deforestadas entre un periodo de tiempo, si esta actividad se presentó en la región, debió de haber sido en un periodo de tiempo anterior. Aunque contar

con la información precisa es difícil debido al registro de las imágenes, que inicia a partir de la década de los 70's.

El registro de incendio o también quemas agrícolas es recurrente en algunos sitios y puede deberse a las actividades de roza-tumba-quema para las prácticas agrícolas o bien la quema de los pastizales para el renuevo de los pastos, considerando que la actividad ganadera es una de las actividades principales en la región.

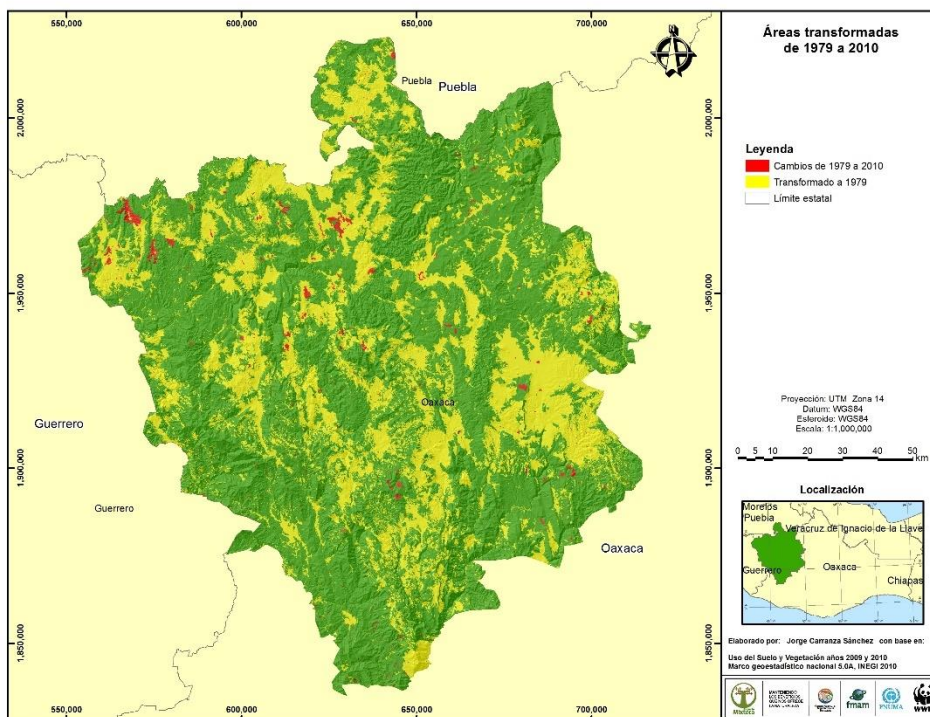


Figura 27. Áreas transformadas en el periodo 1979-2010.

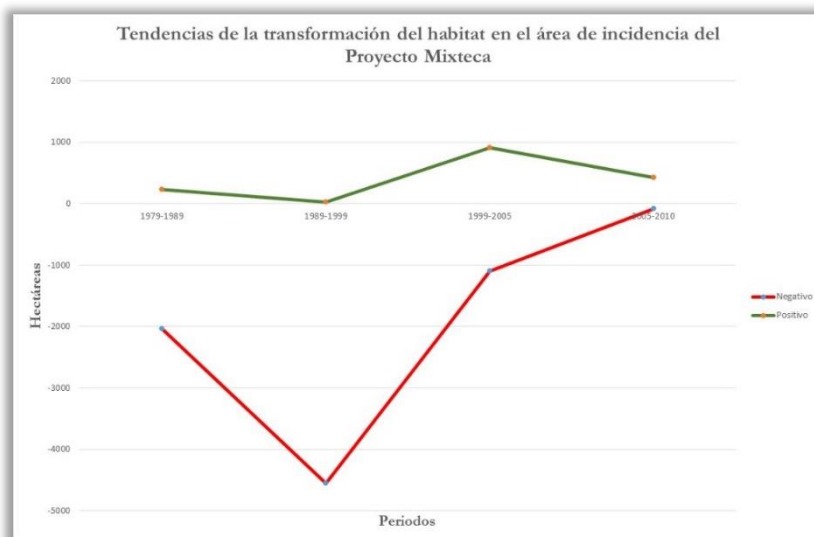


Figura 28. Tendencia de la transformación del hábitat.

Considerando los cambios negativos y positivos que se presentan en los periodos analizados se obtiene la gráfica de la Figura 28. Aquí se puede observar una tendencia a reducir la transformación del hábitat y a incrementar ligeramente aquellas áreas con actividades de revegetación y reforestación. Sin

embargo como se puede observar en la Figura 27, en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca se encuentra una superficie aproximada de 526 mil hectáreas que se encontraban transformadas a la fecha de 1979, sin embargo se desconoce el tiempo y la velocidad de cambio por la falta de disponibilidad de imágenes de fechas anteriores a 1979.

5.6.2. Tasa de transformación del hábitat.

De las imágenes analizadas se cuenta con un periodo de análisis de 31 años en cuatro intervalos de tiempo, el primero con un intervalo de 10 años (1979 a 1989), el segundo también de 10 años (1989 a 1999), el tercero de 6 años (1999 a 2005) y el último con un intervalo de 5 años (2005 a 2010).

De los datos obtenidos en cada fecha analizada se obtiene que en el año de 1979 se contaba con una superficie forestal de 1'183,856 hectáreas, lo que indica que para esta fecha ya se contaba con una superficie transformada de 526,243 hectáreas que corresponde al 30.70%. Los datos obtenidos para el año 1989 fueron de 528,056 hectáreas transformadas, lo que indica que en el periodo se transformaron un total de 1,801 hectáreas. Por lo que se obtiene una tasa de transformación de 0.0152% que corresponde a 180 Ha/año (Tabla 24).

Tabla 24. Tasa de transformación del hábitat.

	Forestal	%	No Forestal	%
1979	1,183,856	69.07	526,243	30.70
1989	1,182,055	68.96	528,056	30.81
1999	1,177,527	68.70	532,640	31.07
2005	1,177,346	68.69	532,916	31.09
2010	1,177,695	68.71	532,568	31.07

Periodo	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
1979-1989	1,183,856	1,182,055	-1,801	10	0.0002	0.0152	-180.14	-1,801
1989-1999	1,182,055	1,177,527	-4,527	10	0.0004	0.0384	-452.72	-6,329
1999-2005	1,177,527	1,177,346	-181	6	0.0000	0.0026	-30.19	-6,510
2005-2010	1,177,346	1,177,695	349	5	-0.0001	-0.0059	69.76	-6,161
1979-2010	1,183,856	1,177,695	-6,161	31	0.0002	0.0168	-198.74	

Para el año 1999 se contaba con una superficie de 1'177,527 hectáreas con una superficie transformada de 532,640 hectáreas, que comparada con la superficie del año 1989 se obtiene una superficie transformada de 4,527 hectáreas, con una velocidad de cambio de 0.0384%, con 452.72 Ha/año.

Los datos obtenidos para el año 2005 son de 1'177,346 hectáreas con una superficie transformada de 532,916 hectáreas, que comparada con la superficie del año 1999 se obtiene una superficie transformada de 181 hectáreas, con una velocidad de cambio de 0.0026%, con 30.19 Ha/año.

Finalmente en el año 2005 se registraron un total de 1'177,695 hectáreas con una superficie transformada de 532,568 hectáreas, que comparada con la superficie del año 2005 se obtiene una superficie transformada de 349 hectáreas, con una velocidad de cambio de -0.0059%, con 69.76 Ha/año. Con un valor de la tasa de transformación negativa, lo que indica que se identificaron áreas de recuperación principalmente debido a incendios o quemas agrícolas.

5.6.3. Pesos de evidencia.

Los resultados se muestran a continuación, la primera columna muestra los rangos; la segunda, el número de celdas de cada buffer; la tercera, el número de transiciones (celdas deforestadas) que ocurrieron dentro de cada buffer; la cuarta, los coeficientes obtenidos; la quinta, el contraste; y la última, el resultado del test de significancia estadística.

Los primeros rangos presentan una relación positiva, favoreciendo la deforestación, especialmente el primero, en cambio, los rangos finales presentan valores negativos, por lo que repelen la deforestación. Los rangos intermedios presentan valores cercanos a cero, lo que significa que éstos no tienen ningún efecto sobre la deforestación.

Por lo tanto, el contraste mide el efecto de asociación o repulsión de una variable sobre el cambio: valores cercanos a cero no tienen ningún efecto, a mayores valores positivos, mayor será la asociación positiva, y, por el contrario, a mayores valores negativos, mayor será el efecto repelente.

5.6.3.1 Variable distancia a ríos.

Los resultados de la variable distancia a ríos se muestran en la Tabla 25, Figura 29. Los primeros valores positivos indican áreas que favorecen la deforestación, a una distancia entre 200 y 400 metros de los cauces de los ríos. Estos pueden estar asociado a las actividades agrícolas que se desarrollan al borde de los ríos debido principalmente a la disponibilidad de este recurso “agua”. Mientras que los valores negativos repelen la deforestación después del intervalo 200-400 m continua con una tendencia negativa para posteriormente subir nuevamente hasta contar con valores positivos a partir de rango 1500-1700 m, esto puede deberse a la presencia de áreas de pastizales que no necesariamente deben de encontrar cercano a los cauces de los ríos.

Tabla 25. Peso de evidencia -Distancia a ríos.

Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?
0 <= v < 100	317291	2419	0.269173754	0.28141767	yes
100 <= v < 200	292534	1831	0.070545867	0.07320006	yes
200 <= v < 400	607007	3326	-0.063289803	-0.06808438	yes
400 <= v < 600	594519	2915	-0.174981943	-0.1872158	yes
600 <= v < 700	306482	1238	-0.369628553	-0.38134741	yes
700 <= v < 900	578372	2620	-0.254516966	-0.27111273	yes
900 <= v < 1100	584984	2479	-0.321496787	-0.34201779	yes
1100 <= v < 1300	589896	2759	-0.222404158	-0.23745635	yes
1300 <= v < 1500	560665	3126	-0.045792495	-0.04900759	yes
1500 <= v < 1700	576842	3852	0.135709958	0.14653687	yes
1700 <= v < 1900	556934	3479	0.068550177	0.07362783	yes
1900 <= v < 2100	528555	3496	0.12609455	0.13520335	yes
2100 <= v < 2300	536088	3529	0.121306584	0.1301805	yes
2300 <= v < 2500	511513	3138	0.050352019	0.05372407	yes
2500 <= v < 2800	739601	5089	0.165860744	0.18351483	yes
2800 <= v < 3100	474485	3462	0.224925261	0.24020292	yes
	8355768	48758			

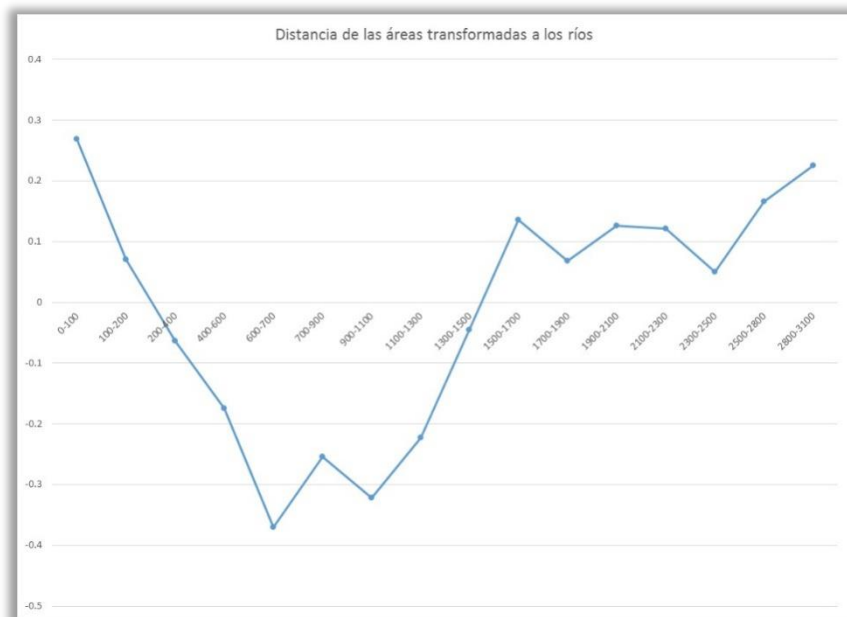


Figura 29. Peso de evidencia - Distancia a ríos.

5.6.3.2 Variable distancia a asentamientos humanos.

Los resultados de la variable distancia a asentamientos humanos se muestran en la Tabla 26, Figura 30. Los primeros valores positivos indican áreas que favorecen la deforestación, es evidente que la presencia de asentamientos humanos favorece la deforestación, sin embargo esta se va disminuyendo conforme se incrementa, en este caso hasta llegar a un intervalo entre 1000-1300 m. De aquí continúa con valores negativos lo cual indica que repelen la deforestación, de que entre más lejos de los asentamientos humanos la probabilidad de que suceda la deforestación es menor.

Tabla 26. Peso de evidencia - Asentamientos humanos.

Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?
0 <= v < 100	45115	808	0.6421519	0.648046076	yes
100 <= v < 700	666366	10505	0.512390256	0.586090992	yes
700 <= v < 1000	609071	7843	0.307134982	0.34243175	yes
1000 <= v < 1300	736547	8256	0.166727313	0.188606534	yes
1300 <= v < 1400	263950	2463	-0.018516652	-0.019246301	no
1400 <= v < 1600	563127	5480	0.023866754	0.026015134	no
1600 <= v < 1800	577477	5195	-0.055447454	-0.060365037	yes
1800 <= v < 2000	605147	5082	-0.124845299	-0.136079576	yes
2000 <= v < 2200	592800	4976	-0.12531343	-0.136336789	yes
2200 <= v < 2400	582893	4563	-0.19567654	-0.211973458	yes
2400 <= v < 2600	579661	4290	-0.252240519	-0.272529226	yes
2600 <= v < 2800	550882	3590	-0.38034248	-0.407512383	yes
2800 <= v < 2900	266839	1345	-0.63871043	-0.657609951	yes
2900 <= v < 3100	259605	1177	-0.745160499	-0.76559711	yes
	6899480	65573			

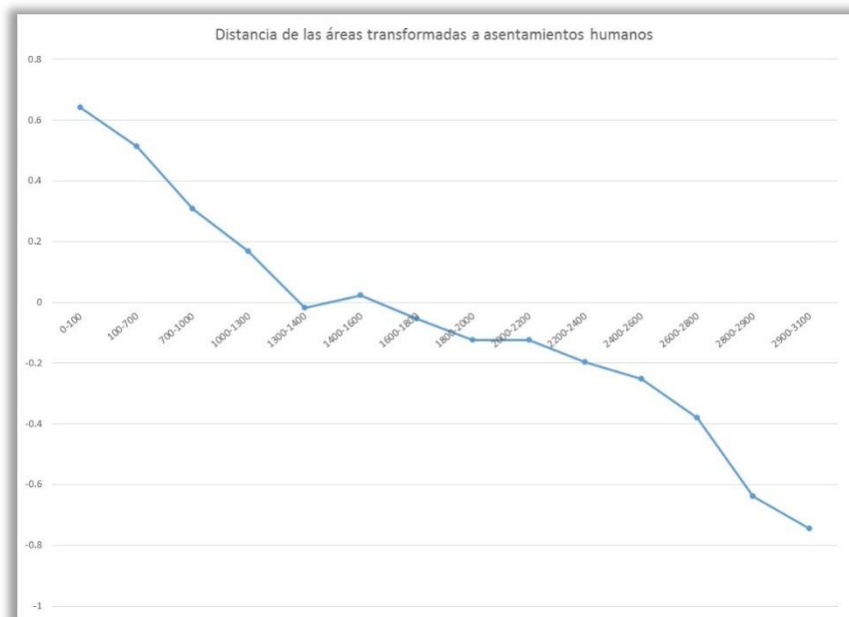


Figura 30. Peso de evidencia - Distancia a asentamientos humanos.

5.6.3.3 Variable distancia a vías de comunicación.

Los resultados de la variable distancia a vías de comunicación se muestran en la Tabla 27, Figura 31. Los primeros valores positivos indican áreas que favorecen la deforestación, las vías de comunicación es un factor que propicia la deforestación, al contar con vías de comunicación facilita el acceso a las diferentes áreas forestales. El comportamiento de las vías de comunicación disminuye conforme se aleja de estas hasta el rango de 700 a 800 m. De aquí continua con valores negativos lo cual indica que repelen la deforestación, entre más lejos de las vías de comunicación la probabilidad de que suceda la deforestación es menor.

Tabla 27. Peso de evidencia - Vías de comunicación.

Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?
0 <= v < 100	389581	5163	0.763614763	0.81201176	yes
100 <= v < 300	724499	7987	0.577247684	0.641506102	yes
300 <= v < 500	777816	6891	0.356452579	0.394088343	yes
500 <= v < 700	771353	5381	0.115556075	0.126103054	yes
700 <= v < 800	383054	2245	-0.059764956	-0.062130411	yes
800 <= v < 1000	773955	4326	-0.107437793	-0.11616947	yes
1000 <= v < 1200	722214	3977	-0.122444372	-0.131608392	yes
1200 <= v < 1400	716239	4104	-0.082477933	-0.088724617	yes
1400 <= v < 1600	686739	3771	-0.125280328	-0.13415032	yes
1600 <= v < 1800	640401	3078	-0.259169096	-0.275080816	yes
1800 <= v < 2000	629583	2773	-0.346886238	-0.366913013	yes
2000 <= v < 2200	580280	2498	-0.369878764	-0.389252813	yes
2200 <= v < 2400	542141	2288	-0.389791347	-0.408617991	yes
2400 <= v < 2600	518113	2431	-0.283360141	-0.297105822	yes
2600 <= v < 2900	700646	3095	-0.343960264	-0.366238273	yes
2900 <= v < 3000	209691	744	-0.563967416	-0.573403142	yes
3000 <= v < 3100	3779	13	-0.594991892	-0.59516588	yes
	9770084	60765			

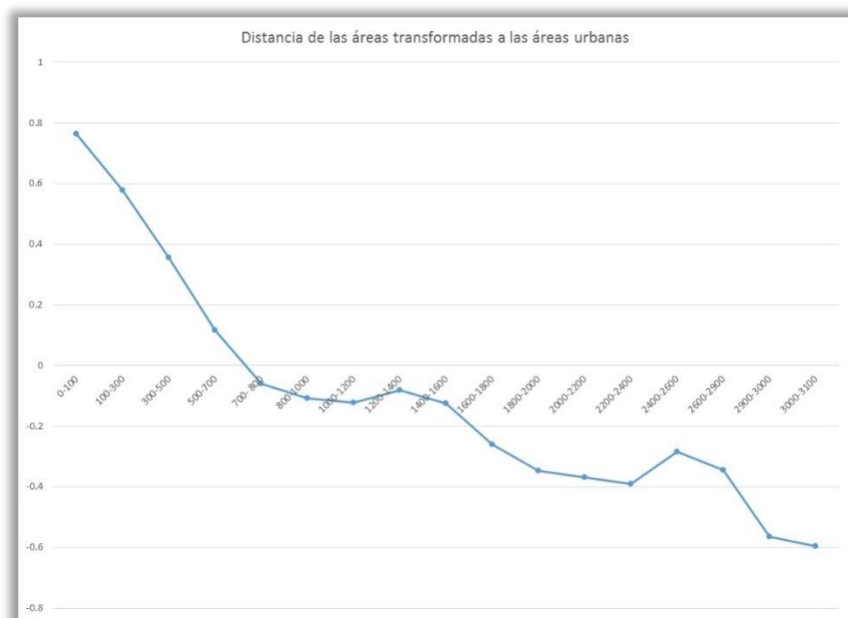


Figura 31. Peso de evidencia - Vías de comunicación.

5.6.3.4 Variable elevación sobre el nivel del mar.

Los resultados de la variable distancia a ríos se muestran en la Tabla 28, Figura 32. Los primeros valores positivos indican áreas que favorecen la deforestación, a diferentes altitudes hasta llegar al rango entre 1900 a 2000 m sobre el nivel de mar. Por arriba de los 2000 m, se repele la deforestación, lo que indica que la probabilidad de deforestación es menor para las áreas que se encuentran por arriba de esta altura. Este puede ser un factor importante a considerar, para el establecimiento de áreas protegidas, así como para la selección de áreas que cumplan como corredores biológicos.

Tabla 28. Peso de evidencia - Altitud sobre el nivel del mar.

Transition: 2->1 Variable: Raster_cube/MDE30

Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?
0 <= v < 500	8290	90	0.556373216	0.556840672	yes
500 <= v < 600	31160	809	1.443667151	1.451229278	yes
600 <= v < 700	80342	1022	0.716724167	0.723142867	yes
700 <= v < 900	418813	3164	0.190448875	0.197364632	yes
900 <= v < 1000	220170	1170	-0.163615002	-0.166184149	yes
1000 <= v < 1100	235035	1821	0.215882293	0.220270126	yes
1100 <= v < 1200	287322	1604	-0.114051822	-0.116458242	yes
1200 <= v < 1300	377626	3036	0.253161744	0.261699711	yes
1300 <= v < 1400	465331	5848	0.704450757	0.742433271	yes
1400 <= v < 1500	575438	7349	0.720739132	0.769918434	yes
1500 <= v < 1600	716604	5604	0.225261178	0.239904669	yes
1600 <= v < 1700	837007	8707	0.513204872	0.559650392	yes
1700 <= v < 1800	844414	10069	0.65126739	0.715918231	yes
1800 <= v < 1900	781784	11142	0.831950797	0.916777052	yes
1900 <= v < 2000	866536	4476	-0.192142104	-0.204412523	yes
2000 <= v < 2100	1039666	4652	-0.336420018	-0.360695012	yes

2100 <= v < 2200	1208531	2440	-1.134688812	-1.201398315	yes
2200 <= v < 2300	1144737	1623	-1.488782129	-1.560384276	yes
2300 <= v < 2400	979882	1376	-1.4983932	-1.559345914	yes
2400 <= v < 2500	761831	2293	-0.734396371	-0.765992529	yes
2500 <= v < 2600	545253	1509	-0.818578389	-0.842554874	yes
2600 <= v < 2700	323534	1153	-0.564913855	-0.57577097	yes
2700 <= v < 3400	401116	1270	-0.683609593	-0.699118765	yes
	13150422	82227			

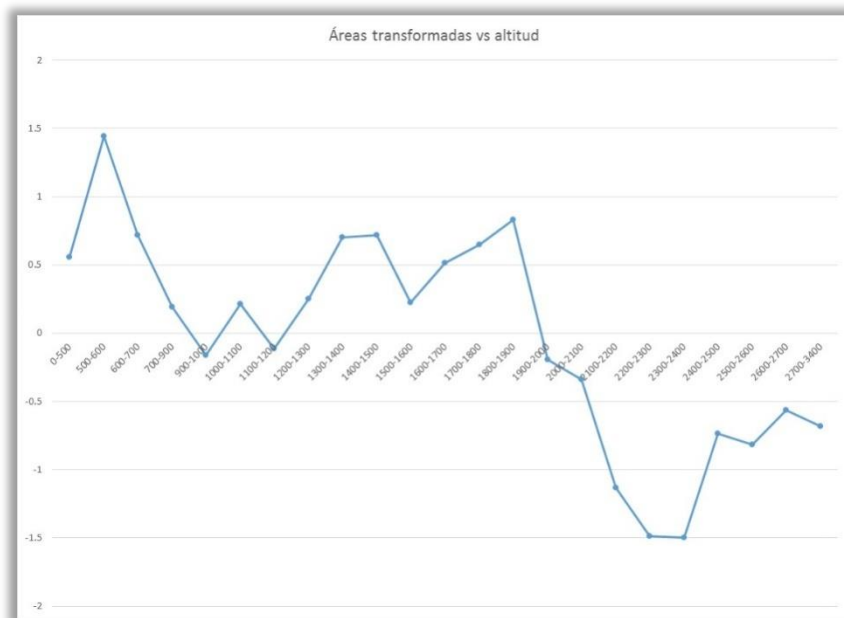


Figura 32. Peso de evidencia – Altura sobre el nivel de mar.

5.6.3.5 Variable pendiente topográfica.

Los resultados de la variable pendiente topográfica se muestran en la Tabla 29, Figura 33. Los primeros valores positivos indican áreas que favorecen la deforestación, en este caso las áreas más planas son las que pueden favorecer la deforestación y esta se va disminuyendo conforme se incrementa el valor de la pendiente. Sitios con una pendiente mayor no son adecuados para realizar actividades agrícolas, sin embargo pueden ser utilizados para el pastoreo de ganado.

Tabla 29. Peso de evidencia - Pendiente topográfica.

Transition: 2->1 Variable: Raster_cube/Pendiente					
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?
0-2	0 <= v < 2	123696	1696	0.798484305	0.81010581 yes
2-5	2 <= v < 5	623787	8203	0.756161343	0.81384464 yes
5-7	5 <= v < 7	591835	7131	0.667578553	0.71322615 yes
7-9	7 <= v < 9	672619	7020	0.522308644	0.55994171 yes
9-11	9 <= v < 11	777282	7430	0.433560383	0.46824427 yes
11-13	11 <= v < 13	859396	7392	0.327039925	0.35448581 yes
13-15	13 <= v < 15	900208	6628	0.170300046	0.18406783 yes
15-17	15 <= v < 17	926359	6171	0.069515715	0.07500242 yes
17-19	17 <= v < 19	958744	5613	-0.060434206	-0.06505309 yes
19-21	19 <= v < 21	942264	5001	-0.159093221	-0.17043161 yes

21-23	21 <= v < 23	912673	4349	-0.267422397	-0.28485745	yes
23-25	23 <= v < 25	870035	3578	-0.415375685	-0.43930643	yes
25-27	25 <= v < 27	797021	2760	-0.58794863	-0.61640368	yes
27-29	27 <= v < 29	706190	2224	-0.683189871	-0.71107513	yes
29-31	29 <= v < 31	598262	1721	-0.774009644	-0.79954047	yes
31-33	31 <= v < 33	505343	1346	-0.851200272	-0.87400343	yes
33-36	33 <= v < 36	565232	1433	-0.900694844	-0.92719881	yes
36-41	36 <= v < 41	517504	1113	-1.065572346	-1.09226861	yes
41-89	41 <= v < 89	259820	685	-0.86145279	-0.87310475	yes
		-----	-----			
		13108270	81494			

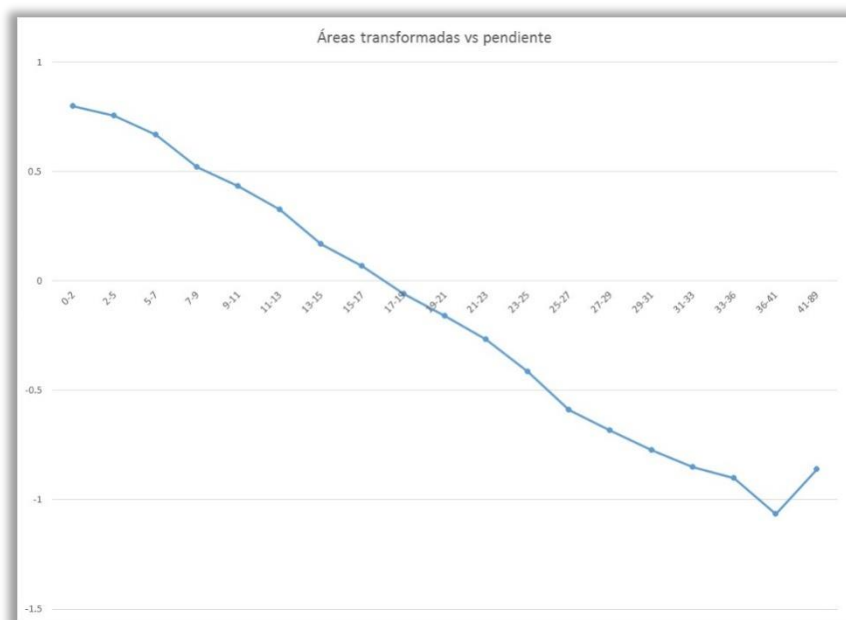


Figura 33. Peso de evidencia – Pendiente topográfica.

6. Conclusiones.

El área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca cuenta con una superficie de 1'714,097 hectáreas, es un área muy extensa que debido a factores como el clima, la topografía y el tipo de suelo entre otros, conjuga un mosaico de vegetación muy diverso. Estos van de áreas de matorrales en la porción Norte en donde se registran valores de poca precipitación, pasando por las selvas bajas caducifolias que se mezclan con los bosques de encino formando un cinturón discontinuo que corre con una dirección NE-SW. En tanto que en la porción Sur, se encuentran áreas de pino, encino, pino-encino-pino y bosque mesófilo de montaña, en zonas de mayor elevación con un relieve más accidentado y donde se presenta una mayor precipitación.

Del 1'714,097 hectáreas, el 69% corresponde a cubierta forestal y el 31% a la cubierta no forestal, mientras que los cuerpos de agua representan aproximadamente el 0.22% de la superficie total. La cubierta forestal está representada en 19 clases, donde el bosque de encino primario y con vegetación secundaria representa la mayor proporción con aproximadamente el 19.88% de la superficie total, el siguiente tipo de vegetación está

representado por el pino-encino primario y con vegetación secundaria con el 16.77%. Mientras que la selva baja caducifolia cuenta con una superficie de aproximadamente el 14.53%.

En tanto que en los usos del suelo predominan las áreas de pastizales ya que cuentan con una superficie de 363,259 hectáreas que representa el 21.19%, mientras que las áreas agrícolas ocupan una superficie de 151,326 hectáreas que representa el 8.83%, mientras que los polígonos marcados como asentamientos humanos suman una superficie de 17,840 hectáreas, que representa el 1.04% de la superficie total.

La matriz de transición en cada periodo indica que los pastizales es la actividad que causa el mayor impacto sobre los diferentes tipos de vegetación. La matriz del periodo 1979-2010 indica que en 31 años se transformaron un total de 6,161 hectáreas y que los pastizales fue el tipo de actividad que tiene un fuerte impacto, principalmente sobre los bosques de encino con vegetación secundaria, mientras que las actividades agrícolas tienen un impacto sobre diferentes tipos de vegetación presentes en la región, siendo los bosque de pino-encino con vegetación secundaria los que tuvieron una mayor afectación.

De la misma forma que menciona Ríos (2006)¹⁰⁶ no se encuentran grandes áreas deforestadas en cada uno de los periodos analizados, lo que puede indicar que las áreas transformadas en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, se dio en un periodo de tiempo anterior al aquí analizado, por lo que al año 1979, se contaba con 526,243 hectáreas transformadas, que corresponde al 31% de la superficie total. Sin embargo las actividades de transformación del hábitat continúan, solo que a una velocidad baja.

Del análisis de cambio de uso del suelo, se obtiene que a una distancia cercana a los ríos, los asentamientos humanos y las vías de comunicación, existe una mayor probabilidad de favorecer la deforestación, en tanto que como se incrementa la distancia existe una repulsión a la deforestación. Por otra parte a mayor altitud sobre el nivel medio del mar, se repele la deforestación, lo que podría favorecer la permanencia de los diferentes tipos de vegetación presentes. Finalmente el grado de la pendiente topográfica puede influir en la deforestación, ya que aquellas áreas más planas pueden facilitar la deforestación, mientras que al incrementarse la pendiente se tiende a repeler la deforestación.

7. Referencias

Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía*. 44: 18-38.

Bonham-Carter, G. *Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS*. Pergamon, 398 pp.(1994).

Britaldo S. Soares Filho, Hermann O. Rodrigues, William L. Costa. 2009. Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG).Brazil

¹⁰⁶ *Idem* 50.

- Carranza, S.J. 2010. Protocolo para el monitoreo de la Zona Núcleo de la reserva de la biosfera Mariposa Monarca, México. Trabajo Fin de Master en Tecnologías de la Información Geográfica, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid. 47 pp.
- Castelán, V. R., J. Ruiz C., G. Linares F., R. Pérez A. y V. Tamaríz Flores. 2007. Dinámica de cambio espacio temporal de uso del suelo de la subcuenca del Río San Marcos, Puebla, México.
- CONAFOR. 2011. Plan de Inversión México, Programa de Inversión Forestal. Banco Mundial, Financiera Rural, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- CONAFOR, 2004. Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. SEMARNAT-CONAFOR.
- CONANP e INECOL, A.C. 2011. Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz México en el periodo 2003-2011. Xalapa, Veracruz.
- CONANP. 2012. Base de datos de las Áreas Naturales Protegidas de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Dirección de Evaluación y Seguimiento, Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática. Morelia, Michoacán México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. *Biodiversidad Mexicana*. Reporte País: Riquezas Naturales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Cuartero, A., Felicísimo, A. M. (2003): "Rectificación y ortorrectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 45-57. ISSN: 1578-5157
- Cuevas, G. G. 2005. Pronóstico del cambio de uso del suelo en áreas forestales del estado de Michoacán. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Cuevas G, Mas J-F. Land use scenarios: a communication tool with local Communities. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag, 2008.
- Chagoya, L.V. 2011, Biodiversidad de fauna de la región mixteca, Word Wildlife Fund-México, Convenio OL93. México D.F.
- Challenger, A. R. y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: *Capital Natural de México*. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México pp. 63-73.
- Chase, T. N., Pielke Sr, R. A., Kittel, T. G. F., Nemani, R. R. and S. W Running. 2000. Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics*. **16**: 93-105.
- Chávez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **62**: 1025-1036 p.

- Chuvieco, 2008. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. 3ra. Edición Actualizada Septiembre. Editorial Ariel S.A. España. 595 p.
- De Jong, B., M. A. Castillo, O. Masera y A. Flamenco. 2003. Dinámica de cambio de uso de suelo y emisiones de carbono en el trópico húmedo de México. Resultados finales del análisis de cambio de uso entre 1975 y 2000, Selva Lacandona y El Ocote. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) e Instituto de Ecología, Campus Morelia.
- DIMAP Dictionary. 2006. SPOT Scene profile Versión 1.1.2.
- Dirzo, R. y M. C. García. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast Mexico. *Conservation Biology* 6(1): 84-90.
- Duran, E., Gopar, F., Velázquez, A., López, F., Larrazabal, A., y C. Medina. 2002. Análisis de cambio en las coberturas de vegetación y usos del suelo en Oaxaca. CONACYT-SEMARNAT-2002-01-C01-001-00133, Banco Mundial, a través del programa PROCYMAF.
- Durán-Medina, E., Jean-Francois Mas y A. Velázquez. 2007. Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. En los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales. David Bray, Leticia Merino Pérez y Deborah Barry (eds). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Civil para Silvicultura Sostenible y Florida International University . México, D.F. pp. 444.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>
- ERDAS, 2010. Field Guide. ERDAS, Inc.
- FAO. 2011. *Situación de los bosques del mundo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Feria-Pérez, C. R. 2010. El paisaje de la mixteca: el espacio abierto en la vida cotidiana de Santa Cruz Nundaco, Oaxaca. Tesis que presenta para obtener el título de Arquitecto Paisajista. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arquitectura.
- Figueroa, D. E. M. F. 2008. El contexto socioeconómico y la efectividad de las ANP de México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. Tesis para obtener el grado académico de Doctora en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Figueroa, F., V. Sánchez Cordero, P. Illoldi-Rangel y M. Linaje. 2011. Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio de uso del suelo y la vegetación. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 951-963.
- Flamenco-Sandoval, A., M. Martínez Ramos y O. Masera. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation*. 138:131-145.

GEF, 2010. Integrating trade offs between supply of ecosystem services (ES) and land use options into poverty alleviation efforts and development planning in the Mixteca. UNEP México. 206 pp.

Godoy, M. M. G. & Soares-Filho, B. S. Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighbourhood, Belo Horizonte city, Brazil. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. Modelling Environmental Dynamics, Springer-Verlag.

Goodacre C. M., Bonham-Carter G. F., Agterberg, F. P., Wright D. F. A statistical analysis of spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. *Tectonophysics* **217**, 205-305 (1993).

Guerra, M. V. y S. Ochoa Gaona. 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, **59**: 7-25. UNAM.

Halffter, G. 1994. Conservación de la biodiversidad y áreas protegidas en los países tropicales. *Revista Ciencias* **36**: 4-13.

<http://es.scribd.com/doc/96442557/Matriz-de-Confusion-Listo>

<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>

[http://www2.astrium-](http://www2.astrium-geo.com/files/pmedia/public/r2006_9_spot_niveles_de_preprocesamiento_esp_sept2010.pdf)

[geo.com/files/pmedia/public/r2006_9_spot_niveles_de_preprocesamiento_esp_sept2010.pdf](http://www2.astrium-geo.com/files/pmedia/public/r2006_9_spot_niveles_de_preprocesamiento_esp_sept2010.pdf)

INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión

5.0A. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

INEGI 2010. Censo de población y vivienda.

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

IUCN. 2011. *Las áreas protegidas de América Latina, situación actual y perspectivas para el futuro*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, España.

Lambin, E.F., B.L. Turner, H.J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkam, C. Vogel y J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. **11**: 261-269.

López, G. J. 2011. Deforestation and forest degradation in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico 2003-2009. *Journal of Maps* **7**(1): 626-633.

Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E. 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 23, no. 13, 2651-2671.

- March, M. I. J. y A. Flamenco Sandoval. 1992. Evaluación rápida de la deforestación en las áreas naturales protegidas de Chiapas (1970-1993). The Nature Conservancy, El. Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Mas, J.F., V. Sorani, R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 5: 43-57. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Mas, J. F. 2000. "Une revue des Méthodes et des Techniques de Télédétection du Changement". *Canadian Journal of Remote Sensing Journal Canadien de Télédétection*, Col. 26, Nú. 4 P. pp 349-363.
- Mas, S. F., H. H. Regil García, C. González Esquivel y G. Nava Bernal. 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el periodo 1972-2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. 61: 38-57.
- Merry, F.; Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D.; Aamacher, G.; Rodrigues, H. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. *Environmental Management*, EUA, 44 (3): 395-407. 2009.
- Nepstad, D.; Soares-Filho, B. S.; Merry, F.; Moutinho, P.; Rodrigues, H.; Bowman, M.; Schwartzman, S.; Almeida, O.; Rivero, S.. The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. A report for Bali COP-13.
- Nepstad, D.; Soares-Filho, B.S.; Merry, F.; Lima, A.; Moutinho, P.; Carter, J.; Bowman, M., Cattaneo, A.; Rodrigues, H., Schwartzman, S.; Mcgrath, D.; Stickler, C.; Lubowski, P. P.; Rivero, S.; Alencar, A.; Almeida, O.; Stella, O. The End of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Science* 326 (5958) 1350-1351. 2009
- Nunes F.; Soares-Filho B. S.; Giudice; R. Rodrigues H. O.; Bowman M. S.; Silvestrini. R; Mendoza, E. Economic benefits of forest conservation: assessing the potential rents from Brazil nut concessions in Madre de Dios, Peru, to channel REDD+ investments. *Environmental Conservation*, 39 (3): 2012.
- Paniagua, I. 2009. Tesis "Análisis Híbrido para la identificación anual de cambios en la cubierta del suelo. La Chinantla, Oaxaca, 2004-2005". Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.
- Paniagua, I., Carranza, J., y Ramírez, I. 2011. Método híbrido para la detección de cambios en la cubierta de suelo en áreas naturales protegidas. Memorias de la XIX Reunión Nacional SELPER, Morelia 3-7 de octubre. Morelia, Mich. México.
- PNUMA. 2005. Grupo de países megadiversos afines. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Para consulta: <http://www.pnuma.org/deramb/GroupofLikeMindedMegadiverseCountries.php>
- Ramírez, M.I. y R. Zubieta. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico

preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México D.F. Septiembre 2005.

Ríos S. G. 2012. "Dinámica de cambio de las cubiertas de uso de suelo en la Mixteca, Oaxaca, México." WWF Proyecto OM49.

Sánchez, C., S. A. Flores Martínez, I. A. Cruz-Leyva y A. Velázquez. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En: Capital Natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México, D.F. pp. 75-129.

Smith, M.S. 2004. How to convert ASTER radiance values to reflectance. En online guide. En: University of Idaho, <http://www.cnrhome.uidaho.edu/default.aspx?pid=85984>. 3 p.; consulta: junio 2010.

Soares-Filho B. S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Voll, E.; Cerqueira, G.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*, London, v. **440**, p. 520-523, 2006.

Soares-Filho, B. S., Pennachin, C. L., Cerqueira, G. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling* 154, 217-235 (2002).

Soares-Filho, B. S., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Vera-Diaz, M., Rivero, S., Solórzano, L. & Voll, E. Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor. *Global Change Biology* 10, 745-764(2004).

Soares-Filho B. S.; Silvestrini, R.; Nepstad, D.; Brando, P.; Rodrigues, H.O.; Alencar, A.; Coe, M.; Locks, C.; Lima, L.; Hissa, L.B.V. et al. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. *Landscape Ecology*. Volume 27, Number 4 (2012), 585-598.

Stickler, C.M.; D.C. Nepstad; Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Merry, F.; Bowman, M.S.; Walker, W.S.; Kellnhofer, J.M.; Almeida, O.T. The opportunity costs of reducing carbon emissions in an Amazonian agroindustrial region: the Xingu River headwaters. A paper prepared for and presented at the 2008 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, February 22-23, 2008, Berlin, Germany.

Teixeira, A. M.; Soares-Filho, B. S.; Freitas, S.; Metzger, J. P. W. Modeling Landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 257, 1219–1230, 2009.

Utah State University Remote Sensing (USU) /GIS Laboratory. 2008. Image standardization: at-sensor reflectance and COST correction. USU, Logan, UT. Online: <http://ftp.nr.usu.edu/imagestd>, Consultado en mayo 2010.

Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz Gallegos, R. Mayorga Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Instituto Nacional de Ecología. *Gaceta Ecológica*, **62**: 21-37. México, D.F.

Velázquez, A., E. Durán, A. Larrazábal, F. López y C. Medina. 2007. La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. En: Atlas fisiográfico de la Cuenca de Tepalcatepec. Manuel Mendoza, Alejandro Velázquez, Alejandra Larrazábal, Alejandro Toledo (compiladores). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología (INE).

Vázquez-Cuevas, G. M. e I. E. Roldán Aragón. 2010. Evaluación de los cambios de cobertura del suelo en la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo México (1973-1976). *Papeles de Geografía*. 51-52: 307-316.

Velázquez, A. y A. Larrazábal. 2011. Conservación participativa del paisaje. En: Geografía y Ambiente en América Latina. Gerardo Bocco, Pedro S. Urquijo y Antonio Vieyra (coordinadores). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Instituto Nacional de Ecología (INE).

Warner, T. 2008. Conversion of Landsat DN to reflectance using the CosT approach. University of West Virginia.

ANEXO II.

Informe de final de los sitios de interés a mayor escala.

Tasa de transformación municipio de Santa María Yucuhiti, Oaxaca.

Elaboración:

Jorge Carranza Sánchez

Leonel Ruiz Paniagua

Héctor Martín Cruz Rojas

Contenido	Pag.
Resumen ejecutivo	1
1. Introducción.....	2
2. Objetivo General.....	5
2.1. Objetivo Particular	6
3. Área de estudio.....	6
4. Material y Método.....	9
4.1. Imágenes	9
4.2. Corrección Atmosférica	10
4.3. Corrección Geométrica	11
4.4. Clasificación de imágenes	12
5. Resultados	14
6. Conclusiones.....	26
7. Referencias bibliográficas.....	28

Figuras	Pag.
Figura 1. Mapa de ubicación del municipio Santa María Yucuhiti.....	6
Figura 2. Imagen de satélite Landsat TM 1989, (RGB) 542.....	14
Figura 3. Imagen de satélite Landsat ETM+ 1999, (RGB) 542	15
Figura 4. Imagen de satélite SPOT 5 2008, (RGB) 432.....	16
Figura 5. Imagen de satélite SPOT 5 2010, (RGB) 432.....	17
Figura 6. Clasificación de uso del suelo y vegetación, año 1989.	19
Figura 7. Clasificación de uso del suelo y vegetación, año 1999.....	19
Figura 8. Clasificación de uso del suelo y vegetación, año 2008.....	20
Figura 9. Clasificación de uso del suelo y vegetación, año 2010.....	21
Figura 10. Uso del suelo y vegetación 2010 y parcelas de café.....	22
Figura 11. Áreas de transformación en el periodo 1989-1999.	23
Figura 12. Áreas de transformación en el periodo 1999-2008.	24
Figura 13. Áreas de transformación en el periodo 2008-2010.....	24
Figura 14. Cambio acumulado en el periodo 1989-2010.	25

Tablas	Pag.
Tabla 1. Imágenes de satélite.	9
Tabla 2. Uso del suelo y vegetación, municipios de Yucuhiti, Oacaxa.	18
Tabla 3. Tasa de transformación.	22

Acrónimos.

ANP. Áreas Naturales Protegidas.

BIL. Band interleaved by line

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal.

CEPCO. Coordinadora Estatal de Productores de Café de Oaxaca.

COPRODEO. Comisión Promotora del Desarrollo Económico del Oaxaca.

ETM. Enhanced Thematic Mapper

FAO. Food and Agriculture Organization.

GCP. Ground Control Points

INECOL. Instituto Nacional de Ecología.

INEGI. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INMECAFE. Instituto Mexicano del Café.

MDE. Modelo Digital de Elevación.

PNUMA. Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente

RGB. Red, Green, Blue.

SWIR. Short Wave Infrared

TM. Thematic Mapper

TT. Tasa de Transformación.

UICN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Resumen ejecutivo

Desde la llegada de los españoles a la región Mixteca se observa una serie de cambios que transforman el medio ambiente e inician un proceso de deterioro de los recursos naturales, la introducción de nuevos productos agrícolas (trigo y caña de azúcar) y de nuevas especies animales (caprinas y ovinas), el incremento de la explotación forestal, la utilización de los valles para conformar centros de población, donde antes se cultivaba, todos estos cambios fueron empobreciendo el suelo, provocando erosión y con ello el empobrecimiento de los habitantes.

A diferencia del resto de la región Mixteca que sufre un proceso de deterioro grave, en cuanto a sus recursos naturales, Santa María Yucuhiti sitio de interés para el presente trabajo, cuenta con una cobertura vegetal que aunque transformada, tiene una función ecológica importante en cuanto a la protección del suelo y la captura de agua.

El presente trabajo tiene como objetivo: determinar la tasa de transformación del municipio Santa María Yucuhiti, Tlaxiaco, Oaxaca, a través del tratamiento de imágenes del satélite Landsat y SPOT, para obtener las coberturas de uso del suelo y vegetación de las fechas 1989, 1999, 2008 y 2010.

Los resultados obtenidos indican que la superficie del municipio de Santa María Yucuhiti es de 7,299 hectáreas de los cuales el 75% corresponde a una superficie forestal donde los principales tipos de vegetación corresponden a bosque de encino con vegetación secundaria y bosque mesófilo de montaña. En tanto que la superficie transformada por actividades humanas corresponde aproximadamente al 25% de la superficie total del municipio.

La tasa de transformación para el periodo 1989-1999 fue de 0.054, que corresponde a 30 hectáreas, con una transformación de 3.05 hectáreas por año. Mientras que en el periodo 1999-2008 la tasa fue de 0.0629 con 31 hectáreas y que corresponde a una transformación de 3.4 hectáreas por año. Y para el último periodo, en poco más de un año, se obtuvo una tasa de 0.2713 con 16 hectáreas y una transformación de 8.14 hectáreas por año.

1. Introducción.

México presenta una situación compleja en cuanto a la conservación y manejo de los recursos naturales (CONAFOR, 2011)¹. Está considerado dentro de los 17 países megadiversos, el cual se ubica entre los dos países con mayor número de ecosistemas y entre los cinco con mayor diversidad de especies en el mundo, representando el 12% de la biota mundial concentrado mayormente en el trópico húmedo (PNUMA, 2005)² (PNUMA, 2005)³ (CONABIO, 2009)⁴. Esta riqueza biológica se debe en gran medida a la privilegiada ubicación geográfica que México posee entre la región Neártica y Neotropical.

Sin embargo, a pesar de contar con una gran diversidad los ecosistemas son muy susceptibles a los procesos de cambio y transformación. Durante los últimos 50 años se han transformado los ecosistemas con una tasa muy alta (Challenger y Dirzo, 2009)⁵. De acuerdo a estimaciones presentadas por la FAO en 2010, México se encuentra entre los diez países con mayor pérdida neta anual de área de bosque, registrando una disminución importante en los bosques primarios en los últimos 20 años (CONAFOR, 2011)⁶ (FAO, 2011)⁷. Una de las principales causas del cambio en el paisaje natural de México, es debido a las actividades antrópicas, para satisfacer necesidades básicas de alimentación y vivienda. Algunos de esos cambios son provocados por las prácticas específicas de manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos del suelo (Bocco et al. 2001)⁸.

Al producirse la dinámica de cambio en el uso del suelo, surgen otros procesos de deterioro entre los que se encuentran la deforestación y fragmentación (Lambin et al. 2001)⁹ (CONAFOR, 2011)¹⁰ y que constituyen la causa principal de otros eventos como la pérdida y alteración de la diversidad biológica y hábitat (Figueroa, 2008)¹¹, el cambio climático a diferentes escalas (Chase et al. 2000)¹², la degradación del suelo (erosión y pérdida de fertilidad), alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, la pérdida de los servicios

¹CONAFOR. 2011. Plan de Inversión México, Programa de Inversión Forestal. Banco Mundial, Financiera Rural, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

²Mas, J.F., V. Sorani, R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. Investigaciones Geográficas, 5: 43-57. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

³PNUMA. 2005. Grupo de países megadiversos afines. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Para consulta: <http://www.pnuma.org/deramb/GroupofLikeMindedMegadiverseCountries.php>

⁴CONABIO. 2009. Biodiversidad Mexicana. Reporte País: Riquezas Naturales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

⁵Challenger, A. R. y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: Capital Natural de México. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México pp. 63-73.

⁶ *Idem 1*

⁷FAO. 2011. Situación de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

⁸Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Boletín del Instituto de Geografía. 44: 18-38.

⁹Lambin, E.F., B.L. Turner, H.J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkam, C. Vogel y J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: movingbeyondthemyths. Global Environmental Change. 11: 261-269.

¹⁰ *Idem 1*

¹¹Figueroa, D. E. M. F. 2008. El contexto socioeconómico y la efectividad de las ANP de México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. Tesis para obtener el grado académico de Doctora en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

¹²Chase, T. N., Pielke Sr, R. A., Kittel, T. G. F., Nemani, R. R. and S. W. Running. 2000 Simulated impacts of historical and cover changes on global climate in northern winter. Climate Dynamics.16: 93-105.}

ecosistémicos entre otros (Lambin *et al.* 2001)¹³ (Figueroa, 2008)¹⁴ (Mas *et al.* 2006)¹⁵ (Velázquez *et al.* 2002)¹⁶ (Cuevas, G. G. 2005)¹⁷ (Velázquez y Larrazábal. 2011)¹⁸.

Debido a la creciente amenaza que enfrenta la diversidad ante el cambio de la cubierta vegetal y otros procesos que afecten la biodiversidad y el medio ambiente, la estrategia ha sido adoptar políticas de conservación que promuevan el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) para disminuir la pérdida de la cubierta vegetal (Halffter, 1994)¹⁹ (Velázquez *et al.* 2009)²⁰. En el 2013, México cuenta con 174 Áreas Naturales Protegidas (ANP) de carácter federal que cubren aproximadamente 25.6 millones de hectáreas. El país se destaca a nivel mundial por ser uno de los que cuentan con el mayor número de áreas con declaratoria internacional (UICN, 2011)²¹ (CONANP, 2012)²².

Una manera confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es a través del estudio de la dinámica espacio-temporal de uso del suelo, análisis del cambio en la cubierta y uso del suelo, o también llamada Tasa de Transformación (TT). La TT es un elemento básico del diagnóstico para el ordenamiento territorial y para entender los mecanismos del proceso deterioro de los ecosistemas, ya que permite caracterizar una región ofreciendo información sobre las modificaciones en la cubierta vegetal debido al uso humano, así como la distribución e incremento (o decremento) de las tierras dedicadas a actividades antrópicas, ya sea productivas o como asentamientos humanos en un intervalo de tiempo en determinada porción de terreno (Castelán, 2007)²³ (Velázquez, 2007)²⁴. Éste tipo de análisis puede ser de gran importancia para apoyar políticas encaminadas a disminuir o revertir el deterioro ambiental (Velázquez, 2002)²⁵. De los trabajos que han sido realizados para estimar la TT, se encuentran: Dirzo y García en 1992²⁶; March y Flamenco, 1992²⁷; De

¹³ *Idem* 8

¹⁴ *Idem* 11

¹⁵ Mas, S. F., H. H. Regil García, C. González Esquivel y G. Nava Bernal. 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el periodo 1972-2000. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM. 61: 38-57.

¹⁶ Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz Gallegos, R. Mayorga Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Instituto Nacional de Ecología. Gaceta Ecológica, 62: 21-37. México, D.F.

¹⁷ Cuevas, G. G. 2005. Pronóstico del cambio de uso del suelo en áreas forestales del estado de Michoacán. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

¹⁸ Velázquez, A. y A. Larrazábal. 2011. Conservación participativa del paisaje. En: Geografía y Ambiente en América Latina. Gerardo Bocco, Pedro S. Urquijo y Antonio Vieyra (coordinadores). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Instituto Nacional de Ecología (INE).

¹⁹ Halffter, G. 1994. Conservación de la biodiversidad y áreas protegidas en los países tropicales. Revista Ciencias 36: 4-13.

²⁰ Velázquez, A., E. M. Cüe-Bar, A. Larrazábal, N. Sosa, J. L. Villaseñor, M. McCall, G. Ibarra-Manríquez. 2009. Building participatory landscape-based conservation alternatives: A case study of Michoacán, Mexico. Applied Geography. 1-14

²¹ UICN, 2011.

²² CONANP. 2012. Base de datos de las Áreas Naturales Protegidas de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Dirección de Evaluación y Seguimiento, Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática. Morelia, Michoacán México.

²³ Castelán, V. R., J. Ruiz C., G. Linares F., R. Pérez A. y V. Tamariz Flores. 2007. Dinámica de cambio espacio temporal de uso del suelo de la subcuenca del Río San Marcos, Puebla, México.

²⁴ Velázquez, A., E. Durán, A. Larrazábal, F. López y C. Medina. 2007. La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. En: Atlas fisiográfico de la Cuenca de Tepalcatepec. Manuel Mendoza, Alejandro Velázquez, Alejandra Larrazábal, Alejandro Toledo (compiladores). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología (INE).

²⁵ *Idem* 16

²⁶ Dirzo, R. y M. C. García. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast Mexico. Conservation Biology 6(1): 84-90.

Jong et al. 2003²⁸; Mas et al., 2006²⁹; Guerra y Ochoa, 2006³⁰; Vázquez-Cuevas et al., 2010³¹; Figueroa et al., 2011³²; CONANP e INECOL, 2011³³; López, 2011³⁴; entre otros.

El estado de Oaxaca cuenca con una superficie total de 95,364 Km², dicha extensión representa el 4.85% del territorio total del país, por lo anterior el estado de Oaxaca es considerado el quinto estado más grande del país. El estado se encontraba subdividido en siete regiones geográficas, cada región con características internas geográficas y ecológicas diferentes, debido a la Regionalización del Plan Oaxaca, el distrito de Tlaxiaco se incluía en Sierra Sur, la Comisión Promotora del Desarrollo Económico del Oaxaca (COPRODEO) presentó la corrección considerándolo como parte de la Mixteca, con lo que la división regional de 1970 quedó establecida en ocho regiones de la siguiente manera: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Papaloapan, Sierra Norte, Sierra Sur y Valles Centrales (Ramos, 2009)³⁵.

La región de la Mixteca comprende los siguientes Distritos: Coixtlahuaca, Huajuapán, Juxtahuaca, Nochixtlán, Silacayoapan, Teposcolula, Tlaxiaco. El distrito de Tlaxiaco limita al norte con Teposcolula, al noroeste con Juxtahuaca, al oeste y sur con Putla, al sureste con Sola de Vega y al este con Nochixtlán. El distrito está compuesto por 35 municipios.

Desde la llegada de los españoles a la región Mixteca se observa una serie de cambios que transforman el medio ambiente e inician un proceso de deterioro de los recursos naturales, la introducción de nuevos productos agrícolas (trigo y caña de azúcar) y de nuevas especies animales (caprinas y ovinas), el incremento de la explotación forestal, la utilización de los valles para conformar centros de población, donde antes se cultivaba, todos estos cambios fueron empobreciendo el suelo, provocando erosión y con ello el empobrecimiento de los habitantes que al no encontrar alternativas económicas viables, sobreviven en una economía de autosubsistencia, esto explica quizá el grave fenómeno de migración de los Mixtecos, primero hacia estados como Veracruz y Puebla y posteriormente a los Estados Unidos (Grupo Mesófilo, 2007)³⁶

A diferencia del resto de la región Mixteca que sufre un proceso de deterioro grave, en cuanto a sus recursos naturales, Santa María Yucuhiti sitio de interés para el presente

²⁷March, M. I. J. y A. Flamenco Sandoval. 1992. Evaluación rápida de la deforestación en las áreas naturales protegidas de Chiapas (1970-1993). The Nature Conservancy, El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

²⁸De Jong, B., M. A. Castillo, O. Masera y A. Flamenco. 2003. Dinámica de cambio de uso de suelo y emisiones de carbono en el trópico húmedo de México. Resultados finales del análisis de cambio de uso entre 1975 y 2000, Selva Lacandona y El Ocote. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) e Instituto de Ecología, Campus Morelia.

²⁹*Idem 2*

³⁰Guerra, M. V. y S. Ochoa Gaona. 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 59: 7-25. UNAM.

³¹Vázquez-Cuevas, G. M. e I. E. Roldán Aragón. 2010. Evaluación de los cambios de cobertura del suelo en la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo México (1973-1976). Papeles de Geografía. 51-52: 307-316.

³²Figueroa, F., V. Sánchez Cordero, P. Illoldi-Rangel y M. Linaje. 2011. Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio de uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 951-963.

³³CONANP e INECOL, A.C. 2011. Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz México en el periodo 2003-2011. Xalapa, Veracruz.

³⁴López, G. J. 2011. Deforestation and forest degradation in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico 2003-2009. Journal of Maps 7(1): 626-633.

³⁵Ramos, S. A.L. 2009. Regionalización Del Distrito De Tlaxiaco Ubicado En La Región De La Mixteca En El Estado De Oaxaca. Observatorio Iberoamericano Del Desarrollo Local Y La Economía Social. Grupo EUMED.NET de la Universidad de Málaga. Año 3 – Nro.7 –Diciembre de 2009.

³⁶Grupo Mesófilo. 2007. Ordenamiento participativo del territorio comunal de Santa María Yucuhiti, Tlaxico, Oaxaca.

trabajo, cuenta con una cobertura vegetal que aunque transformada, tiene una función ecológica importante en cuanto a la protección del suelo y la captura de agua. Sin embargo ha presentado la pérdida y descuido de los cafetales y los recursos forestales. Algunas personas aseveran que el clima ha variado de forma alarmante y los incendios forestales que se presentan con más frecuencia cada año, constituyen un factor adicional que ha afectado el patrimonio natural (Grupo Mesófilo, 2007)³⁷.

Datos de uso del suelo obtenidos por el Grupo Mesófilo (Grupo Mesófilo, 2007)³⁸ indican que la mayor parte del territorio de Santa María Yucuhiti es la agricultura de temporal, combinado con el cultivo de café. La práctica de estas actividades productivas alcanzó hasta el 68% del territorio, lo cual representaba más de 5 mil hectáreas. Predominando el cultivo de café ya que se extendía sobre más del 40% de la superficie, lo anterior como resultado de su establecimiento desde hace 60 años cuando se registraron los primeros desmontes para la siembra de café, provocando con ello un severo proceso de transformación en los ecosistemas.

Uso de Suelo	Ha	%
Peñasqueras	259.918	3.584
Agricultura de temporal - Riego	70.033	0.965
Agricultura de temporal - Café	1,372.882	18.921
Bosque de Pino - Encino	72.868	1.004
Bosque de Pino - Agricultura	904.700	12.468
Agricultura de Temporal	1,666.842	22.972
Bosque de Pino	261.737	3.607
Pastizal -Pino - Encino - Café	132.891	1.831
Bosque de Pino - Encino - Café	520.905	7.179
Café	1,971.530	27.171
Bosque de Encino	21.704	0.299
Total	7,256.010	100.000

Datos obtenidos de Grupo Mesófilo, 2007³⁰.

2. Objetivo General.

Determinar la Tasa de Transformación del Municipio Santa María Yucuhiti, Tlaxiaco, Oaxaca, a

³⁷Idem 36

³⁸Idem 36

través del empleo de imágenes del satélite Landsat y SPOT.

2.1. Objetivo Particular.

Obtener la cobertura de uso del suelo y vegetación del municipio de Santa María Yucuhiti, Tlaxiaco de las fechas 1989, 1999, 2008 y 2010.

Obtener las áreas de cambio de los periodos 1989-1999, 1999-2008 y 2008-2010.

3. Área de estudio.

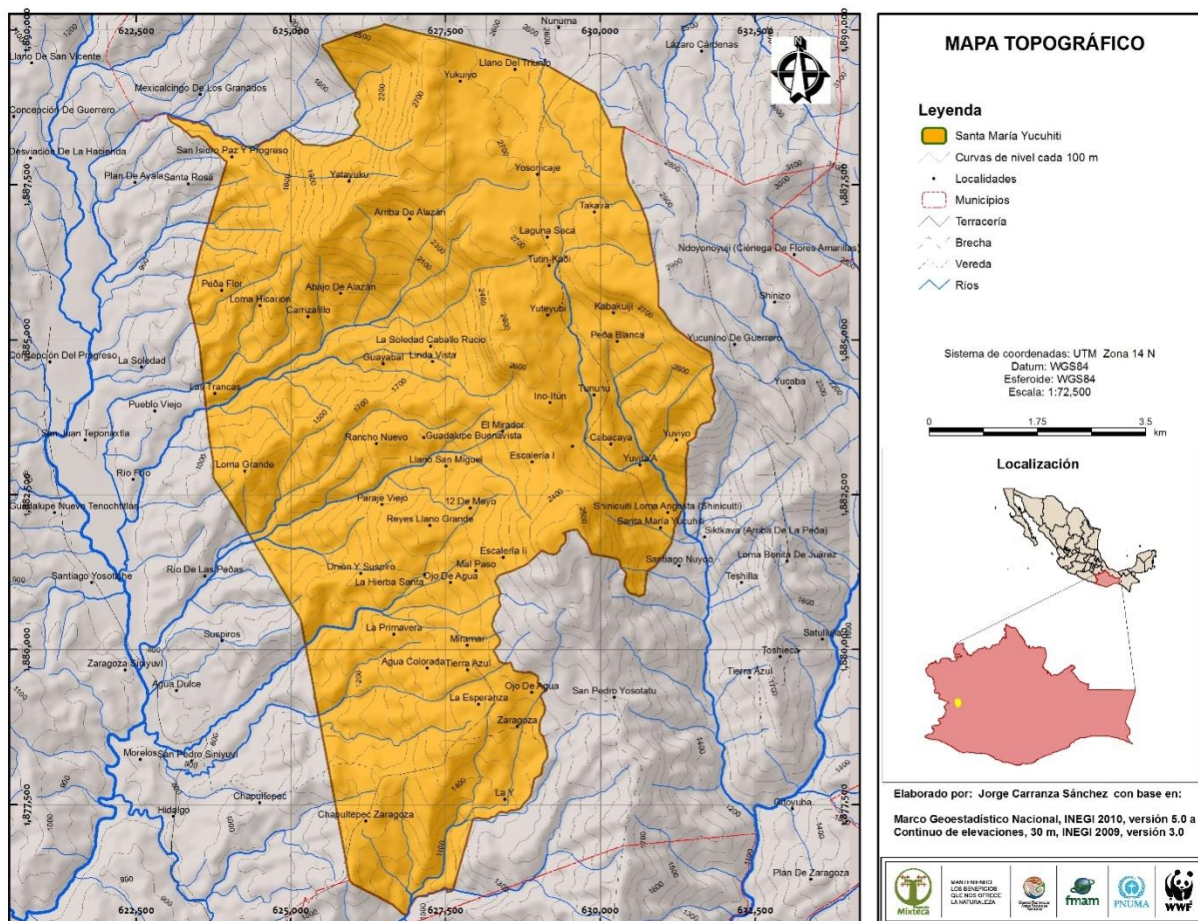


Figura 1. Mapa de ubicación del municipio Santa María Yucuhiti.

Santa María Santa María Yucuhiti se encuentra en una de las regiones económicas más pobres del país, denominada la Mixteca Alta. De acuerdo al plano de ejecución de conformación de terrenos comunales emitido por el departamento agrario del Registro Agrario Nacional, el municipio de Santa María Yucuhiti, se ubica en el Distrito de Tlaxiaco, en la región Mixteca en la división política-administrativa de Oaxaca. Según la resolución

presidencial de Reconocimiento y Titulación de Bienes Comunales, el territorio agrario, coincide con el municipio de Santa María Yucuhiti, abarca una superficie de 7,256 hectáreas. Al Norte las tierras comunales limitan con las de Santo Tomás Ocotepec y al Noroeste con Los Granados y el Ejido Provisional de Yucuhiti Plan de Ayala, por el Oeste sus colindancias son con las comunidades de San Pedro Siniyuvi, al Sur están los terrenos de San Antonio Jicaltepec, al Sureste el ejido de San Pedro Yosotatu y al Noreste los terrenos comunales de Santiago Nuyoo. La geografía política de Santa María Yucuhitila está conformada por cinco agencias municipales: Guadalupe, Buenavista, Reyes Llano Grande, Guadalupe Miramar, San Isidro Paz y Progreso y San Lucas Yosonicaje, y tres de policía San Felipe de Jesús Pueblo Viejo, San José Zaragoza y La Soledad Caballo Rucio. Así como una delegación municipal Centro Yucuhiti. Estos son los centros de población con mayor asentamiento humano, existiendo también parajes dispersos a lo largo del territorio (Grupo Mesófilo, 2007)³⁹.

Santa María Yucuiti, su nombre proviene de los vocablos “Yucu” cerro y “Cuite” ocote, cuyo significado es Cerro del ocote. En la época prehispánica los habitantes del señorío de Ocote, estuvieron sujetos a *Teponaxtlaelcuepalixtlahuaca*. A lo largo de la época colonial se llamó República de Indios de Ocotepec. En la Independencia, por el año de 1824 se cambia de nombre a Yucuhiti. La cabecera municipal es Santa María Yucuhiti, las localidades de mayor importancia son Guadalupe Buenavista, Miramar, Reyes Llano Grande, San Isidro Paz y Progreso, Yosonicaje, La Soledad Caballo Rucio, San Felipe de Jesús Pueblo Viejo y Zaragoza (Grupo Mesófilo, 2007)⁴⁰.

Topográficamente Santa María Yucuhiti se localiza en el gran macizo que se conoce con el nombre de la Provincia de la Sierra Madre del Sur Oaxaca en la llamada Mixteca Alta, donde predominan altas cimas y fuertes pendientes. El municipio se ubica entre los paralelos 16° 57' 42.799" N y 17° 5' 30.965" N de latitud Norte y los meridianos 97° 45' 41.556" W y 97° 50' 40.895" W de longitud Oeste (Figura 1). Se encuentra dentro de un rango altitudinal que va de los 920 a los 2,920 msnm, en donde predominan los terrenos de fuerte pendiente característicos de las laderas, dejando solo una pequeña porción para los valles intermontanos.

Los terrenos están formados por rocas sedimentarias que abarcan el 75.5% de la superficie, las metamórficas que abarcan el 24.47% e ígneas el 0.03%. Las rocas sedimentarias son calizas pertenecientes al Mesozoico, las rocas metamórficas pertenecientes al paleozoico y las ígneas extrusivas pertenecientes al Cenozoico (Grupo Mesófilo, 2007)⁴¹.

En general los suelos de la región son poco aptos para la agricultura, no solo por sus características físicas y químicas, sino por las fuertes pendientes que existen dentro de la comunidad. Conforme a la clasificación de la FAO-UNESCO los tipos de suelo que se presentan en Santa María Yucuhiti son: RegozolEútrico, Litosol y Feozem. En donde el de mayor cobertura corresponde al RegozolEútrico que ocupa el 86.75% de la superficie, el Litosol que se restringe en la localidad de Yosonicaje, la cual ocupa el 12.97% y el FeozemHáplico que ocupa una mínima porción al estar representado por el 0.29% de la

³⁹Idem 36

⁴⁰Idem 36

⁴¹Idem 36

superficie (Grupo Mesófilo, 2007)⁴².

De acuerdo con la clasificación climática de Koepen, modificada por Enriqueta García y la consulta del trabajo del Instituto de Geografía (Instituto de Geografía, 1970)⁴³, en Santa María Yucuhiti se presentan los siguientes subtipos climáticos: Templados húmedos C(w2)(A)C(m) y Semicálidos. El templado húmedo coincide con las partes altas hacia el norte y el Semicálido se ubica en las porciones del centro (Grupo Mesófilo, 2007)⁴⁴.

El municipio de Santa María Yucuhiti pertenece a dos principales regiones hidrográficas; subcuenca del Río Mixtepec perteneciente a la cuenca del Río Balsas y la subcuenca del Río Putla y Salado que pertenecen a la cuenca Costa Chica-Río Verde. En la parte oeste de la comunidad de Santa María Yucuhiti se encuentra el río YuviViyu que se alimenta de pequeños arroyos intermitentes que nacen en la parte alta de las localidades del municipio. Mientras que en Guadalupe Buena Vista se forma el Río Salado que nace dentro del límite agrario a una altitud de 2,300 msnm que se alimenta de pequeños causes intermitentes que benefician a varias poblaciones.

De acuerdo con cifras del INEGI la población en el año 2000 era de 6,565 habitantes, mientras que en el año 2010 se registró una población de 6,551 habitantes. En tanto que la población económicamente activa del municipio era de 2,569 personas en el censo del 2000, mientras que datos del 2010 menciona una población económicamente activa de 1,902 habitantes.

Una de las actividades primordiales lo constituye desde hace 60 años la producción de café, las condiciones de producción y comercialización de este grano es de pequeños productores que de forma general se encuentran integrados en alguna organización de productores. Los antecedentes organizativos los marca la intervención de INMECAFE hasta los años 70s, para posteriormente organizarse en sociedades como la UniNuú, la S.C. Mixteca Alta del Pacífico, UP Mixteca Alta SSS y otras más, hasta participar en la conformación de importantes organizaciones de productores como la Coordinadora Estatal de Productores de Café de Oaxaca (CEPCO) en 1989, o la Sociedad Cooperativa de Producción Rural de Mixtecos Chinantecos y Zapotecos (Michiza) que han sabido responder a las exigencias del mercado, en el caso del CEPCO su intervención en el municipio marcó el cambio de cafetales convencionales en cafetales orgánicos como una estrategia económica y ambiental que les permite acceder a mercados de producción orgánica (Grupo Mesófilo, 2007)⁴⁵.

En el año 2000 los habitantes se encontraban ocupados de la siguiente manera: 85% se dedicaba a labores del sector primario (Agricultura, ganadería, caza y pesca), destacando las labores agrícolas entre las que se encuentran la producción de café y maíz (sistema asociado de cultivos de maíz, calabaza y frijol); así como el cultivo de árboles frutales como el plátano, naranjas, manzanas y duraznos. Mientras que la ganadería es una labor manejada a baja escala. Tradicionalmente los mixtecos han sido criadores de ganado menor y en el caso de Yucuhiti esta tradición se confirma, la mayoría de los informantes declaró dedicarse a esta actividad como complementaria a la agricultura, la forma de mantener a los animales es a

⁴²*Idem 36*

⁴³Instituto de Geografía. Carta de climas 1970.

⁴⁴*Idem 36*

⁴⁵*Idem 36*

nivel de traspatio (Grupo Mesófilo, 2007)⁴⁶. Respecto al sector secundario, este representa el 13% (Minería, petróleo, industria manufacturera, construcción y electricidad), el municipio cuenta con piedra para cimientos, arenilla que se utiliza básicamente en obras comunitarias o para la autoconstrucción. En Pueblo Viejo existe un yacimiento de mármol, que sería aprovechado por los pobladores en ese tiempo. El sector terciario (Comercio, turismo y servicios) lo constituye el 12% de la población (Grupo Mesófilo, 2007)⁴⁷.

4. Material y Método.

4.1. Imágenes

Para el desarrollo del presente trabajo, fueron utilizadas imágenes de satélite Landsat obtenidas a través del portal Global LandCoverFacility de la NASA⁴⁸. La escena correspondiente al Path/Row 025/048 del sensor TM de fecha 26 de octubre de 1989, de tipo multiespectral con una resolución de 30 m/pixel y la imagen del sensor ETM+ de fecha 09 de diciembre de 1999, de tipo multiespectral y pancromático con resolución de 30 y 15 m/pixel respectivamente. Para esta última, se realizó un realce espacial a las bandas multiespectrales de las imágenes Landsat ETM+, con apoyo de la banda pancromática, generando un producto multiespectral con una resolución espacial de 15 metros (Tabla 1).

También fueron utilizadas imágenes de satélite SPOT del sensor SPOT5, con el K/J 592/316. La resolución espacial más fina en modo P es de 2.5 m, mientras que la resolución más fina en modo XS es de 10 m en las dos bandas visibles y en la del infrarrojo cercano. Así mismo los 20 m en el SWIR (Short Wave Infrared), esenciales en el estudio de la vegetación, remuestreadas a 10 m.

Las imágenes fueron obtenidas a través de la Estación de Recepción México de la constelación SPOT (ERMEXS) por el convenio establecido a partir del año 2004 con la CONANP para la recepción de imágenes. Estas fueron procesadas utilizando el software ERDAS Imagine 9.1 y ArcMap 10.0.

Las imágenes utilizadas, forman parte del acervo de imágenes con el que cuenta la Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de México. Las fechas y los ángulos de incidencia no fueron definidos en específico para este proyecto, por lo anterior, el ángulo de incidencia se encuentra entre 13.52 y 14.16 para las imágenes multiespectral y 13.53 y 14.17 para las pancromáticas. En tanto que las fechas han sido determinadas principalmente por la época de secas entre los meses de diciembre y enero, por ser los meses donde se presenta el menor porcentaje de nubes.

Tabla 1. Imágenes de satélite.

⁴⁶ *Idem* 36

⁴⁷ *Idem* 36

⁴⁸ <http://glcf.umd.edu/>

Path/row	Fecha (dma)	Instrumento	Multiespectral (metros)	Ángulo incidencia	Pancromática (metros)	Ángulo incidencia
025/048	26/10/1989	TM		30		
025/048	09/12/1999	ETM+		30		15
592/316	26/12/2008	SOPT5/HRG2		10 R 14.16		2.5 R 14.17
592/316	20/01/2010	SOPT5/HRG2		10 R 13.52		2.5 R 13.53

Los productos SPOT se encuentran en formato DIMAP, este formato tiene dos partes: la parte descriptiva y la parte de imagen. La parte de imagen está, por defecto, descrita en formato GeoTIFF. En el caso en que un usuario no pueda leer el GeoTIFF, una opción del formato DIMAP permite la producción al formato crudo BIL (Band interleaved by line) y toda la información referida al tamaño, cantidad de bandas y geo-referencia de la imagen es descrita en la parte descriptiva asociada.

En el archivo raster BIL el XS3 infrarrojo cercano está en la banda 3, pero en el archivo GeoTIFF la banda XS3 se encuentra en la banda 1⁴⁹. Las imágenes proporcionadas por la ERMEXS se encuentran en formato GeoTIFF, por lo anterior es necesario modificar el orden de las bandas del archivo original, a fin de identificar el orden las bandas.

Para el arreglo de bandas, se procedió a trabajarlas en el programa ERDAS Imagine, con la herramienta Modeler. Donde la imagen de entrada es la original en formato GeoTIFF y a través del layerstack se ordenan las bandas en una imagen de salida en formato IMG.

4.2. Corrección Atmosférica

Para realizar la corrección atmosférica a las imágenes SPOT se utilizó el modelo descrito por Carranza, 2012⁵⁰ utilizando la herramienta Modeler de ERDAS a las imágenes de fechas más recientes, este se encuentra dividido en tres partes, la primera antes descrita que corresponde al arreglo de las bandas, la segunda para obtener los valores de radiancia a partir de los niveles digitales, y una última para obtener los valores de reflectividad.

Después de obtener el arreglo de las bandas, se realiza la segunda parte, que es la resta del objeto oscuro “darkobjectsubtraction” (DOS), la cual está enfocada en determinar la porción de la radiancia en el sensor que es atribuido a la atmósfera. Este método ha demostrado ser bastante exacto y es el enfoque más viable para la corrección atmosférica cuando los datos de terreno no están disponibles (Chávez, 1996)⁵¹ (Lu *et al.* 2002)⁵². Para determinar el **Lhaze** para cada banda de las imágenes, se obtuvieron los datos del histograma seleccionando el valor mínimo, ya que este valor se le atribuye a la atmósfera. Para convertir los Niveles Digitales a valores de radiancia se dividió el ND/GAIN, de esta forma

⁴⁹DIMAP Dictionary. 2006. SPOT Sceneprofile Versión 1.1.2.

⁵⁰Carranza, S.J. 2010. Protocolo para el monitoreo de la Zona Núcleo de la reserva de la biosfera Mariposa Monarca, México. Trabajo Fin de Master en Tecnologías de la Información Geográfica, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid. 47 pp.

⁵¹Chávez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62: 1025-1036 p.

⁵²Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E. 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 23, no. 13, 2651–2671.

se obtuvieron los valores de radiancia.

El último proceso fue para obtener los valores de reflectividad a partir de los valores de radiancia, para el cual se aplicó la ecuación de Warner (2008)⁵³, la cual está basada en la fórmula publicada por Chávez (1996)³⁵ y Lu *et al.* (2002)⁵⁴, descrita a continuación:

$$\rho = \frac{\pi * (L_{sat} - L_{haze}) * d^2}{E_{sun} * [(\cos \theta)^2]}$$

Donde:

ρ = reflectividad para la banda N

π = constante de la geometría euclidiana

L_{sat} = radiancia registrada en el sensor para la banda N

L_{haze} = radiancia atribuible a los efectos atmosféricos

d = distancia del sol a la tierra

E_{sun} = irradiación exoatmosférica de cada banda

θ = ángulo cenital solar

d , es la distancia del sol a la tierra, calculada mediante la fórmula (Achardm y D'Souza 1994, citado por Eva y Lambin, 1998; Smith, 2004)⁵⁵: $d=1 / (1-(0.016729 * \cos((0.9856 * (\text{Julian Day} - 4)) * \pi / 180)))$. E_{sun} es la irradiación exoatmosférica de cada banda, estos valores dependen del instrumento, en este caso para el sensor SPOT5 y de los valores de HRG1 y HRG2 de las imágenes utilizadas, las imágenes utilizadas corresponden al HRG2. θ , es el ángulo cenital solar, el cual es el ángulo complementario del ángulo de elevación solar en radianes. Algunas versiones de esta ecuación mantienen a θ sin elevarlo al cuadro, pero aquí se hace para aproximar a la transmisividad atmosférica. Warner (2008)³⁷ y USU (2008)⁵⁶, afirman que este método es apropiado para climas húmedos o tropicales.

4.3. Corrección Geométrica.

Este proceso solo se aplicó a las imágenes SPOT, debido a que las imágenes Landsat ya se encuentran ortorectificadas. Para las imágenes SPOT, se utilizó el modelo de corrección orbital, modelando las fuentes error geométrico conocido, a partir de aplicar transformaciones inversas a las que realiza el sensor en el momento de la adquisición, tomando en consideración las ventajas de la precisión que ofrece los sistemas de navegación del satélite SPOT5 en especial del pasajero DORIS.

Las imágenes son procesadas en el programa ERDAS Imagine 9.1, con el módulo Leica Photogrammetry Suite. Para la corrección geométrica, se realizó una ortorectificación que incluye el dato de las coordenadas X-Y y el valor de altitud de cada pixel, que se obtiene con

⁵³Warner, T. 2008. Conversion of Landsat DN to reflectance using the Cos T approach. University of West Virginia.

⁵⁴*Idem* 52

⁵⁵Smith, M.S. 2004. How to convert ASTER radiance values to reflectance. En online guide. En: University of Idaho, <http://www.cnrhome.uidaho.edu/default.aspx?pid=85984>. 3 p.; consulta: junio 2010.

⁵⁶Utah State University Remote Sensing (USU) /GIS Laboratory. 2008. Image standardization: at-sensor reflectance and COST correction. USU, Logan, UT. Online: <http://ftp.nr.usu.edu/imagestd>, Consultado en mayo 2010.

el Modelo Digital de Elevación (MDE) escala 1:50,000 obtenido del continuo de elevaciones mexicano del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

El dato de las efemérides incluye la posición del satélite al momento de capturar las escenas, con los cuales se definen los parámetros de orientación interior y exterior, lo que permite con el apoyo del MDE, contar de forma automática con los datos de altitud (Z). Aunado a esto, la selección de puntos de control terrestres (GCP) optimiza los resultados. De esta forma se realiza el proceso de ortorectificación con una corrección orbital de manera sencilla y rápida, con una precisión inferior a uno, obteniendo un mejor producto en comparación con el proceso de georeferenciación.

Este método de ortorectificación aplicado tanto a la banda pancromática de 2.5 m, como a la imagen con las 4 bandas multiespectrales de 10 m, permite combinar a través de la fusión de imágenes (realce espacial) para obtener un producto con una resolución espacial de 2.5 m y la resolución espectral de las cuatro bandas. El contar con una imagen de alta resolución espacial a color, permite realizar una verificación visual de los datos.

4.4. Clasificación de imágenes.

Por las características de la imagen y la escala de trabajo, se realizó una clasificación visual. Con la interacción visual del intérprete, se pueden resolver algunos problemas de tratamiento digital que encuentra notables dificultades para automatizar la determinación de ciertos rasgos (áreas urbanas, neblina y nubes, etc.) que pueden ser bastante obvios para el análisis visual (Paniagua, 2009)⁵⁷. Para este fin se utilizó la imagen SPOT con corrección atmosférica y realce espacial a 2.5 m de la fecha más reciente que se cuenta (2010), delimitando también los centros de población y aquellas áreas que se encuentran dedicadas a actividades agrícolas.

Para obtener el dato histórico se utilizó el método de interpretación interdependiente propuesto por la FAO (1996, 2001)^{58,59}, el cual indica que a partir de los elementos vectoriales de una primera fecha, se empleen esos mismos polígonos para interpretar las imágenes de las demás fechas, sólo modificando los segmentos en donde se identifiquen cambios. Este es un método muy efectivo porque ayuda a reducir al mínimo los errores más comunes que llevan a la detección de falsos cambios: 1) errores de posición, aunque se asume que las imágenes deben estar perfectamente corregidas, el intérprete puede identificar los posibles desplazamientos y no señalarlos como cambio; 2) errores de clasificación, el método permite moverse fácilmente de una fecha a la otra, por lo que el intérprete puede reconocer si se trata de verdaderos cambios o sólo de diferencias en la respuesta espectral de las cubiertas por condiciones particulares de la toma de la imagen (Ramírez y Zubieta, 2005)⁶⁰.

⁵⁷ Paniagua, I. 2009. Tesis: "Análisis híbrido para la identificación anual de cambios en la cubierta del suelo: La Chinantla, Oaxaca, 2004-2005". Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

⁵⁸ FAO, 1996. Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, Rome.

⁵⁹ FAO, 2001. Global Forest Resources Assessment 2000. FAO Forestry Paper 140. Rome.

<http://www.fao.org/forestry/fra/2000/report/en/> (accessed 08 Nov. 2005)

⁶⁰ Ramírez, M.I. y R. Zubieta. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México D.F. Septiembre 2005.

Además, en este caso, al considerar imágenes con diferente resolución espacial (TM 30 metros, ETM+ 15 metros y SPOT 5 10 metros), también se evitan errores por diferencia de escala (Paniagua, I. 2009)⁶¹.

Los datos, la dinámica de cambio en las cubiertas del suelo se presentan en la matriz de transición que propuso Ramírez y Zubieta (2005)⁶². Con las capas de uso de suelo y vegetación multifecha, se recategorizan en dos grandes grupos: Forestal y No Forestal, tomando como referencia la superficie del polígono que delimita al área de estudio, para posteriormente calcular la tasa de transformación, a partir de la fórmula de la FAO (1996,2001)^{63,64}:

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1}\right)^{1/n}$$

Donde:

δ = Tasa de Transformación

S_1 = Superficie Forestal, al inicio del periodo

S_2 = Superficie Forestal, al final del periodo

n = Número de años entre las dos fechas

Haciendo uso de la matriz de tipo de transición⁴³, se obtienen los datos de tipo de cambio, se genera la matriz de dinámica de cambio y finalmente se construyen los mapas de tipo de cambio y cambio acumulado.

⁶¹Idem 57

⁶³Idem 58

⁶⁴Idem 59

5. Resultados

Las imágenes procesadas se presentan en las Figuras 2, 3, 4 y 5. La Figura 2 corresponde a la imagen de satélite Landsat del sensor TM de fecha 26 de octubre de 1989, con una resolución de 30 m/píxel y una combinación RGB 452.

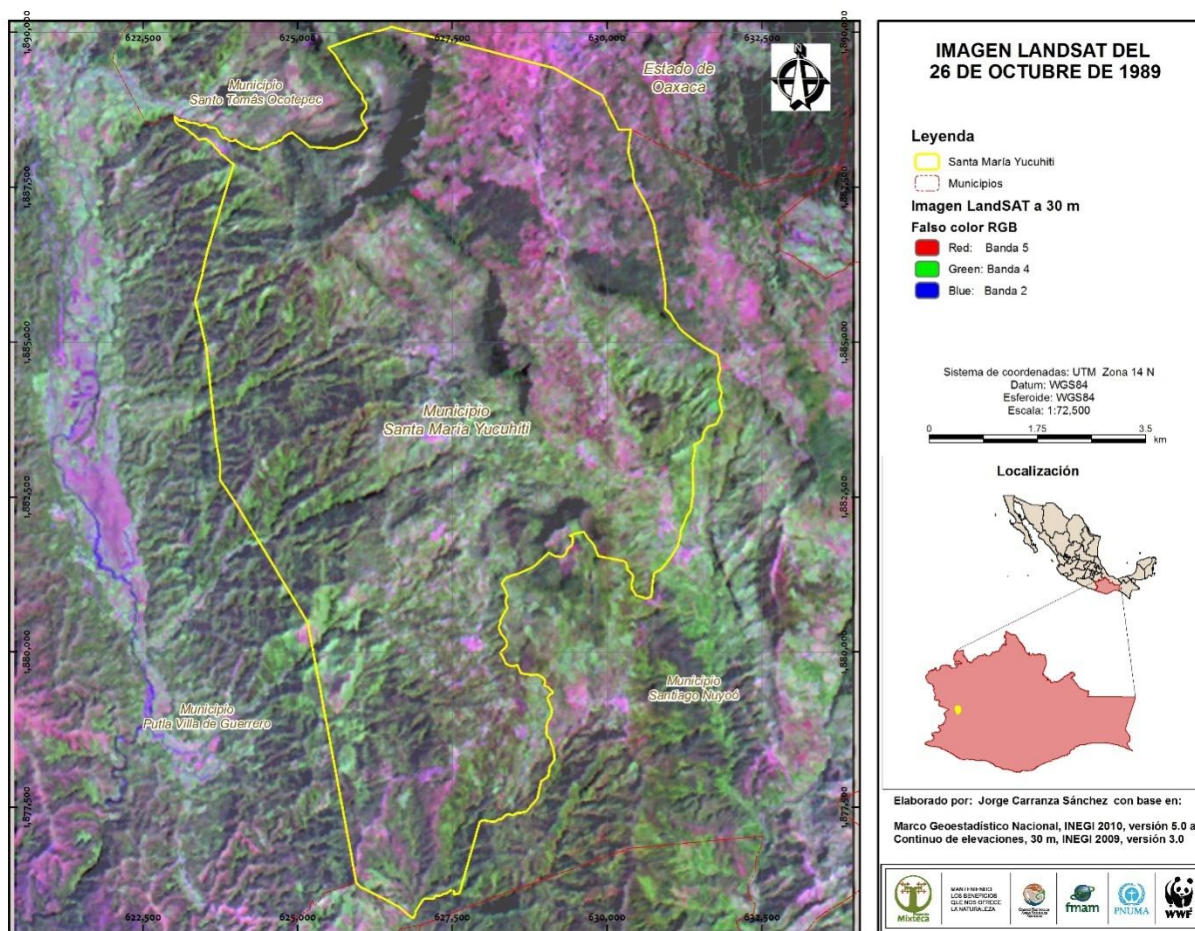


Figura 2. Imagen de satélite Landsat TM 1989, (RGB) 542

En la Figura 3 se presenta la imagen de satélite Landsat del sensor ETM+ de fecha 09 de diciembre de 1999, con un realce espacial de 15 m/píxel y una combinación de bandas RGB 542.

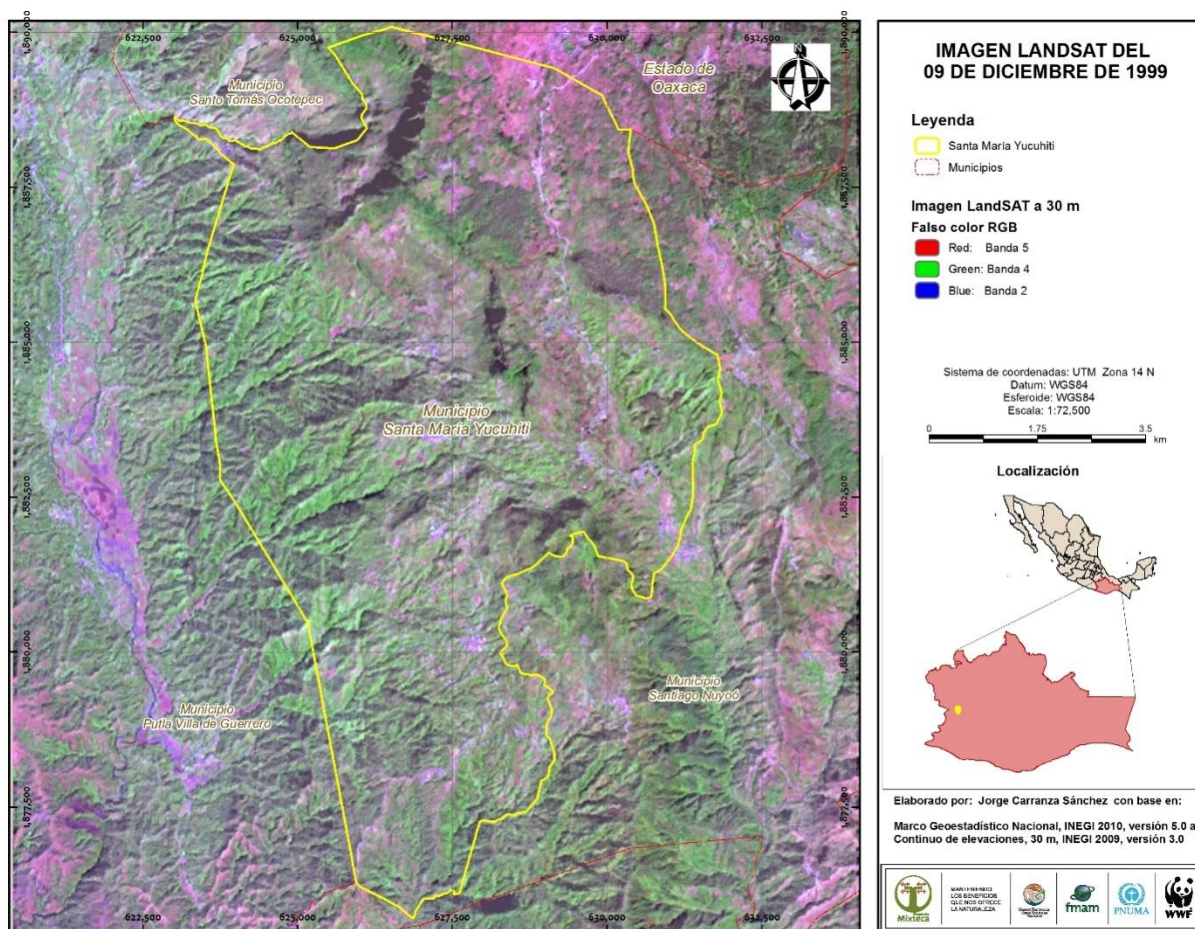


Figura 3. Imagen de satélite Landsat ETM+ 1999, (RGB) 542

La Figura 4 corresponde a la imagen de satélite SPOT del sensor 5 de fecha 26 de diciembre de 2008, con una corrección atmosférica y realce espacial a 2.5 m/píxel y una combinación de bandas RGB 432.

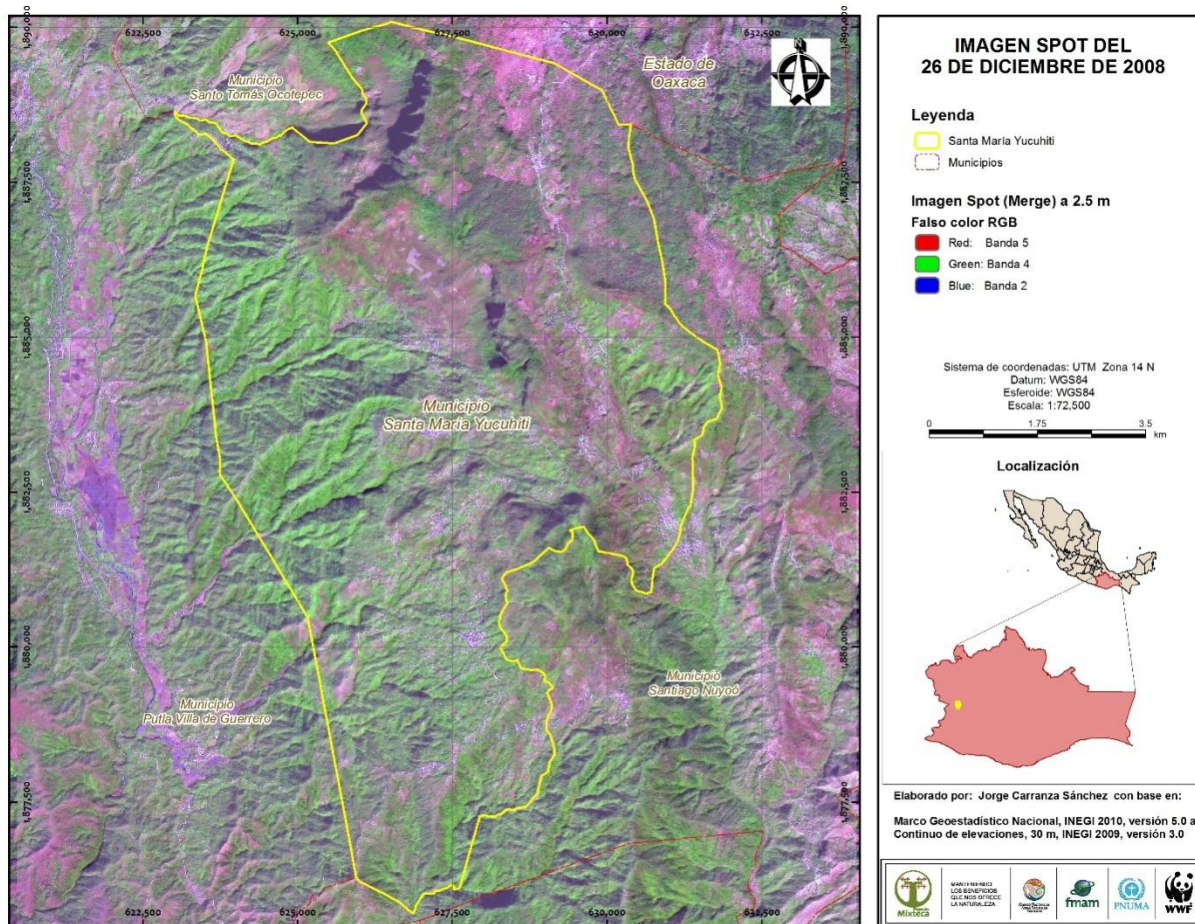


Figura 4. Imagen de satélite SPOT 5 2008, (RGB) 432.

La Figura 5 la imagen SPOT también del sensor 5 de fecha 20 de enero de 2010, con una corrección atmosférica y un realce espacial a 2.5 m/píxel y una combinación de bandas RGB 432.

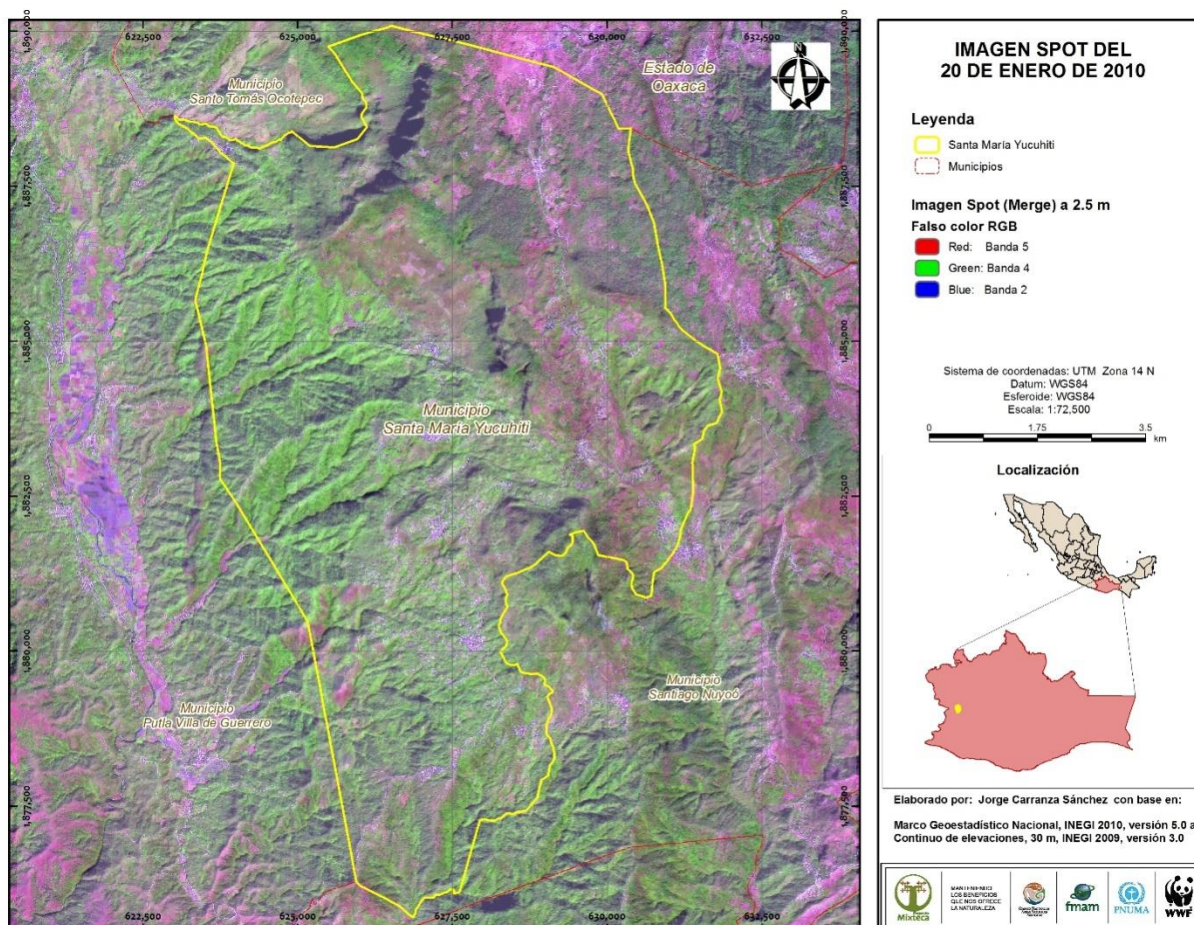


Figura 5. Imagen de satélite SPOT 5 2010, (RGB) 432.

Una vez realizada la clasificación de las imágenes se obtuvieron las superficies para cada tipo de uso del suelo y vegetación que se presentan en la Tabla 2. En ésta se agrupa en *Forestal* todos los tipos de vegetación que incluyen vegetación primaria y secundaria y *No Forestal* todos los usos del suelo debido a actividades antrópicas.

Tabla 2. Uso del suelo y vegetación, municipios de Yucuhiti, Oaxaca.

Uso del Suelo y Vegetación	1989	%	1999	%	2008	%	2010	%
Forestal								
Bosque de Encino	357	4.89	343	4.70	325	4.45	319	4.37
Bosque de Encino vs	1,557	21.33	1,570	21.51	1,581	21.65	1,583	21.69
Bosque de Pino	65	0.89	6	0.09	0	0.00	0	0.00
Bosque de Pino-Encino	431	5.91	362	4.96	340	4.66	333	4.56
Bosque de Pino-Encino vs	251	3.44	318	4.36	332	4.55	336	4.60
Bosque de Pino vs	266	3.64	308	4.22	312	4.28	312	4.27
Bosque Mesófilo de Montana	959	13.14	946	12.97	944	12.93	940	12.88
Bosque Mesófilo de Montana vs	1,637	22.42	1,639	22.46	1,628	22.31	1,623	22.23
Subtotal	5,523	75.67	5,493	75.25	5,462	74.83	5,446	74.61
No Forestal								
Área Agrícola	938	12.85	947	12.98	958	13.13	975	13.35
Asentamientos Humanos	128	1.75	129	1.77	130	1.79	132	1.81
Pastizales	709	9.72	730	10.00	748	10.25	746	10.22
Subtotal	1,776	24.33	1,806	24.74	1,837	25.16	1,853	25.39
Total	7,299	100	7,299	100	7,299	100	7,299	100

El municipio Yucuhiti presenta una superficie Forestal de aproximadamente el 75%, donde los principales tipos de vegetación corresponden a Bosque de Encino con vegetación secundaria y Bosque Mesófilo de Montaña. En tanto que la superficie transformada por actividades humanas que corresponde aproximadamente al 25% de la superficie total del municipio.

La distribución de los tipos de uso del suelo y vegetación se presenta en las Figuras 6,7,8 y 9.

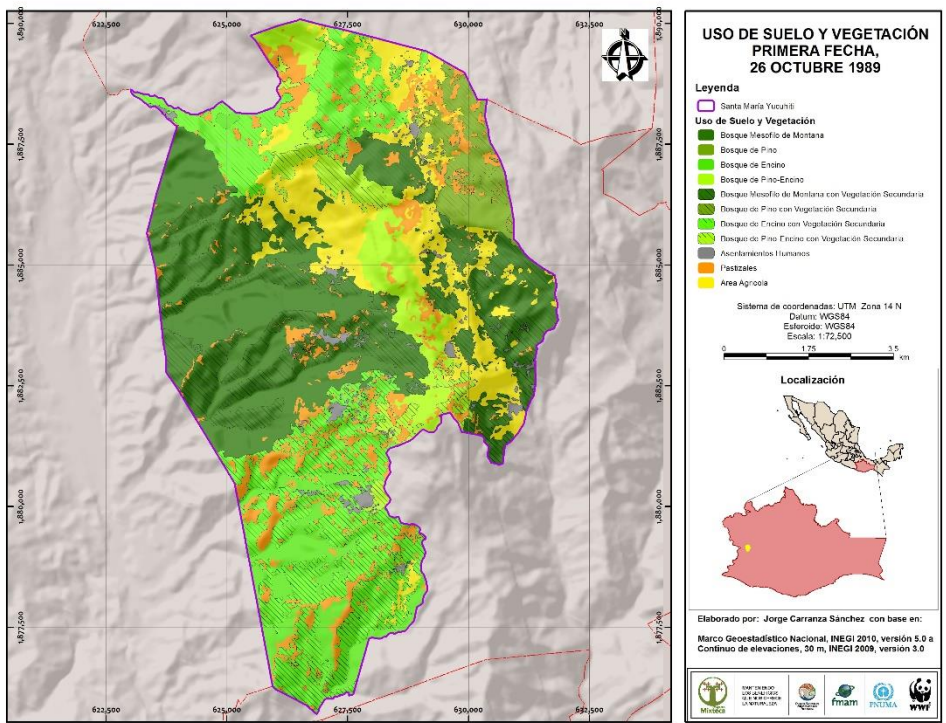


Figura 6. Clasificación de uso del suelo y vegetación, año 1989.

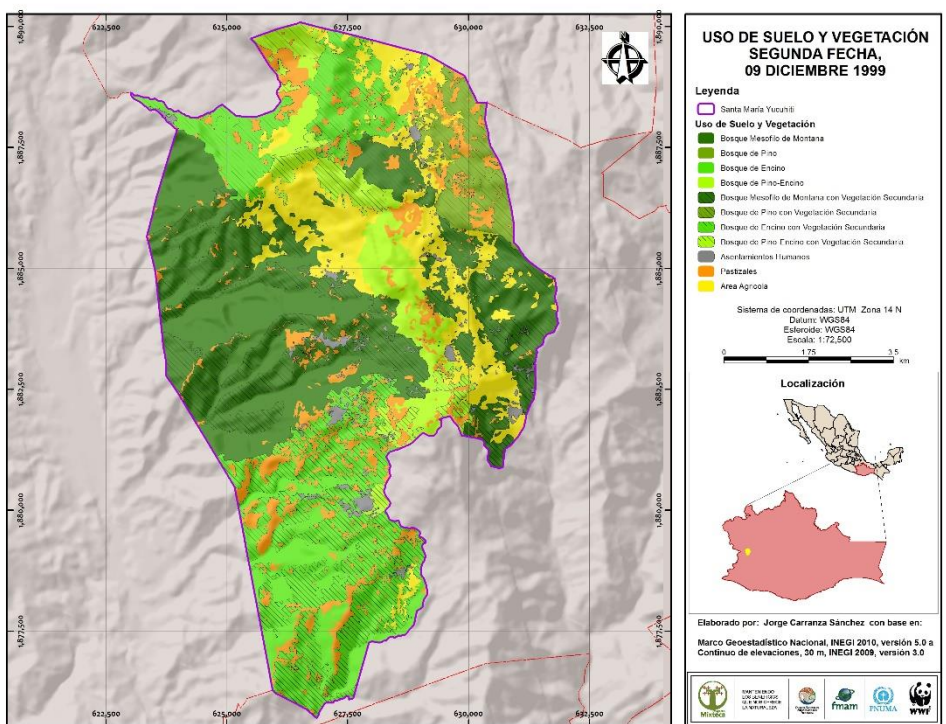


Figura 7. Clasificación de uso del suelo y vegetación, año 1999.

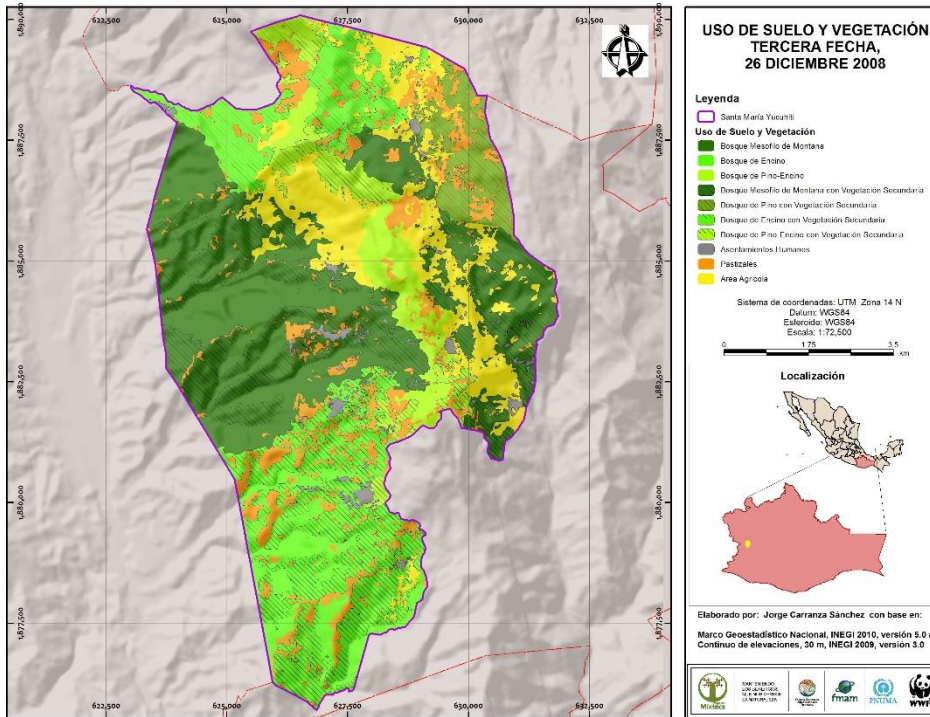


Figura 8. Clasificación de uso del suelo y vegetación, año 2008.

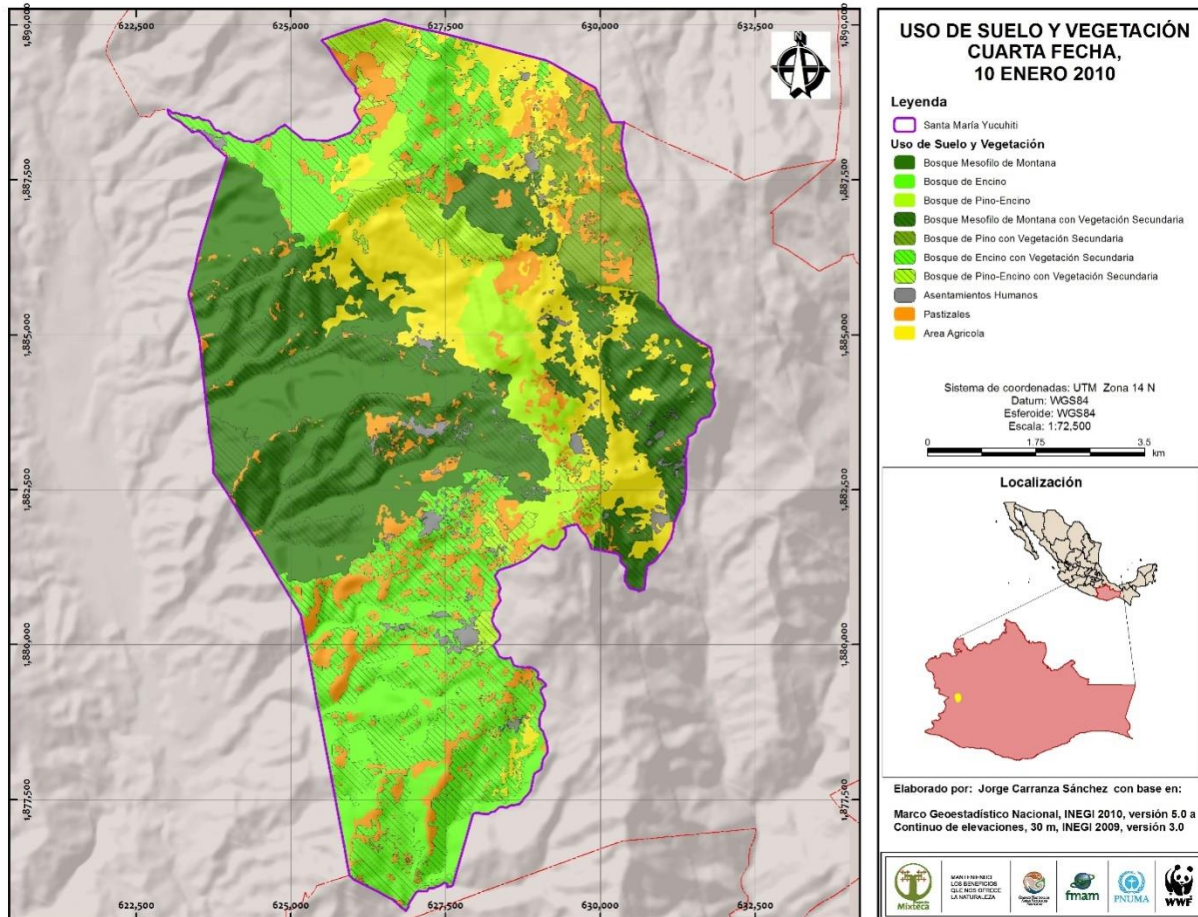


Figura 9. Clasificación de uso del suelo y vegetación, año 2010.

En el 2007, el Grupo Mesófilo³⁰ menciona que el municipio de Santa María Yucuhiti cuenta con aproximadamente 1,971 hectáreas de cultivo de café. La delimitación de los cultivos de café no es posible separarla con la clasificación de las imágenes de satélite, por lo anterior es necesario contar con el censo georeferenciado de las parcelas de café. Las parcelas del mapa que presenta el Grupo Mesófilo fueron digitalizadas y sobrepuestas en la clasificación de uso del suelo y vegetación del año 2010 como se muestra en la Figura 10. Estas se presentan en la porción SW del municipio, dentro de los tipos de vegetación Bosque Mesófilo de Montaña y Bosque de Encino.

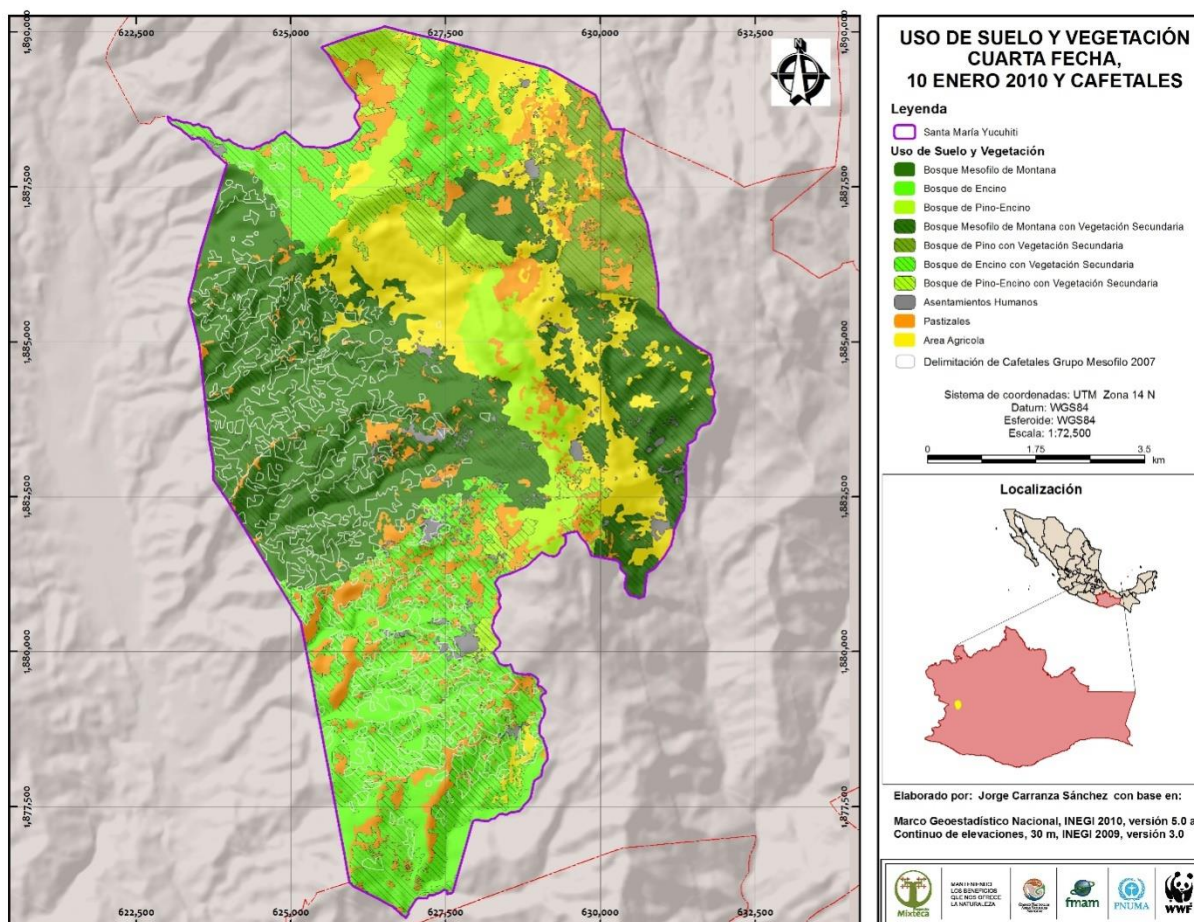


Figura 10. Uso del suelo y vegetación 2010 y parcelas de café.

La tasa de transformación para el periodo 1989-1999 fue de 0.054, que corresponde a 30 hectáreas, con una transformación de 3.05 hectáreas por año. Mientras que en el periodo 1999-2008 la tasa fue de 0.0629 con 31 hectáreas y que corresponde a una transformación de 3.4 hectáreas por año. Y para el último periodo, en poco más de un año, se obtuvo una tasa de 0.2713 con 16 hectáreas y una transformación de 8.14 hectáreas por año Tabla 3.

Tabla 3. Tasa de transformación.

Periodo	S ₁	S ₂	Cambio (Ha)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	Ha/año
1989-1999	5,52	5,49	-30	10.1	0.0005	0.0540	3.05
1999-2008	5,49	5,46	-31	9	0.0006	0.0629	3.4

2008-	5,46	5,44	-16	1.08	0.0027	0.2713	8.14
2010	2	6					

Los mapas de cambio para cada uno de los periodos se presentan en las Figuras 11, 12 y 13. También se presenta el mapa de cambio acumulado en donde se muestran aquellas áreas que se encontraban transformadas en el año de 1989, así como la transformación que se presenta en cada uno de los periodos antes mencionados (Figura 14).

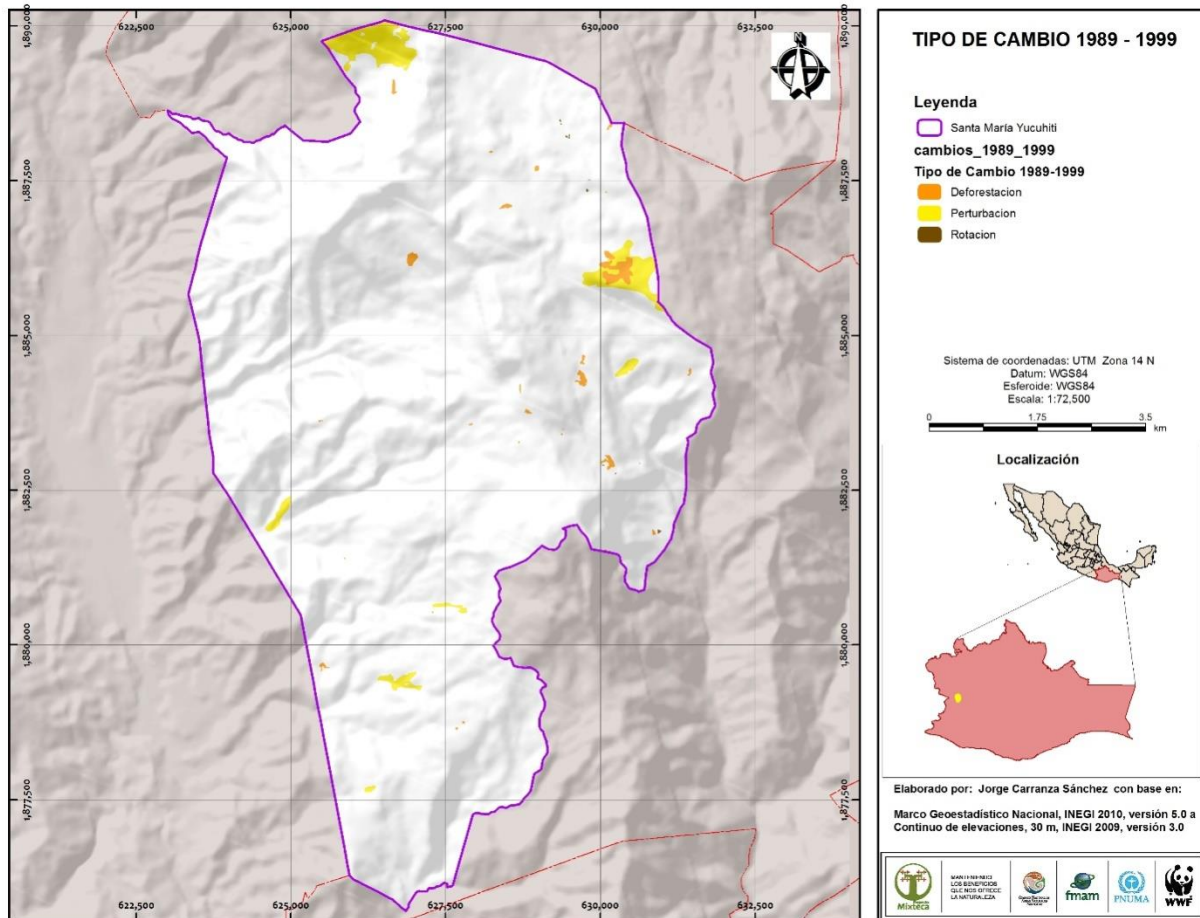


Figura 11. Áreas de transformación en el periodo 1989-1999.

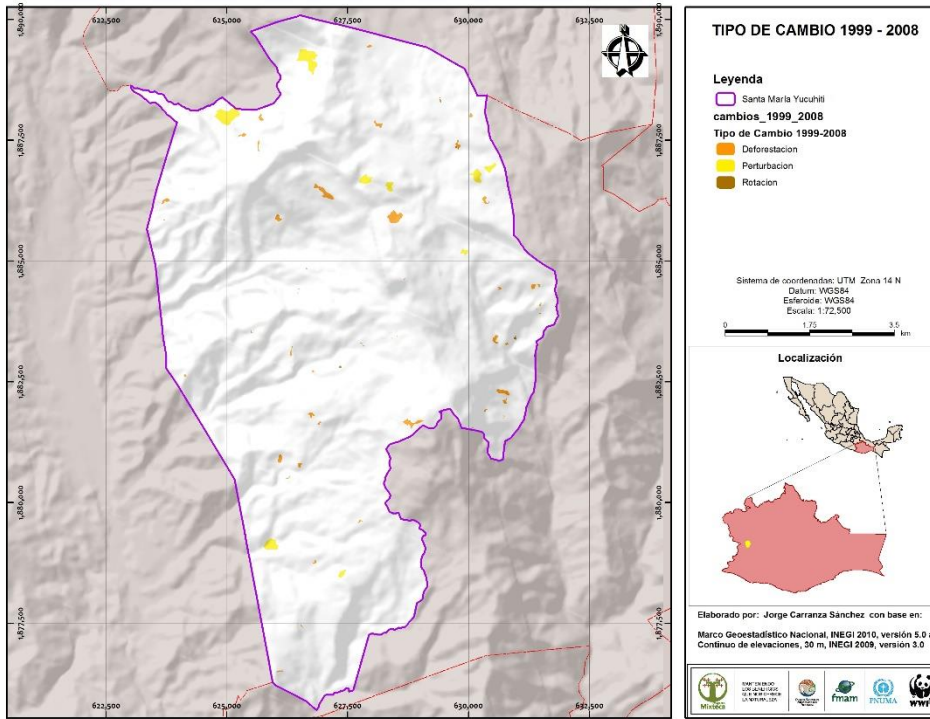


Figura 12. Áreas de transformación en el periodo 1999-2008.

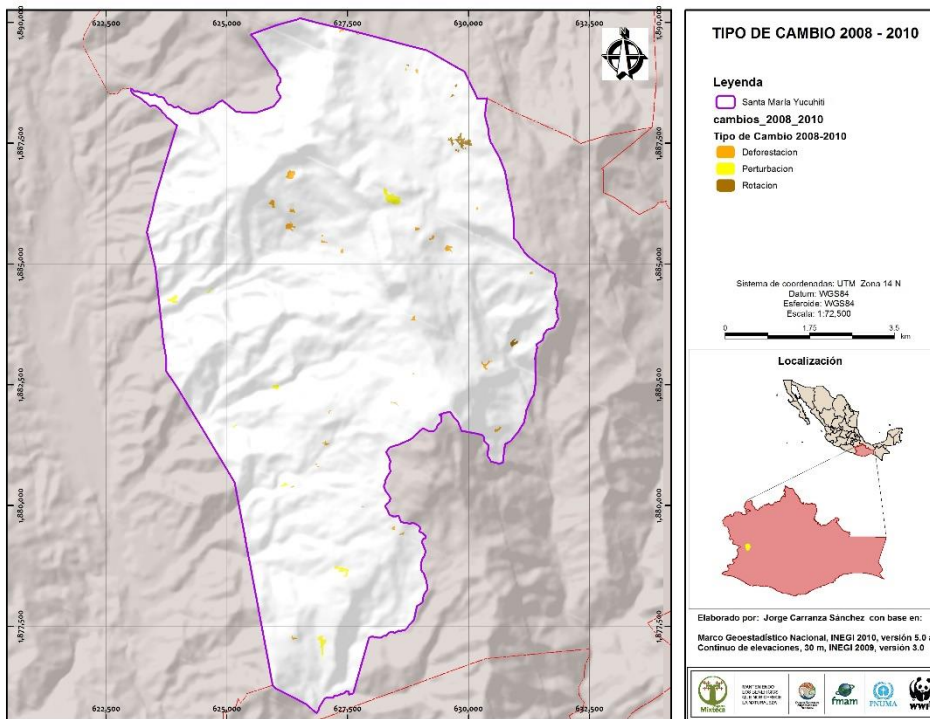


Figura 13. Áreas de transformación en el periodo 2008-2010.

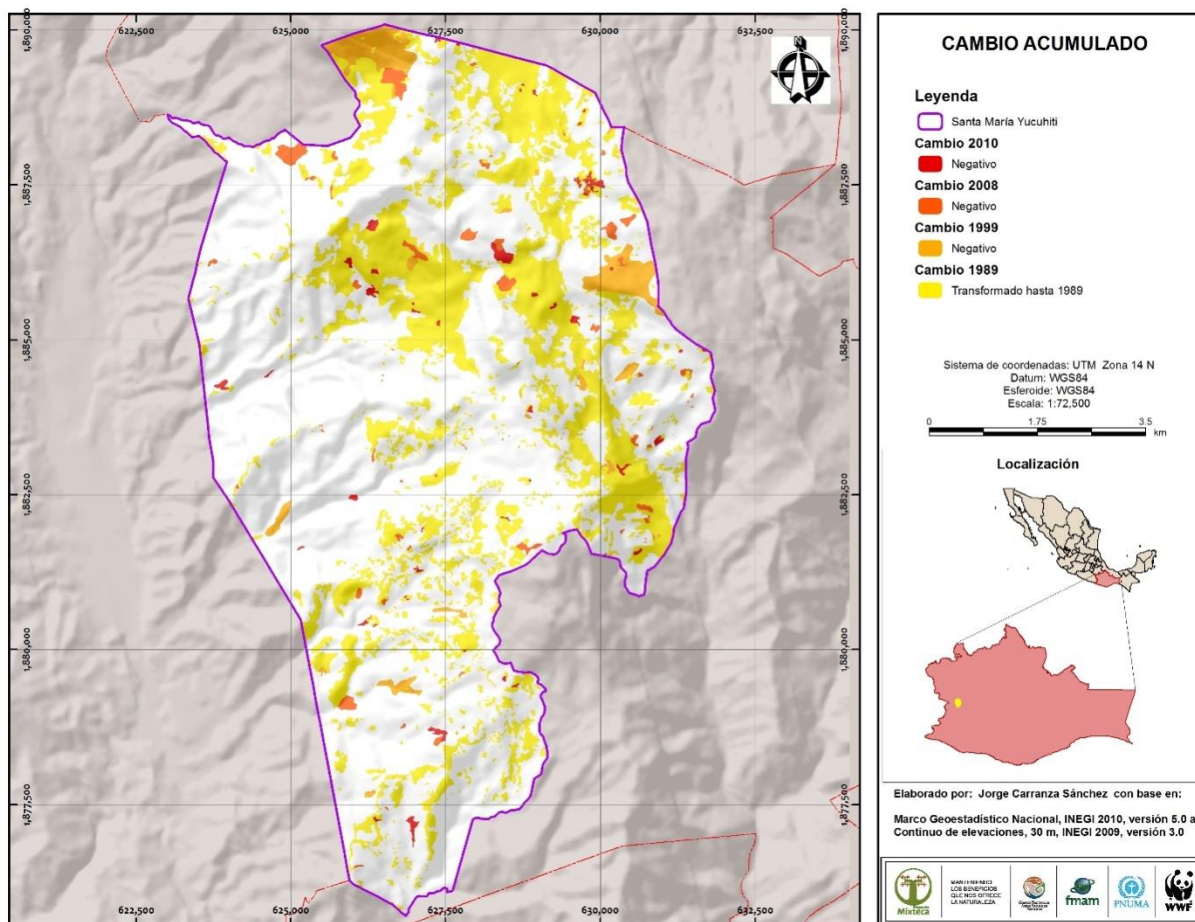


Figura 14. Cambio acumulado en el periodo 1989-2010.

6. Conclusiones.

Santa María Santa María Yucuhiti se encuentra en una de las regiones económicas más pobres del país, denominada la Mixteca Alta. De acuerdo al plano de ejecución de conformación de terrenos comunales emitido por el departamento agrario del Registro Agrario Nacional, el municipio de Santa María Yucuhiti, se ubica en el Distrito de Tlaxiaco, en la región Mixteca en la división política-administrativa de Oaxaca.

Topográficamente Santa María Yucuhiti se localiza en el gran macizo que se conoce con el nombre de la Provincia de la Sierra Madre del Sur Oaxaca en la llamada Mixteca Alta, donde predominan altas cimas y fuertes pendientes. En general los suelos de la región son poco aptos para la agricultura, no solo por sus características físicas y químicas, sino por las fuertes pendientes que existen dentro de la comunidad.

Según los datos del INEGI, entre el censo del 2000 y el 2010, el municipio de Yucuhiti tuvo una disminución en su población de 6,565 a 6,551 habitantes. Una de las actividades primordiales lo constituye desde hace 60 años la producción de café, las condiciones de producción y comercialización de este grano es de pequeños productores que de forma general se encuentran integrados en alguna organización de productores.

Los datos obtenidos de las imágenes de satélite indican que de la superficie del municipio el 75% corresponde a vegetación forestal, donde los principales tipos de vegetación corresponden a bosque de encino con vegetación secundaria y bosque mesófilo de montaña. En tanto que la superficie transformada por actividades humanas que corresponde aproximadamente al 25% de la superficie total del municipio.

La tasa de transformación para el periodo 1989-1999 fue de 0.054, que corresponde a 30 hectáreas, con una transformación de 3.05 hectáreas por año. Mientras que en el periodo 1999-2008 la tasa fue de 0.0629 con 31 hectáreas y que corresponde a una transformación de 3.4 hectáreas por año. Y para el último periodo, en poco más de un año, se obtuvo una tasa de 0.2713 con 16 hectáreas y una transformación de 8.14 hectáreas por año.

7. Referencias bibliográficas.

- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía*. 44: 18-38.
- Carranza, S.J. 2010. Protocolo para el monitoreo de la Zona Núcleo de la reserva de la biosfera Mariposa Monarca, México. Trabajo Fin de Master en Tecnologías de la Información Geográfica, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid. 47 pp.
- Castelán, V. R., J. Ruiz C., G. Linares F., R. Pérez A. y V. Tamaríz Flores. 2007. Dinámica de cambio espacio temporal de uso del suelo de la subcuenca del Río San Marcos, Puebla, México.
- CONABIO. 2009. Biodiversidad Mexicana. Reporte País: Riquezas Naturales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- CONAFOR. 2011. Plan de Inversión México, Programa de Inversión Forestal. Banco Mundial, Financiera Rural, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- CONANP e INECOL, A.C. 2011. Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz México en el periodo 2003-2011. Xalapa, Veracruz.
- CONANP. 2012. Base de datos de las Áreas Naturales Protegidas de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Dirección de Evaluación y Seguimiento, Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática. Morelia, Michoacán México.
- Cuevas, G. G. 2005. Pronóstico del cambio de uso del suelo en áreas forestales del estado de Michoacán. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Challenger, A. R. y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: *Capital Natural de México*. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México pp. 63-73.
- Chase, T. N., Pielke Sr, R. A., Kittel, T. G. F., Nemani, R. R. and S. W Running. 2000 Simulate dimpacts of historical landcover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics*.16: 93-105.
- Chávez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62: 1025-1036 p.
- De Jong, B., M. A. Castillo, O. Masera y A. Flamenco. 2003. Dinámica de cambio de uso de suelo y emisiones de carbono en el trópico húmedo de México. Resultados finales del análisis de cambio de uso entre 1975 y 2000, Selva Lacandona y El Ocote. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) e Instituto de Ecología, Campus Morelia.
- DIMAP Dictionary. 2006. SPOT Scene profile Versión 1.1.2.
- Dirzo, R. y M. C. García. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast Mexico. *Conservation Biology* 6(1): 84-90.

FAO, 1996. Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, Rome.

FAO. 2001. Global Forest Resources Assessment 2000. FAO Forestry Paper 140. Rome. <http://www.fao.org/forestry/fra/2000/report/en/> (accessed 08 Nov. 2005)

FAO. 2011. Situación de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Figueroa, D. E. M. F. 2008. El contexto socioeconómico y la efectividad de las ANP de México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. Tesis para obtener el grado académico de Doctora en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Figueroa, F., V. Sánchez Cordero, P. Illoldi-Rangel y M. Linaje. 2011. Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio de uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 951-963.

Grupo Mesófilo. 2007. Ordenamiento participativo del territorio comunal de Santa María Yucuhiti, Tlaxico, Oaxaca.

Guerra, M. V. y S. Ochoa Gaona. 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 59: 7-25. UNAM.

Halffter, G. 1994. Conservación de la biodiversidad y áreas protegidas en los países tropicales. *Revista Ciencias* 36: 4-13.

<http://glcf.umd.edu/>

Instituto de Geografía. Carta de climas 1970.

Lambin, E.F., B.L. Turner, H.J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkam, C. Vogel y J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11: 261-269.

López, G. J. 2011. Deforestation and forest degradation in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico 2003-2009. *Journal of Maps* 7(1): 626-633.

Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E. 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 23, no. 13, 2651-2671.

March, M. I. J. y A. Flamenco Sandoval. 1992. Evaluación rápida de la deforestación en las áreas naturales protegidas de Chiapas (1970-1993). The Nature Conservancy, El. Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

Mas, J.F., V. Sorani, R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 5: 43-57. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Mas, S. F., H. H. Regil García, C. González Esquivel y G. Nava Bernal. 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el periodo 1972-2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. 61: 38-57.

Paniagua, I. 2009. Tesis: “Análisis híbrido para la identificación anual de cambios en la cubierta del suelo: La Chinantla, Oaxaca, 2004-2005”. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

PNUMA. 2005. Grupo de países megadiversos afines. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Para consulta:

<http://www.pnuma.org/deramb/GroupofLikeMindedMegadiverseCountries.php>

Ramírez, M.I. y R. Zubieta. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México D.F. Septiembre 2005.

Ramos, S. A.L. 2009. Regionalización Del Distrito De Tlaxiaco Ubicado En La Región De La Mixteca En El Estado De Oaxaca. Observatorio Iberoamericano Del Desarrollo Local Y La Economía Social. Grupo EUMED.NET de la Universidad de Málaga. Año 3 – Nro.7 –Diciembre de 2009.

Smith, M.S. 2004. How to convert ASTER radiance values to reflectance. En online guide. En: University of Idaho, <http://www.cnrhome.uidaho.edu/default.aspx?pid=85984>. 3 p.; consulta: junio 2010.

UICN, 2011.

Utah State University Remote Sensing (USU) /GIS Laboratory. 2008. Image standardization: at-sensor reflectance and COST correction. USU, Logan, UT. Online: <http://ftp.nr.usu.edu/imagestd>, Consultado en mayo 2010.

Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz Gallegos, R. Mayorga Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Instituto Nacional de Ecología. Gaceta Ecológica*, 62: 21-37. México, D.F.

Velázquez, A., E. Durán, A. Larrazábal, F. López y C. Medina. 2007. La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. En: Atlas fisiográfico de la Cuenca de Tepalcatepec. Manuel Mendoza, Alejandro Velázquez, Alejandra Larrazábal, Alejandro Toledo (compiladores). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología (INE).

Velázquez, A., E. M. Cüe-Bar, A. Larrazábal, N. Sosa, J. L. Villaseñor, M. McCall, G. Ibarra-Manríquez. 2009. Building participatory landscape-based conservation alternatives: A case study of Michoacán, Mexico. *Applied Geography*. 1-14

Vázquez-Cuevas, G. M. e I. E. Roldán Aragón. 2010. Evaluación de los cambios de cobertura del suelo en la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo México (1973-1976). *Papeles de Geografía*. 51-52: 307-316.

Velázquez, A. y A. Larrazábal. 2011. Conservación participativa del paisaje. En: *Geografía y*

Ambiente en América Latina. Gerardo Bocco, Pedro S. Urquijo y Antonio Vieyra (coordinadores). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Instituto Nacional de Ecología (INE).

Warner, T. 2008. Conversion of Landsat DN to reflectance using the Cos T approach. University of West Virginia.

ANEXO III.

Informe de final

Aplicar los módulos del InVEST a los servicios ecosistémicos claves del Proyecto GEF-Mixteca.

Módulo: Retención de Sedimentos.

Elaboración:

Jorge Carranza Sánchez
Cesar Octavio Silva González

Contenido

1. Introducción.....	2
1.1. Modelo de Retención de Sedimentos.	4
1.2. El Modelo.....	8
1.3. ¿Cómo trabaja?	8
1.4. Limitaciones y simplificaciones.	10
2. Área de estudio.	13
3. Datos necesarios.	14
3.1. Modelo digital de elevación (MDE).....	14
3.2. Índice de erosividad por lluvia	16
3.3. Erosionabilidad del suelo	19
3.4. Uso del suelo y vegetación (LULC).....	21
3.5. Cuencas hidrológicas.....	24
3.6. Subcuencas.....	25
3.7. Tabla biofísica.....	26
3.8. Tabla del límite del sedimento.....	27
4. Resultado.....	28
5. Conclusiones.....	39
6. Referencias bibliográficas.....	40
ANEXO 1. Estaciones Climatológicas.	44
ANEXO 2. Perfiles de suelo.....	47
ANEXO 3. Promedio sedimento exportado.	51

Figuras	Pag.
Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.	14
Figura 2. Modelo digital de elevación, resolución 90 m/pixel.	15
Figura 3. Estaciones meteorológicas CNA.	17
Figura 4. Factor R, erosividad de la lluvia.....	18
Figura 5. Factor K, erosionabilidad del suelo.	21
Figura 6. Uso del suelo y vegetación de la clasificación de imágenes de satélite SPOT 2010...	23
Figura 7. Límite de las Subcuencas.....	25
Figura 8. Límite de las microcuencas.	26
Figura 9. Promedio del potencial de pérdida de suelo (USLE).	29
Figura 10. Total del potencial de pérdida de suelo (USLE).....	30
Figura 11. Promedio de sedimento retenido originado corriente arriba.	31
Figura 12. Total de sedimento retenido originado corriente arriba.....	32
Figura 13. Total de sedimentos exportados por Subcuenca.	35
Figura 14. Total de sedimentos exportados en la microcuenca.....	36
Figura 15. Promedio de retención de sedimentos en la microcuenca.....	37
Figura 16. Total de retención de sedimetos en las microcuencas.	38

Tablas	Pag.
Tabla 1. Tipos de uso del suelo y vegetación INEGI Serie V.....	22
Tabla 2. Datos biofísicos para el modelo InVEST.	27
Tabla 3. Datos de límites de sedimentos.....	28
Tabla 4. Total de sedimentos exportados.....	33

Acrónimos.

InVEST- Integrated Valuation of Environment Services and Tradeoffs.

ICOLD- Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés).

DOF- Diario Oficial de la Federación.

USLE- Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Universal (USLE por sus siglas en inglés).

LS- Longitud de la pendiente

FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

MDE- Modelo digital de elevación.

INEGI- Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

LULC- Uso del suelo y vegetación (Land cover-Land use).

Resumen ejecutivo.

El campo del estudio de los servicios ecosistémicos y sus aplicaciones para la toma de decisiones está creciendo rápidamente. Los vínculos entre el bienestar humano y los ecosistemas no se conocen a fondo para la mayoría de los ecosistemas del planeta, para una gran variedad de contextos socio-económicos, y para múltiples escalas. Con el entendimiento de los vínculos entre ecosistemas y sociedad a través de los servicios ecosistémicos, se deben establecer estrategias sustentables de relación con los ecosistemas. En México, como en muchos países, el severo deterioro ambiental actual se ha debido en gran medida al desarrollo de políticas y estrategias que **NO** han procurado el mantenimiento de un adecuado funcionamiento de los ecosistemas.

El estudio de los servicios ecosistémicos es inherentemente complejo y representa un reto enorme. Su comprensión requiere del entendimiento tanto de la complejidad inherente de los sistemas ecológicos, la de los sociales, así como la de su interacción. Los avances científicos en el entendimiento de los servicios ecosistémicos son indispensables para poder transferirlos hacia la sociedad de tal forma que tengan consecuencias en la toma de decisiones y en la generación de políticas que aseguren su mantenimiento.

Para alinear la conservación de los ecosistemas con fuerzas económicas, se han desarrollado modelos que cuantifican y trazan un mapa de los valores de servicios ambientales. Una de las aplicaciones a utilizar es el InVEST (Integrated Valuation of Environment Services and Tradeoffs) que fue diseñado para tomar decisiones de manejo de los recursos naturales, entre los modelos para los sistemas terrestres se encuentra el de la **Retención de sedimento: Evitando el dragado y regulando la calidad del agua.**

El modelo de Retención de Sedimento provee al usuario una herramienta para calcular la media anual de la pérdida de suelo de cada parcela, determinando la cantidad de aquel suelo que puede llegar a un punto particular de interés, estimando la capacidad de cada parcela para retener el sedimento, y evaluando el costo generado por remover el sedimento acumulado sobre una base anual. Un factor determinante de la capacidad de retención de suelo es el empleo de la cubierta de uso del suelo y vegetación. Para identificar el potencial de la parcela para la pérdida de suelo y el transporte de sedimento, el modelo de InVEST utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Universal (USLE por sus siglas en inglés). Este modelo puede ser usado para valorar el paisaje asociado al mantenimiento de la calidad de agua o evitar la sedimentación de las presas.

Los resultados presentan los valores promedio y total del potencial de pérdida de suelo (USLE) en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca. Para los dos casos los valores más altos se presentan en la parte Centro-Sur de la región. De las 9 subcuencas, la del río Mixteco es la que presenta el mayor aporte de sedimentos con 6'221,460 ton/año, seguida de la subcuenca del río Sordo con 4'065,250 ton/año. Estas dos subcuencas son las que ocupan la mayor superficie del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

Los datos obtenidos del modelo indican que para la porción de la cuenca del río Mixteco en el área de intervención del proyecto se estimó una producción de 6'221,460 ton/año (Tabla 4), con un promedio de 9.23 ton/ha/año. Por lo que se encuentra ligeramente por abajo de la

tolerancia de erosión de 10.0 ton/ha, correspondiente al límite de erosión permisible adoptado internacionalmente.

1. Introducción.

El campo del estudio de los servicios ecosistémicos y sus aplicaciones para la toma de decisiones está creciendo rápidamente (Balvanera y Cotler, 2007¹). Los vínculos entre el bienestar humano y los ecosistemas no se conocen a fondo para la mayoría de los ecosistemas del planeta, para una gran variedad de contextos socio-económicos, y para múltiples escalas. Balvanera y Cotler (2007²) llevaron a cabo una recopilación de una muestra de la creciente diversidad de enfoques que se tiene al respecto de los servicios que proveen los bosques templados del centro de México (Almeida-Leñero *et al.*, 2007³; Pérez-Maqueo *et al.*, 2007⁴) y del sur de Chile (Meynard *et al.*, 2007⁵), los ecosistemas acuáticos continentales tropicales (Castello *et al.*, 2007⁶), así como, cuencas hidrológicas (Ávila-Foucat, 2007⁷) o especies individuales (Aguilera-Taylor *et al.*, 2007⁸) del trópico seco. Los estudios abarcan un abanico de condiciones socioeconómicas, incluyendo la gran heterogeneidad de culturas. Al mismo tiempo analizan a través de los trabajos diferentes escalas espaciales que van desde toda la ecorregión de Chile (Meynard *et al.*, 2007⁹) hasta una cuenca pequeña de sólo 30 Km² al sur de la ciudad de México (Almeida-Leñero *et al.*, 2007¹⁰). Esta diversidad muestra la enorme complejidad del tema de los Servicios Ecosistémicos, así como el largo camino que aún hace falta recorrer.

Aún queda mucho por saber acerca del papel que juegan las características de los ecosistemas y su capacidad de brindar servicios. Es necesario conocer más acerca de la relación entre los componentes, condiciones y procesos de los ecosistemas y los distintos servicios ecosistémicos. El concepto mismo fue creado para comprender la liga entre los ecosistemas y el bienestar humano, sin embargo es poco lo que se sabe sobre cómo y en qué medida los ecosistemas inciden en el bienestar humano. Los servicios benefician

¹ Balvanera, P. y Cotler, H. 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica* número especial **84-85** (2007) 8-15 Instituto Nacional de Ecología, México.

² *Idem* 2.

³ Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, M. J. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, D.F. *Gaceta Ecológica* **84-85**:53-64.

⁴ Pérez-Maqueo, O., M. Equihua, G. Vázquez, M. L., Martínez, A. Campos, G. Castillo, E. Díaz Pardo, J.G. García Franco, D. Gelsert, K. Mehlreter, E. Meza y L. Muñoz-Viller. 2007 Construcción de consensos mediante modelación medida con enfoque en servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 107-116.

⁵ Meynard, C. N., Lara, M. Pino, M. Soto, D. Soto, L. Nahuelhual, D. Nuñez, C. Echeverría, C. Jara, C. Oyarzún, M. Jiménez y F. Morey 2007. Integrando ciencia, economía y sociedad: servicios ecosistémicos en la región de los bosques lluviosos valdivianos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 29-38.

⁶ Castello, L., J. P. Castello y C. A. S. Hall. 2007 Problemas en el estudio y manejo de pesquerías tropicales. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 65-73.

⁷ Avila-Foucat, V.S. 2007. Los modelos de economía ecológica: una herramienta metodológica para el estudio de los servicios ambientales. *Gaceta Ecológica* **84-85**:85-91.

⁸ Aguilera-Taylor, I., A. Corzo-Dominguez, G. Muñoz-Castro y L. López-Hoffman. 2007. Servicios ambientales de una palma endémica: importancia para la población rural. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 75-84.

⁹ Meynard, C. N., Lara, M. Pino, M. Soto, D. Soto, L. Nahuelhual, D. Nuñez, C. Echeverría, C. Jara, C. Oyarzún, M. Jiménez y F. Morey 2007. Integrando ciencia, economía y sociedad: servicios ecosistémicos en la región de los bosques lluviosos valdivianos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 29-38.

¹⁰ Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, M. J. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, D.F. *Gaceta Ecológica* **84-85**:53-64.

directamente a distintos sectores de la sociedad, quienes aprecian o perciben de manera diferente los beneficios y que además promueven de forma diversa la provisión de los servicios. Así mientras que algunos servicios representan ganancias monetarias para algunos sectores de la sociedad, como es la extracción de los recursos forestales de los bosques (Meynardet *al.*, 2007¹¹), otros servicios pueden ser cruciales para la supervivencia de la población, como es el caso de los servicios derivados de las pesquerías tropicales (Castello et *al.*, 2007¹²).

Con el entendimiento de los vínculos entre ecosistemas y sociedad a través de los servicios ecosistémicos, se deben establecer estrategias sustentables de relación con los ecosistemas. En México, como en muchos países, el severo deterioro ambiental actual se ha debido en gran medida al desarrollo de políticas y estrategias que NO han procurado el mantenimiento de un adecuado funcionamiento de los ecosistemas. Para lo cual se requiere, entre otras medidas:

- Compatibilizar las necesidades de los seres humanos con el entorno, estableciendo patrones de uso, aprovechamiento y manejo de los ecosistemas en donde se logre mantener su integridad y funcionamiento, y con ello la capacidad de proveer servicios.
- Identificar las necesidades de los distintos actores, promover su participación, conjuntar políticas intersectoriales que permitan mantener la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios así como el bienestar de los distintos actores.
- Diseñar e implementar programas de políticas públicas e instrumentos de planeación.

Por lo anterior, el estudio de los servicios ecosistémicos es inherentemente complejo y representa un reto enorme. Su comprensión requiere del entendimiento tanto de la complejidad inherente de los sistemas ecológicos, la de los sociales, así como la de su interacción (Liu et *al.*, 2007¹³). Los avances científicos en el entendimiento de los servicios ecosistémicos son indispensables para poder transferirlos hacia la sociedad de tal forma que tengan consecuencias en la toma de decisiones y en la generación de políticas que aseguren su mantenimiento.

Los métodos para la cuantificación de servicios necesitan producir datos relevantes para la toma de decisiones que afecten en un sitio, estos deben ser prácticos y económicos (en términos de experiencia, equipamiento y tiempo) y deben proveer resultados de una forma accesible para actores como políticos, planeadores y manejadores de los recursos. Una variedad de herramientas ha sido desarrollada con amplios progresos en la medición de los servicios ecosistémicos. Sin embargo algunos tienden a estar más especializados que cualquier usuario, técnicamente hablando, o bien requieren de trabajo de campo muy costoso y/o el uso de modelos de extrapolación de datos obtenidos en otros sitios el cual

¹¹ *Idem* 8.

¹² Castello, L., J. P. Castello y C. A. S. Hall. 2007 Problemas en el estudio y manejo de pesquerías tropicales. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 65-73.

¹³ Liu, J., T. Dietz, S. R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A. N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C. L. Redman, S. H. Schneider y W. W. Taylor. 2007. Complexity of Coupled Human and Natural System. *Science* **317**: 1,513-516.

puede no reflejar las condiciones locales. Muchas otras herramientas no son apropiadas para estimar la red de consecuencias de una acción particular o de los servicios ecosistémicos, aun cuando esta sea la pregunta de mayor interés para la toma de decisiones.

Para alinear la conservación de los ecosistemas con fuerzas económicas, se han desarrollado modelos que cuantifican y trazan un mapa de los valores de servicios ambientales. Conocer los patrones espaciales de provisión de los servicios ecosistémicos por medio de mapas es una herramienta útil, ya que muchas decisiones de conservación y manejo se dan en un contexto espacial (Balvanera *et al.*, 2001¹⁴, Tallis *et al.*, 2013¹⁵). El conjunto de aplicaciones que mejor modela es aquel que satisface los análisis de múltiples servicios y múltiples objetivos. Algunos modelos actuales, que requieren relativamente pocos datos de entrada, pueden identificar áreas donde la inversión puede elevar el bienestar humano y el de la naturaleza.

Una de las aplicaciones a utilizar es el InVEST¹⁶ (Integrated Valuation of Environment Services and Tradeoffs) que fue diseñado para tomar decisiones de manejo de los recursos naturales. Desde funcionarios de gobierno hasta organizaciones no gubernamentales frecuentemente manejan recursos de tierra y agua para múltiples usos e inevitablemente deben evaluar compensaciones entre estos; el multiservicio de InVEST, a través del diseño modular, proporciona una herramienta eficaz para evaluar estas compensaciones.

InVEST puede ayudar a responder algunas preguntas tales como:

- a) ¿Dónde se originan los servicios ambientales y dónde se utilizan?
- b) ¿Cómo un plan de manejo forestal, afecta la producción de madera, la biodiversidad, la calidad de agua y la recreación?
- c) ¿Qué parte de una cuenca proporciona la mayor cantidad de captura de carbono, biodiversidad y valores turísticos?

Las herramientas de InVEST incluyen un conjunto de modelos para cuantificar, mapear y evaluar beneficios proporcionados por los sistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas; entre los modelos para los sistemas terrestres se encuentra el de la **Retención de sedimento: Evitando el dragado y regulando la calidad del agua**, el cual será desarrollado en el presente trabajo para el área de intervención de la Región Mixteca.

1.1. Modelo de Retención de Sedimentos.

Evitando el dragado y regulando la calidad del agua.

¹⁴Balvanera, P., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, T. H. Ricketts, S. A. Bailey, S. Kark, C. Kremen and H. Pereira. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* **291**: 2047

¹⁵Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., and Griffin, R. 2013. *InVEST 2.5.4 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford.

¹⁶*Idem* 10.

La infraestructura de riego en México, ha sido desarrollada en las cuencas en las cuales resultaba más factible controlar en gran escala los escurrimientos superficiales y existían extensiones con suelos fértiles que podían dominarse con la infraestructura. Este proceso inició a principios del siglo XX y empezó a darse en el altiplano en coincidencia con los principales poblamientos desde la época prehispánica y el periodo colonial y prosiguió hasta el norte y noreste del país con el proceso de colonización (Del Conde, 2004 en Quijada-Uribe, 2008¹⁷).

La necesidad de la construcción de infraestructura de riego, permitiría poner en explotación las inmensas comarcas del territorio nacional que se encuentran en el norte del país. En virtud de que la mayor parte del área nacional cultivada, había estado hasta entonces sujeta al sistema natural de riego, esto es, reducida a las eventualidades del temporal, y sólo en una mínima parte de esa área existían obras para el aprovechamiento parcial de algunas corrientes fluviales. Esto se presenta sobre todo en la Mesa Central, así como en las zonas tropicales o costeñas, donde se encuentra una justa correspondencia de calor y lluvia que requiere la vegetación, de ahí que existan tantas tierras de temporal y tan pocas de riego.

La política de irrigación que había establecido el gobierno, si bien no era la panacea que curaría todos los males nacionales, si se visualizaba como uno de los factores de la mayor importancia para llegar al ideal de ser autosuficientes (Irrigación en México, 1931¹⁸). A partir de 1926, con la Ley de Irrigación, el gobierno de México comprendió que era necesario dar un impulso vigoroso a la agricultura, ampliando esta importante fuente de riqueza, con el apoyo oficial para llevar a cabo la construcción de las obras de riego. Fue a partir de 1926 cuando se creó la Comisión Nacional de Irrigación, que se inició la construcción de las grandes obras emprendidas en los Sistemas Nacionales de Riego.

Actualmente en México existen más de 4,462 presas, de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas, de acuerdo con la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés). La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de aproximadamente 150 mil millones de metros cúbicos. El volumen almacenado en 98 de las principales presas en el año 2010 fue de aproximadamente 106 mil millones de m³. Este volumen depende de la precipitación y los escurrimientos en las distintas regiones del país. Son 116 presas principales las que representan casi el 79% de la capacidad total de almacenamiento del país¹⁹.

Datos del Atlas Digital de Agua (2012)²⁰, indican que en la Región Mixteca se encuentran seis de estas presas y corresponden a: **La Loma**, municipio Villa Tejaman de Unión; **El Boqueron II**, municipio Heroica Ciudad de Tlaxiaco; **El Capulín**, municipio Santiago Ihuitlín Plumas; **Yosocuta**, municipio de Arteaga; **El Encino**, municipio Martín Zacatepec y **El Águila**, municipio de Juan Bautista Coixtlahuaca. De estas destaca la presa Yosocuta por su importancia para la

¹⁷Quijada-Uribe, M. G. 2008. Retos sociales y productivos en la agricultura bajo riego en Guanajuato. Tesis para obtener el título de Maestra en Economía. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía. México, D.F.

¹⁸Irrigación en México 1931. La influencia de los Sistemas Nacionales de Riego en el progreso general de México. *Irrigación en México*. 3(1):24-28

¹⁹CNA 2012. Atlas Digital del Agua México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usuariosdelagua33.html>

²⁰Idem 13.

región, se encuentra sobre la corriente del río Huajuapán, se terminó de construir en 1969 con fines de riego y hoy es considerada paraíso para la pesca deportiva. El 60% de la población de Huajuapán de León recibe agua de esta presa y fue diseñada para regar aproximadamente 3,500 hectáreas de cultivo.

Las presas o depósitos de agua se encuentran ligados a un número de servicios ambientales, que incluyen la generación de energía a través de la producción hidroeléctrica, la irrigación para los cultivos y las actividades recreativas. Sin embargo la erosión y la sedimentación de las cuencas hidrológicas pueden conducir a una disminución de la fuerza hidroeléctrica, daño estructural a los depósitos y a otras infraestructuras del agua, además de causar inundaciones.

Con el surgimiento de los grandes vasos de almacenamiento, construidos por los altos diques que la técnica permitía cimentar y los largos canales característicos de las grandes obras de irrigación, se constituían las condiciones propicias en México para generar fuerza hidroeléctrica con costos de establecimiento y operación notoriamente inferiores a los que resultaban de las obras ejecutadas con el único objeto de producir energía; puesto que unos y otros se distribuyen, en proporción adecuada, entre la doble explotación. De ahí que algunos de los Distritos de Riego se encuentren asociados a la producción de energía eléctrica.

Sin embargo en el año de 1933 los Sistemas Nacionales de Riego se encontraban ante una amenaza, el azolve de las Presas con limo, tierra, piedras, entre otros materiales que son acarreados por las aguas de lluvia disminuyendo la capacidad de almacenamiento, hasta hacerlo nulo. Algunos países como España y Estados Unidos, ya estaban experimentando el fracaso parcial de la política de riego debido a esta situación. Las presas Requena y Taximay en el Sistema Nacional de Riego número 3, Río Tula, se encontraban en riesgo debido a la erosión del suelo en la cuenca de alimentación del Río Tepeji a causa, principalmente, de la deforestación parcial de la misma. Como parte de las propuestas de solución se planteó entre otras, declarar como Zona Protectora Forestal a las cuencas superiores de los ríos Tepeji y Cuautitlán, que alimentan a las presas Requena y Taximay (Álvarez y Galicia, 1933²¹). Derivado de esta situación se publicó en enero de 1934 el Acuerdo que declara Zonas Protectoras Forestales los terrenos cubiertos de arbolado, situados en las cuencas hidrográficas de los Sistemas Nacionales de Riego en construcción y proyecto (DOF, 1934²²).

La erosión y la sedimentación son procesos naturales que contribuyen a la salud de los ecosistemas, pero en demasía pueden tener consecuencias severas. La erosión excesiva puede reducir la productividad agrícola, favorecer el aumento de inundaciones y el transporte de contaminantes, amenaza a puentes, vías de ferrocarriles y ejerce presión sobre las infraestructuras. La erosión puede dejar sedimentos, los cuales generan tensión en las infraestructuras de agua, tales como depósitos y sistemas de control, incrementando el

²¹Álvarez, Mariano y Daniel F. Galicia. 1933. Estudio preliminar sobre la necesidad de proteger la vegetación forestal de la cuenca de alimentación de las corrientes que abastecen las Presas Requena y Taximay del Sistema Nacional de Riego Núm. 3, Río Tula. *Irrigación en México* 7(2):156-163.

²²DOF, 03/01/1934 ACUERDO que declara Zonas Protectoras Forestales los terrenos cubiertos de arbolado, situados en las Cuencas Hidrográficas de los Sistemas Nacionales de Riego en construcción y proyecto.

costo del tratamiento de agua. La sedimentación es un problema particular para las presas, que son diseñadas para retener el sedimento conforme el agua es liberada. El retiro regular de sedimentos puede evitar algunos de estos problemas pero esto implica altos costos de mantenimiento.

La magnitud de transporte de sedimento en una cuenca está determinada por algunos factores: la variación natural en las propiedades del suelo, patrones de precipitación, y la longitud de la pendiente que crea patrones de erosión y sedimentación. La vegetación mantiene el suelo en el lugar y captura el sedimento que se mueve por la tierra. Sin embargo, cambios en las prácticas de manejo de la tierra pueden alterar la capacidad de retención de sedimento por la remoción importante de la vegetación.

Existen muchos ejemplos del efecto del cambio del uso del suelo y la vegetación sobre la erosión y la sedimentación. Los incendios forestales limpian áreas significativas de vegetación y a menudo son seguidos de flujos de lodo cuando se presentan fuertes lluvias. Después del fuego la vegetación ya no sostiene el sedimento en su lugar y la capa superior del suelo puede ser llevada por la corriente río abajo. El resultado de la deforestación es un proceso similar al anterior, aunque en algunos casos esto pueda ocurrir sobre escalas de tiempo más largas. Incluso en áreas donde la cubierta de tierra permanece ahí mismo, un cambio en las prácticas del uso del suelo puede cambiar la capacidad de retención del sedimento en el paisaje. La acumulación continua por el incremento de cargas de sedimento como resultado de cambios en el uso del suelo y vegetación puede causar serios problemas como el incremento en la tasa de sedimentación, y el aumento de los costos de dragado donde no se esperaba durante el diseño original de infraestructura de la presa, el mantenimiento y planes de operación.

Para evitar los daños y reducir los costos asociados con la sedimentación, la tierra y el agua, los manejadores de las presas requieren información sobre el grado en el cual las diferentes partes del paisaje contribuyen para retener los sedimentos y cómo los cambios en el uso de suelo pueden afectar esta retención. Esta información puede apoyar las decisiones por las instituciones de gobierno, empresas, y organizaciones no gubernamentales; por ejemplo, una compañía que opera una presa hidroeléctrica puede decidir conservar los bosques corriente arriba cuando estos mantienen un servicio de retención de sedimento, si el costo de conservar los bosques es menor que el costo de reducir el potencial de la hidroeléctrica, el retiro de sedimento, y el reemplazo de la presa.

InVEST estima la capacidad, a nivel de parcela, para retener sedimentos utilizando datos sobre la geomorfología, el clima, la vegetación y las prácticas de manejo. Las estimaciones son combinadas con datos del costo del retiro de sedimentos, el diseño de las presas y una tasa de descuento para calcular el costo evitado por el retiro de los sedimentos. El modelo puede tener algunas limitaciones como son la negligencia de erosión de masas, inadecuada información sobre el costo del retiro de sedimentos y una clasificación simplificada de los usos del suelo y vegetación.

Los mapas que muestran que las parcelas forestales ofrecen las mayores ventajas para la retención de sedimento pueden ayudar a las compañías a maximizar el retorno de su inversión. InVEST tiene como objetivo proporcionar esta clase de información. Las salidas de

estos modelos permitirán a planificadores y manejadores considerar de qué forma el cambio del uso del suelo y vegetación en un área en la cuenca puede causar problemas de sedimentación en otros lugares.

1.2. El Modelo.

El modelo de Retención de Sedimento provee al usuario una herramienta para calcular la media anual de la pérdida de suelo de cada parcela, determinando la cantidad de aquel suelo que puede llegar a un punto particular de interés, estimando la capacidad de cada parcela para retener el sedimento, y evaluando el costo generado por remover el sedimento acumulado sobre una base anual. Un factor determinante de la capacidad de retención de suelo es el empleo de la cubierta de uso del suelo y vegetación. Para identificar el potencial de la parcela para la pérdida de suelo y el transporte de sedimento, el modelo de InVEST utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Universal (USLE por sus siglas en inglés) (Wischmeier y Smith 1978²³) a la escala de pixel, que integra la información sobre los patrones de la cubierta de uso del suelo y vegetación y las propiedades de suelo, así como un modelo digital de elevación, la precipitación y datos del clima.

Este modelo puede ser usado para valorar el paisaje asociado al mantenimiento de la calidad de agua o evitar la sedimentación de las presas. En el caso de mantenimiento de la calidad de agua, el modelo utiliza información adicional sobre los estándares de calidad de agua y costos de tratamiento, así valora la capacidad de cada subcuenca para reducir estos costos. En el caso del mantenimiento de las presas, el modelo utiliza datos adicionales sobre la posición de la presa y el costo evitado por el retiro de sedimento y así evalúa la capacidad de las subcuencas para mantener los sedimentos fuera de las presas.

1.3. ¿Cómo trabaja?

Para comenzar se estima el potencial para la pérdida de suelo basada en condiciones del clima y geomorfología. El modelo está basado en la USLE, y representa los cuatro factores primarios en la ecuación (precipitación, erosividad de la lluvia, erosionabilidad del suelo, y la longitud de la pendiente). Esta parte del modelo representa dos relaciones clave: las áreas donde la intensidad de precipitación es alta, en donde hay una alta posibilidad de que las partículas de suelo se separen y sean transportadas corriente abajo; y también las áreas donde el suelo tiene una alta proporción de arena la erosionabilidad del suelo es alta, esto quiere decir que las partículas de suelo fácilmente son separadas del paquete de suelo y transportadas corriente abajo.

La Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) provee el fundamento del paso biofísico del modelo de Retención de sedimento de InVEST.

²³Wischmeier, W.H. & Smith, D. 1978, *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA-ARS Agriculture Handbook, Washington DC.

$$USLE = R \times K \times LS \times C \times P \text{ (from Wischmeier \& Smith, 1978}^{24}\text{)}$$

Donde:

R erosividad de la lluvia,

K erosionabilidad del suelo,

LS longitud de la pendiente - factor de gradiente,

C cultivos/vegetación - factor de manejo

P factor de prácticas de mejoramiento.

El factor de longitud de la pendiente (LS) es uno de los parámetros más críticos en el USLE. La longitud de la pendiente es la distancia del origen de flujo a lo largo de su camino de flujo a la posición de flujo concentrado o depositación. El factor de longitud de la pendiente es esencialmente la distancia que las gotas de lluvia corren sobre los sedimentos hasta que su energía se disipe. Esto representa la proporción de pérdida de suelo bajo condiciones comparadas en un sitio de referencia con una pendiente "estándar" del 9 % y la longitud de la pendiente de 72.6 pies (22.12 metros).

Las estimaciones de longitud de la pendiente están basadas sobre la metodología del modelo llamado N-SPECT, de tal forma que cambios abruptos en la pendiente producen atajos en la longitud. Los ajustes son necesarios cuando la pendiente es mayor a 9 % y la longitud de pendiente es diferente a 72.6 pies (22.12 metros). En el modelo, diferentes ecuaciones de longitud de la pendiente se emplean automáticamente para condiciones que difieren del sitio estándar de referencia para el desarrollo de la ecuación del USLE. Y se utiliza la siguiente ecuación, descrita por Huang y Lu (1993)²⁵ para áreas con pendientes mayores que el umbral identificado por el usuario.

Fórmula 2

$$LS = 0.08\lambda^{0.35}prct_slope^{0.6}$$

Donde:

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_{cellsize, flowdir=1,4,16, \text{ o } 64} \\ 1.4 * cellsize, otherflowdir \end{cases}$$

prct_slope, es el porcentaje de la pendiente del pixel
flowdir, la dirección de flujo del pixel.

²⁴Idem 14.

²⁵Huang Yanhe and Lu Chenglong. 1993. Advances in the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in China. *Journal of Fujian Agricultural College* (Natural Science Edition) **22** (1): 73 ~ 77.

La vegetación no sólo mantiene el sedimento de la erosión, también atrapa el sedimento que ha sido erosionado corriente arriba. La ecuación USLE pasa por alto este componente de la dinámica del sedimento, de manera que se representa de la siguiente forma: la ecuación USLE estima que todo el suelo que puede ser erosionado se dirige corriente abajo, y también calcula qué parte del sedimento erosionado, sobre todos los píxeles, será atrapado por la vegetación corriente abajo basada en la capacidad de la vegetación en cada píxel para capturar y retener el sedimento. Esto se obtiene al estimar la capacidad de la vegetación para mantener el suelo en su lugar en un píxel determinado, y se calcula comparado la tasa de erosión de un píxel utilizando la fórmula USLE, sobre la tasa de erosión que puede darse en un píxel sin vegetación (suelo desnudo).

El modelo proporciona la opción para considerar dos servicios asociados con la retención de sedimentos en el paisaje: calidad mejorada de agua y sedimentación evitada en las presas. Considerando la calidad mejorada de agua, puede haber una cantidad permitida anual de carga de sedimento para el cuerpo de agua de interés. Esta carga anual puede ser especificada por normas de agua potable nacionales o locales. Se resta esta carga anual permitida en el paso de servicio porque la gente puede no recibir beneficios de la retención de sedimento corriente arriba de los sistemas que tienen cargas anuales por debajo de este umbral.

Considerando la sedimentación evitada en las presas, por lo general existe un depósito tramado del volumen muerto, o el espacio construido en la presa para capturar el sedimento y evitar la pérdida de capacidad del depósito con el tiempo. Este espacio está expresamente construido para capturar el sedimento y evitar gastos asociados al dragado, la gente no recibe los beneficios de la capacidad del paisaje de una erosión lenta hasta que este volumen muerto sea llenado.

El modelo entonces suma el total de sedimento retenido y el promedio de sedimento exportado y retenido por píxel para la subcuenca y provee por separado las salidas de calidad del agua y el dragado. Mientras que el modelo de valoración utiliza el costo de retiro de sedimento que entra por el uso para determinar el costo evitado de dragado y/o el tratamiento de calidad de agua. El costo puede variar de presa en presa, o bien en las diferentes instalaciones de tratamiento de agua, en función de las diferentes tecnologías empleadas para el retiro del sedimento. Si éste es el caso, el usuario puede introducir los costos específicos de remoción en el depósito - o la planta-. El costo marginal de retiro de sedimento puede ser medido en las unidades monetaria actual por metro cúbico (p. ej. el \$ m^{-3}).

1.4. Limitaciones y simplificaciones.

Aunque el USLE es un método estándar para calcular la pérdida de suelo, este tiene severas limitaciones. El método USLE predice la erosión solo de la capa que se lava (erosión de

planicies de pendientes suaves) (FAO 2002²⁶). Arroyos, surcos y/o bancos producto de los procesos de erosión/depositación no son incluidos en este modelo. Como tal, es más aplicable en áreas de pendiente suave porque sólo ha sido verificado en áreas de 1 a 20 por ciento. Además, la relación entre la intensidad de precipitación y la energía cinética no se puede sostener en áreas montañosas porque sólo ha sido probado en las Grandes Planicies Americanas. Finalmente, la ecuación considera sólo el efecto individual de cada variable. Cuando en realidad, algunos factores interactúan con otros, alterando las tasas de erosión.

Otra simplificación del modelo es la agrupación de clases de uso del suelo y vegetación, porque los resultados del modelo son altamente sensibles a la clasificación de clases. Si hay una diferencia en el uso del suelo entre dos áreas dentro de la misma categoría, es recomendable crear dos categorías. Por ejemplo, si todo el bosque es combinado en una clase, la diferencia en la retención de suelo entre un viejo bosque de crecimiento y un bosque recién plantado es descuidada. Más generalmente, donde hay variación a través del paisaje que afecta un parámetro de USLE, las clases de uso de suelo y vegetación pueden reflejar aquella variación.

El modelo confía en los valores de retención o eficacia de filtración para cada tipo de uso del suelo y vegetación. Sin embargo, frecuentemente son pocos los datos disponibles a nivel local sobre las tasas de filtración asociadas a los tipos de uso del suelo y vegetación locales. Los datos de otras regiones pueden ser aplicados en estos casos, pero pueden no representar la filtración para los tipos de uso del suelo y vegetación locales.

Adicionalmente, el modelo no puede representar exactamente el proceso de sedimentación en la cuenca de interés, ya que el modelo está basado en la parametrización de varias ecuaciones diferentes y cada parámetro describe un proceso estocástico. Debido a la incertidumbre inherente en los procesos que son modelados, no es recomendable tomar decisiones de un área a gran escala basadas en una sola corrida del modelo. Más bien el modelo funciona mejor como un indicador de cómo los cambios de uso del suelo pueden afectar el costo de remover el sedimento, y como cualquier modelo es solo tan exacto como los datos de entrada disponibles. Es posible que se requiera un estudio más extenso por parte de los manejadores de las áreas para calcular a detalle el análisis de costo-beneficio para cada depósito del sitio.

Otra suposición es que la retención del sedimento corriente arriba de una presa es valiosa sólo si el sedimento liberado afecta la función de depósito, el cual incurre en un costo. Si el sedimento no es removido del depósito, el modelo no asigna un valor al servicio de retención de sedimento. En este caso, el usuario puede asignar un valor corriente arriba a la retención de sedimento con base en una trayectoria asumida de depositación del sedimento en el depósito. Y ya que este método no está incluido en este modelo, aquí solo se modela la erosión por lluvia, significa que la estimación de sedimentación de depósito anual puede ser menor a las tasas reales de sedimentación.

La exactitud del valor de retención de sedimento está limitada por dos factores: Primero, está limitado por la calidad de información del costo de remover el sedimento, las

²⁶ FAO. 2002., FAOSTAT Homepage of Food and Agriculture Organization of the United Nations, Online 2008, 9/11.

estimaciones actualizadas del valor de retiro de sedimento para un área pueden ser difíciles de encontrar; el usuario puede estar limitado a usar un valor medio anticuado de otros sitios y para diferentes tipos de depósitos. Segundo, la exactitud del modelo está limitada por la capacidad del usuario para calibrarlo con datos actuales de sedimentación.

El modelo toma en cuenta una calibración constante para ser aplicado y ajustado vía el sedimento liberado en la salida. Esto puede mejorar enormemente el modelo, pero sólo si el usuario tiene el acceso a datos de sedimentación confiables para la cuenca de interés.

2. Área de estudio.

La región de la Mixteca se encuentra al Oeste del estado de Oaxaca y colinda al Oeste con el límite del estado de Guerrero y al norte con el estado de Puebla, con la Región de la Cañada al Este, al Sureste con Los Valles Centrales y al Sur con la Sierra Sur. Se ubica entre las coordenadas extremas de 16° 35' 11.928" N y 18° 17' 49.390" N de Latitud Norte y 96° 57' 58.692" W y 98° 30' 0.810" W de Longitud Oeste (Figura 1).

El área de intervención del proyecto ocupa una superficie de 1'714,097 hectáreas y se encuentra localizada en la Región Mixteca con siete distritos: Silacayoapam, Huajuapam, Coixtlahuacan, Juxtlahuaca, Teposcula, Nochitlan y Tlaxiaco; y parte de la región Sierra Sur. Con 155 municipios de la Región Mixteca y 5 de la Región Sierra Sur²⁷ y un total de 2,364 localidades²⁸. Con base en los datos del Censo Nacional de Población 2010²⁹, la región mixteca, cuenta con una población de 522,252 habitantes, donde la Heroica Ciudad de Huajuapam de León, es la población que cuenta con el mayor número de habitantes con 69,839.

²⁷INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión 5.0A.http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

²⁸Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

²⁹Inegi 2010. Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

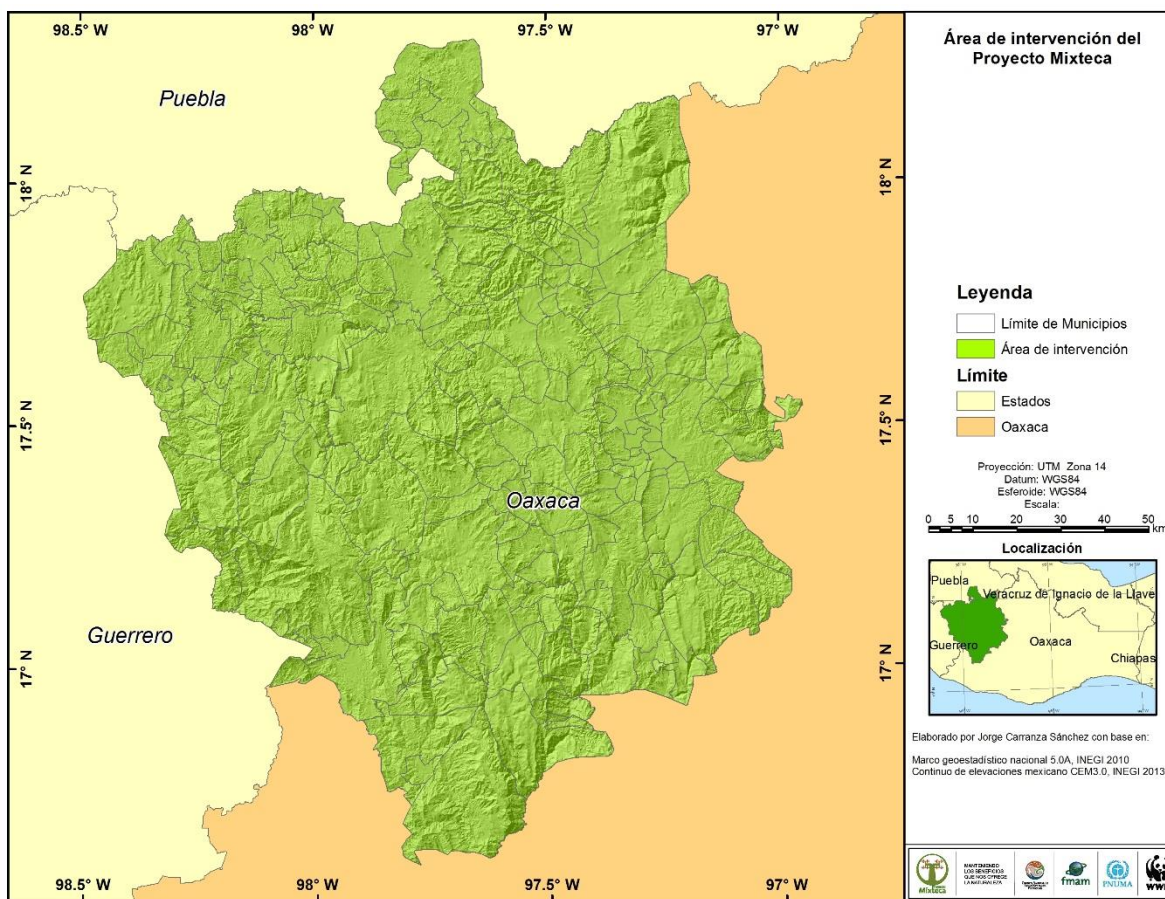


Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

3. Datos necesarios.

3.1. Modelo digital de elevación (MDE) (requerido).

El modelo digital de elevación fue obtenido del Continuo de Elevaciones Mexicano del INEGI para el estado de Oaxaca con una resolución de 90 m/pixel³⁰. Con la intención de visualizar los valores de elevación se generó un modelo de sombras y se aplicó una paleta de color que representa los valores de mayor elevación en un tono café, mientras que las porciones de menor elevación se representan en un tono blanco (Figura 2).

La altitud que se presenta en la Región Mixteca se encuentra en un promedio de 1,921 m.s.n.m. con un valor mínimo de 355 m.s.n.m., mientras que el valor máximo se registra una altitud de 3,366 m.s.n.m.. Este rango de elevaciones que se presenta en la región produce que se registre una pendiente promedio de 32.30% con valores mínimos que van de 0% en las zonas más llanas a un máximo de 332.16% en las zonas más escarpadas.

³⁰INEGI 2014. Continuo de elevaciones mexicano 3.0 /CEM 3.0 <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx>

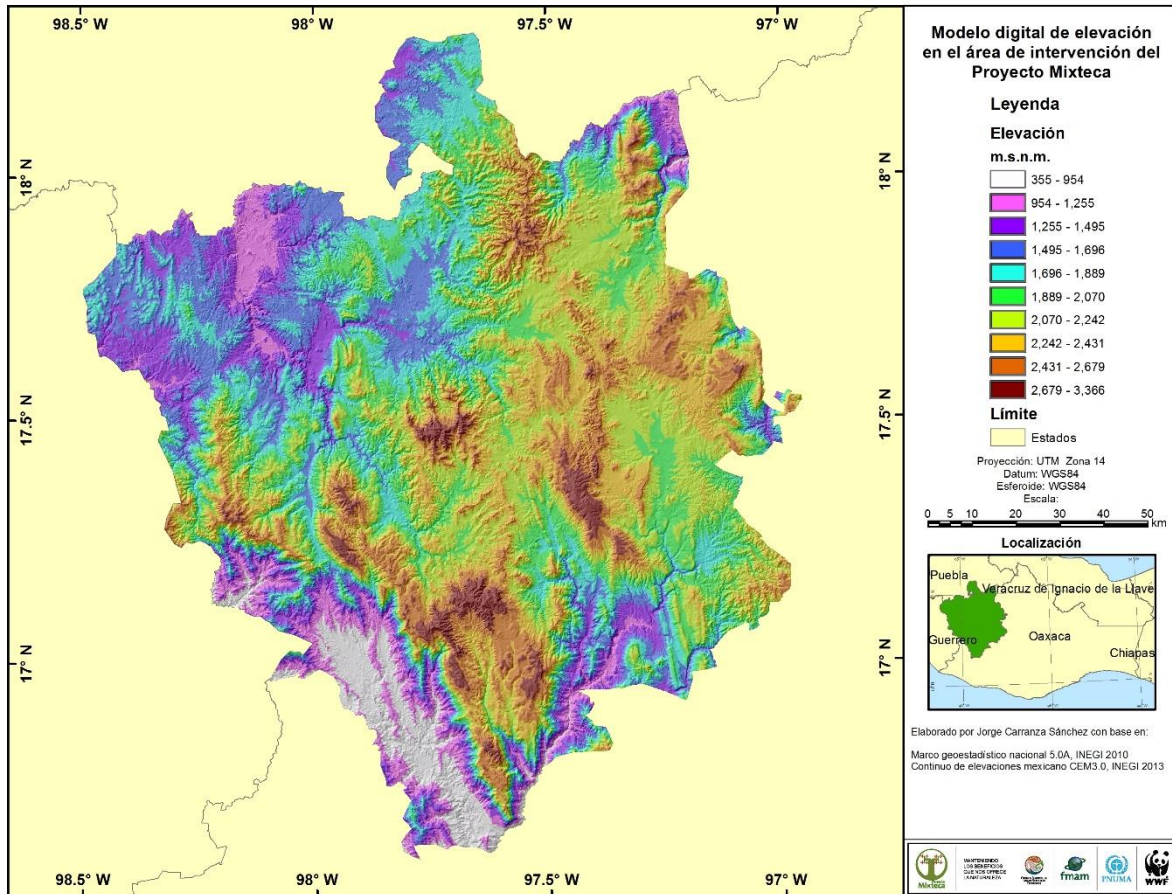


Figura 2. Modelo digital de elevación, resolución 90 m/píxel.

3.2. Índice de erosividad por lluvia (requerido)

Esta variable depende de la intensidad y duración de la lluvia en el área de interés. A una mayor intensidad y duración de la lluvia de tormenta, se tiene una mayor erosividad potencial. La erosividad es la capacidad potencial que tienen las gotas de agua de lluvia para causar erosión. Existen muchas formas de determinarla, una de ellas es a través del índice EI₃₀, el cual fue propuesto por Wischmeier and Smith (1965)³¹. Se define como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) por la intensidad máxima en 30 minutos (I₃₀). Se enfoca en el desprendimiento de partículas de suelo por erosión laminar (Figueroa et al., 1991)³².

FAO

El factor lluvia y escurrimiento, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), más un factor para escurrimiento por derretimiento de nieve o aplicación de agua. El EI para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I). La siguiente ecuación es ampliamente utilizada para calcular el índice R³³

Fórmula 3.

$$R = E * I_{30} = (210 + 89 * \log_{10} I_{30}) * I_{30}$$

*E: energía cinética de lluvia expresada en unidades métricas MJ * m/ha/cm de lluvia.*

I₃₀: máxima intensidad de lluvia en 30 minutos expresada en cm/hr.

Este factor es muy difícil de calcular. Además se necesitan muchos datos que normalmente no están disponibles. Sólo trabajan con esta ecuación los especialistas que utilizan casi siempre datos de estaciones pluviométricas propias. Sin embargo en caso de que no se cuente con estos datos, existen métodos y ecuaciones para ayudar a generarlo utilizando datos climáticos.

En México, Cortés (1991)³⁴, a través del análisis de 53 estaciones meteorológicas determinó un mapa de isoerosividad con el cual formó 14 regiones delimitadas por la erosividad de la lluvia. La región Mixteca se localiza en la región número V, cuyos valores son:

Fórmula 4.

$$R = 3.4880 P - 0.00088 P^2$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia [MJ.mm / (ha.hr)]

P = Precipitación media anual (mm)

El raster del factor R se calcula al considerar como la variable P de la ecuación, al raster de

³¹Idem 18.

³² Figueroa S. B., Amante A., Cortés H. G., Pimentel J., Osuna E.S., Rodríguez J. M., Morales J. F. (1991). “Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión”. Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados (CREZAS). México.

³³ <http://www.fao.org/docrep/t1765e/t1765e0e.htm>

³⁴ Cortés T. (1991). “Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados”. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, pp 168, México.

isoyetas medias anuales. Con la finalidad de contar con datos de precipitación media anual, fueron obtenidos los datos de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional³⁵ para la Región Mixteca (Figura 3), los datos se presentan en el Anexo I. Como se puede apreciar en el mapa, las estaciones meteorológicas que registran mayor precipitación se encuentran en la porción SW de la región, mientras que en la porción NE se encuentran las estaciones que registran los valores inferiores de precipitación.

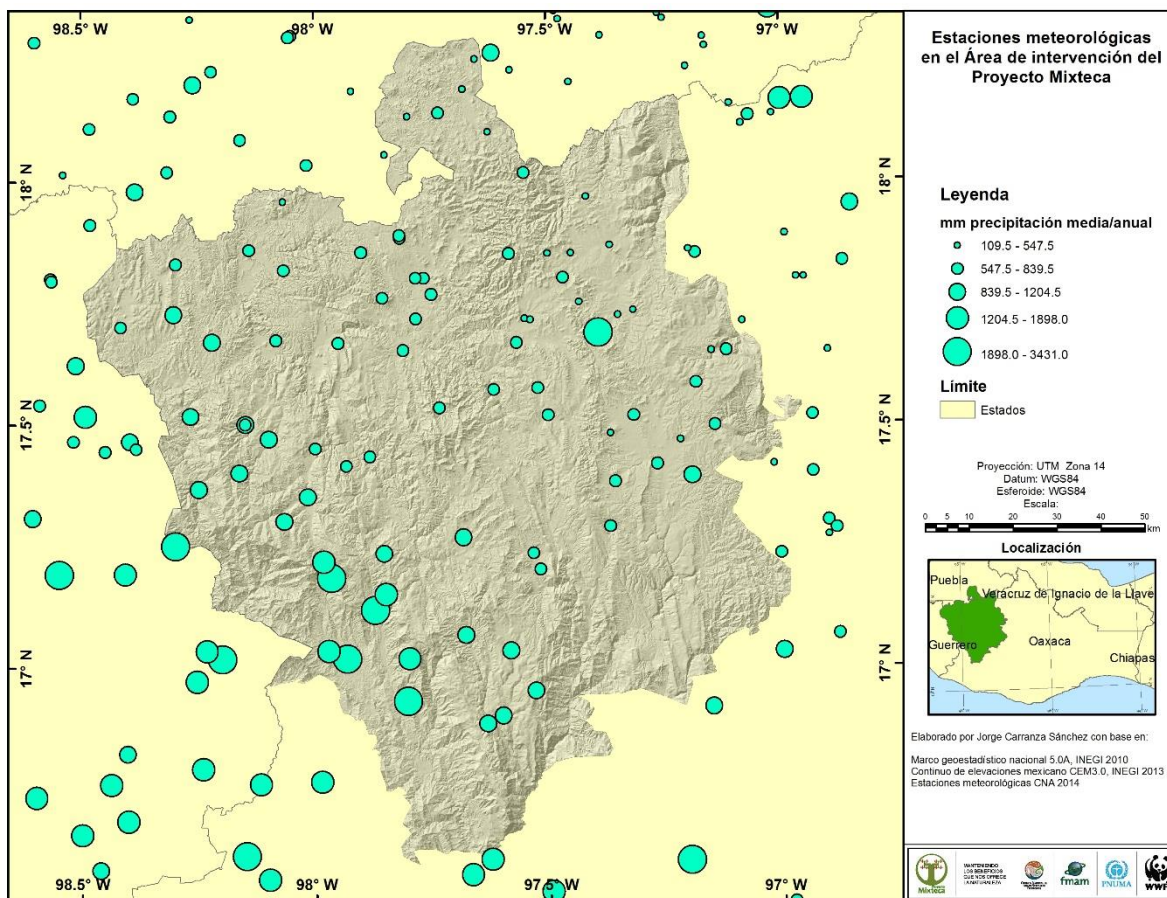


Figura 3. Estaciones meteorológicas CNA.

Con los datos de precipitación media anual se aplica la fórmula 4 para obtener el valor de erosividad de la lluvia, el factor **R** en cada estación y posteriormente ser interpolados y obtener los valores del factor **R** para cada pixel como se muestran en la Figura 4.

El factor **R**, erosividad de la lluvia para la Región Mixteca se muestra en la Figura 4, donde se puede observar que los valores menores se encuentran hacia la porción NE de la región con

³⁵<https://maps.google.com/maps?f=q&source=embed&hl=es&geocode=&q=http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/stacion/EstacionesClimatologicas.kmz&sl=51.289954,0.48126&ssp=1.277966,2.458191&ie=UTF8&t=f&ecp=24.80805605,-101.74817558,3614699.55,-2.041,0.424,0&ll=25.048525,-101.757635&spn=31.280665,56.162109&z=4>

un gradiente de incremento hacia la porción SW.

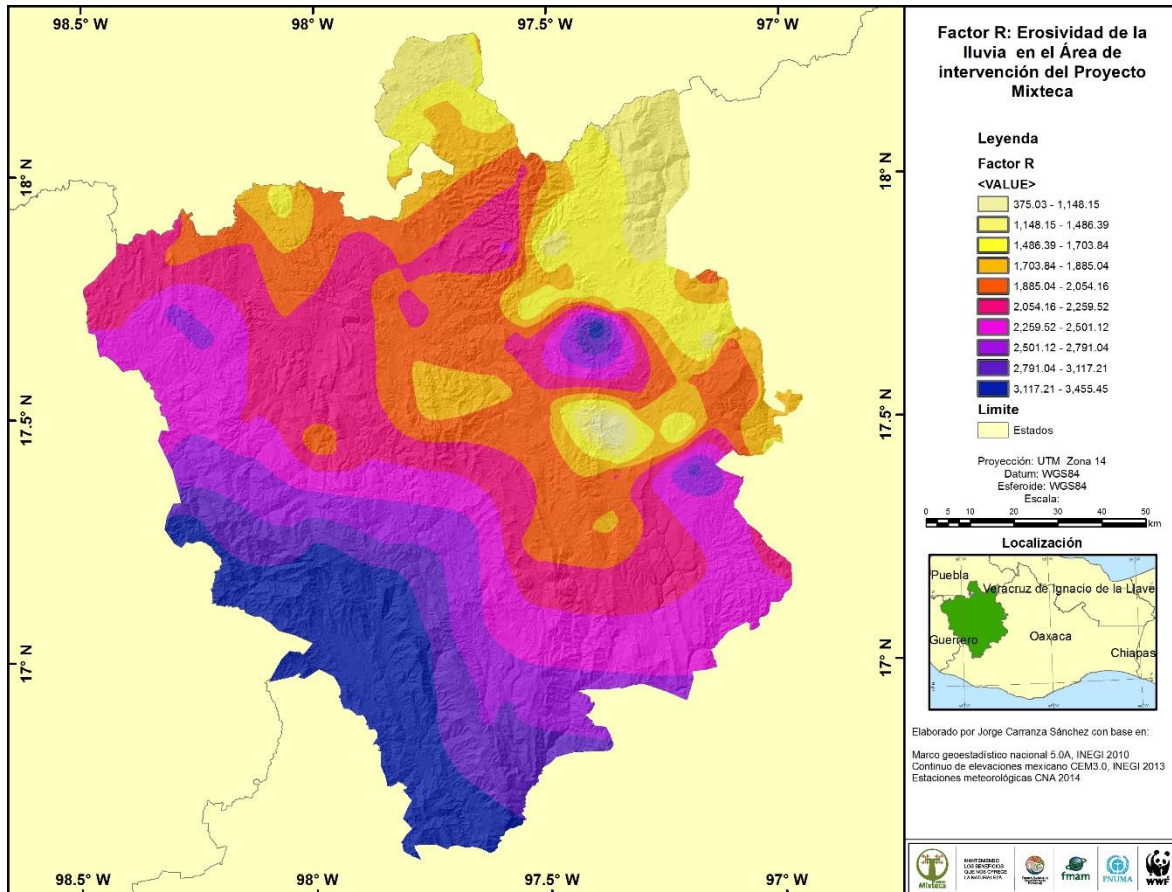


Figura 4. Factor R, erosividad de la lluvia.

3.3. Erosionabilidad del suelo (requerido)

La textura es el principal componente que afecta el cálculo del Factor **K**, que representa la erosionabilidad del suelo, pero otros factores como la composición del suelo, la materia orgánica y la permeabilidad también contribuyen. Esto varía de 70% para el suelo más frágil y 1% para el suelo más estable. Es medido sobre una parcela de referencia de 22.12 m de largo sobre una pendiente de 9%, parcela en la dirección de la pendiente y no habiendo recibido ninguna materia orgánica durante tres años. Los valores de 0 - 0.6 son razonables, mientras que los valores altos se emplean en los casos críticos.

La siguiente ecuación puede ser utilizada para calcular K (Wischmeier and Smith 1978³⁶):

Fórmula 5.

$$K = 27.66 * m^{1.14} * 10^{-8} * (12 - a) + (0.0043 * (b - 2)) + (0.0033 * (c - 3))$$

Donde:

K = Factor de erosionabilidad del suelo (t*ha/MJ*mm)

m = (limo (%) + arena muy fina (%))(100- arcilla (%))

a = % de materia orgánica

b = Código de la estructura:

- (1) muy estructurado o partículas,
- (2) bastante estructurado,
- (3) poco estructurado,
- (4) sólido

c = Código de permeabilidad del perfil:

- (1) rápido,
- (2) moderado a rápido,
- (3) moderado,
- (4) moderado a lento,
- (5) lento,
- (6) muy lento.

Los datos para obtener el factor **K** fueron obtenidos de los perfiles de suelos del país elaborado por el INEGI en el 2013³⁷, así como los perfiles de suelos elaborados por el Colegio de Posgraduados (ColPos) se presentan en el Anexo II. De la base de datos de los perfiles se obtuvieron los valores que se presentan a continuación y sirvieron de base para aplicar la *Fórmula 5* y obtener el valor del Factor **K** para cada punto de muestreo y posteriormente ser interpolado y asignar el valor para cada pixel en la región (Figura 5).

³⁶Idem 18.

³⁷INEGI, 2013 Perfiles de suelos, Serie II Continuo Nacional.

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&cupc=702825266707&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=3608&pg=0&ct=205020000>

De los perfiles de suelo 2013 de INEGI se obtienen los valores de las columnas:

CONTENIDO DE ARCILLA: Valor porcentual de las partículas minerales de la muestra de suelo, cuyo diámetro es < 0.002 mm.

TIPO DE ATRIBUTO: Simple, Único, Almacenado

TIPO DE DATO: Real (2,1)

UNIDADES: Expresado en porcentaje (%)

DOMINIO DE VALORES:

0 < Valor < 100

CONTENIDO DE LIMO: Valor porcentual de las partículas minerales de la muestra de suelo, cuyo diámetro se encuentra entre 0.2 mm y 0.002 mm.

TIPO DE ATRIBUTO: Simple, Único, Almacenado

TIPO DE DATO: Real (2,1)

UNIDADES: Expresado en porcentaje (%)

DOMINIO DE VALORES:

0 < Valor < 100

CONTENIDO DE ARENA: Valor porcentual de las partículas minerales de la muestra de suelo, cuyo diámetro se encuentra entre 2 y 0.2 mm.

TIPO DE ATRIBUTO: Simple, Único, Almacenado

TIPO DE DATO: Real (2,1)

UNIDADES: Expresado en porcentaje (%)

DOMINIO DE VALORES:

0 < Valor < 100

CONCENTRACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA: Valor porcentual de la cantidad de materia orgánica presente en la muestra de suelo.

TIPO DE ATRIBUTO: Simple, Único, Almacenado

TIPO DE DATO: Real (2,1)

UNIDADES: Expresado en porcentaje (%)

DOMINIO DE VALORES:

0 < Valor < 70

DESARROLLO: Estimación de la cohesión de las partículas individuales del suelo.

TIPO DE ATRIBUTO: Simple, Único, Almacenado

TIPO DE DATO: Carácter (8)

DOMINIO DE VALORES:

Débil (1): Agregado con poca resistencia al rompimiento manual.

Moderado (2): Agregado con moderada resistencia al rompimiento manual.

Fuerte (3): Agregado con alta resistencia al rompimiento manual.

DRENAJE INTERNO: Rapidez o lentitud con que se elimina el exceso de agua; está en función principalmente de la textura, estructura, porosidad del suelo y limitantes físicas.

TIPO DE ATRIBUTO: Simple, Único, Almacenado

TIPO DE DATO: Carácter (23)

DOMINIO DE VALORES:

Nulo (0): El agua no es removida, de manera que el suelo siempre está húmedo.

Muy escasamente drenado (1): El agua es removida muy lentamente, de manera que el suelo permanece húmedo la mayor parte del año.

Escasamente drenado (2): El agua es removida lentamente, de manera que el suelo está húmedo por periodos significativos.

Moderadamente drenado (3): El agua es removida moderadamente, de manera que el suelo está húmedo por periodos cortos.

Drenado (4): El agua es removida fácilmente, pero no rápidamente de manera que el suelo retiene cantidades de humedad óptimas.

Muy drenado (5): El agua es removida rápidamente, de manera que el suelo retiene poca humedad.

Excesivamente drenado (6): El agua es removida muy rápidamente, de manera que el suelo no retiene humedad.

Los valores de erosionabilidad del suelo se encuentran en promedio en 0.025, con un valor mínimo de -0.0035 y un valor máximo de 0.10. En la Figura 5 se puede observar como se encuentran los valores de erosionabilidad en la Región Mixteca, el tono verde indica el valor menor, el tono amarillo los valores intermedios, mientras que el tono rojo los valores más altos. Las áreas con los valores de erosionabilidad más alta se encuentran distribuidas en diferentes partes de la región.

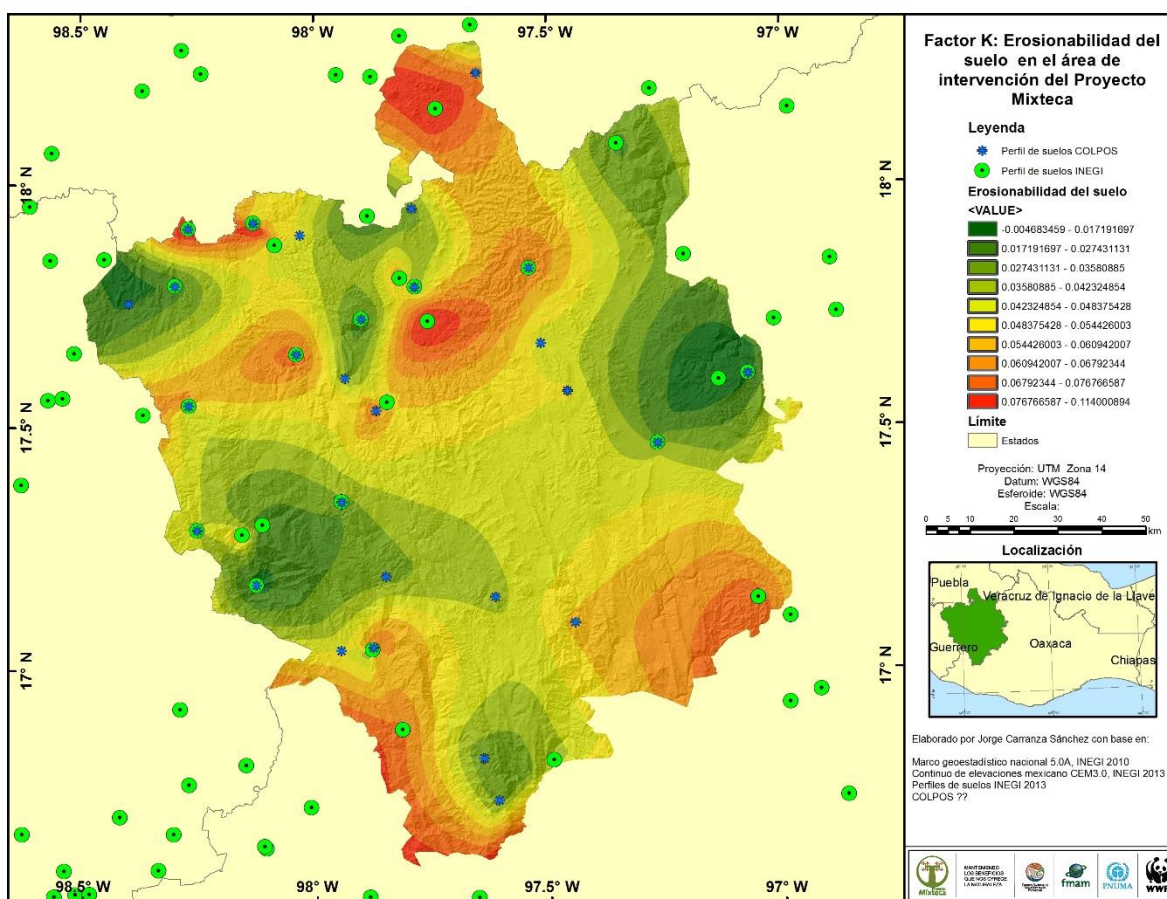


Figura 5. Factor K, erosionabilidad del suelo.

3.4. Uso del suelo y vegetación (LULC) (requerido)

El archivo de uso del suelo y vegetación corresponde a la clasificación de las imágenes de satélite SPOT para el año 2010 elaborada como parte de este mismo proyecto (OO66)³⁸. Se presentan 24 tipos de uso del suelo y vegetación, mismos que se presentan en la siguiente Tabla 1 y también se puede observar en el mapa de la Figura 6.

Tabla 1. Tipos de uso del suelo y vegetación INEGI Serie V.

1	Área sin Vegetación Aparente	13	Matorral Crasicaule_vs
2	Bosque de Encino	14	Matorral xerófilo
3	Bosque de Encino_vs	15	Palmar
4	Bosque de Pino	16	Plantacion Forestal
5	Bosque de Pino_vs	17	Selva Baja Caducifolia
6	Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	18	Selva Baja Caducifolia_vs
7	Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	19	Selva Mediana Subcaducifolia_vs
8	Bosque de Tascate	20	Área Agrícola
9	Bosque de Tascate_vs	21	Asentamientos Humanos
10	Bosque Mesófilo de Montana_vs	22	Área Impactada por Incendio
11	Chaparral	23	Cuerpos de Agua
12	Matorral Crasicaule	24	Pastizales

³⁸ Carranza, S.J. 2014. Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca. Convenio OO66 WWF.

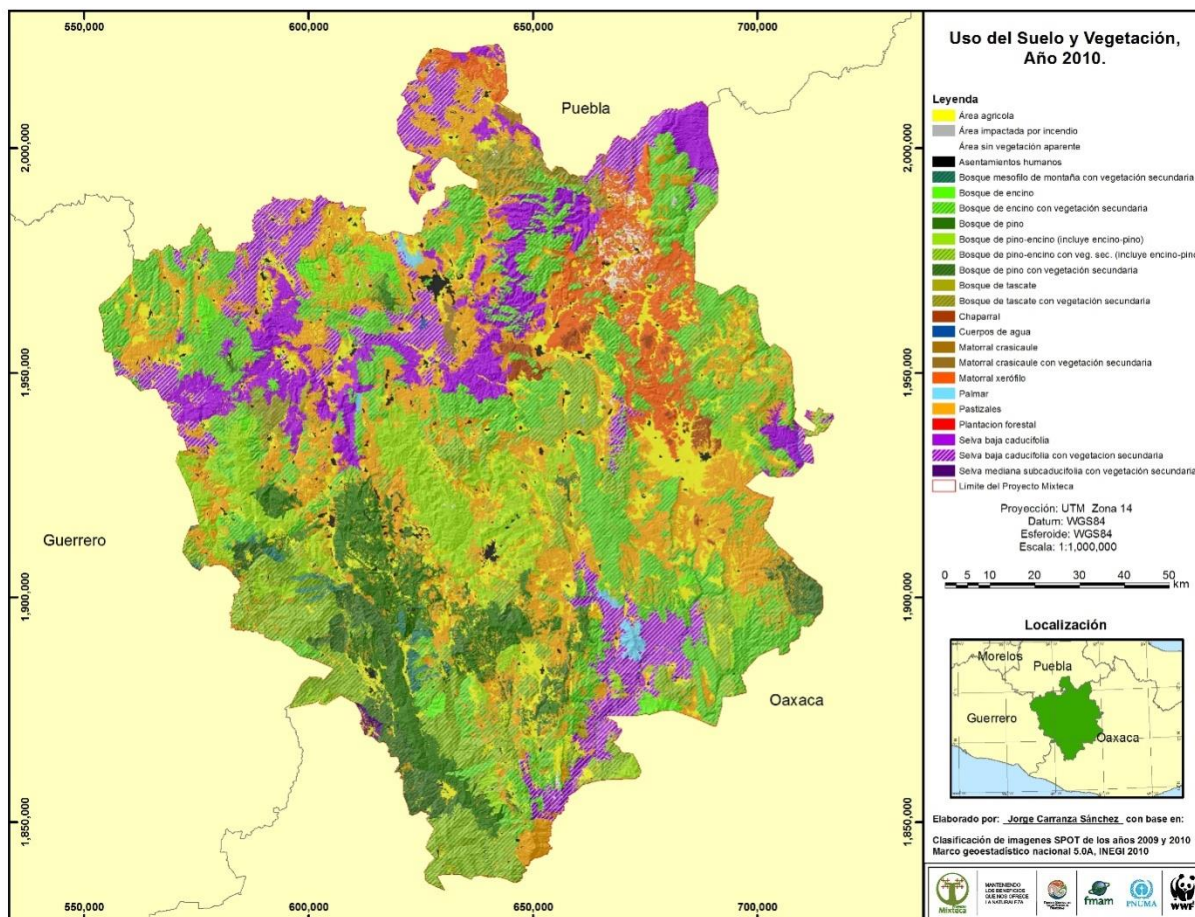


Figura 6. Uso del suelo y vegetación de la clasificación de imágenes de satélite SPOT 2010.

3.5. Cuencas hidrológicas (requerido)

El área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, al estar delimitada por fronteras administrativas, no tiene una correspondencia con los límites naturales como es el caso de los límites de las subcuencas hidrográficas. Por lo anterior en el área se encuentran una serie de subcuencas que corresponden a: río Acatlan, río Salado, río Tlapaneco, río Mixteco, el río Quiotepec, río Coycoyan, río San Miguel, río Yolatepec y el río Sordo. De estas las más significativas son las del río Mixteco y el río Sordo por la extensión que ocupan en la región, ver Figura 7. Los límites de las subcuencas fueron obtenidos del INEGI en lo que corresponde a la Red Hidrográfica versión 2.0 escala 1:50,000³⁹.

³⁹INEGI, 2014. Red Hidrográfica escla 1:50,000 2.0
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx

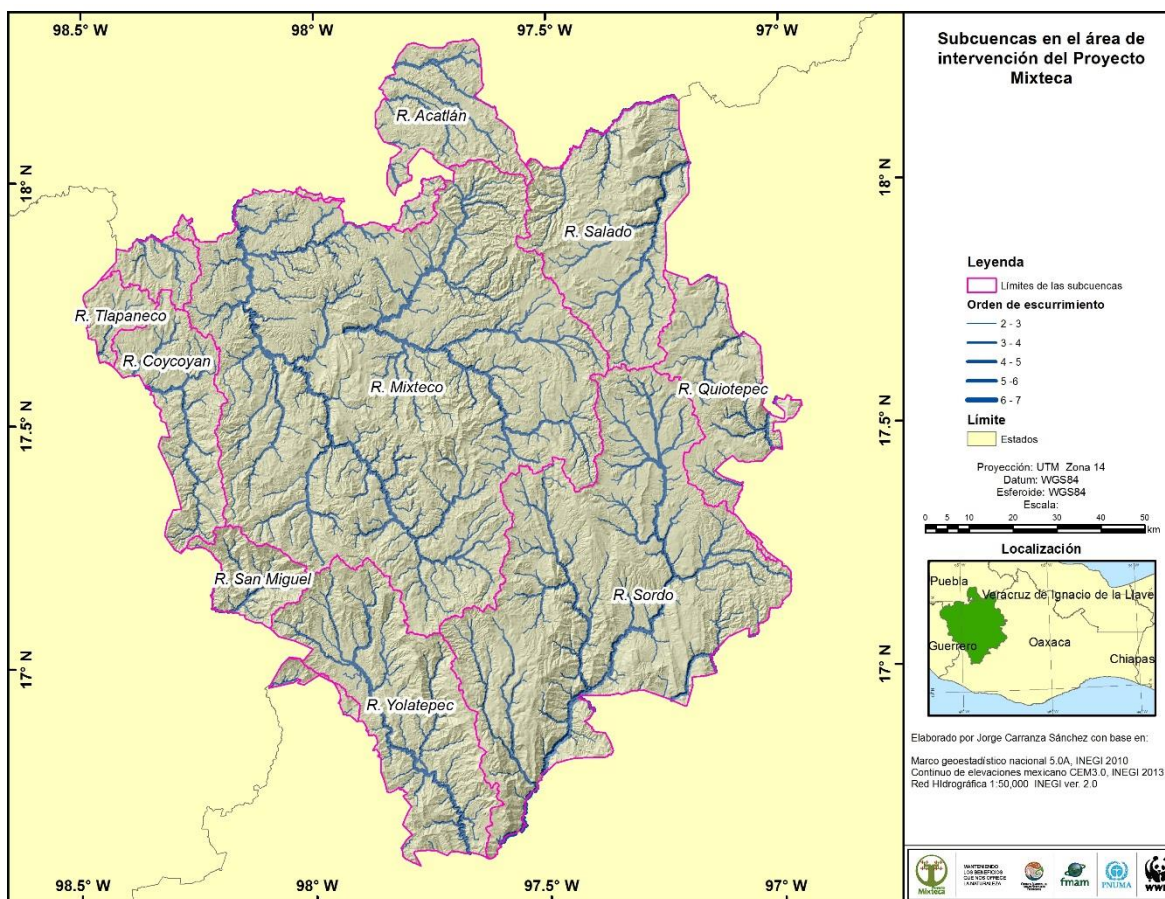


Figura 7. Límite de las Subcuencas.

3.6. Subcuencas (requerido V 2.5.4).

De la misma forma que los límites de las cuencas, los de las subcuencas no corresponden con el límite del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca. En la Figura 8, se presentan los límites de las subcuencas.

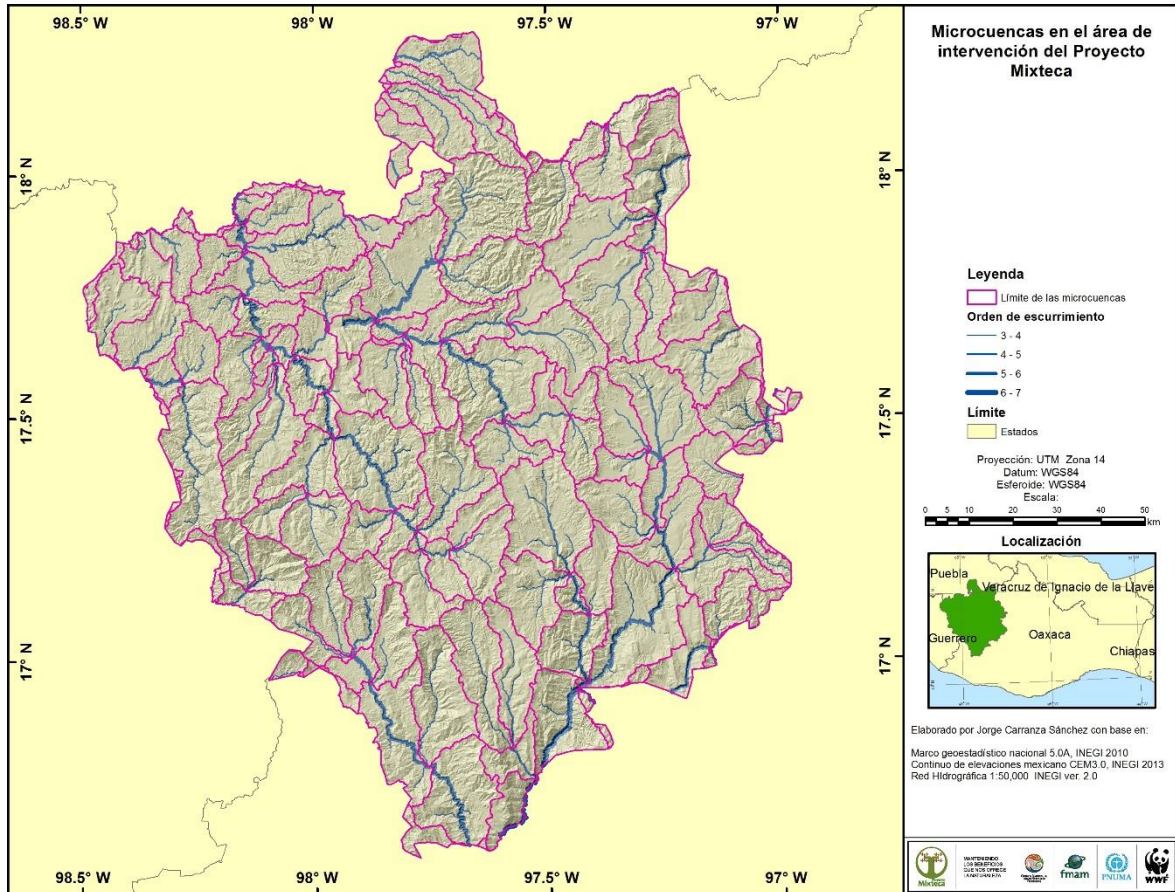


Figura 8. Límite de las microcuencas.

3.7. Tabla biofísica (requerido)

La Tabla 2 contiene información de cada clase de uso del suelo.

- 1.- **lucode** (Land use code): Número entero de cada clase de uso del suelo y vegetación, este debe ser igual al contenido en el archivo rater descrito en el punto 4.
- 2.- **LULC_desc**: Describe el nombre de cada clase de uso del suelo y vegetación (opcional).
- 3.- **usle_c**: cubierta y factor de manejo.

4.- **usle_p**: factor de prácticas de manejo del uso del suelo y vegetación.

5.- **sedret_eff**: valor de retención de sedimento de cada clase de uso del suelo y vegetación, como un entero del porcentaje entre el cero y 100. Este campo identifica la capacidad de la vegetación para retener sedimentos, como un porcentaje de la cantidad de sedimento que llega a una celda pendiente arriba, cuando los datos de cada tipo de uso del suelo no se encuentran disponibles, un valor de 100 puede ser asignado a todos los tipos de vegetación natural (bosque, pasto natural, humedales o praderas) indicando que el 100% de los sedimentos son retenidos. Un valor intermedio también puede ser asignado para sitios como zonas de amortiguamiento. Todas las clases de uso del suelo y vegetación que no tienen capacidad de filtrado, como el pavimento, se le puede asignar un valor de cero.

Los valores utilizados fueron obtenidos de Martínez (2005)⁴⁰ con base en la tabla de Valores de C que se pueden utilizar para estimar pérdidas de suelo y los Valores de P utilizados para diferentes prácticas y obras de conservación del suelo y del agua.

Tabla 2. Datos biofísicos para el modelo InVEST.

LULC_desc	lucode	etk	root_depth	usle_c	usle_p	sedret_eff	load_n	eff_n	load_p	eff_p
Área sin Vegetación Aparente	1			100	0	25				
Bosque de Encino	2			100	0	100				
Bosque de Encino_vs	3			100	0	80				
Bosque de Pino	4			100	0	100				
Bosque de Pino_vs	5			100	0	80				
Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	6			100	0	100				
Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	7			100	0	80				
Bosque de Tascate	8			100	0	100				
Bosque de Tascate_vs	9			100	0	80				
Bosque Mesófilo de Montana_vs	10			100	0	80				
Chaparral	11			100	0	75				
Matorral Crasicaule	12			100	0	60				
Matorral Crasicaule_vs	13			100	0	40				
Matorral xerófilo	14			100	0	25				
Palmar	15			300	0	75				
Plantación Forestal	16			100	0	50				
Selva Baja Caducifolia	17			100	0	100				
Selva Baja Caducifolia_vs	18			100	0	80				
Selva Mediana Subcaducifolia_vs	19			100	0	80				
Área Agrícola	20			800	600	25				
Asentamientos Humanos	21			100	0	0				
Área Impactada por Incendio	22			100	0	0				
Cuerpos de Agua	23			0	0	0				
Pastizales	24			100	0	50				

3.8. Tabla del límite del sedimento (requerido)

La Tabla 3 contiene información del límite de la carga de sedimento anual de cada reservorio. Esta debe ser una línea para cada cuenca del archivo de cuencas.

1.- **ws_id (watershed ID)**: Identificador de cada presa, el cual puede corresponder a los

⁴⁰Martínez, M. M. 2005. Estimación de la Erosión del Suelo. SAGARPA-INCA Rural-Colegio de Posgraduados.

identificadores en la capa de las cuencas.

2.- **dr_time:** Periodo de tiempo correspondiente a la permanencia del tiempo de vida de la presa o el periodo de tiempo sobre el cual el uso del suelo puede permanecer relativamente constante. Para la sedimentación de la presa, si se utiliza un mapa de uso del suelo y vegetación del 2000 y la presa de interés fue diseñada en 1950 para un tiempo de vida de 100 años, el periodo de tiempo utilizado en la tabla puede ser 50. La presa Yosocuta, se terminó de construir en 1969 por lo que tiene un tiempo de vida de 45 años, por lo anterior se considera el valor de 50.

3. **dr_deadvol:** Volumen del agua debajo de la turbina. Esto es una cantidad de agua dimensionada desde el diseño de la presa y determinada por un umbral, debajo del cual el agua no esta disponible para ningún uso y esta diseñado para almacenar el sedimento sin dificultar la turbina y las funciones de la hidroeléctrica. Se usa para calcular el servicio en términos biofísicos y valorar la retención para dragado. Es un valor dado en metros cúbicos. Por no conocer el valor real se consideró utilizar el del modelo original.

Tabla 3. Datos de límites de sedimentos.

ID	ws_id	dr_deadvol	dr_time	wq_annload
1	1	4000	50	10
2	2	4000	50	10
3	3	4000	50	10
4	4	4000	50	10
5	5	4000	50	10
6	6	4000	50	10
7	7	4000	50	10
8	8	4000	50	10
9	9	4000	50	10
10	10	4000	50	10
11	11	4000	50	10
12	12	4000	50	10
13	13	4000	50	10
14	14	4000	50	10
15	15	4000	50	10
16	16	4000	50	10
17	17	4000	50	10
18	18	4000	50	10
19	19	4000	50	10
20	20	4000	50	10
21	21	4000	50	10
22	22	4000	50	10
23	23	4000	50	10
24	24	4000	50	10

4. Resultado.

Los resultados dependen completamente del objetivo del proyecto, sin embargo existen los que son propios del medio y otros que son producidos por las actividades antrópicas. Del primer caso se puede mencionar el factor de longitud de la pendiente (LS) la cual depende

únicamente de la geometría del paisaje, es simplemente una descripción de la longitud de la pendiente en la cuenca.

El RKLS es el potencial de pérdida de suelo basado en el factor de la longitud de la pendiente (LS), la erosividad por la lluvia (R), y la erosionabilidad del suelo (K). Estos son factores que generalmente no pueden ser cambiados por la actividad humana, ya que son inherentes en la cuenca.

A diferencia del RKLS, el USLE emplea los factores de prácticas de manejo y de cubierta vegetal. Estos son los factores que pueden ser alterados con el cambio de uso del suelo o cambios en el manejo de la tierra. Por ejemplo los cambios que pueden modificar los resultados del USLE son: la deforestación, cambios en el tipo de cosecha o el tipo de agricultura, la expansión de la zona urbana o incluso áreas de restauración a lo largo de las corrientes. El modelo describe la pérdida de suelo real sobre una base anual/hectárea.

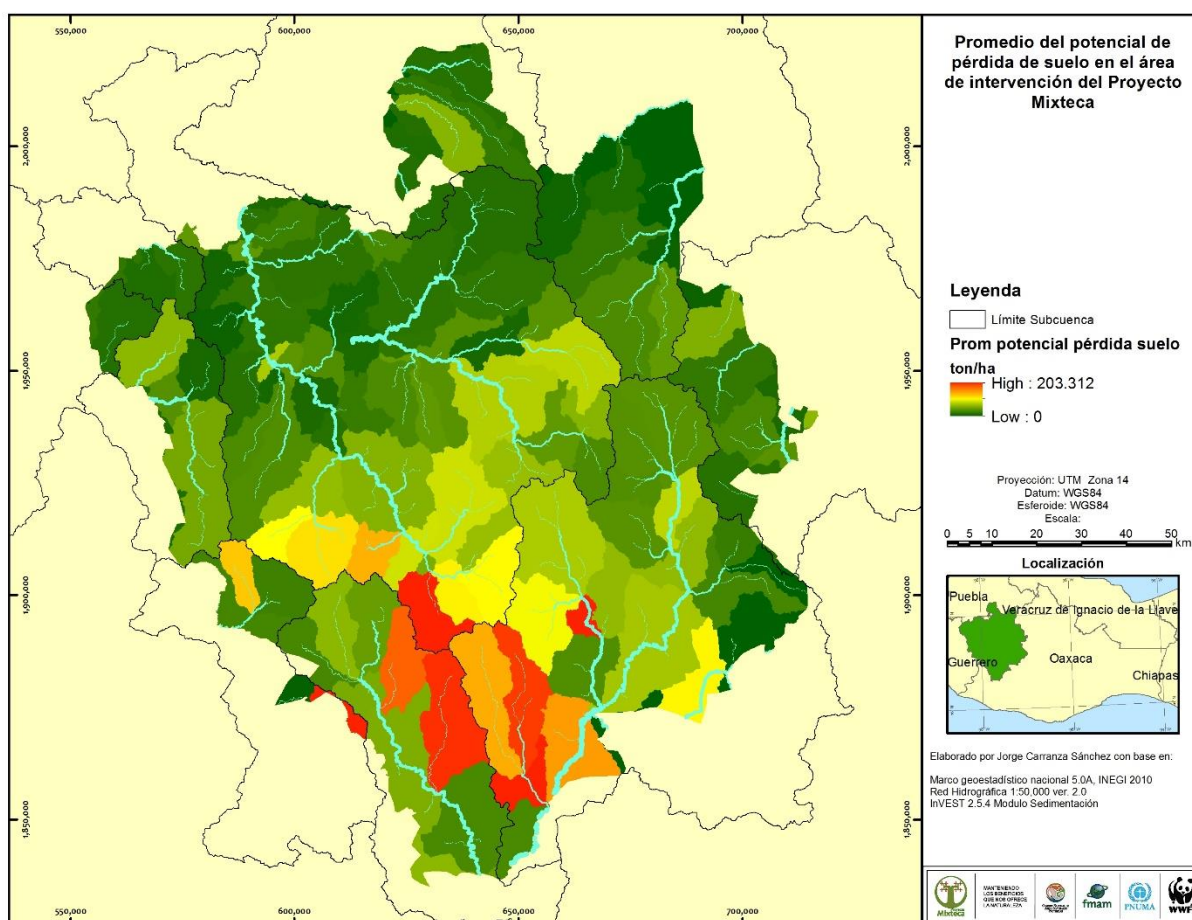


Figura 9. Promedio del potencial de pérdida de suelo (USLE).

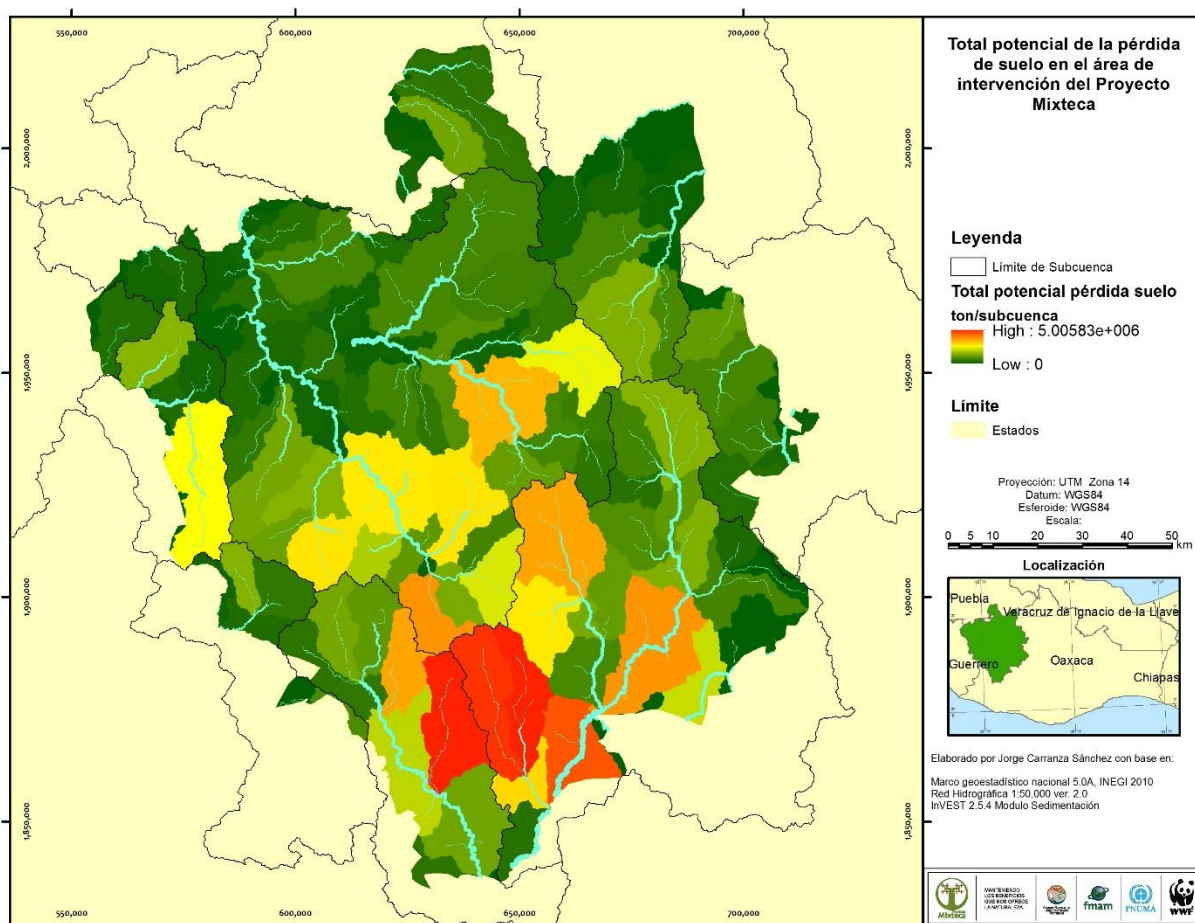


Figura 10. Total del potencial de pérdida de suelo (USLE).

El método USLE predice el sedimento de la capa que se lava. Las cárcavas, canales y/o procesos de erosión/depositación en bancos de corriente no están incluidos en el modelo. Una visita a la cuenca y una consulta de resultados de investigación regionales tiene que ser usada para evaluar las capas que se lavan en la carga total del sedimento y usarlo para probar y verificar el modelo.

En las Figuras 9 y 10 se presentan los valores promedio y total del potencial de pérdida de suelo (USLE) en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca. Para los dos casos los valores más altos se presentan en la parte Centro-Sur de la región.

Es de gran utilidad relacionar el proceso de sedimentación con la cuenca, en función de que en este territorio es posible la identificación de las principales fuentes, almacenes y vías de transferencia, y por lo tanto la evaluación de su susceptibilidad a las perturbaciones antrópicas.

La erosión y la sedimentación son procesos naturales que contribuyen a la salud de los ecosistemas, pero en gran cantidad pueden tener consecuencias severas. La magnitud de transporte de sedimento en una cuenca está determinada por algunos factores. La variación

natural en las propiedades del suelo, patrones de precipitación, y la pendiente que crea patrones de erosión y sedimentación. La vegetación mantiene el suelo en el lugar y captura el sedimento que se mueve por la tierra. Sin embargo, cambios en las prácticas de manejo de la tierra pueden alterar la capacidad de retención de sedimento por la remoción importante de la vegetación.

Para conocer la cantidad de sedimento que se produce corriente arriba y que es retenido, a continuación se presentan las Figuras 11 y 12, que contienen la cantidad media y total del sedimento retenido del sedimento originado corriente arriba de cada pixel, promediados los pixeles en cada subcuenca. No incluye los sedimentos originados por el propio pixel.

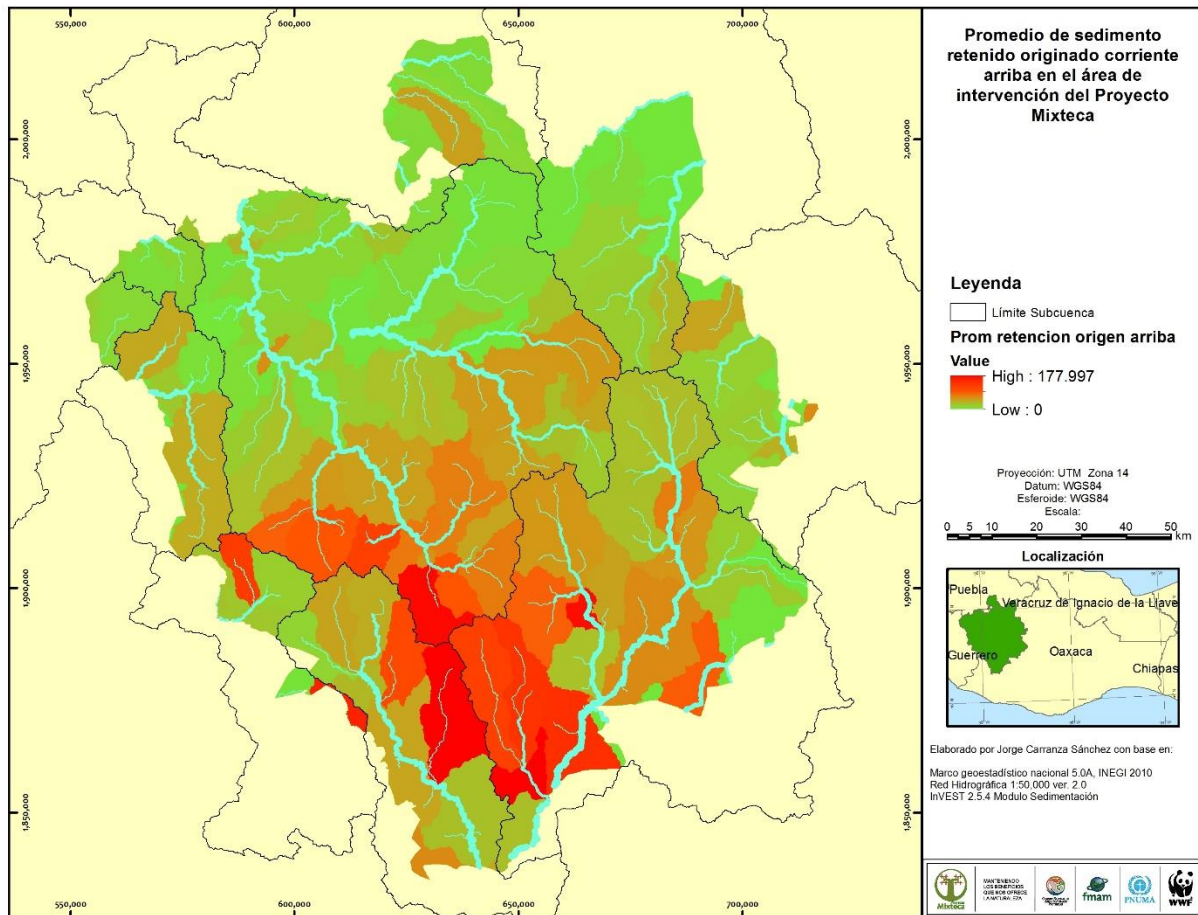


Figura 11. Promedio de sedimento retenido originado corriente arriba.

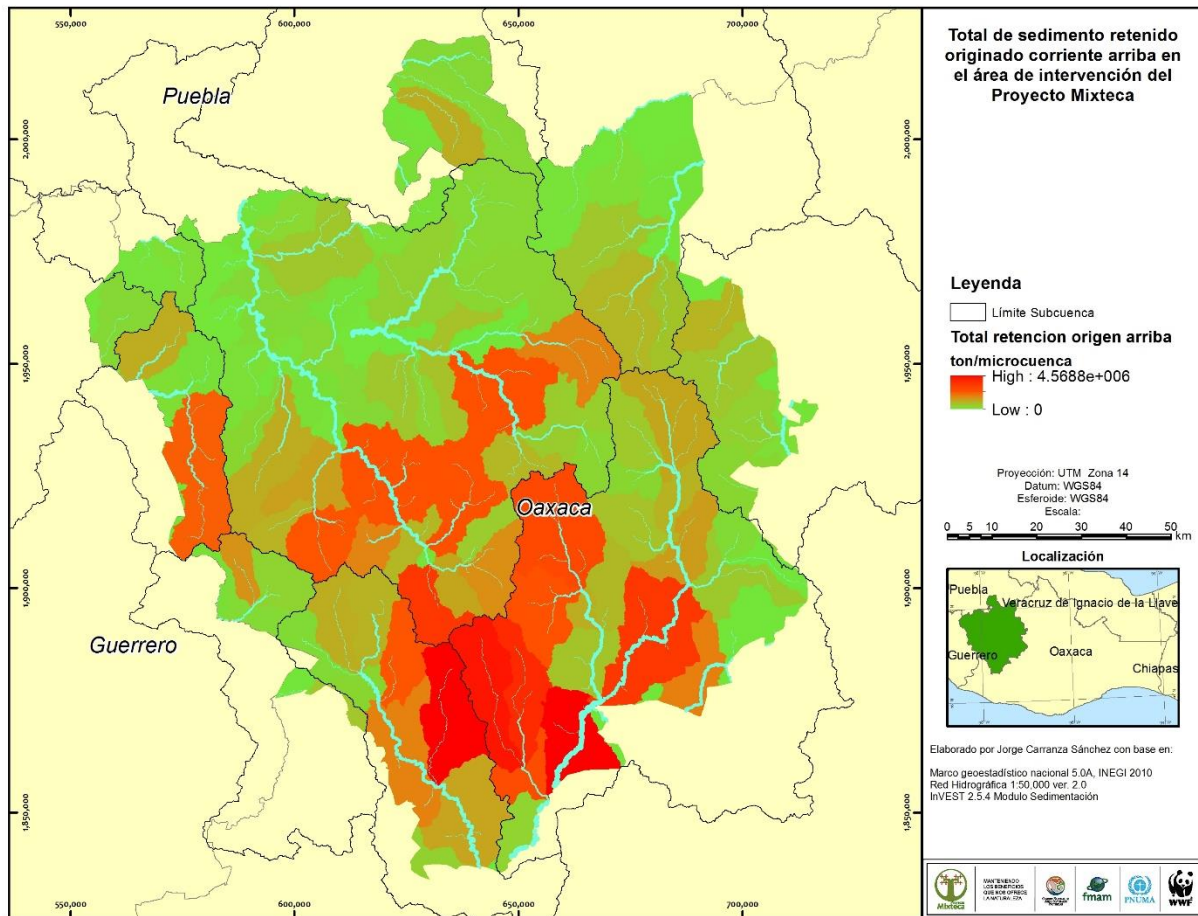


Figura 12. Total de sedimento retenido originado corriente arriba.

La erosión puede dejar sedimentos, los cuales generan tensión en las infraestructuras de agua, tales como depósitos y sistemas de control, incrementando el costo del tratamiento de agua. La sedimentación es un problema particular para las presas, que son diseñadas para retener el sedimento conforme el agua es liberada.

Cotler y Iura (2014)⁴¹ mencionan que a nivel internacional, las presas se están azolvando a

⁴¹Cotler y Iura. 2014 Sedimentación Potencial de Presas. En Cotler, 2014 *Las cuencas hidrográficas de México*. Diagnóstico y priorización. INEC 232 pp.

una tasa aproximada de 1% al año (WCD, 2000)⁴²; esto implica que para mediados del siglo XXI el almacenamiento mundial de agua sería la mitad del actual. Esto tendría importantes repercusiones a nivel económico y ambiental (de Vente *et al.*, 2005)⁴³.

Por lo anterior y debido al alto costo económico, social y ambiental que generan las presas, amerita conservar las condiciones del territorio que aseguren el funcionamiento y la vida útil como inicialmente fueron planeadas. Debido al impacto ambiental y social que las presas generan, éstas deben ser consideradas como un actor importante en el contexto del manejo de cuencas, con una fuerte dependencia del mantenimiento de los ecosistemas cuenca arriba y como generadoras de externalidades para ecosistemas y sociedades cuenca abajo.

Bajo el contexto de cuencas, la captura de sedimentos en las presas tiene dos lecturas: por un lado, aminora la vida útil de las presas y con ello, los beneficios que podrían estar otorgando a ciertas poblaciones, en detrimento de otros sectores y ecosistemas afectados; por otro lado, la captura de sedimentos en estas obras hidráulicas reduce la carga de sedimentos que transportan los ríos, alterando sus hábitats y disminuyendo el aporte y enriquecimiento de los deltas (WCD, 2000)⁴⁴.

De los resultados obtenidos en este modelo se cuenta con la tabla que contiene los valores biofísicos de cada subcuenca (Tabla 4).

Tabla 4. Total de sedimentos exportados.

ws_id	sed_export	sed_ret_dr	sed_ret_wq	Superficie Ha	Sedimento exportado ton/ha/año	Sedimento retenido ton/ha/año
Río San Miguel	162,770	149,938,000	149,938,000	40,440	4.02	3,708
Río Mixteco	6,221,460	1,380,080,000	1,380,080,000	673,783	9.23	2,048
Río Acatlán	369,986	110,826,000	110,826,000	77,797	4.76	1,425
Río Salado	65,961	23,200,400	23,200,500	22,322	2.95	1,039
Río Coycoyan	634,306	195,976,000	195,976,000	78,182	8.11	2,507
Río Tlapaneco	46,350	13,866,900	13,867,000	19,056	2.43	728
Río Quiotepec	334,127	94,727,800	94,727,800	85,291	3.92	1,111
Río Salado	589,740	199,096,000	199,096,000	152,039	3.88	1,310
Río Sordo	4,065,250	1,080,099,968	1,080,099,968	402,579	10.10	2,683
Río Yolatepec	2,028,360	775,484,992	775,484,992	162,528	12.48	4,771

De las 9 subcuencas, la del río Mixteco es la que presenta el mayor aporte de sedimentos con 6'221,460 ton/año, seguida de la subcuenca del río Sordo con 4'065,250 ton/año. Estas dos subcuencas son las que ocupan la mayor superficie del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca. Los datos aquí obtenidos deben ser comparados con cualquier carga de

⁴²World Commission of Dams (WCD) 2000. *Dams and Development. A new Framework for Decision-Making*. Earth Publications Ltd., London.

⁴³De Vente, J., J. Poesen y G. Verstraeten, 2005. The Application of Semi-Quantitative Methods and Reservoir Sedimentation Rates for the Prediction of Basin Sediment Yield in Spain, *Journal of Hydrology* **305**: 63-86.

⁴⁴*Idem* 37.

sedimentos observado en la salida de la subcuenca. El Sedimento Total exportado a la salida de la cuenca indica el volumen de suelo liberado cada año. Ya que este modelo no simula los procesos en las corrientes donde la erosión y la deposición podrían tener un impacto principal sobre el sedimento exportado, se debe prestar atención a esto calibrando o ajustando el modelo.

Como referencia para la región se cuenta con el trabajo realizado por Fernandez(2012⁴⁵) para la Cuenca del Río Mixteco donde encontró que la cuenca presenta una degradación específica de 17.04 t/ha/año (producción de sedimentos). Considerando que el área de interés del proyecto se encuentra ubicada en el área de drenaje de la corriente del Río Mixteco delimitada, en la parte baja, por la estación hidrométrica Mariscala (clave: 18344) y que la cuenca del Río Mixteco, a la altura de la estación hidrométrica Mariscala, tiene una superficie de 653,879.52 hectáreas⁴⁶, se tendría una producción de sedimentos de:

$$17.04 \text{ t/ha/año} * 653,879.52 \text{ ha} = 11'142,107.02 \text{ ton/año}$$

Los datos obtenidos del modelo indican que para la porción de la cuenca del río Mixteco en el área de intervención del proyecto se estimó una producción de 6'221,460 ton/año (Tabla 4), con un promedio de 9.23 ton/ha/año. Por lo que se encuentra ligeramente por abajo de la tolerancia de erosión de 10.0 ton/ha, correspondiente al límite de erosión permisible adoptado internacionalmente. En el Tabla 4, y en la Figura 13 se pueden observar los valores por subcuenca en donde ocho subcuencas presentan un valor por debajo de lo permitido (10 ton/ha/año), y solo dos de ellas, la subcuenca del río Sordo con un valor de 10.10 ton/ha/año y la del río Yolatepec con 12.48 ton/ha/año presentan un valor por arriba del valor permitido. Estas dos subcuencas se localizan al Sur del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

⁴⁵Fernandez, R.D.S. 2012. Priorización Hidrológica de las Principales Asociaciones Suelo-Vegetación Presentes en la Cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca. Convenio OM30 WWF.

⁴⁶*Idem* 40.

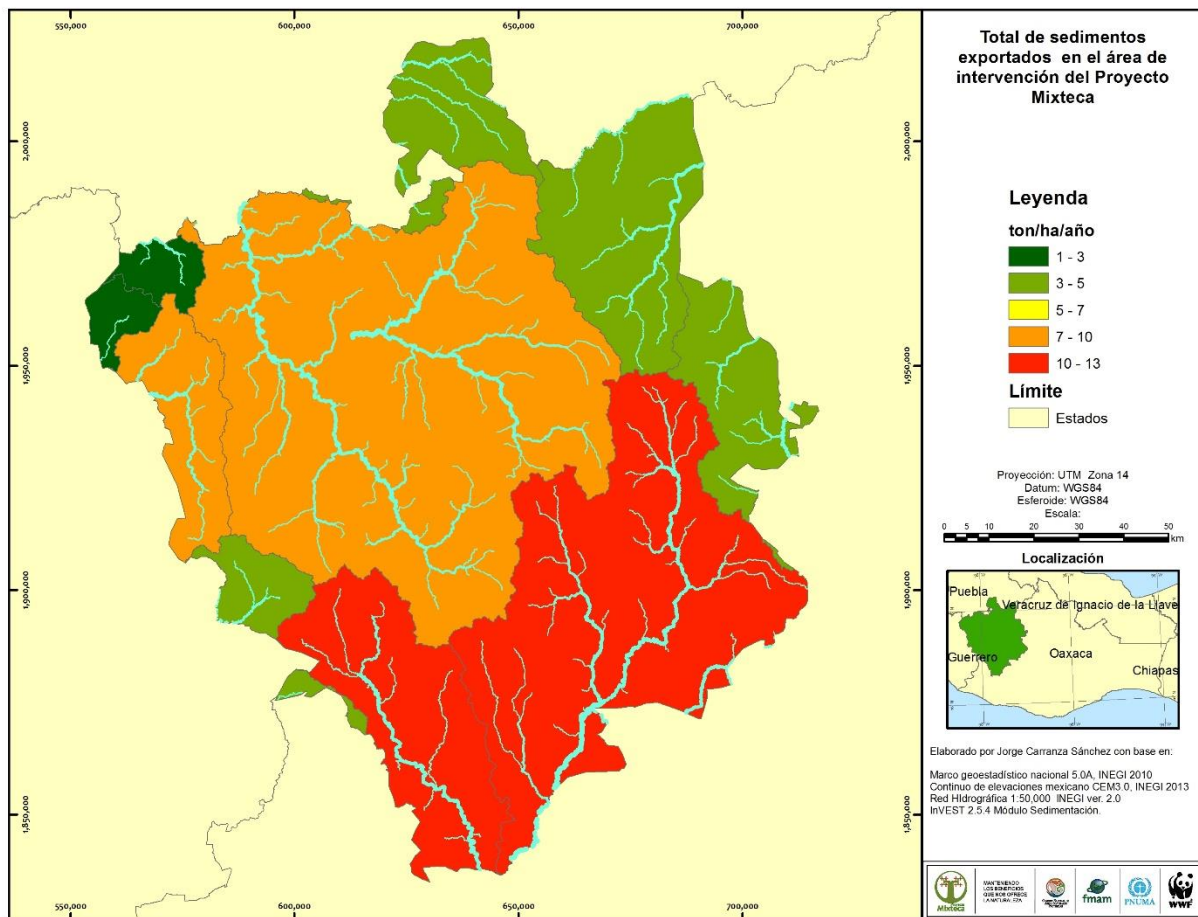


Figura 13. Total de sedimentos exportados por Subcuenca.

Delos valores biosfícos de cada microcuenca se obtuvo la cantidad total de sedimentos exportados a la corriente por microcuenca, ver el ANEXO III.

Y en la Figura 14, se presentan los valores a nivel de microcuenca, para conocer la distribución de las áreas que pueden presentar problemas con la producción de sedimentos. Aquí se puede observar que la mayor parte del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca tiene un valor por arriba 10 ton/ha. Y que en las microcuencas que se encuentran al Sur de la región los valores alcanzan más de 50 ton/ha.

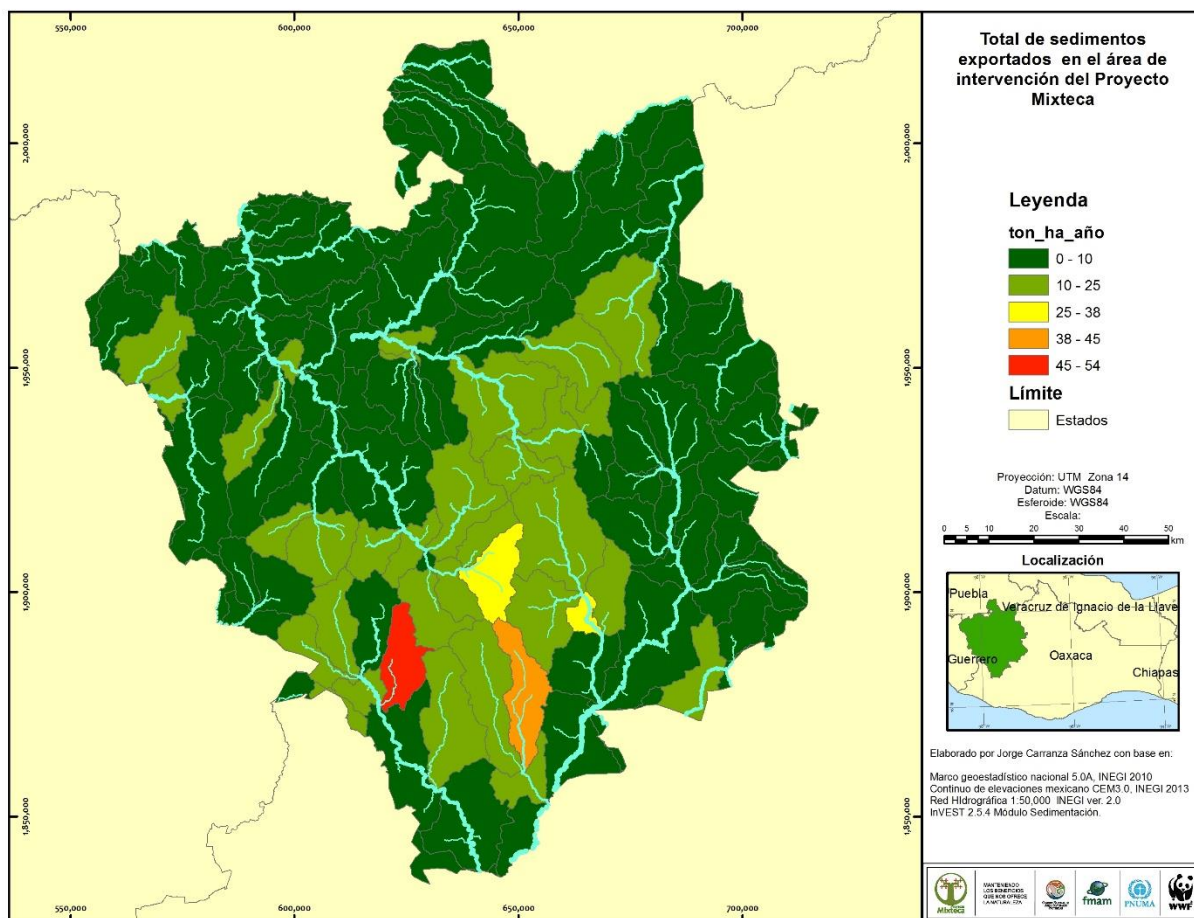


Figura 14. Total de sedimentos exportados en la microcuenca.

Estas altas tasas de sedimentos exportados aunados a otros factores podrían estar ocasionando los problemas de sedimentación que se están presentando en muchos de los depósitos de agua que existen en el país. En el estudio que realizaron Cotler y Iura (2014)⁴⁷, más del 13% de las cuencas en México presentan un alto a muy alto potencial de sedimentación. Entre ellas sobresalen aquellas cuencas cuyos potenciales de producción de sedimentos, transporte y susceptibilidad del territorio son muy altos, como las cuencas centrales (Lerma-Chapala, Santiago, Balsas, así como Pánuco y Soto La Marina), mientras que las cuencas de Sinaloa, Culiacán y Evora alcanzan este nivel debido a las variables que determinan la susceptibilidad del territorio o la producción de sedimentos, como el río Yaqui; y en el Grijalva-Usumacinta las variables que determinan el transporte de sedimentos son las más críticas. En el otro extremo, más del 30% de las cuencas presentan una sedimentación potencial de baja a muy baja. Varias de estas cuencas se ubican en la región centro-norte del país, y su escasa precipitación disminuiría los riesgos de producción y transporte hídrico de

⁴⁷Idem 36.

sedimentos; sin embargo, hay que recordar que la energía del viento también contribuye a la generación y transporte de sedimentos.

Por otra parte es importante identificar los servicios ambientales que presta el medio ambiente en este sentido, por ello es de vital importancia conocer el contenido del sedimento retenido en cada microcuenca, incluyendo el sedimento retenido que se origina corriente arriba así como el sedimento que se origina en el pixel. En las Figuras 15 y 16 se presentan los valores de retención de sedimentos.

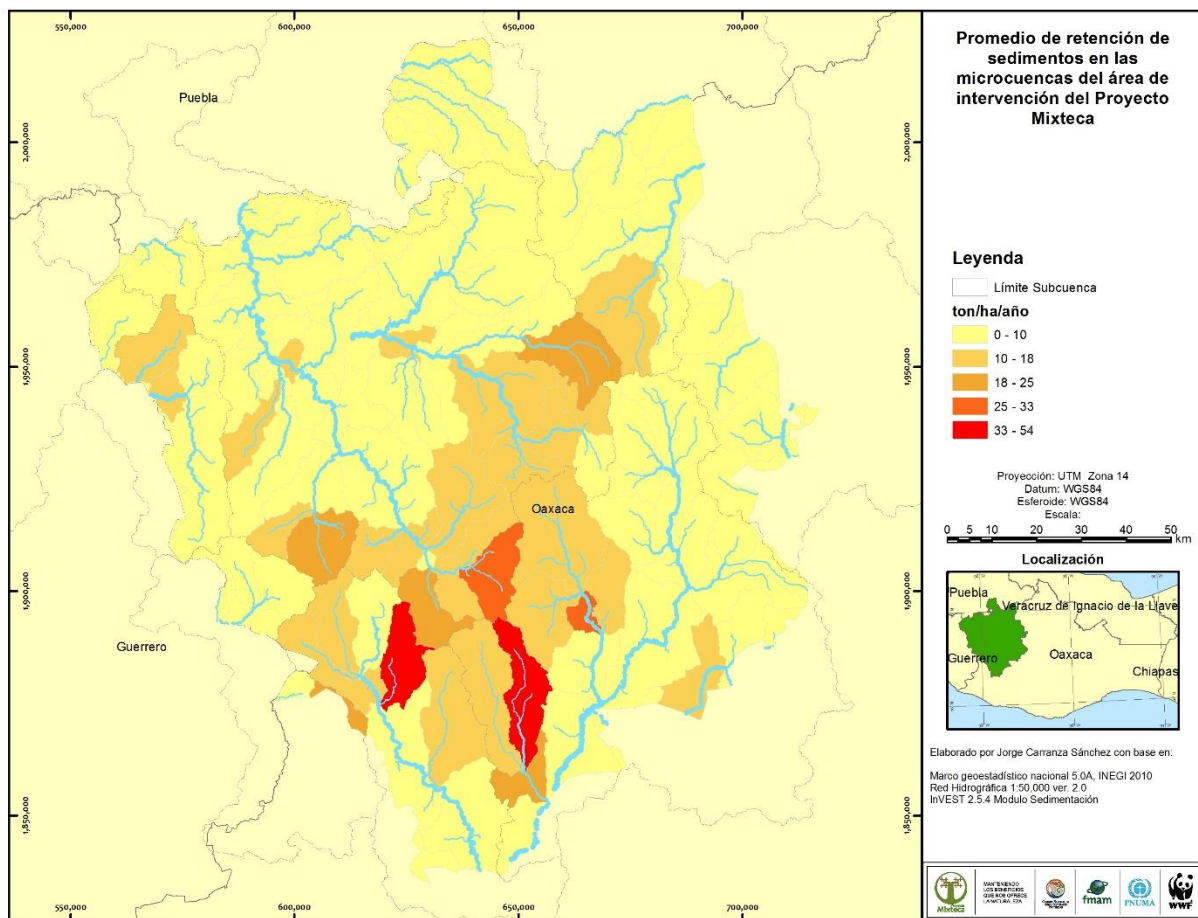


Figura 15. Promedio de retención de sedimentos en la microcuenca.

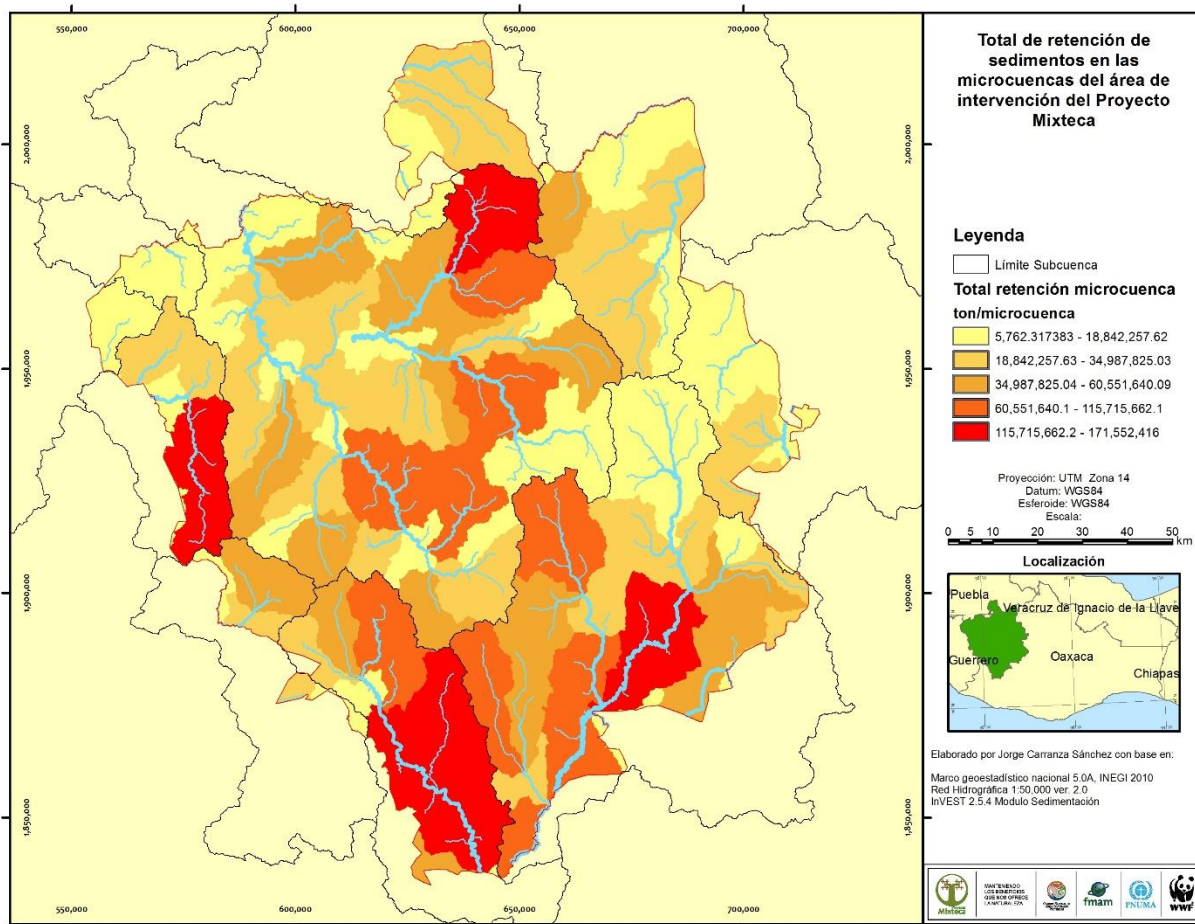


Figura 16. Total de retención de sedimentos en las microcuencas.

Los datos aquí presentados son el resultado de utilizar el Módulo de Sedimentación del InVEST, los datos deben ser corroborados y ajustados con datos de campo que permitan dar certeza a los resultados.

5. Conclusiones.

La erosión y la sedimentación son procesos naturales que contribuyen a la salud de los ecosistemas, pero en gran cantidad pueden tener consecuencias severas. La magnitud de transporte de sedimento en una cuenca está determinada por algunos factores. La variación natural en las propiedades del suelo, patrones de precipitación, y la pendiente que crea patrones de erosión y sedimentación. La vegetación mantiene el suelo en el lugar y captura el sedimento que se mueve por la tierra. Sin embargo, cambios en las prácticas de manejo de la tierra pueden alterar la capacidad de retención de sedimento por la remoción importante de la vegetación.

La erosión puede dejar sedimentos, los cuales generan tensión en las infraestructuras de agua, tales como depósitos y sistemas de control, incrementando el costo del tratamiento de agua. La sedimentación es un problema particular para las presas, que son diseñadas para retener el sedimento conforme el agua es liberada. Cotler y Iura (2014)⁴⁸ mencionan que a nivel internacional, las presas se están azolvando a una tasa aproximada de 1% al año (WCD, 2000)⁴⁹; esto implica que para mediados del siglo XXI el almacenamiento mundial de agua sería la mitad del actual. Esto tendría importantes repercusiones a nivel económico y ambiental (de Vente *et al.*, 2005)⁵⁰.

Bajo el contexto de cuencas, la captura de sedimentos en las presas tiene dos lecturas: por un lado, aminora la vida útil de las presas y con ello, los beneficios que podrían estar otorgando a ciertas poblaciones, en detrimento de otros sectores y ecosistemas afectados; por otro lado, la captura de sedimentos en estas obras hidráulicas reduce la carga de sedimentos que transportan los ríos, alterando sus hábitats y disminuyendo el aporte y enriquecimiento de los deltas (WCD, 2000)⁵¹.

De los resultados obtenidos en las 9 subcuencas, la del río Mixteco es la que presenta el mayor aporte de sedimentos con 6'221,460 ton/año, seguida de la subcuenca del río Sordo con 4'065,250 ton/año. Estas dos subcuencas son las que ocupan la mayor superficie del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

El modelo describe la pérdida de suelo real sobre una base anual/hectárea. Los datos obtenidos del modelo indican que para la porción de la cuenca del río Mixteco en el área de intervención del proyecto se estimó una producción de 6'221,460 ton/año, con un promedio de 9.23 ton/ha/año. Por lo que se encuentra ligeramente por abajo de la tolerancia de erosión de 10.0 ton/ha, correspondiente al límite de erosión permisible adoptado internacionalmente. Como referencia para la región se cuenta con el trabajo realizado por Fernandez(2012⁵²) para la Cuenca del Río Mixteco donde encontró que la cuenca presenta una degradación específica de 17.04 t/ha/año (producción de sedimentos).

⁴⁸ *Idem* 41.

⁴⁹ *Idem* 42.

⁵⁰ *Idem* 43.

⁵¹ *Idem* 42.

⁵² *Idem* 45.

A nivel de microcuenca, la mayor parte del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca tiene un valor por arriba 10 ton/ha, donde las microcuencas que se encuentran al Sur de la región los valores alcanzan más de 50 ton/ha.

6. Referencias bibliográficas.

Aguilera-Taylor, I., A. Corzo-Dominguez, G. Muñoz-Castro y L. López-Hoffman. 2007. Servicios ambientales de una palma endémica: importancia para la población rural. *Gaceta Ecológica* **84-85**:75-84.

Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, M. J. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, D.F. *Gaceta Ecológica* **84-85**:53-64.

Álvarez, Mariano y Daniel F. Galicia. 1933. Estudio preliminar sobre la necesidad de proteger la vegetación forestal de la cuenca de alimentación de las corrientes que abastecen las Presas Requena y Taxhimay del Sistema Nacional de Riego Núm. 3, Río Tula. *Irrigación en México* **7**(2):156-163.

Balvanera, P. y Cotler, H. 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica número especial* **84-85** (2007) 8-15 Instituto Nacional de Ecología, México.

Balvanera, P., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, T. H. Ricketts, S. A. Bailey, S. Kark, C. Kremen and H. Pereira. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* **291**: 2047 10:09a. m.

Carranza, S.J. 2014. Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca. Convenio OO66 WWF.

Castello, L., J. P. Castello y C. A. S. Hall. 2007 Problemas en el estudio y manejo de pesquerías tropicales. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 65-73.

CNA 2012. Atlas Digital del Agua México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usuariosdelagua33.html>

Cortés T. (1991). “Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados”. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, pp 168, México.

Cotler y Iura. 2014 Sedimentación Potencial de Presas. En Cotler, 2014 *Las cuencas hidrográficas de México*. Diagnóstico y priorización. INEC 232 pp.

De Vente, J., J. Poesen y G. Verstraeten, 2005. The Application of Semi-Quantitative Methods and Reservoir Sedimentation Rates for the Prediction of Basin Sediment Yield in Spain, *Journal of Hydrology* **305**: 63-86.

DOF, 03/01/1934 ACUERDO que declara Zonas Protectoras Forestales los terrenos cubiertos

de arbolado, situados en las Cuencas Hidrográficas de los Sistemas Nacionales de Riego en construcción y proyecto.

Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

FAO. 2002., FAOSTAT Homepage of Food and Agriculture Organization of the United Nations, Online 2008, 9/11.

Fernandez, R.D.S. 2012. Priorización Hidrológica de las Principales Asociaciones Suelo-Vegetación Presentes en la Cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca. Convenio OM30 WWF.

Figueroa S. B., Amante A., Cortés H. G., Pimentel J., Osuna E.S., Rodríguez J. M., Morales J. F. (1991). “Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión”. Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados (CREZAS). México.

Huang Yanhe and Lu Chenglong. 1993. Advances in the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in China. *Journal of Fujian Agricultural College (Natural Science Edition)* 22 (1): 73 ~ 77.

<http://www.fao.org/docrep/t1765e/t1765eoe.htm>

<https://maps.google.com/maps?f=q&source=embed&hl=es&geocode=&q=http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz&sll=51.289954,0.48126&sspn=1.277966,2.458191&ie=UTF8&t=f&ecpose=24.80805605,-101.74817558,3614699.55,-2.041,0.424,0&ll=25.048525,-101.757635&sfn=31.280665,56.162109&z=4>

INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión 5.0A.
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

Inegi 2010. Censo de población y vivienda.
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

INEGI, 2013 Perfiles de suelos, Serie II Continuo Nacional.
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825266707&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=3608&pg=0&ct=205020000>

INEGI, 2014. Red Hidrográfica escla 1:50,000 2.0
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx

INEGI 2014. Continuo de elevaciones mexicano 3.0 /CEM 3.0)
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx>

Irrigación en México 1931. La influencia de los Sistemas Nacionales de Riego en el progreso general de México. *Irrigación en México*. 3(1):24-28

Liu, J., T. Dietz, S. R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A. N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C. L. Redman, S. H. Schneider y W. W. Taylor. 2007. *Complexity of Coupled Human and Natural System*. *Science* **317**: 1,513-516.

Martínez, M. M. 2005. Estimación de la Erosión del Suelo. SAGARPA-INCA Rural-Colegio de Posgraduados.

Meynard, C. N., Lara, M. Pino, M. Soto, D. Soto, L. Nahuelhual, D. Nuñez, C. Echeverría, C. Jara, C. Oyarzún, M. Jiménez y F. Morey 2007. Integrando ciencia, economía y sociedad: servicios ecosistémicos en la región de los bosques lluviosos valdivianos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 29-38.

Pérez-Maqueo, O., M. Equihua, G. Vázquez, M. L., Martínez, A. Campos, G. Castillo, E. Díaz Pardo, J.G. García Franco, D. Gelsert, K. Mehlreter, E. Meza y L. Muñoz-Viller. 2007. Construcción de consensos mediante modelación medida con enfoque en servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 107-116.

Quijada-Uribe, M. G. 2008. Retos sociales y productivos en la agricultura bajo riego en Guanajuato. Tesis para obtener el título de Maestra en Economía. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía. México, D.F.

Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., and Griffin, R. 2013. *InVEST 2.5.4 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford.

Wischmeier, W. H. and Smith D.D. (1965). "Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning". U.S. Department of Agriculture Handbook, No. 537.

Wischmeier, W.H. & Smith, D. 1978, *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA-ARS Agriculture Handbook , Washington DC.

World Commission of Dams (WCD) 2000. Dams and Development. A new Framework for Decision-Making. Earth Publications Ltd., London.

ANEXO 1. Estaciones Climatológicas.

Num_Est	Tipo	Estacion	Estado	Mpio	Latitud	Longitud	Altitud	Pmed_dia	Pmed_año	R
21205	Activa	SANTA CRUZ TEJALPA	PUEBLA	TEHUITZINGO	18.375600	-98.363100	1,041	1.40	511.00	1,552.58
21165	Activa	AHUATEMPAN	PUEBLA	SANTA INES AHUATEMPAN	18.415300	-98.016700	1,824	1.80	657.00	1,911.76
21114	Activa	ZOQUITLAN	PUEBLA	ZOQUITLAN	18.354400	-97.021100	2,077	4.50	1,642.50	3,354.97
21109	Activa	ZAPOTITLAN SALINAS (SMN)	PUEBLA	ZAPOTITLAN	18.331900	-97.474400	1,500	1.10	401.50	1,258.57
21003	Activa	ACATLAN DE OSORIO (SMN)	PUEBLA	ACATLAN	18.300000	-98.050000	1,180	1.80	657.00	1,911.76
21063	Activa	PIAXTLA	PUEBLA	PIAXTLA	18.199700	-98.260300	1,119	2.40	876.00	2,380.20
21015	Activa	AXUTLA (CFE)	PUEBLA	AXUTLA	18.170600	-98.388100	921	2.10	766.50	2,156.53
21198	Activa	CHILA DE LA SAL	PUEBLA	CHILA DE LA SAL	18.109400	-98.483300	1,059	2.00	730.00	2,077.29
21176	Activa	TONAHUXTLA	PUEBLA	SAN JERONIMO XAYACATLAN	18.185300	-97.919700	1,441	0.80	292.00	943.46
20311	Activa	SAN SEBASTIAN FRONTERA	OAXACA	SANTIAGO CHAZUMBA	18.250800	-97.653300	1,780	1.30	474.50	1,456.92
20248	Activa	SANTIAGO CHAZUMBA II	OAXACA	SANTIAGO CHAZUMBA	18.140000	-97.733100	1,660	1.70	620.50	1,825.49
20305	Activa	SAN JUAN NOCHIXTLAN	OAXACA	SANTIAGO CHAZUMBA	18.100000	-97.626700	1,916	1.50	547.50	1,645.89
21002	Activa	ACATEPEC	PUEBLA	CALTEPEC	18.227800	-97.578100	2,053	1.40	511.00	1,552.58
21019	Activa	CALTEPEC	PUEBLA	CALTEPEC	18.202500	-97.452500	2,275	1.20	438.00	1,358.92
21018	Activa	CALIPAN	PUEBLA	COXCATLAN	18.295800	-97.163900	1,131	1.10	401.50	1,258.57
20011	Activa	CALAPILLA	OAXACA	TEOTITLAN DE FLORES MAGON	18.136700	-97.016700	1,342	1.00	365.00	1,155.88
21115	Activa	SAN CRISTOBAL TULCINGO	PUEBLA	TULCINGO	17.979400	-98.384700	1,432	2.80	1,022.00	2,645.59
20306	Activa	SAN LORENZO VISTA HERMOSA	OAXACA	SAN MIGUEL AMATITLAN	17.958100	-98.067800	1,527	1.40	511.00	1,552.58
20003	Activa	ASTATLA	OAXACA	CONCEPCION BUENAVISTA	17.966700	-97.416700	2,121	1.50	547.50	1,645.89
12199	Activa	XOCHIHUEHUETLAN	GUERRERO	XOCHIHUEHUETLAN	17.911900	-98.481900	1,019	2.00	730.00	2,077.29
20190	Activa	ZAPOTITLAN PALMAS (SMN)	OAXACA	ZAPOTITLAN PALMAS	17.888300	-97.817800	1,913	1.80	657.00	1,911.76
20096	Activa	QUIOTEPEC	OAXACA	SAN JUAN BAUTISTA CUICATLAN	17.890000	-96.990600	543	1.30	474.50	1,456.92
20133	Activa	SANTIAGO CHILIXTLAHUACA	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEON	17.853100	-97.900000	2,099	2.10	766.50	2,156.53
20380	Activa	YOSOCUNO	OAXACA	SAN PEDRO NOPALA	17.850000	-97.583100	2,277	2.30	839.50	2,307.99
20157	Activa	TEPELMEDE DE MORELOS	OAXACA	TEPELMEDE VILLA DE MORELOS	17.866700	-97.366700	2,060	1.40	511.00	1,552.58
20129	Activa	SANTA MARIA IXCATLAN	OAXACA	SANTA MARIA IXCATLAN	17.850000	-97.183100	1,896	2.30	839.50	2,307.99
20020	Activa	CONCEPCION PAPALO	OAXACA	CONCEPCION PAPALO	17.833100	-96.866700	2,131	2.30	839.50	2,307.99
12114	Activa	HUAMUXTITLAN (DGE)	GUERRERO	HUAMUXTITLAN	17.795300	-98.564400	883	2.00	730.00	2,077.29
20033	Activa	LA EXPIRACION	OAXACA	SAN MARTIN ZACATEPEC	17.816700	-98.066700	1,360	1.80	657.00	1,911.76
20275	Activa	HUAJUAPAN DE LEON (DGE)	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEON	17.800000	-97.766700	1,584	2.00	730.00	2,077.29
20025	Activa	SAN JUAN BAUTISTA CUICATLAN (SMN)	OAXACA	SAN JUAN BAUTISTA CUICATLAN	17.800000	-96.950000	624	1.20	438.00	1,358.92
20207	Activa	MAGDALENA TETATEPEC	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEON	17.759200	-97.854400	1,851	1.90	693.50	1,995.70
20371	Activa	IHUALTEPEC	OAXACA	SAN JUAN IHUALTEPEC	17.726700	-98.303100	1,732	2.70	985.50	2,582.76
20049	Activa	JOCOTIPAC	OAXACA	SAN PEDRO JOCOTIPAC	17.710000	-97.083100	2,565	1.40	511.00	1,552.58
20143	Activa	SUCHIXTLAHUACA-QUIOTEPE-	OAXACA	SAN CRISTOBAL SUCHIXTLAHUACA	17.686700	-97.391700	2,348	5.80	2,117.00	3,440.21
20137	Activa	SANTIAGO TEOTONGO	OAXACA	TEOTONGO	17.716700	-97.549700	2,076	1.40	511.00	1,552.58
20108	Activa	SAN FRANCISCO YOSOCUTA	OAXACA	SAN MARCOS ARTEAGA	17.716700	-97.783100	1,544	2.10	766.50	2,156.53
20125	Activa	SANTA CATARINA	OAXACA	SANTO DOMINGO TONALA	17.666700	-97.950000	1,349	2.20	803.00	2,233.43
20146	Activa	SANTIAGO TAMAZOLA	OAXACA	SANTIAGO TAMAZOLA	17.670000	-98.220600	1,782	2.60	949.00	2,517.58
20316	Activa	ZAPOTITLAN LAGUNAS	OAXACA	ZAPOTITLAN LAGUNAS	17.700000	-98.416700	1,540	2.20	803.00	2,233.43
12048	Activa	IXCATEOPAN DE TLAPA	GUERRERO	ALPOYECA	17.622500	-98.513300	1,036	2.40	876.00	2,380.20
20028	Activa	SANTA MARIA CHILAPA DE DIAZ	OAXACA	VILLA DE CHILAPA DE DIAZ	17.570000	-97.616700	1,881	1.70	620.50	1,825.49
20103	Activa	SAN ANDRES LAGUNAS	OAXACA	SAN ANDRES LAGUNAS	17.573300	-97.522500	2,310	2.00	730.00	2,077.29
12091	Activa	TLAPA (CFE)	GUERRERO	TLAPA DE COMONFORT	17.540300	-98.590600	1,110	2.10	766.50	2,156.53
12227	Activa	XALPATLAHUAC	GUERRERO	XALPATLAHUAC	17.516900	-98.492500	1,600	3.60	1,314.00	3,063.83
12200	Activa	IGUALITA	GUERRERO	XALPATLAHUAC	17.465300	-98.518100	1,107	1.90	693.50	1,995.70
12248	Activa	SAN JOSE LAGUNAS	GUERRERO	ALCOZAUCA DE GUERRERO	17.444400	-98.450300	1,820	2.20	803.00	2,233.43
12106	Activa	ALCOZAUCA (DGE)	GUERRERO	ALCOZAUCA DE GUERRERO	17.465300	-98.397200	1,360	2.50	912.50	2,450.06
20322	Activa	CALIHUALA	OAXACA	CALIHUALA	17.516700	-98.266700	1,325	2.50	912.50	2,450.06
20141	Activa	SILACAYOAPAM (SMN)	OAXACA	SILACAYOAPAM	17.500000	-98.150000	1,675	2.70	985.50	2,582.76
20375	Activa	SANTIAGO DEL RIO	OAXACA	SANTIAGO DEL RIO	17.469700	-98.099700	1,628	2.40	876.00	2,380.20
20310	Activa	SAN MIGUEL TLACOTEPEC	OAXACA	SAN MIGUEL TLACOTEPEC	17.450000	-98.000000	1,721	1.80	657.00	1,911.76
20379	Activa	YODOCONO DE PORFIRIO DIAZ	OAXACA	MAGDALENA YODOCONO DE PORFIRIO DIAZ	17.380800	-97.357500	2,310	2.00	730.00	2,077.29
20265	Activa	SAN MATEO ETLATONGO	OAXACA	SAN MATEO ETLATONGO	17.416700	-97.266700	2,033	1.80	657.00	1,911.76
20076	Activa	ASUNCION NOCHIXTLAN	OAXACA	ASUNCION NOCHIXTLAN	17.466700	-97.216700	2,080	1.30	474.50	1,456.92
20245	Activa	JALTEPEC	OAXACA	ASUNCION NOCHIXTLAN	17.392200	-97.191900	2,167	3.30	1,204.50	2,924.57
20121	Activa	SAN PEDRO CANTAROS	OAXACA	SAN PEDRO COXCALTEPEC CANTAROS	17.496100	-97.142200	2,201	1.90	693.50	1,995.70
20073	Activa	NACALTEPEC	OAXACA	SANTIAGO NACALTEPEC	17.516700	-96.933100	2,101	1.70	620.50	1,825.49
20271	Activa	LA CARBONERA	OAXACA	SAN FRANCISCO TELIXTLAHUACA	17.399700	-96.933100	2,233	1.90	693.50	1,995.70
20050	Activa	SANTIAGO JUXTLAHUACA	OAXACA	SANTIAGO JUXTLAHUACA	17.350000	-98.016700	1,680	2.60	949.00	2,517.58
20364	Activa	HUITZO	OAXACA	SAN PABLO HUITZO	17.283100	-96.883100	1,694	1.80	657.00	1,911.76
20151	Activa	SAN FRANCISCO TELIXTLAHUACA	OAXACA	SAN FRANCISCO TELIXTLAHUACA	17.300000	-96.900000	2,260	2.10	766.50	2,156.53
20150	Activa	TEJOCOTES	OAXACA	SANTIAGO TENANGO	17.232200	-97.002200	2,287	2.10	766.50	2,156.53
20500	Activa	TILANTONGO	OAXACA	SANTIAGO TILANTONGO	17.288100	-97.368100	2,284	1.70	620.50	1,825.49
20018	Activa	COICOYAN DE LAS FLORES (CFE)	OAXACA	COICOYAN DE LAS FLORES	17.250000	-98.299700	2,003	5.50	2,007.50	3,455.71
12195	Activa	METLATONOC	GUERRERO	METLATONOC	17.191900	-98.407800	2,028	4.10	1,496.50	3,249.02
12104	Activa	ZITLALTEPEC	GUERRERO	METLATONOC	17.191400	-98.549700	1,850	6.50	2,372.50	3,321.97
20044	Activa	JALAPA DEL VALLE	OAXACA	SAN FELIPE TEJALAPAM	17.065800	-96.878300	1,742	2.10	766.50	2,156.53
20313	Activa	TLAZOYALTEPEC	OAXACA	SANTIAGO TLAZOYALTEPEC	17.031700	-96.998100	2,500	2.70	985.50	2,582.76
20178	Activa	VILLA CHALCATONGO (CFE)	OAXACA	CHALCATONGO DE HIDALGO	17.033100	-97.583100	2,428	2.50	912.50	2,450.06
20026	Activa	CHALCATONGO DE HIDALGO	OAXACA	CHALCATONGO DE HIDALGO	16.950000	-97.529200	2,865	2.70	985.50	2,582.76
20130	Activa	SANTA MARIA YUCUHITI (CFE)	OAXACA	SANTA MARIA YUCUHITI	17.016700	-97.799700	1,876	5.20	1,898.00	3,450.11

20094	Activa	PUTLA DE GUERRERO (CFE)	OAXACA	PUTLA VILLA DE GUERRERO	17.116700	-97.873100	1,316	6.80	2,482.00	3,236.13
20302	Activa	SAN ANDRES CHICAHUAXTLA	OAXACA	PUTLA VILLA DE GUERRERO	17.149700	-97.849700	2,433	4.90	1,788.50	3,423.40
12231	Activa	RANCHO VIEJO	GUERRERO	TLACOACHISTLAHUACA	17.016700	-98.200600	1,000	5.80	2,117.00	3,440.21
12072	Activa	SAN PEDRO CUITLAPA	GUERRERO	TLACOACHISTLAHUACA	16.970800	-98.254400	760	3.60	1,314.00	3,063.83
12013	Activa	AZOYU	GUERRERO	AZOYU	16.733100	-98.598100	360	4.30	1,569.50	3,306.69
12244	Activa	LLANO GRANDE HILARIOS	GUERRERO	IGUALAPA	16.758900	-98.438300	690	3.90	1,423.50	3,181.98
12061	Activa	OMETEPEC (CFE)	GUERRERO	OMETEPEC	16.683600	-98.402200	300	3.70	1,350.50	3,105.56
12066	Activa	QUETZALA	GUERRERO	IGUALAPA	16.655800	-98.500600	33	3.60	1,314.00	3,063.83
12187	Activa	MILPILLAS (CFE)	GUERRERO	OMETEPEC	16.582500	-98.460800	34	3.00	1,095.00	2,764.22
20010	Activa	SAN JUAN CACAHUATEPEC (CFE)	OAXACA	SAN JUAN CACAHUATEPEC	16.611700	-98.149400	413	5.70	2,080.50	3,447.72
20188	Activa	SANTA MARIA ZACATEPEC (CFE)	OAXACA	SANTA MARIA ZACATEPEC	16.764200	-97.988100	354	4.70	1,715.50	3,393.88
20038	Activa	IXTAYUTLA	OAXACA	SANTIAGO IXTAYUTLA	16.571900	-97.666700	610	4.50	1,642.50	3,354.97
20187	Activa	YUTACUA (CFE)	OAXACA	SANTIAGO IXTAYUTLA	16.603600	-97.625000	437	4.60	1,679.00	3,375.60
20126	Activa	SANTA CRUZ ZENZONTEPEC (CFE)	OAXACA	SANTA CRUZ ZENZONTEPEC	16.536700	-97.495300	960	3.70	1,350.50	3,105.56
20153	Activa	TEOJOMULCO	OAXACA	SANTO DOMINGO TEOJOMULCO	16.600000	-97.200000	1,255	6.20	2,263.00	3,386.72
20099	Activa	SAN MIGUEL SOLA DE VEGA (CFE)	OAXACA	VILLA SOLA DE VEGA	16.514400	-96.977500	1,409	2.30	839.50	2,307.99
21166	Suspendida	CHIAUTLA DE TAPIA	PUEBLA	CHIAUTLA	18.286700	-98.601100	991	2.30	839.50	2,307.99
21141	Suspendida	C.R.D.F. BENITO JUAREZ	PUEBLA	TEHUITZINGO	18.333300	-98.266700	977	1.30	474.50	1,456.92
21004	Suspendida	ACATLAN DE OSORIO (DGE)	PUEBLA	ACATLAN	18.296700	-98.055600	1,427	1.70	620.50	1,825.49
21216	Suspendida	TEPOXTITLAN	PUEBLA	ATEXCAL	18.387200	-97.678600	1,929	1.10	401.50	1,258.57
21151	Suspendida	SAN JUAN RAYA	PUEBLA	ZAPOTITLAN	18.263300	-97.618300	1,969	3.00	1,095.00	2,764.22
21110	Suspendida	ZAPOTITLAN SALINAS (DGE)	PUEBLA	ZAPOTITLAN	18.349400	-97.482800	1,857	1.10	401.50	1,258.57
21419	Suspendida	SAN JUAN ATZINGO	PUEBLA	SAN GABRIEL CHILAC	18.298100	-97.384200	1,921	1.00	365.00	1,155.88
21040	Suspendida	ALTEPEXI	PUEBLA	ALTEPEXI	18.367500	-97.298600	1,582	0.90	328.50	1,050.85
21155	Suspendida	ZINACATEPEC (DGE)	PUEBLA	ZINACATEPEC	18.343600	-97.260300	1,168	1.00	365.00	1,155.88
21113	Suspendida	ZINACATEPEC (SMN)	PUEBLA	ZINACATEPEC	18.333300	-97.250000	2,521	1.00	365.00	1,155.88
21030	Suspendida	COXCATLAN	PUEBLA	COXCATLAN	18.276400	-97.159700	1,118	1.30	474.50	1,456.92
21160	Suspendida	BOCA DEL MONTE	PUEBLA	AJALPAN	18.389700	-97.079200	3,048	1.70	620.50	1,825.49
21180	Suspendida	OZTROPULCO	PUEBLA	ZOQUITLAN	18.377800	-96.905600	850	9.40	3,431.00	1,608.18
20154	Suspendida	SANTA MARIA TEOPOXCO	OAXACA	SANTA MARIA TEOPOXCO	18.166700	-96.950000	1,974	4.10	1,496.50	3,249.02
20231	Suspendida	PUERTO SOLEDAD	OAXACA	TEOTITLAN DE FLORES MAGON	18.165300	-96.998100	2,344	4.30	1,569.50	3,306.69
20155	Suspendida	TEOTITLAN DEL CAMINO (SMN)	OAXACA	TEOTITLAN DE FLORES MAGON	18.133100	-97.066700	2,002	1.70	620.50	1,825.49
20156	Suspendida	TEOTITLAN DEL CAMINO (DGE)	OAXACA	TEOTITLAN DE FLORES MAGON	18.116700	-97.083100	918	1.30	474.50	1,456.92
21092	Suspendida	TILAPA	PUEBLA	COXCATLAN	18.157200	-97.107200	890	1.10	401.50	1,258.57
21013	Suspendida	AXUSCO	PUEBLA	SAN JOSE MIAHUATLAN	18.233600	-97.200300	956	1.00	365.00	1,155.88
20285	Suspendida	SANTIAGO CHAZUMBA I	OAXACA	SANTIAGO CHAZUMBA	18.188600	-97.680300	1,716	1.30	474.50	1,456.92
20355	Suspendida	COSOLTEPEC	OAXACA	COSOLTEPEC	18.133100	-97.799700	1,825	1.40	511.00	1,552.58
21188	Suspendida	TECUATITLAN	PUEBLA	PIAXTLA	18.134700	-98.308900	995	1.80	657.00	1,911.76
21169	Suspendida	PEÑAS	PUEBLA	AHUHUEHETTLA	18.226400	-98.220600	1,173	1.80	657.00	1,911.76
20236	Suspendida	BUENOS AIRES	OAXACA	CUYAMECALCO VILLA DE ZARAGOZA	17.950000	-96.849200	1,838	2.50	912.50	2,450.06
20362	Suspendida	MEMBRILLOS	OAXACA	SANTA CATARINA ZAPOQUILA	18.016700	-97.549700	2,604	2.00	730.00	2,077.29
21175	Suspendida	SANTA ANA TEPEJILLO	PUEBLA	PETLALCINGO	18.054700	-97.848600	1,450	1.40	511.00	1,552.58
21178	Suspendida	TULCINGO DEL VALLE	PUEBLA	TULCINGO	18.033300	-98.016700	1,428	2.10	766.50	2,156.53
21199	Suspendida	GUADALUPE	PUEBLA	GUADALUPE	18.085800	-98.158900	1,100	1.80	657.00	1,911.76
21166	Suspendida	ANONAS	PUEBLA	PIAXTLA	18.020000	-98.316100	976	1.80	657.00	1,911.76
21183	Suspendida	ACAXTLAHUACAN	PUEBLA	ALBINO ZERTUCHE	18.015300	-98.540000	1,270	1.20	438.00	1,358.92
20242	Suspendida	ARENAL	OAXACA	ASUNCION NOCHITLAN	17.583100	-97.183100	2,322	1.80	657.00	1,911.76
20202	Suspendida	APOALA	OAXACA	SANTIAGO APOALA	17.649700	-97.150000	2,269	1.20	438.00	1,358.92
20131	Suspendida	SANTIAGO APOALA	OAXACA	SANTIAGO APOALA	17.649700	-97.116700	1,959	1.90	693.50	1,995.70
20031	Suspendida	DOMINGUILLO	OAXACA	SAN JUAN BAUTISTA CUICATLAN	17.649700	-96.900000	720	1.30	474.50	1,456.92
20024	Suspendida	SAN JUAN BAUTISTA CUICATLAN (DGE)	OAXACA	SAN JUAN BAUTISTA CUICATLAN	17.800000	-96.966700	620	1.40	511.00	1,552.58
20182	Suspendida	XIQUILA	OAXACA	SANTA MARIA IXCATLAN	17.857800	-97.197500	1,915	1.00	365.00	1,155.88
20144	Suspendida	SUCHIXTLAHUACA -TEHUANTEPEC-	OAXACA	SAN CRISTOBAL SUCHIXTLAHUACA	17.723100	-97.349700	2,084	1.50	547.50	1,645.89
20019	Suspendida	SAN JUAN BAUTISTA COIXTLAHUACA	OAXACA	SAN JUAN BAUTISTA COIXTLAHUACA	17.733100	-97.316700	2,181	1.50	547.50	1,645.89
20116	Suspendida	SAN MIGUEL TULANCINGO	OAXACA	SAN MIGUEL TULANCINGO	17.750000	-97.433100	2,249	1.50	547.50	1,645.89
20166	Suspendida	TLACOTEPEC PLUMAS	OAXACA	TLACOTEPEC PLUMAS	17.850000	-97.450000	2,155	1.40	511.00	1,552.58
20107	Suspendida	SAN FRANCISCO TEOPAN	OAXACA	SAN FRANCISCO TEOPAN	17.850000	-97.500000	2,290	1.10	401.50	1,258.57
20065	Suspendida	MAGDALENA JICOTLAN	OAXACA	SANTA MAGDALENA JICOTLAN	17.800000	-97.466700	2,248	1.70	620.50	1,825.49
20270	Suspendida	TEOTONGO	OAXACA	TEOTONGO	17.714200	-97.537800	2,064	1.40	511.00	1,552.58
20278	Suspendida	TAMAZULAPAM DEL PROGRESO	OAXACA	VILLA DE TAMAZULAPAM DEL PROGRESO	17.666700	-97.566700	2,125	2.10	766.50	2,156.53
20147	Suspendida	TAMAZULAPAM DEL PROGRESO (CFE)	OAXACA	VILLA DE TAMAZULAPAM DEL PROGRESO	17.666700	-97.566700	2,125	2.10	766.50	2,156.53
20323	Suspendida	C.A.E. LA MIXTECA BAJA	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEON	17.766400	-97.750000	1,819	1.80	657.00	1,911.76
20035	Suspendida	HUAJUAPAN DE LEON (SMN)	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEON	17.800000	-97.783100	1,600	2.00	730.00	2,077.29
20317	Suspendida	ZAPOTITLAN PALMAS (DGE)	OAXACA	ZAPOTITLAN PALMAS	17.883100	-97.816700	1,454	1.90	693.50	1,995.70
20163	Suspendida	TEZOATLAN DE SEGURA Y LUNA	OAXACA	TEZOATLAN DE SEGURA Y LUNA	17.651900	-97.810800	1,527	1.80	657.00	1,911.76
20323	Suspendida	C.A.E. LA MIXTECA BAJA	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEON	17.766400	-97.750000	1,819	1.80	657.00	1,911.76
20035	Suspendida	HUAJUAPAN DE LEON (SMN)	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEON	17.800000	-97.783100	1,600	2.00	730.00	2,077.29
20317	Suspendida	ZAPOTITLAN PALMAS (DGE)	OAXACA	ZAPOTITLAN PALMAS	17.883100	-97.816700	1,454	1.90	693.50	1,995.70
20110	Suspendida	SAN JORGE NUCHITA	OAXACA	SAN JORGE NUCHITA	17.673100	-98.083100	1,409	2.00	730.00	2,077.29
20067	Suspendida	MARISCALA DE JUAREZ	OAXACA	MARISCALA DE JUAREZ	17.858100	-98.140600	1,072	2.00	730.00	2,077.29
20304	Suspendida	CIENEGUILLA	OAXACA	SAN JUAN CIENEGUILLA	17.829700	-98.298100	1,482	1.90	693.50	1,995.70
12044	Suspendida	HUAMUXTITLAN (SMN)	GUERRERO	HUAMUXTITLAN	17.800000	-98.566700	1,125	2.20	803.00	2,233.43
12005	Suspendida	ALCOZAUCA (SMN)	GUERRERO	ALCOZAUCA DE GUERRERO	17.450000	-98.383300	1,462	2.30	839.50	2,307.99
20142	Suspendida	SILACAYOAPAM (DGE)	OAXACA	SILACAYOAPAM	17.500000	-98.150000	1,705	2.20	803.00	2,233.43
20373	Suspendida	SAN MARTIN PERAS	OAXACA	SAN MARTIN PERAS	17.366700	-98.250000	2,053	3.00	1,095.00	2,764.22
20502	Suspendida	LA ESTANCIA	OAXACA	SILACAYOAPAM	17.399700	-98.163100	1,988	2.70	985.50	2,582.76

20376	Suspendida	SANTOS REYES TEPEJILLO	OAXACA	SANTOS REYES TEPEJILLO	17.413100	-97.933100	1,970	2.10	766.50	2,156.53
20315	Suspendida	YUKUKIMI	OAXACA	TEZOATLAN DE SEGURA Y LUNA	17.433100	-97.883100	1,968	2.20	803.00	2,233.43
20368	Suspendida	SAN ANTONIO MONTEVERDE	OAXACA	SAN ANTONIO MONTEVERDE	17.533100	-97.733100	2,078	1.60	584.00	1,736.86
20159	Suspendida	SAN PEDRO Y SAN PABLO TEPOSCOLULA	OAXACA	SAN PEDRO Y SAN PABLO TEPOSCOLULA	17.516700	-97.500000	2,312	1.80	657.00	1,911.76
20164	Suspendida	SANTA MARIA TILTEPEC	OAXACA	SAN PEDRO TOPILTEPEC	17.480000	-97.366700	2,330	0.30	109.50	371.38
20221	Suspendida	C.A.E. YANHUITLAN	OAXACA	SANTO DOMINGO YANHUITLAN	17.516700	-97.316700	2,225	1.80	657.00	1,911.76
20083	Suspendida	PARIAN	OAXACA	SAN JERONIMO SOSOLA	17.416700	-97.016700	1,551	1.40	511.00	1,552.58
12010	Suspendida	ATLAMAJANCINGO DEL MONTE (CFE)	GUERRERO	ATLAMAJANCINGO DEL MONTE	17.308300	-98.605600	1,820	2.70	985.50	2,582.76
20115	Suspendida	SAN MARTIN DURAZNOS (CFE)	OAXACA	SAN SEBASTIAN TECOMAXTLAHUACA	17.300000	-98.066700	2,352	2.80	1,022.00	2,645.59
20287	Suspendida	AGUA FRIA	OAXACA	SANTIAGO JUXTLAHUACA	17.216700	-97.983100	1,780	4.40	1,606.00	3,332.00
20208	Suspendida	SAN JUAN COPALA	OAXACA	SANTIAGO JUXTLAHUACA	17.183100	-97.966700	1,608	6.30	2,299.50	3,367.48
20307	Suspendida	SAN MARTIN ITUNYOSO	OAXACA	SAN MARTIN ITUNYOSO	17.233100	-97.853100	2,475	3.10	1,131.50	2,820.01
20167	Suspendida	SANTA MARIA ASUNCION TLAXIACO (DGE)	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE TLAXIACO	17.266700	-97.683100	2,078	2.40	876.00	2,380.20
20168	Suspendida	SANTA MARIA ASUNCION TLAXIACO (SMN)	OAXACA	HEROICA CIUDAD DE TLAXIACO	17.266700	-97.683100	2,095	2.80	1,022.00	2,645.59
20365	Suspendida	MAGDALENA PEÑASCO	OAXACA	MAGDALENA PEÑASCO	17.233100	-97.533100	1,929	1.80	657.00	1,911.76
20102	Suspendida	SAN AGUSTIN TLACOTEPEC	OAXACA	SAN AGUSTIN TLACOTEPEC	17.200000	-97.517800	2,018	2.00	730.00	2,077.29
20230	Suspendida	PRESA MATIAS ROMERO	OAXACA	SAN PABLO HUITZO	17.269700	-96.900000	1,739	1.50	547.50	1,645.89
20384	Suspendida	SAN ANTONIO HUIITEPEC	OAXACA	SAN ANTONIO HUIITEPEC	16.916700	-97.150000	2,323	2.70	985.50	2,582.76
20212	Suspendida	YUTAMA (CFE)	OAXACA	SANTIAGO YOSONDUA	16.883100	-97.633100	2,064	2.90	1,058.50	2,706.08
20186	Suspendida	SANTIAGO YOSONDUA	OAXACA	SANTIAGO YOSONDUA	16.899700	-97.599700	2,222	3.20	1,168.00	2,873.47
20105	Suspendida	SAN ESTEBAN ATATLAHUCA (CFE)	OAXACA	SAN ESTEBAN ATATLAHUCA	17.065000	-97.679200	2,455	2.70	985.50	2,582.76
20299	Suspendida	PARAJE PEREZ	OAXACA	SANTA LUCIA MONTEVERDE	16.929700	-97.803100	1,103	6.40	2,336.00	3,345.90
20232	Suspendida	PUTLA DE GUERRERO	OAXACA	PUTLA VILLA DE GUERRERO	17.016700	-97.933100	730	6.10	2,226.50	3,403.61
20301	Suspendida	RIO VENADO	OAXACA	CONSTANCIA DEL ROSARIO	17.033100	-97.973100	984	4.70	1,715.50	3,393.88
12145	Suspendida	JICAYAN DE TOVAR (CFE)	OAXACA	TLACOACHISTLAHUACA	17.033300	-98.233300	872	3.70	1,350.50	3,105.56
20503	Suspendida	NUEVA ESPERANZA	OAXACA	SAN JUAN CACAHUATEPEC	16.563100	-98.099700	197	4.70	1,715.50	3,393.88
12175	Suspendida	LAS JUNTAS	GUERRERO	XOCHISTLAHUACA	16.759400	-98.118300	75	3.70	1,350.50	3,105.56
12132	Suspendida	XOCHISTLAHUACA (CFE)	GUERRERO	XOCHISTLAHUACA	16.790800	-98.242200	400	4.60	1,679.00	3,375.60
12152	Suspendida	SAN CRISTOBAL (CFE)	GUERRERO	TLACOACHISTLAHUACA	16.821900	-98.403300	364	2.70	985.50	2,582.76

ANEXO 2. Perfiles de suelo.

INEGI 2013										
ID_PERFIL	X	Y	CLAVE	EST_DES	DREN_INT	ARCILLA	LIMO	ARENA	MAT_ORGANICO	Calculo_K
028204-1	631,707	1,959,280	CLadtp/1r	1	6	11	10	79	0.30	0.095684
028019-1	628,684	1,967,179	VRmzca/3	0	3	40	34	26	1.30	0.024929
028019-2	628,684	1,967,179	VRmzca/3	0	3	36	38	26	0.80	0.032059
028035-1	704,548	1,947,780	LVhulen(ct,ro)/3	2	2	58	20	22	2.00	0.010595
028035-2	704,548	1,947,780	LVhulen(ct,ro)/3	2	2	66	16	18	1.30	0.005883
028024-1	616,535	1,959,812	LPhurz/3R	2	4	48	22	30	3.70	0.022068
028005-1	617,976	1,983,311	PHapl(hu,cr)/3R	2	2	30	22	48	2.40	0.039451
028005-2	617,976	1,983,311	PHapl(hu,cr)/3R	2	2	52	24	24	1.40	0.016670
028051-1	684,026	1,931,800	VRmzcc/3	0	3	36	28	36	1.20	0.030607
028051-2	684,026	1,931,800	VRmzcc/3	0	3	38	26	36	0.70	0.029558
028051-3	684,026	1,931,800	VRmzcc/3	0	3	34	28	38	0.50	0.036183
028051-4	684,026	1,931,800	VRmzcc/3	0	3	54	24	22	0.70	0.010721
028051-5	684,026	1,931,800	VRmzcc/3	0	3	42	32	26	0.50	0.024755
028061-1	612,142	1,918,142	LVpfhu(ct,dy)/2	2	4	30	24	46	3.90	0.039371
028061-2	612,142	1,918,142	LVpfhu(ct,dy)/2	2	4	36	24	40	1.60	0.041055
028061-3	612,142	1,918,142	LVpfhu(ct,dy)/2	2	4	44	34	22	1.10	0.032484
028061-4	612,142	1,918,142	LVpfhu(ct,dy)/2	2	4	42	34	24	0.60	0.036365
028061-5	612,142	1,918,142	LVpfhu(ct,dy)/2	2	4	44	32	24	0.20	0.034894
030026-1	605,336	1,848,431	RGdylep/1	2	5	6	22	72	0.70	0.105151
030043-1	549,035	1,833,896	PHha/2	2	4	24	32	44	1.00	0.062388
030047-1	546,771	1,828,021	GLhumo/2	2	3	28	44	28	2.70	0.044162
028016-1	654,646	1,971,536	PHlep/2R	2	4	18	32	50	1.30	0.071649
028201-1	625,348	1,969,131	CMSklen(cr)/2r	1	4	31	9	60	1.60	0.043819
028202-1	622,430	1,940,814	LVlen/2	2	4	24	24	52	1.50	0.059702
028203-1	619,207	1,884,418	UMdyhhu(sk)/2	1	4	24	30	46	4.50	0.039287
028205-1	697,889	1,946,358	LVhulep(ct,cr)/3	1	1	82	2	16	2.60	-0.009008
028206-1	689,875	1,974,710	CLcchlen(lv,hu)/3r	0	1	60	4	36	1.80	-0.002519
028207-1	723,098	1,974,013	CMdyplen(cr)/2	1	3	25	31	44	4.50	0.034789
028208-1	710,457	1,960,199	CHcclen(hu)/3	1	4	42	4	54	4.90	0.019593
028209-1	724,696	1,962,055	CMSklep(ro)/2R	1	3	32	34	34	3.10	0.032799
028211-1	706,984	1,896,657	LVskhu(cr)/2	1	4	14	20	66	3.20	0.061660
028212-1	714,358	1,892,469	LVctlen/2	1	4	24	18	58	1.30	0.056477
028201-2	625,348	1,969,131	CMSklen(cr)/2r	2	4	28	16	56	0.60	0.057435
028201-3	625,348	1,969,131	CMSklen(cr)/2r	2	4	24	16	60	0.50	0.065074
028202-2	622,430	1,940,814	LVlen/2	2	4	32	24	44	0.50	0.051237
028203-4	619,207	1,884,418	UMdyhhu(sk)/2	2	4	28	28	44	0.40	0.058384
028203-3	619,207	1,884,418	UMdyhhu(sk)/2	1	4	26	28	46	1.40	0.052520
028203-2	619,207	1,884,418	UMdyhhu(sk)/2	1	4	37	27	36	2.00	0.034023
028205-2	697,889	1,946,358	LVhulep(ct,cr)/3	1	1	74	8	18	1.00	-0.005779
028205-3	697,889	1,946,358	LVhulep(ct,cr)/3	1	1	72	8	20	0.80	-0.004726
028206-2	689,875	1,974,710	CLcchlen(lv,hu)/3r	0	1	53	5	42	1.20	0.004194
028206-3	689,875	1,974,710	CLcchlen(lv,hu)/3r	0	1	78	4	18	1.10	-0.011733
028206-4	689,875	1,974,710	CLcchlen(lv,hu)/3r	1	1	34	0	66	1.00	0.031936
028207-2	723,098	1,974,013	CMdyplen(cr)/2	1	3	20	36	44	1.10	0.061515
028208-2	710,457	1,960,199	CHcclen(hu)/3	1	4	38	8	54	1.60	0.034119
028208-3	710,457	1,960,199	CHcclen(hu)/3	0	4	38	38	24	0.80	0.032520
028209-2	724,696	1,962,055	CMSklep(ro)/2R	2	3	20	37	43	0.40	0.070041
028211-3	706,984	1,896,657	LVskhu(cr)/2	1	4	14	18	68	0.60	0.080173
028211-4	706,984	1,896,657	LVskhu(cr)/2	1	4	18	16	66	0.40	0.073098
028211-2	706,984	1,896,657	LVskhu(cr)/2	1	4	18	12	70	0.70	0.071182
028211-5	706,984	1,896,657	LVskhu(cr)/2	1	4	18	16	66	0.40	0.073098
028212-2	714,358	1,892,469	LVctlen/2	1	4	16	38	46	0.20	0.078633
028212-3	714,358	1,892,469	LVctlen/2	1	4	26	38	36	0.20	0.058646
026101-2	594,116	1,912,790	RGdy/3	0	2	57	16	27	0.60	0.004813
026101-3	594,116	1,912,790	RGdy/3	2	4	35	18	47	0.20	0.047679
030041-1	570,512	1,834,091	LVdyhu/2	2	3	18	16	66	1.70	0.065794
030037-1	595,208	1,839,089	UMha/2	2	4	18	20	62	1.40	0.071010
028005-5	617,976	1,983,311	PHapl(hu,cr)/3R	2	2	60	14	26	0.20	0.011370
028005-4	617,976	1,983,311	PHapl(hu,cr)/3R	2	2	48	18	34	0.50	0.022704
028005-3	617,976	1,983,311	PHapl(hu,cr)/3R	2	2	60	18	22	0.80	0.010624
028035-3	704,548	1,947,780	LVhulen(ct,ro)/3	2	2	66	16	18	0.60	0.006484
026014-1	558,186	1,973,251	LPeuli/3	2	2	60	0	40	5.70	0.004532
026020-1	574,207	1,967,263	LPcarz/3	2	2	42	20	38	5.70	0.014973
026015-1	545,926	1,973,022	LPca/2	2	4	24	42	34	2.70	0.053256
026008-1	591,968	1,981,656	LPcamo/2r	2	4	2	10	88	0.50	0.113592
026034-1	551,276	1,951,906	FLhuglp(ca)/2	1	3	28	50	22	2.00	0.043187
032212-1	643,652	1,827,995	ARDyp/1	1	5	1	17	82	0.90	0.111249
032212-2	643,652	1,827,995	ARDyp/1	0	5	1	11	88	0.40	0.111857
032212-3	643,652	1,827,995	ARDyp/1	0	5	1	13	86	0.20	0.113820
032212-4	643,652	1,827,995	ARDyp/1	0	5	4	10	86	0.00	0.107802

032212-5	643,652	1,827,995	ARdyp/1	0	5	3	13	84	0.00	0.110428
032213-1	618,803	1,828,020	CMcrdyh/1	2	4	7	19	74	0.20	0.103733
032213-4	618,803	1,828,020	CMcrdyh/1	2	4	17	27	56	0.10	0.081444
032213-2	618,803	1,828,020	CMcrdyh/1	2	4	11	23	66	0.10	0.094924
032213-3	618,803	1,828,020	CMcrdyh/1	1	4	13	23	64	0.20	0.085266
032214-1	626,081	1,866,250	ACdyhpf/2	2	3	15	55	30	2.20	0.067944
032214-2	626,081	1,866,250	ACdyhpf/2	2	3	29	57	14	0.50	0.052896
032214-3	626,081	1,866,250	ACdyhpf/2	2	3	31	43	26	0.30	0.050421
032214-4	626,081	1,866,250	ACdyhpf/2	2	3	31	49	20	0.10	0.051283
032214-5	626,081	1,866,250	ACdyhpf/2	2	3	21	61	18	0.10	0.069821
032215-1	660,538	1,859,347	PHhulv(cr)/2	2	2	22	28	50	1.40	0.057113
032215-4	660,538	1,859,347	PHhulv(cr)/2	2	2	51	25	24	0.30	0.019804
032215-3	660,538	1,859,347	PHhulv(cr)/2	2	2	43	18	39	0.30	0.029316
032215-2	660,538	1,859,347	PHhulv(cr)/2	2	2	35	23	42	0.70	0.039198
032004-1	721,343	1,875,842	ACcrhuv/2	1	4	10	36	54	4.10	0.061395
032004-2	721,343	1,875,842	ACcrhuv/2	2	4	16	32	52	2.70	0.066061
032004-3	721,343	1,875,842	ACcrhuv/2	2	4	26	10	64	0.50	0.061430
032004-4	721,343	1,875,842	ACcrhuv/2	2	4	34	10	56	0.40	0.048472
032004-5	721,343	1,875,842	ACcrhuv/2	3	4	36	10	54	0.20	0.050438
032010-1	714,309	1,872,879	RGeulen/2	1	4	20	22	58	3.50	0.050324
032010-2	714,309	1,872,879	RGeulen/2	1	4	12	20	68	0.50	0.085292
032031-1	727,665	1,851,778	LVctlen(cr)/2	2	3	14	24	62	0.50	0.081885
032031-3	727,665	1,851,778	LVctlen(cr)/2	2	3	26	12	62	0.20	0.059646
032031-2	727,665	1,851,778	LVctlen(cr)/2	3	3	22	18	60	0.40	0.070413
026053-1	548,700	1,941,606	FLeuskp/1r	1	6	10	12	78	0.40	0.097218
026005-1	541,201	1,985,290	LPcarz/2	1	4	12	28	60	8.40	0.026013
026035-1	601,794	1,951,712	LPcali/2R	1	4	10	22	68	2.80	0.071663
020058-1	601,831	2,036,655	LPhurz/2	2	3	34	18	48	2.00	0.038941
020063-1	573,492	2,030,647	VRmzpe/3	0	2	32	20	48	1.00	0.033953
020063-2	573,492	2,030,647	VRmzpe/3	0	2	34	22	44	0.50	0.032883
020063-3	573,492	2,030,647	VRmzpe/3	0	2	36	22	42	0.40	0.030211
020075-1	580,094	2,015,612	VRmzcr/3	0	2	36	30	34	0.90	0.028396
020075-2	580,094	2,015,612	VRmzcr/3	0	2	38	32	30	0.70	0.026258
020101-1	546,211	1,997,539	LPhuli(dy)/2	2	4	21	23	56	2.90	0.056693
020102-1	566,828	2,011,742	LPhuli/2	2	4	16	19	65	2.30	0.068761
020104-1	575,653	2,020,990	LPca/2	2	4	22	23	55	1.60	0.062574
026102-1	589,529	1,910,496	UMhulen(dy,cr)/2	2	4	11	34	55	6.60	0.044877
022101-1	713,373	2,008,403	UMhulep(dyh)/2	1	4	20	26	54	5.90	0.035832
022101-2	713,373	2,008,403	UMhulep(dyh)/2	3	4	30	32	38	0.40	0.059258
022117-1	633,487	2,007,751	LPeuli/2R	1	5	8	19	73	1.00	0.093647
022118-1	641,342	2,026,927	LPcahum/3	2	4	46	24	30	4.90	0.020797
022119-1	674,558	1,999,991	LPhurz(ca)/2R	2	4	36	24	40	6.10	0.024719
022120-1	682,027	2,012,541	PHhulep(ca)/2R	1	4	34	36	30	1.70	0.039110
022122-1	676,173	2,032,564	CLhuptn/2	2	4	20	23	57	1.60	0.066096
022122-2	676,173	2,032,564	CLhuptn/2	1	4	12	23	65	1.30	0.079289
022122-3	676,173	2,032,564	CLhuptn/2	1	4	11	6	83	1.10	0.082924
022122-4	676,173	2,032,564	CLhuptn/2	1	4	9	8	83	0.90	0.088906
022124-1	610,874	2,015,447	RGsklep/2R	2	5	13	22	65	0.80	0.088479
022125-1	618,602	2,015,031	LPeuli/2r	1	4	14	18	68	0.60	0.080173
022126-1	625,211	2,024,326	LPmosk/2R	2	4	22	17	61	1.10	0.065423
026101-4	594,116	1,912,790	RGdy/3	0	4	49	12	39	0.20	0.020227
026102-3	589,529	1,910,496	UMhulen(dy,cr)/2	2	4	25	1	74	0.90	0.061152
026105-3	596,839	1,976,581	PHhulv(skp)/2r	2	4	39	10	51	1.00	0.039093
026105-4	596,839	1,976,581	PHhulv(skp)/2r	2	4	37	8	55	1.10	0.041475
026105-2	596,839	1,976,581	PHhulv(skp)/2r	2	4	27	10	63	1.50	0.054754
026105-5	596,839	1,976,581	PHhulv(skp)/2r	2	4	37	8	55	0.60	0.043226
026109-1	545,413	1,941,202	FLhumo(ca,skn)/2	2	4	15	18	67	1.10	0.078871
026109-2	545,413	1,941,202	FLhumo(ca,skn)/2	2	4	13	18	69	1.00	0.083717
026109-3	545,413	1,941,202	FLhumo(ca,skn)/2	2	4	0	55	45	1.10	0.112766
026109-5	545,413	1,941,202	FLhumo(ca,skn)/2	0	4	2	0	98	0.10	0.108829
026109-4	545,413	1,941,202	FLhumo(ca,skn)/2	1	4	0	1	99	0.10	0.118509
026110-1	539,290	1,921,870	CMdyhu/2	2	4	27	16	57	1.70	0.053774
026110-3	539,290	1,921,870	CMdyhu/2	2	4	52	14	34	0.30	0.025343
026110-2	539,290	1,921,870	CMdyhu/2	2	4	42	18	40	0.80	0.035785
026110-4	539,290	1,921,870	CMdyhu/2	2	4	48	18	34	0.20	0.029982
026110-5	539,290	1,921,870	CMdyhu/2	2	4	50	14	36	0.20	0.027700
026008-2	591,968	1,981,656	LPcamo/2r	2	4	26	12	62	2.40	0.051826
026034-3	551,276	1,951,906	FLhuglp(ca)/2	0	3	30	50	20	1.60	0.037714
026034-4	551,276	1,951,906	FLhuglp(ca)/2	0	3	34	42	24	2.00	0.030341
026034-2	551,276	1,951,906	FLhuglp(ca)/2	0	3	26	52	22	2.70	0.038409
026034-5	551,276	1,951,906	FLhuglp(ca)/2	1	3	42	42	16	2.60	0.022964
026053-2	548,700	1,941,606	FLeuskp/1r	1	6	2	6	92	0.10	0.119729
026053-3	548,700	1,941,606	FLeuskp/1r	1	6	2	2	96	0.20	0.118770
026056-1	577,377	1,939,936	LPcarz/2	2	4	30	22	48	3.40	0.041598
026056-2	577,377	1,939,936	LPcarz/2	2	4	20	22	58	1.60	0.066096
026060-1	566,977	1,937,833	LPcali/2	2	4	12	20	68	3.00	0.070833

026087-1	579,287	1,911,574	RGhulep/2	2	4	26	30	44	4.50	0.041211
026093-1	592,775	1,899,108	LPeulil/2	2	4	28	28	44	10.30	0.011373
026009-1	577,213	1,980,299	LPeulil/rR	2	6	6	6	88	2.00	0.097113
030026-2	605,336	1,848,431	RGdylep/1	2	5	6	24	70	0.10	0.110384
030037-4	595,208	1,839,089	UMha/2	2	4	14	24	62	0.40	0.085897
030037-2	595,208	1,839,089	UMha/2	2	4	18	32	50	0.50	0.076759
030037-3	595,208	1,839,089	UMha/2	2	4	16	26	58	0.40	0.081583
030041-4	570,512	1,834,091	LVdyhu/2	2	3	30	26	44	0.30	0.052103
030041-3	570,512	1,834,091	LVdyhu/2	2	3	30	24	46	0.80	0.049876
030041-2	570,512	1,834,091	LVdyhu/2	2	3	28	36	36	0.30	0.055559
030043-2	549,035	1,833,896	PHha/2	2	4	10	24	66	0.30	0.095708
030043-4	549,035	1,833,896	PHha/2	1	4	2	2	96	0.10	0.113129
030043-3	549,035	1,833,896	PHha/2	1	4	2	6	92	0.20	0.112170
030047-5	546,771	1,828,021	GLhumo/2	2	3	28	48	24	1.30	0.050811
030047-2	546,771	1,828,021	GLhumo/2	2	3	32	46	22	1.70	0.042935
030047-3	546,771	1,828,021	GLhumo/2	2	3	36	46	18	1.50	0.038118
030047-4	546,771	1,828,021	GLhumo/2	2	3	20	54	26	1.20	0.065211
030064-1	594,717	1,839,534	RGha/2	2	6	6	28	66	0.90	0.106707
030064-2	594,717	1,839,534	RGha/2	1	6	4	27	69	0.60	0.109912
030064-3	594,717	1,839,534	RGha/2	1	6	4	14	82	0.50	0.110827
030064-4	594,717	1,839,534	RGha/2	1	6	2	16	82	0.50	0.115892
030064-5	594,717	1,839,534	RGha/2	2	6	2	20	78	0.40	0.121151
030070-1	590,549	1,857,992	RGdylen/2	2	6	16	20	64	0.90	0.084809
030070-2	590,549	1,857,992	RGdylen/2	2	6	8	22	70	0.60	0.104566
030070-3	590,549	1,857,992	RGdylen/2	2	6	8	20	72	0.50	0.105396
030071-1	577,502	1,853,536	CMeucr/2	2	5	16	18	66	1.50	0.077460
030071-2	577,502	1,853,536	CMeucr/2	2	5	13	25	62	0.70	0.089210
030071-3	577,502	1,853,536	CMeucr/2	2	5	8	26	66	0.70	0.100435
030071-4	577,502	1,853,536	CMeucr/2	1	5	4	20	76	0.70	0.105697
030071-5	577,502	1,853,536	CMeucr/2	1	5	0	28	72	0.60	0.116787
030072-1	574,007	1,842,316	LVskphu(dy,cr)/2R	2	4	20	18	62	2.40	0.061265
030072-2	574,007	1,842,316	LVskphu(dy,cr)/2R	2	4	16	22	62	0.90	0.078209
030072-3	574,007	1,842,316	LVskphu(dy,cr)/2R	2	4	22	38	40	0.70	0.067703
030072-4	574,007	1,842,316	LVskphu(dy,cr)/2R	2	4	28	18	54	0.50	0.057909
030072-5	574,007	1,842,316	LVskphu(dy,cr)/2R	2	4	21	27	52	0.50	0.070775
030076-1	575,442	1,870,710	LVrody/2R	2	4	24	26	50	0.80	0.063462
030076-2	575,442	1,870,710	LVrody/2R	2	4	30	26	44	0.90	0.052731
030076-3	575,442	1,870,710	LVrody/2R	2	4	30	26	44	0.10	0.056294
030076-4	575,442	1,870,710	LVrody/2R	2	4	40	26	34	0.10	0.040589
030076-5	575,442	1,870,710	LVrody/2R	1	4	11	23	66	0.00	0.091394
030077-1	551,597	1,828,582	PHhulv(ph)/2	2	2	20	24	56	1.00	0.063119
030077-2	551,597	1,828,582	PHhulv(ph)/2	2	2	39	42	19	1.00	0.032493
030077-3	551,597	1,828,582	PHhulv(ph)/2	2	2	34	42	24	0.70	0.040704
030077-4	551,597	1,828,582	PHhulv(ph)/2	2	2	30	36	34	0.50	0.047912
030077-5	551,597	1,828,582	PHhulv(ph)/2	2	2	14	42	44	0.10	0.081434
030079-1	539,483	1,842,258	LVcr/2r	2	5	17	19	64	0.90	0.079491
030079-2	539,483	1,842,258	LVcr/2r	3	5	16	20	64	0.10	0.091207
030079-3	539,483	1,842,258	LVcr/2r	3	5	25	21	54	0.10	0.072921
030079-4	539,483	1,842,258	LVcr/2r	3	5	15	29	56	0.00	0.094097
030079-5	539,483	1,842,258	LVcr/2r	3	5	10	24	66	0.10	0.104888
030079-6	539,483	1,842,258	LVcr/2r	1	5	4	10	86	0.00	0.112102
030091-1	554,806	1,828,670	PHha/2	3	3	38	34	28	2.00	0.038068
030091-2	554,806	1,828,670	PHha/2	1	3	10	8	82	0.10	0.089688
030091-3	554,806	1,828,670	PHha/2	1	3	4	4	92	0.10	0.104587
030091-4	554,806	1,828,670	PHha/2	1	3	4	2	94	0.10	0.104587
030091-5	554,806	1,828,670	PHha/2	1	3	4	2	94	0.00	0.105502
030090-1	561,720	1,846,204	PHha/2	2	5	12	26	62	0.60	0.092142
030090-2	561,720	1,846,204	PHha/2	2	5	12	28	60	0.20	0.095143
030090-3	561,720	1,846,204	PHha/2	1	5	12	32	56	0.10	0.091593
030090-4	561,720	1,846,204	PHha/2	2	5	12	42	46	0.00	0.096644
030090-5	561,720	1,846,204	PHha/2	2	5	10	44	46	0.00	0.101378
COLPOS										
22065	642,628	2,015,900		0	2	12	18	70	1.50	0.066888
26008	592,001	1,981,533		2	4	2	10	88	0.50	0.114592
26008	592,001	1,981,533		2	4	26	12	62	2.40	0.114592
26009	577,245	1,980,176		0	4	6	6	88	2.20	0.089769
26010	602,656	1,978,816		2	4	26	18	56	3.00	0.049793
26020	574,240	1,967,139		2	3	42	20	38	5.70	0.022573
26026	563,790	1,963,155		0	3	50	0	50	6.50	0.015673
26035	601,827	1,951,588		0	4	10	22	68	2.80	0.076963
26056	577,410	1,939,812		2	4	30	22	48	3.40	0.042598
26056	577,410	1,939,812		2	4	20	22	58	1.60	0.042598
26087	579,320	1,911,449		2	4	26	30	44	4.50	0.042211
26093	592,808	1,898,983		0	2	28	28	44	10.30	0.012373
28004	628,056	1,984,858		2	4	44	22	34	1.80	0.031610

28004	628,056	1,984,858	2	4	54	20	26	0.80	0.031610
28016	654,676	1,971,413	2	4	18	32	50	2.20	0.066900
28019	628,716	1,967,060	0	2	40	34	26	2.20	0.035009
28019	628,716	1,967,060	0	2	36	38	26	1.30	0.035009
28024	616,572	1,959,690	2	3	48	22	30	6.40	0.016963
28032	657,385	1,954,307	0	2	36	26	38	1.20	0.043507
28032	657,385	1,954,307	0	2	36	30	34	0.90	0.043507
28032	657,385	1,954,307	0	2	38	36	26	0.70	0.043507
28032	657,385	1,954,307	0	2	36	34	30	0.60	0.043507
28032	657,385	1,954,307	0	2	36	36	28	0.50	0.043507
28035	704,575	1,947,651	2	3	58	20	22	3.40	0.016250
28035	704,575	1,947,651	2	3	66	16	18	2.20	0.016250
28035	704,575	1,947,651	2	3	66	16	18	1.10	0.016250
28036	612,870	1,946,220	2	3	18	18	64	7.10	0.035600
28039	663,523	1,943,466	2	3	28	20	52	2.50	0.049412
28039	663,523	1,943,466	2	3	40	20	40	0.70	0.049412
28039	663,523	1,943,466	2	3	46	18	36	0.40	0.049412
28039	663,523	1,943,466	2	3	48	16	36	0.30	0.049412
28042	619,948	1,938,842	2	3	16	20	64	1.80	0.073135
28042	619,948	1,938,842	2	3	18	22	60	1.50	0.073135
28051	684,061	1,931,678	0	2	36	28	36	2.00	0.040603
28051	684,061	1,931,678	0	2	38	26	36	1.20	0.040603
28051	684,061	1,931,678	0	2	34	38	28	0.80	0.040603
28051	684,061	1,931,678	0	2	54	24	22	1.20	0.040603
28051	684,061	1,931,678	0	2	42	32	26	0.80	0.040603
28061	612,172	1,918,016	2	3	30	24	46	6.80	0.027457
28061	612,172	1,918,016	2	3	36	24	40	2.70	0.027457
28061	612,172	1,918,016	2	3	44	34	22	1.90	0.027457
28061	612,172	1,918,016	2	3	42	34	24	1.00	0.027457
28061	612,172	1,918,016	2	3	44	32	24	0.30	0.027457
28076	622,274	1,901,072	3	3	36	28	36	4.20	0.032616
28076	622,274	1,901,072	3	3	44	18	38	1.90	0.032616
28076	622,274	1,901,072	3	3	46	12	42	0.90	0.032616
28076	622,274	1,901,072	3	3	32	24	44	0.50	0.032616
28079	647,184	1,896,474	3	3	38	20	42	1.40	0.040094
28086	665,409	1,890,761	2	4	22	16	62	2.80	0.056734
28095	619,448	1,884,765	2	4	12	30	58	3.00	0.071833
28095	619,448	1,884,765	2	4	16	34	50	0.90	0.071833
28095	619,448	1,884,765	2	4	6	26	68	0.90	0.071833
28097	612,128	1,884,110	0	2	22	40	38	4.30	0.048185
28097	612,128	1,884,110	0	2	26	42	32	3.60	0.048185
28097	612,128	1,884,110	0	2	2	8	90	0.50	0.048185
32021	644,635	1,859,669	1	4	24	34	42	7.60	0.027935
32021	644,635	1,859,669	1	4	42	22	36	1.10	0.027935
32021	644,635	1,859,669	1	4	32	32	36	0.80	0.027935
32021	644,635	1,859,669	1	4	34	30	36	0.30	0.027935
32032	648,085	1,850,091	2	4	26	34	40	6.80	0.030585
32032	648,085	1,850,091	2	4	28	34	38	5.80	0.030585
32032	648,085	1,850,091	2	4	22	36	42	5.40	0.030585
32032	648,085	1,850,091	2	4	28	34	38	2.50	0.030585
32032	648,085	1,850,091	2	4	30	28	42	2.20	0.030585
32032	648,085	1,850,091	2	4	32	30	38	0.80	0.030585

ANEXO 3. Promedio sedimento exportado.

subws_id	ws_id	sed_export	sed_ret_dr	sed_ret_wq	Shape_Area	Sedimentos exportados ton_ha_año
1	3	0	178,366	178,366	331	0.00
2	3	63,703	27,284,700	27,284,800	21,344	2.98
3	3	0	291,739	291,739	435	0.00
4	8	0	10,621,400	10,621,400	6,922	0.00
5	3	134,896	34,329,800	34,329,800	17,580	7.67
6	8	2,114	10,454,400	10,454,400	7,159	0.30
7	3	0	571,528	571,528	879	0.00
8	3	138,549	23,974,900	23,974,900	16,232	8.54
9	3	0	4,035,080	4,035,080	3,441	0.00
10	8	0	12,238,400	12,238,400	9,451	0.00
11	3	6,853	6,320,720	6,320,720	5,804	1.18
12	8	14,196	15,592,400	15,592,400	13,372	1.06
13	3	0	616,271	616,271	262	0.00
14	8	9,976	29,902,600	29,902,700	19,910	0.50
15	3	25,985	12,431,600	12,431,600	10,676	2.43
16	3	0	791,161	791,162	813	0.00
17	2	293,475	116,272,000	116,272,000	37,361	7.86
18	8	27,104	54,475,700	54,475,700	17,795	1.52
19	2	0	4,568,130	4,568,130	2,075	0.00
20	2	0	2,898,080	2,898,080	1,945	0.00
21	2	42,028	14,607,200	14,607,200	10,549	3.98
22	2	105,745	43,234,700	43,234,700	31,415	3.37
23	8	86,953	19,939,600	19,939,600	25,612	3.39
24	2	12,823	6,157,540	6,157,540	4,250	3.02
25	2	26,548	3,470,980	3,470,980	6,188	4.29
26	2	208,123	38,543,600	38,543,600	33,253	6.26
27	4	34,025	12,839,200	12,839,200	11,051	3.08
28	4	0	1,404,600	1,404,600	1,770	0.00
29	8	16	5,058,110	5,058,110	5,217	0.00
30	2	14,994	5,665,150	5,665,150	2,888	5.19
31	4	31,936	8,956,640	8,956,670	9,502	3.36
32	7	0	4,885,520	4,885,520	4,381	0.00
33	2	12,071	12,054,000	12,054,000	8,385	1.44
34	7	0	56,545	56,545	100	0.00
35	2	206,371	88,885,904	88,885,904	25,077	8.23
36	8	348,173	31,545,500	31,545,500	32,434	10.73
37	8	101,208	9,268,150	9,268,150	14,167	7.14
38	2	82,128	22,426,500	22,426,500	14,220	5.78
39	2	31,363	20,911,700	20,911,700	12,834	2.44
40	6	0	5,762	5,762	37	0.00
41	6	39,905	11,494,400	11,494,400	16,771	2.38
42	2	79,113	7,738,990	7,738,990	9,616	8.23
43	7	90,706	10,363,400	10,363,400	14,804	6.13
44	6	6,445	2,366,830	2,366,830	2,247	2.87
45	7	92,870	15,573,900	15,574,000	25,957	3.58
46	5	269,658	24,456,100	24,456,100	18,821	14.33
47	2	12,212	15,428,100	15,428,100	10,266	1.19
48	7	9,707	10,197,700	10,197,700	4,850	2.00
49	2	58,429	33,186,600	33,186,600	11,478	5.09
50	2	158,631	47,805,800	47,805,800	18,641	8.51
51	2	41,350	15,649,100	15,649,100	8,360	4.95
52	2	20,578	23,651,600	23,651,600	9,886	2.08

53	2	477,188	39,323,400	39,323,400	23,976	19.90
54	2	90,453	20,159,300	20,159,300	9,270	9.76
55	2	57,522	8,193,660	8,193,660	4,899	11.74
56	5	17,170	21,079,900	21,079,900	11,657	1.47
57	2	20,741	4,732,750	4,732,750	2,294	9.04
58	2	62,820	11,583,100	11,583,100	3,721	16.88
59	2	85,432	33,642,100	33,642,100	12,938	6.60
60	2	19,284	1,330,060	1,330,060	1,168	16.51
61	2	624,787	84,225,696	84,225,696	36,698	17.03
62	2	67,128	23,765,500	23,765,500	15,741	4.26
63	2	72,766	23,982,500	23,982,500	8,648	8.41
64	7	0	1,934,020	1,934,020	936	0.00
65	5	68,559	11,384,500	11,384,500	6,214	11.03
66	2	8,540	5,785,950	5,785,950	2,468	3.46
67	2	28,395	22,503,900	22,503,900	10,016	2.83
68	5	0	4,623,630	4,623,640	1,976	0.00
69	2	10,482	28,081,400	28,081,400	10,091	1.04
70	9	189,140	17,168,200	17,168,200	28,648	6.60
71	2	142,947	15,816,100	15,816,100	13,391	10.67
72	2	154,575	55,775,700	55,775,700	28,491	5.43
73	2	127,059	26,161,800	26,161,800	11,649	10.91
74	9	87,098	9,008,040	9,008,050	15,136	5.75
75	2	85,328	8,804,460	8,804,460	7,794	10.95
76	7	133,865	22,322,300	22,322,300	14,905	8.98
77	5	278,919	134,432,000	134,432,000	39,514	7.06
78	2	0	17,702,500	17,702,500	4,996	0.00
79	7	0	6,699,650	6,699,650	3,597	0.00
80	2	202,715	94,783,000	94,783,000	38,887	5.21
81	2	83,522	14,634,100	14,634,100	10,594	7.88
82	2	338,001	60,696,200	60,696,200	27,119	12.46
83	2	157,890	15,906,800	15,906,800	13,521	11.68
84	2	145,883	32,626,300	32,626,300	17,812	8.19
85	7	6,978	21,504,000	21,504,000	15,280	0.46
86	9	35,647	7,741,270	7,741,270	7,987	4.46
87	7	0	1,190,760	1,190,760	480	0.00
88	9	83,621	11,765,100	11,765,100	10,333	8.09
89	9	586,877	72,406,200	72,406,200	39,434	14.88
91	9	64,301	30,324,300	30,324,300	17,710	3.63
92	9	121,274	33,060,400	33,060,400	17,556	6.91
93	2	125,357	10,607,000	10,607,000	8,354	15.01
94	2	125,688	17,589,000	17,589,000	8,654	14.52
95	2	358,454	38,550,600	38,550,600	19,357	18.52
96	2	97,471	17,292,100	17,292,100	9,250	10.54
97	9	26,558	16,851,000	16,851,000	8,351	3.18
98	2	134,549	22,216,700	22,216,700	10,431	12.90
99	2	482,065	29,476,900	29,476,900	16,847	28.61
100	9	107,520	50,749,000	50,749,000	18,588	5.78
101	1	4,868	41,166,800	41,166,800	8,717	0.56
102	9	152,727	31,022,200	31,022,200	13,508	11.31
103	9	1,858	20,790,200	20,790,200	7,201	0.26
104	1	0	15,358,300	15,358,300	3,815	0.00
105	2	0	4,173,080	4,173,080	1,372	0.00
106	1	72,569	35,460,000	35,460,000	14,005	5.18
109	2	120,047	22,527,900	22,527,900	9,487	12.65
110	10	180,498	45,046,300	45,046,300	16,550	10.91
111	2	308,392	44,273,100	44,273,100	15,161	20.34
112	9	277,491	153,471,008	153,471,008	44,381	6.25
113	10	60,896	70,744,400	70,744,400	17,395	3.50
114	9	258,968	51,221,600	51,221,700	22,321	11.60

115	9	0	47,239,700	47,239,700	11,847	0.00
116	1	13,074	20,662,600	20,662,600	7,354	1.78
117	9	144,896	19,364,300	19,364,300	4,658	31.11
118	10	873,520	103,142,000	103,142,000	16,203	53.91
119	9	0	19,449,500	19,449,500	4,270	0.00
120	10	136,017	31,698,600	31,698,600	10,798	12.60
121	9	215,779	54,927,100	54,927,100	15,636	13.80
122	9	885,448	37,895,300	37,895,300	20,967	42.23
123	9	411,868	84,840,304	84,840,304	27,817	14.81
124	9	97,560	75,620,800	75,620,800	17,779	5.49
125	10	445,436	171,552,000	171,552,000	29,727	14.98
127	9	0	4,498,790	4,498,790	960	0.00
128	1	0	21,006,900	21,006,900	3,542	0.00
129	10	106,303	13,159,000	13,159,000	6,969	15.25
130	10	186,070	138,700,000	138,700,000	28,547	6.52
131	1	72,260	16,283,500	16,283,500	3,007	24.03
132	9	0	13,342,300	13,342,300	3,316	0.00
133	9	60,043	111,622,000	111,622,000	24,409	2.46
134	9	249,231	29,379,800	29,379,800	9,982	24.97
135	10	39,621	156,262,000	156,262,000	30,665	1.29
137	10	0	42,739,000	42,739,000	5,346	0.00
138	9	7,349	76,346,200	76,346,200	9,782	0.75
139	10	0	2,442,620	2,442,620	329	0.00

ANEXO IV.

Informe de final

Aplicar los módulos del InVEST a los servicios ecosistémicos claves del Proyecto GEF-Mixteca.

Modulo: Biodiversidad.

Elaboración:

Jorge Carranza Sánchez
Cesar Octavio Silva González

Contenido	Pag.
Resumen ejecutivo	1
1. Introducción.	2
2. Modelo de Biodiversidad.	4
2.1. El modelo.	6
2.2. ¿Cómo trabaja?	7
2.2.1 Calidad del hábitat.....	7
2.2.2. Rareza del hábitat.....	10
2.3. Limitaciones y simplificaciones.	11
3. Área de estudio.....	13
4. Datos necesarios.	14
4.1. Mapas de Uso del Suelo y Vegetación	14
4.2. La sensibilidad de los tipos de hábitat a cada amenaza,	17
4.3. Datos espaciales de la distribución e intensidad de cada amenaza y	17
4.4. Áreas Naturales Protegidas	19
5. Resultados	20
5.1. Modelo binario	20
Tabla 6. Superficie para el valor de calidad de hábitat.....	22
5.2. Grupo Rapaces diurnas	23
5.3. Especie <i>Ortalis poliocephala</i>	25
5.4. Especie <i>Trogon mexicanus</i>	27
5.5. Grupo Salamandras	30
5.6. Genero <i>Hyla</i>	33
5.7. Grupo de Iguanas	35
5.8. Grupo Felinos	37
5.8. Especie <i>Abronia mixteca</i>	40
5.9. Grupo Murciélagos nectarívoros	43
6. Conclusiones.....	46
7. Referencias bibliográficas	48

Figuras**Pag.**

Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.	14
Figura 2. Uso del suelo y vegetación 1979.	16
Figura 3. Uso del suelo y vegetación 2010.	16
Figura 4. Distribución espacial de amenazas I.	18
Figura 5. Distribución espacial de amenazas II.	18
Figura 6. Áreas Naturales Protegidas y registros de especies.	19
Figura 7. Distribución de área del modelo binario, Hábitat-No hábitat.	21
Figura 8. Mejor calidad de hábitat para el grupo de Rapaces Diurnas.	24
Figura 9. Mejor calidad de hábitat para la especie <i>Ortalis poliocephala</i>	26
Figura 10. Mejor calidad de hábitat para la especie <i>Trogon mexicanus</i>	29
Figura 11. Mejor calidad de hábitat para el grupo de Salamandras.	31
Figura 12. Mejor calidad de hábitat para el grupo del genero <i>Hyla</i>	34
Figura 13. Mejor calidad de hábitat para el grupo de las Iguanas.	36
Figura 14. Mejor calidad de hábitat para el grupo de Felinos.	39
Figura 15. Mejor calidad de hábitat para la especie <i>Abronia mixteca</i>	42
Figura 16. Calidad de hábitat para el grupo de murciélagos nectarívoros.	45

Tablas	Pag.
Tabla 1. Tipos de uso del suelo y vegetación.	15
Tabla 2. Especies y grupos funcionales obtenidos en los talleres de expertos.	17
Tabla 3. Amenazas identificadas.	17
Tabla 4. Áreas Naturales Protegidas en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.	19
Tabla 5. Datos de sensibilidad, modelo binario.	20
Tabla 6. Superficie para el valor de calidad de hábitat.	22
Tabla 7. Datos de sensibilidad para el grupo de las aves Rapaces Diurnas.	23
Tabla 8. Mejor calidad de hábitat para el grupo de las aves Rapaces Diurnas.	24
Tabla 9. Datos de sensibilidad para la especie <i>Ortalis poliocephala</i> .	26
Tabla 10. Mejor calidad de hábitat para la especie <i>Ortalis poliocephala</i> .	27
Tabla 11. Datos de sensibilidad para la especie <i>Trogon mexicanus</i> .	28
Tabla 12. Mejor calidad de hábitat para la especie <i>Trogon mexicanus</i> .	29
Tabla 13. Datos de sensibilidad para el grupo de Salamandras.	30
Tabla 14. Mejor calidad de hábitat para el grupo de Salamandras.	31
Tabla 15. Datos de sensibilidad para el grupo del género Hyla.	33
Tabla 16. Mejor calidad de hábitat para el grupo del genero Hyla.	34
Tabla 17. Datos de sensibilidad para el grupo de las Iguanas.	36
Tabla 18. Mejor calidad de hábitat para el grupo de las Iguanas.	37
Tabla 19. Datos de sensibilidad para el grupo de los Felinos.	38
Tabla 20. Mejor calidad de hábitat para el grupo de los Felinos.	39
Tabla 21. Datos de sensibilidad para la especie <i>Abronia mixteca</i> .	41
Tabla 22. Mejor calidad de hábitat para la especie <i>Abronia mixteca</i> .	42
Tabla 23. Datos de sensibilidad para el grupo de los murciélagos nectarívoros.	44
Tabla 24. Mejor calidad de hábitat para el grupo de los murciélagos nectarívoros.	45

Acrónimos.

INVEST. Integrated Valuation Of Environment Services Of Trade Offs.

TNC. The Nature Conservancy.

WWF World Wildlife Fund

USV. Uso del suelo y vegetación.

INEGI. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

NOMo. Norma Oficial Mexicana.

UICN. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

CITES. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad.

UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México

MZFC. Museo de Zoología, Facultad de Ciencias

Resumen ejecutivo

El campo del estudio de los servicios ecosistémicos y sus aplicaciones para la toma de decisiones está creciendo rápidamente. Los vínculos entre el bienestar humano y los ecosistemas no se conocen a fondo para la mayoría de los ecosistemas del planeta, para una gran variedad de contextos socio-económicos, y para múltiples escalas. El estudio de los servicios ecosistémicos es inherentemente complejo y representa un reto enorme. Su comprensión requiere del entendimiento tanto de la complejidad inherente de los sistemas ecológicos, como de los sociales, y la interacción ente ellos. Los avances científicos en el entendimiento de los servicios ecosistémicos son indispensables para poder transferirlos hacia la sociedad de tal forma que tengan consecuencias en la toma de decisiones y en la generación de políticas que aseguren su mantenimiento.

Para alinear la conservación de los ecosistemas con las fuerzas económicas, se han desarrollado modelos que cuantifican y trazan un mapa de los valores de servicios ambientales. El conocer los patrones espaciales de provisión de los servicios ecosistémicos por medio de mapas es una herramienta útil, ya que muchas decisiones de conservación y manejo se dan en un contexto espacial. Una de las aplicaciones a utilizar es InVEST (Integrated Valuation of Environment Services and Trade offs) que fue diseñada para tomar decisiones de manejo de los recursos naturales. Desde funcionarios de gobierno hasta organizaciones no gubernamentales frecuentemente manejan recursos de tierra y agua para múltiples usos e inevitablemente deben evaluar compensaciones entre estos; el multiservicio de InVEST a través del diseño modular proporciona una herramienta eficaz para evaluar estas compensaciones; entre los modelos para los sistemas terrestres se encuentra el de **Biodiversidad: Calidad del hábitat y rareza**, el cual será desarrollado en el presente trabajo en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

El modelo utiliza siete tipos de datos de entrada, cinco de ellos son necesarios y los otros opcionales. Los datos requeridos incluyen: Mapas de uso del suelo y vegetación, sensibilidad de los tipos de hábitat a cada amenaza, datos espaciales de la distribución e intensidad de cada amenaza y ubicación de las áreas protegidas. Para la determinación de las especies y/o grupos funcionales claves se realizaron tres talleres de expertos, como resultado de los talleres se obtuvieron las especies y grupos funcionales: de las especies *Ortalis poliocephala*, *Trogon* sp, *Hyla* sp, *Iguana* sp y *Abronia mixteca* y de los grupos funcionales fue seleccionado a las rapaces diurnas, salamandras, felinos y murciélagos nectarívoros.

Los resultados para cada especie y grupo funcional se presentan en mapas con la distribución de la mejor calidad de hábitat, así como el nivel inmediato inferior. Para algunas especies y/o grupos funcionales la mejor calidad del hábitat se distribuye en toda el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, mientras que para otros la calidad de hábitat se encuentra restringida en algunos tipos de vegetación.

1. Introducción.

El campo de estudio de los servicios ecosistémicos y sus aplicaciones para la toma de decisiones está creciendo rápidamente (Balvanera y Cotler, 2007¹). Los vínculos entre el bienestar humano y los ecosistemas no se conocen a fondo para la mayoría de los ecosistemas del planeta, para una gran variedad de contextos socio-económicos, y para múltiples escalas. Balvanera y Cotler (2007²) llevaron a cabo una recopilación de una muestra de la creciente diversidad de enfoques que se tiene al respecto de los servicios que proveen los bosques templados del centro de México (Almeida-Leñero *et al.*, 2007³; Pérez-Maqueo *et al.*, 2007⁴), del sur de Chile (Meynard *et al.*, 2007⁵), los ecosistemas acuáticos continentales tropicales (Castello *et al.*, 2007⁶), así como, cuencas hidrológicas (Ávila-Foucat, 2007⁷) o especies individuales (Aguilera-Taylor *et al.*, 2007⁸) del trópico seco. Los estudios abarcan un abanico de condiciones socioeconómicas, incluyendo la gran heterogeneidad de culturas. Al mismo tiempo analizan a través de los trabajos diferentes escalas espaciales que van desde toda la ecorregión de Chile (Meynard *et al.*, 2007⁹) hasta una cuenca pequeña de sólo 30 Km² al sur de la ciudad de México (Almeida-Leñero *et al.*, 2007¹⁰). Esta diversidad muestra la enorme complejidad del tema de los Servicios Ecosistémicos, así como, el largo camino que aún hace falta recorrer.

Aún queda mucho por saber acerca del papel que juegan las características de los ecosistemas y su capacidad de brindar servicios. Es necesario conocer más acerca de la relación entre los componentes, condiciones y procesos de los ecosistemas y los distintos servicios ecosistémicos. El concepto mismo fue creado para comprender la liga entre los ecosistemas y el bienestar humano, sin embargo es poco lo que se sabe en cómo y en qué medida los ecosistemas inciden en el bienestar humano. Los servicios benefician directamente a distintos sectores de la sociedad, quienes aprecian o perciben de manera diferente los beneficios y que además promueven de forma diversa la provisión de los servicios. Así, mientras que algunos servicios representan ganancias monetarias para algunos sectores de la sociedad, como lo es la extracción de los recursos forestales de los bosques

¹Balvanera, P. y Cotler, H. 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica* número especial **84-85** (2007) 8-15 Instituto Nacional de Ecología, México.

²*Idem* 1.

³Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, M. J. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, D.F. *Gaceta Ecológica* **84-85**:53-64.

⁴Pérez-Maqueo, O., M. Equihua, G. Vázquez, M. L., Martínez, A. Campos, G. Castillo, E. Díaz Pardo, J.G. García Franco, D. Gelsert, K. Mehlreter, E. Meza y L. Muñoz-Viller. 2007 Construcción de consensos mediante modelación medida con enfoque en servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 107-116.

⁵Meynard, C. N., Lara, M. Pino, M. Soto, D. Soto, L. Nahuelhual, D. Nuñez, C. Echeverría, C. Jara, C. Oyarzún, M. Jiménez y F. Morey 2007. Integrando ciencia, economía y sociedad: servicios ecosistémicos en la región de los bosques lluviosos valdivianos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 29-38.

⁶Castello, L., J. P. Castello y C. A. S. Hall. 2007 Problemas en el estudio y manejo de pesquerías tropicales. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 65-73.

⁷Ávila-Foucat, V.S. 2007. Los modelos de economía ecológica: una herramienta metodológica para el estudio de los servicios ambientales. *Gaceta Ecológica* **84-85**:85-91.

⁸Aguilera-Taylor, I., A. Corzo-Dominguez, G. Muñoz-Castro y L. López-Hoffman. 2007. Servicios ambientales de una palma endémica: importancia para la población rural. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 75-84.

⁹Meynard, C. N., Lara, M. Pino, M. Soto, D. Soto, L. Nahuelhual, D. Nuñez, C. Echeverría, C. Jara, C. Oyarzún, M. Jiménez y F. Morey 2007. Integrando ciencia, economía y sociedad: servicios ecosistémicos en la región de los bosques lluviosos valdivianos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 29-38.

¹⁰Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, M. J. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, D.F. *Gaceta Ecológica* **84-85**:53-64.

(Meynard *et al.*, 2007¹¹), otros servicios pueden ser cruciales para la supervivencia de la población, como es el caso de los servicios derivados de las pesquerías tropicales (Castello *et al.*, 2007¹²).

De los vínculos entre ecosistemas y sociedad a través de los servicios ecosistémicos, se deben establecer estrategias sustentables de relación con los ecosistemas. En México, como en muchos países, el severo deterioro ambiental actual se debe en gran medida al desarrollo de políticas y estrategias que NO han procurado el mantenimiento de un adecuado funcionamiento de los ecosistemas, para lo cual se requiere entre otras medidas:

- Hacer compatibles las necesidades de los seres humanos con el entorno, estableciendo patrones de uso, aprovechamiento y manejo de los ecosistemas en donde se logre mantener su integridad y funcionamiento, y con ello la capacidad de proveer servicios.
- Identificar las necesidades de los distintos actores, promover su participación, conjuntar políticas intersectoriales que permitan mantener la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios, así como el bienestar de los distintos actores.
- Diseñar e implementar programas de políticas públicas e instrumentos de planeación.

Por lo anterior, el estudio de los servicios ecosistémicos es inherentemente complejo y representa un reto enorme. Su comprensión requiere del entendimiento tanto de la complejidad inherente de los sistemas ecológicos, como de los sociales, y la interacción entre ellos (Liu *et al.*, 2007¹³). Los avances científicos en el entendimiento de los servicios ecosistémicos son indispensables para poder transferirlos hacia la sociedad de tal forma que tengan consecuencias en la toma de decisiones y en la generación de políticas que aseguren su mantenimiento.

Los métodos para la cuantificación de servicios necesitan producir datos relevantes para la toma de decisiones que afecten en un sitio, estos deben ser prácticos y económicos (en términos de experiencia, equipamiento y tiempo), además de proveer resultados de una forma accesible para los actores, como políticos, planeadores y manejadores de los recursos. Una gran variedad de herramientas se han desarrollado con amplios progresos en la medición de los servicios ecosistémicos. Sin embargo algunos tienden a estar más especializados que cualquier usuario, técnicamente hablando, o bien requieren de trabajo de campo muy costoso y/o el uso de modelos de extrapolación de datos obtenidos en otros sitios, lo cual puede no reflejar las condiciones locales. Muchas otras herramientas no son apropiadas para estimar la red de consecuencias de una acción particular o de los servicios ecosistémicos, aun cuando esta sea la pregunta de mayor interés para la toma de decisiones.

Para alinear la conservación de los ecosistemas con fuerzas económicas, se han desarrollado modelos que cuantifican y trazan un mapa de los valores de servicios ambientales. El conocer

¹¹ *Idem* 8

¹² Castello, L., J. P. Castello y C. A. S. Hall. 2007 Problemas en el estudio y manejo de pesquerías tropicales. *Gaceta Ecológica* 84-85: 65-73.

¹³ Liu, J., T. Dietz, S. R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A. N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C. L. Redman, S. H. Schneider y W. W. Taylor. 2007. Complexity of Coupled Human and Natural System. *Science* 317: 1,513-516.

los patrones espaciales de provisión de los servicios ecosistémicos por medio de mapas es una herramienta útil, ya que muchas decisiones de conservación y manejo se dan en un contexto espacial (Balvanera *et al.*, 2001¹⁴, Tallis *et al.*, 2013¹⁵). El conjunto de aplicaciones que mejor modela es aquel que satisface los análisis de múltiples servicios y múltiples objetivos. Algunos modelos actuales, que requieren relativamente pocos datos de entrada, pueden identificar áreas donde la inversión puede elevar el bienestar humano y el de la naturaleza.

Una de las aplicaciones a utilizar es InVEST¹⁶ (Integrated Valuation of Environment Services and Trade offs) que fue diseñada para tomar decisiones de manejo de los recursos naturales. Desde funcionarios de gobierno hasta organizaciones no gubernamentales frecuentemente manejan recursos de tierra y agua para múltiples usos e inevitablemente deben evaluar compensaciones entre estos; el multiservicio de InVEST a través del diseño modular proporciona una herramienta eficaz para evaluar estas compensaciones.

InVEST puede ayudar a responder algunas preguntas como:

- a) ¿Dónde se originan los servicios ambientales y dónde se utilizan?
- b) ¿Cómo un plan de manejo forestal, afecta la producción de madera, la biodiversidad, la calidad de agua y la recreación?
- c) ¿Qué parte de una cuenca proporciona la mayor cantidad de captura de carbono, biodiversidad y valores de turísticos?

Las herramientas de InVEST incluyen un conjunto de modelos para cuantificar, mapear y evaluar los beneficios proporcionados por los sistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas; entre los modelos para los sistemas terrestres se encuentra el de **Biodiversidad: Calidad del hábitat y rareza**, el cual será desarrollado en el presente trabajo para la Región Mixteca.

2. Modelo de Biodiversidad.

Calidad del hábitat y rareza.

La biodiversidad es fundamental para el adecuado funcionamiento de los ecosistemas. La biodiversidad se refiere a la variedad de seres vivos que existen en la tierra y es producto del proceso continuo de evolución que ocurre desde hace millones de años. Esta biodiversidad es la responsable de los procesos de los ecosistemas e incluye la variedad de las distintas especies de plantas y animales, la variedad de razas de estas especies, así como la variedad

¹⁴Balvanera, P., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, T. H. Ricketts, S. A. Bailey, S. Kark, C. Kremen and H. Pereira. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* **291**: 2047

¹⁵Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., and Griffin, R. 2013. *InVEST 2.5.4 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford.

¹⁶*Idem* 10.

de los distintos tipos de ecosistemas (Sarukhán *et al.*, 2009¹⁷).

El principal objetivo de la conservación es la protección de la biodiversidad, incluyendo la gama de genes, especies, poblaciones, hábitat y ecosistemas en un área de interés. Mientras que algunos consideran que la biodiversidad es un servicio ambiental, en este modelo se trata como un atributo independiente de los sistemas naturales, con su propio valor intrínseco (no se proporciona un valor monetario a la biodiversidad en este modelo). Los manejadores de los recursos naturales, instituciones y organizaciones de conservación, han incrementado el interés para entender cómo y dónde la biodiversidad y los servicios ambientales se alinean en el espacio y cómo las acciones de manejo afectan a ambos.

Existe evidencia de muchas fuentes que registran un cuadro aplastante de la disminución de la biodiversidad en el mundo (Vitousek *et al.* 1997¹⁸; Wilcove *et al.*, 1998¹⁹; Czech *et al.*, 2000²⁰). Esta evidencia ha propuesto una amplia gama de respuestas de los gobiernos y la sociedad civil. Desde la Convención de Río sobre la Biodiversidad, 189 países convinieron preservar la biodiversidad dentro de sus fronteras. Pero aún existen escasas investigaciones sobre el traslape entre las oportunidades para la protección de la biodiversidad y la conservación de los servicios ambientales críticos para el bienestar económico de estos países.

Para que los manejadores (gestores) comprendan los patrones de distribución y riqueza a través del paisaje, individualmente o en grupos, es necesario mapear la gama o la ocurrencia de elementos (especies, comunidades, hábitat). El grado en el cual el actual uso del suelo y manejo afectan la persistencia de estos elementos puede ser evaluado también para diseñar estrategias apropiadas de conservación y así esperar que el manejo de recursos maximice la biodiversidad en estas áreas.

Existe una variedad de formas para identificar prioridades de conservación con diferentes balances entre ellas. Cada una de estas se enfoca en diferentes etapas de atributos y dinámica de la biodiversidad, incluyendo el hábitat con base en la representación de la vegetación, maximizando el número de especies cubiertas en una red de sitios de conservación (Ando *et al.*, 1998²¹), identificando patrones de riqueza, endemismo, y conservando procesos ecológicos. También existen métodos con un filtro híbrido de aproximación grueso-fino, cuya selección incluye elementos de filtros-finos como son las especies, con el único requerimiento de hábitat que puede no ser adecuadamente protegido usando solo una aproximación gruesa (TNC y WWF planeación ecorregional). **El modelo de Calidad de hábitat y Rareza de InVEST es más un filtro grueso o hábitat basado en aproximaciones.**

Las razones para modelar la biodiversidad con los servicios ambientales son simples pero de

¹⁷Sarukhán, J., *et al.* 2009. *Capital natural de México*. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

¹⁸Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, and J. M. Melillo. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* **277**:494.

¹⁹Wilcove, D. S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips, and E. Losos. 1998. Quantifying Threats to Imperiled Species in the United States. *Bioscience* **48**:607-615.

²⁰Czech, B., P. R. Krausman, and P. K. Devers. 2000. Economic Associations among Causes of Species Endangerment in the United States. *Bioscience* **50**:593-601.

²¹Ando, A., J. Camm, S. Polasky, and A. Solow. 1998. Species distributions, land values, and efficient conservation. *Science* **279**:2126-2128.

mucho peso; y permiten comparar los patrones espaciales de la biodiversidad y de los servicios ambientales, e identificar áreas donde la conservación puede beneficiar a los sistemas naturales y a la economía humana, así como áreas donde estos objetivos no se encuentren alineados. Además permite analizar el balance entre la biodiversidad y los servicios ambientales a través de diferentes escenarios de cambio en el uso del suelo. Los patrones de uso del suelo/cubierta que generan la mayor producción de servicios ambientales pueden no siempre permitir la mayor conservación de la biodiversidad (Nelson *et al.* 2008²²).

2.1. El modelo.

El modelo de biodiversidad InVEST, combina información de uso del suelo/cubierta y amenazas a la biodiversidad para producir mapas de Calidad del Hábitat y Rareza. Esta acción genera dos clases de información clave que son utilizadas para realizar una evaluación inicial de las necesidades de conservación: la extensión y degradación relativas de diferentes tipos de hábitat en una región, y los cambios a través del tiempo. Esto permite una rápida evaluación de su condición y cambio; y además la posibilidad de medir más detalles del estado de la biodiversidad. Si el hábitat cambia, se toman como representación genética, especies o cambios ecosistémicos, de lo anterior el usuario asume qué áreas con alta calidad de hábitat soportan mejor todos los niveles de biodiversidad y cuáles son los factores que influyen en la extensión y calidad del hábitat que con el tiempo disminuyen la persistencia de la biodiversidad, la resiliencia, la amplitud y profundidad en el área en declive.

El modelo de rareza del hábitat indica la extensión y el patrón de los tipos de cubierta natural en el paisaje actual o potencial con respecto a la extensión de algún tipo de cubierta de la tierra en algún periodo con respecto al punto de referencia. Los mapas de rareza permiten a los usuarios crear un mapa del hábitat raro en un paisaje, relativo al punto de referencia utilizado por el usuario para representar la mezcla de hábitats sobre el paisaje que son más apropiados para las áreas de estudio de la biodiversidad nativa.

El modelo requiere datos básicos que se encuentran disponibles virtualmente en cualquier lugar en el mundo, esto es conveniente en áreas para las cuales los datos de distribución de especies son escasos o se encuentran incompletos. La extensiva ocurrencia (presencia/ausencia) de datos puede estar disponible en muchos lugares para las condiciones actuales del área en estudio. **Sin embargo, modelar los cambios en la ocurrencia, persistencia, o vulnerabilidad de múltiples especies bajo condiciones futuras es frecuentemente imposible.** Por ejemplo, en un tiempo un hábitat se aproxima a niveles que detallan la ocurrencia de las especies, por lo tanto hay datos disponibles para las condiciones actuales en el área de estudio. Algunos de los componentes InVEST representan avances en cuanto a funcionalidad sobre muchas herramientas existentes de planeación de la conservación de la biodiversidad. La más significativa es la habilidad para caracterizar la sensibilidad de los tipos de hábitat para varias amenazas. **No todos los hábitats son**

²²Nelson, E., S. Polasky, D. J. Lewis, A. J. Plantinga, E. Lonsdorf, D. White, D. Bael & J. J. Lawler. 2008. Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **105**: 9471-9476.

afectados por todas las amenazas en el mismo sentido, y el modelo de InVEST cuenta con esta versatilidad. Además el modelo permite a los usuarios estimar el impacto relativo de una amenaza sobre otra, así que las amenazas que son más dañinas a la persistencia de la biodiversidad en el paisaje pueden ser representadas como tal.

El modelo evalúa que el medioambiente actual se puede usar como una entrada de evaluación gruesa de las necesidades actuales y oportunidades de conservación. La evaluación del modelo potencial de uso del suelo/cubierta a futuro, se puede usar para medir cambios potenciales en la extensión del hábitat, calidad, y rareza sobre el medio y las necesidades y oportunidades de conservación en el futuro.

2.2. ¿Cómo trabaja?

2.2.1 Calidad del hábitat

Hábitat se define como: los recursos y condiciones presentes en un área que puede ser ocupada —incluye supervivencia y reproducción— por un organismo dado (Hall *et al.*, 1997²³). Calidad de hábitat se refiere a la habilidad del medio para proveer condiciones apropiadas para la persistencia individual o la población, y es considerado una variable continua en el modelo, se expresa en niveles bajo, medio y alto, con base en la disponibilidad de supervivencia, reproducción y persistencia de la población respectivamente (Hall *et al.*, 1997²⁴).

El hábitat con una alta calidad está relativamente intacto y tiene una estructura y función con un nivel de variabilidad histórico. La calidad del hábitat depende de la proximidad a los usos del suelo humano y a la intensidad de estos usos del suelo. Generalmente, la calidad del hábitat disminuye cuando la cercanía a los usos del suelo humano se incrementa (Nelleman, 2001²⁵; McKinney, 2002²⁶; Forman *et al.*, 2003²⁷).

El modelo trabaja utilizando datos en formato raster, o mapas en formato rejilla de celdas cuadradas. Cada celda en un raster es asignada a un tipo de uso del suelo/cubierta, el cual puede ser una cubierta natural (sin manejo) o una cubierta con manejo. Los tipos de uso del suelo/cubierta pueden ser dados a un nivel de clasificación detallada. Y se puede tener en tres mapas raster del uso del suelo/cubierta, uno para el punto de referencia, otro para las condiciones actuales y otro para las del futuro, pero como mínimo se debe de contar con el mapa actual.

El usuario define cual tipo de USV puede proveer hábitat para la conservación objetivo (ejem. si las aves que anidan en el bosque son los objetos de conservación entonces los bosques

²³Hall, L.S., Krausman, P.R. and Morrison, M.L. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin* 25(1):173-182.

²⁴*Idem* 18.

²⁵Nelleman C, Kullered L, Vistnes I, Forbes B, Foresman T, Husby E, Kofinas G, Kaltenborn B, Rouaud J, Magomedova M, Bobiwash R, Lambrechts C, Schei P, Tveitdal S, Gron O, Larsen T. 2001. GLOBIO. Global methodology for mapping human impacts on the biosphere. UNEP/DEWA/TR.01-3.

²⁶McKinney, M.L. 2002. Urbanization, biodiversity, and conservation. *BioScience* 52:883-890.

²⁷Forman, R. 2003. Road ecology: science and solutions. Island Press. New York, New York.

son el hábitat y las cubiertas sin bosque son no-hábitat).

¿Cuál tipo de USV debe ser considerado como hábitat? **Si se considera la biodiversidad en general o si faltan datos específicos sobre las relaciones de hábitat-biodiversidad, se puede realizar una aproximación binaria para asignar el hábitat a los tipos de USV.** En este caso el número “cero” puede ser asignado a los tipos de manejo en la matriz (no-hábitat) y el número “uno” a tipos de no manejo (hábitat). Bajo este esquema de modelo, los valores de la calidad de hábitat no reflejan la importancia del hábitat, rareza, o idoneidad; todos los tipos de hábitat son igualmente amenazados. La entrada del modelo asume no ser específica para ninguna especie o grupo de especies en particular, pero se aplica a la biodiversidad en general.

Investigaciones recientes sugieren que la matriz de manejo de la tierra, alrededor de los parches de no manejo pueden influenciar significativamente el efectivo aislamiento de los parches de hábitat, interpretando cuáles parches de hábitat están más o menos aislados a una simple distancia, a diferencia de lo que un modelo clásico puede indicar (Ricketts, 2001²⁸; Prugh *et al.*, 2008²⁹).

La modificación de la matriz puede proveer oportunidades para reducir los parches de aislamiento, así como el riesgo de extinción de las poblaciones en ambientes fragmentados (Franklin and Lindenmayer 2009³⁰). Para este modelo, un valor relativo del hábitat idóneo puede ser asignado a los tipos de USV en un intervalo de 0 a 1, donde 1 indica el valor más alto de idoneidad, mientras que valores menores a 1 indican un hábitat donde una especie o grupos funcionales pueden tener menor supervivencia. Aplicando esta segunda aproximación se amplía grandemente la definición de hábitat de una simple y frecuentemente artificial aproximación binaria (ejem. “natural” contra “no natural”) a incluir un amplio espectro de los tipos USV tanto de manejo como de no manejo. Para expresar la continuidad de la idoneidad del hábitat a través de los tipos de USV, se puede valorar la importancia del manejo del uso del suelo o la calidad del hábitat holísticamente o bien considerar la importancia potencial de “trabajo” (o manejo) del medio.

Si la continuidad del hábitat idóneo es relevante, se pueden aplicar los pesos con una lista de USV en un medio, en referencia a un gremio particular de especies de un grupo. **Por lo tanto, si se emplean los datos específicos de las relaciones de especies grupo-hábitat, la salida del modelo se refiere a la extensión y la calidad solo para la especie o el grupo modelado.**

El mapa de USV y los datos relacionan el USV a la idoneidad del hábitat, pero además el modelo también requiere datos sobre la intensidad de la amenaza del hábitat y sus efectos sobre la calidad del hábitat. En general, se considera que las modificaciones humanas a los tipos de USV causan la fragmentación del hábitat, efecto de borde, y la degradación en hábitat vecinos amenazados. El efecto de borde se refiere a cambios en las condiciones biológicas y físicas que ocurren en el límite de un parche y dentro de parches contiguos. Por

²⁸Ricketts, T. H. 2001. The Matrix Matters: Effective Isolation in Fragmented Landscapes. *American Naturalist* **158**:87- 99.

²⁹Prugh, L., K. Hodges, A. Sinclair, and J. Brashares. 2008. Effect of habitat area and isolation on fragmented animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**:20770.

³⁰Franklin, J.F. and D. B. Lindenmayer. 2009. Importance of matrix habitats in maintaining biological diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **106**:349-350.

ejemplo parcelas degradadas de no hábitat contiguas a parcelas de USV imponen efecto de borde sobre parcelas de hábitat y pueden tener un impacto negativo dentro de las parcelas de hábitat, como puede ser facilitando la entrada de depredadores, competidores, especies invasivas o químicos tóxicos y otros contaminantes.

El origen de cada amenaza requiere ser mapeada sobre una malla raster. Cada celda sobre el mapa de las amenazas puede indicar la intensidad de la amenaza en cada celda o bien simplemente un valor de 1 si la celda contiene la amenaza ya sea por una carretera o un área de cultivo y un valor de cero si no presenta ninguna amenaza.

Todas las amenazas deben ser medidas en la misma escala y unidad métrica. Por ejemplo, si una amenaza es medida en densidad por celdas, entonces todos los orígenes de degradación deben ser medidos en densidad por celda, donde la densidad es medida con las mismas unidades métricas (km y km²). **O bien, si una amenaza es medida como presencia/ausencia (1/0) sobre el mapa, entonces todas las amenazas deben ser mapeadas con la escala de presencia/ ausencia.**

El impacto de las amenazas sobre el hábitat en una malla de celdas es medido por cuatro factores:

1.- El primer factor es el impacto relativo de cada amenaza. Algunas amenazas pueden ser más dañinas para el hábitat, o igual para todos o bien tener valores de impacto relativo. En este caso, las áreas urbanas pueden ser consideradas el doble de degradación para cualquier hábitat cercano a las áreas agrícolas. El peso de origen de la degradación indica la destrucción relativa de un origen de degradación para todos los hábitats. El peso puede ser asignado sobre un valor de 0 a 1. Por ejemplo si el área urbana tiene una amenaza con un peso de 1 y el peso de la amenaza de la carretera es igual a 0.5, entonces las áreas urbanas causan el doble de disturbio para todos los tipos de hábitat.

2.- El segundo factor de mitigación es la distancia entre los hábitats, el origen de la amenaza, y el impacto de la amenaza a través del espacio. En general, el impacto de la amenaza en el hábitat disminuye cuando la distancia del origen de la degradación se incrementa. De esta manera la malla de celdas que se encuentra más próxima a las amenazas puede experimentar impactos mayores. Por ejemplo, una malla de celdas que está a 2 Km del borde de un área urbana y a 0.5 Km de una vía rápida, el impacto de estos dos orígenes de amenaza sobre el hábitat en una malla de celdas dependerá particularmente de cómo estas amenazas disminuyan rápidamente en el espacio. El usuario puede seleccionar una función lineal o exponencial de la distancia-decrece para describir cómo la amenaza disminuye en el espacio.

3.- El tercer factor que puede mitigar el impacto de las amenazas sobre el hábitat es el nivel de protección de disturbio en cada celda. Son las áreas protegidas o las zonas inaccesibles para la gente como las áreas de altas elevaciones y otras protecciones naturales. El modelo asume que una celda que tiene mayor protección física para degradación, menos será afectada por las amenazas cercanas, no importa el tipo de amenaza. Es importante notar que donde existe la protección física frecuentemente disminuye el impacto de las actividades extractivas como la cacería o la pesca en tales hábitats, sin embargo esto no parece proteger

contra otros orígenes de degradación tal como la contaminación del aire o el agua, la fragmentación del hábitat o los efectos de borde.

4.- La relativa sensibilidad de cada tipo de hábitat a cada amenaza en el medio es el último factor a considerar cuando se genera la degradación total en una celda de hábitat.

El modelo asume que a mayor sensibilidad a una amenaza determinada en un tipo de hábitat, mayor es la degradación de ese tipo de hábitat a causa de esa amenaza. La sensibilidad de los hábitat a las amenazas puede ser con base a principios generales de ecología del paisaje para la conservación de la biodiversidad (e.g., Forman 1995³¹; Noss 1997³²; Lindenmayer et al., 2008³³).

En el modelo de biodiversidad se estableció un valor $k=0.5$ para la interface, en general, se establece el valor de k como la mitad del valor de la celda con degradación más alta en el paisaje. El valor de k determina la extensión y la tendencia central de los valores de calidad del hábitat. Este valor se puede cambiar para calibrar el modelo, lo importante es que, si se analizan escenarios, independientemente del valor que se selecciona para k en el primer paisaje para correr el modelo, debe usarse el mismo valor de k para todos los escenarios alternativos para el mismo paisaje. De igual forma, independientemente de qué resolución espacial se seleccione al correr el modelo por primera vez sobre un paisaje, hay que usar el mismo valor de resolución espacial para correr todos los modelos sobre el mismo paisaje. Y si se quiere cambiar el valor de k o la resolución para correr un modelo, entonces hay que cambiar los parámetros para todos los modelos, sobre todo si se están comparando escenarios para el mismo paisaje.

2.2.2. Rareza del hábitat

Mientras el mapeo de la calidad del hábitat puede ayudar a identificar áreas donde la diversidad biológica probablemente es la más intacta o se encuentra en peligro, es también crítico evaluar la rareza relativa de los hábitats sobre el paisaje, independientemente de la calidad. En muchos proyectos de conservación se les da la prioridad más alta a los hábitats que son más raros, simplemente porque las opciones y oportunidades para conservarlos son limitadas y si todos estos hábitats se pierden, también se pierden las especies y procesos asociados con ellos.

La rareza relativa de un tipo de USV sobre un paisaje actual o proyectado es evaluada con respecto a un patrón del punto de referencia de los tipos de USV. Un tipo de USV sobre un mapa actual o proyectado que es raro, para algún estado de referencia del paisaje probablemente no está en el peligro crítico de desaparición, mientras que un tipo de USV raro sobre un mapa actual o proyectado que fue abundante en el pasado (de acuerdo al punto de referencia) ahora está en peligro de desaparición.

³¹Forman, R. 1995. Land Mosaics: The Ecology of landscapes and regions. Cambridge Univ Press. New York.

³²Noss, R. F., M. A. Connell, and D. D. Murphy. 1997. The science of conservation planning: habitat conservation under the endangered species act. Island Press.

³³Lindenmayer, D., Hobbs, R., Montague-Drake, R., Alexandra, J., Bennett, A., Burgman, M., Cae, P., Calhoun, A., Cramer, V., Cullen, P. 2008. A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecology Letters* 11:78-91.

En el primer paso del cálculo de rareza se considera el **rango entre la extensión actual o proyectada y la pasada** (el punto de referencia, también llamado línea base) de cada tipo de USV. Restando este rango de 1, el modelo obtiene un índice que representa la rareza del tipo de USV sobre el paisaje de interés.

Fórmula 1

$$R_j = 1 - \frac{N_j}{N_j \text{ lineabase}}$$

Donde:

N_j , número de celdas en la malla de USV_j sobre el mapa actual o proyectado.

$N_j \text{ lineabase}$ proporciona el número de celdas de la malla de USV_j de la línea base ó referencia.

El cálculo de R_j requiere que la línea base/referencia actual y/o proyectada del mapa de USV se encuentre en la misma resolución. En este sistema de medida, lo más cercano a 1, en un valor R de USV, representa la mayor probabilidad de la preservación de este tipo de USV sobre el paisaje actual o futuro y que es importante para la conservación de la diversidad biológica. Si el USV_j no apareciera sobre el paisaje de la línea base/referencia entonces $R_j = 0$.

Una vez que se tiene la medida de R_j para cada tipo de USV, se puede cuantificar la rareza total del tipo de hábitat en cada celda x con:

Fórmula 2

$$R_x = \sum_{x=1}^X \sigma_{xj} R_j$$

Donde $\sigma_{xj} = 1$ si la celda x está en USV_j sobre el paisaje actual o proyectado, de otra forma es igual a 0.

2.3. Limitaciones y simplificaciones

En este modelo todas las amenazas en el paisaje se suman, aunque existe evidencia de que, en algunos casos, los impactos colectivos de múltiples amenazas son mucho mayores que la suma del nivel de amenazas individuales.

Al seleccionar el área de interés, esta se encuentra típicamente dentro de un paisaje mayor, y es importante reconocer que un paisaje tiene límites artificiales, donde los hábitat amenazados se han eliminado o ignorado por completo inmediatamente fuera de los límites del área de interés, como consecuencia la intensidad de la amenaza. Por consiguiente, la intensidad de amenaza siempre será menos sobre los bordes de un paisaje dado. Por lo

anterior se puede seleccionar un paisaje para modelar los objetos más allá de las fronteras de su paisaje de interés. Entonces, después de que los resultados han sido generados, se pueden extraer los resultados solamente para el paisaje interior de interés.

3. Área de estudio.

La región de la Mixteca se encuentra al Oeste del estado de Oaxaca y colinda al Oeste con el límite del estado de Guerrero y al norte con el estado de Puebla, con la Región de la Cañada al Este, al Sureste con Los Valles Centrales y al Sur con la Sierra Sur. Se ubica entre las coordenadas extremas de 16° 35' 11.928" N y 18° 17' 49.390" N de Latitud Norte y 96° 57' 58.692" W y 98° 30' 0.810" W de Longitud Oeste (**Figura 1**).

El área de intervención del proyecto ocupa una superficie de 1'714,097 hectáreas y se encuentra localizada en la Región Mixteca con siete distritos: Silacayoapam, Huajuapam, Coixtlahuacan, Juxtlahuaca, Teposcula, Nochitlan y Tlaxiaco; y parte de la región Sierra Sur. Con 155 municipios de la Región Mixteca y 5 de la Región Sierra Sur³⁴ y un total de 2,364 localidades³⁵. Con base en los datos del Censo Nacional de Población 2010³⁶, la región mixteca, cuenta con una población de 522,252 habitantes, donde la Heroica Ciudad de Huajuapam de León, es la población que cuenta con el mayor número de habitantes con 69,839.

³⁴INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión

5.0A.http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

³⁵Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

³⁶INEGI 2010. Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

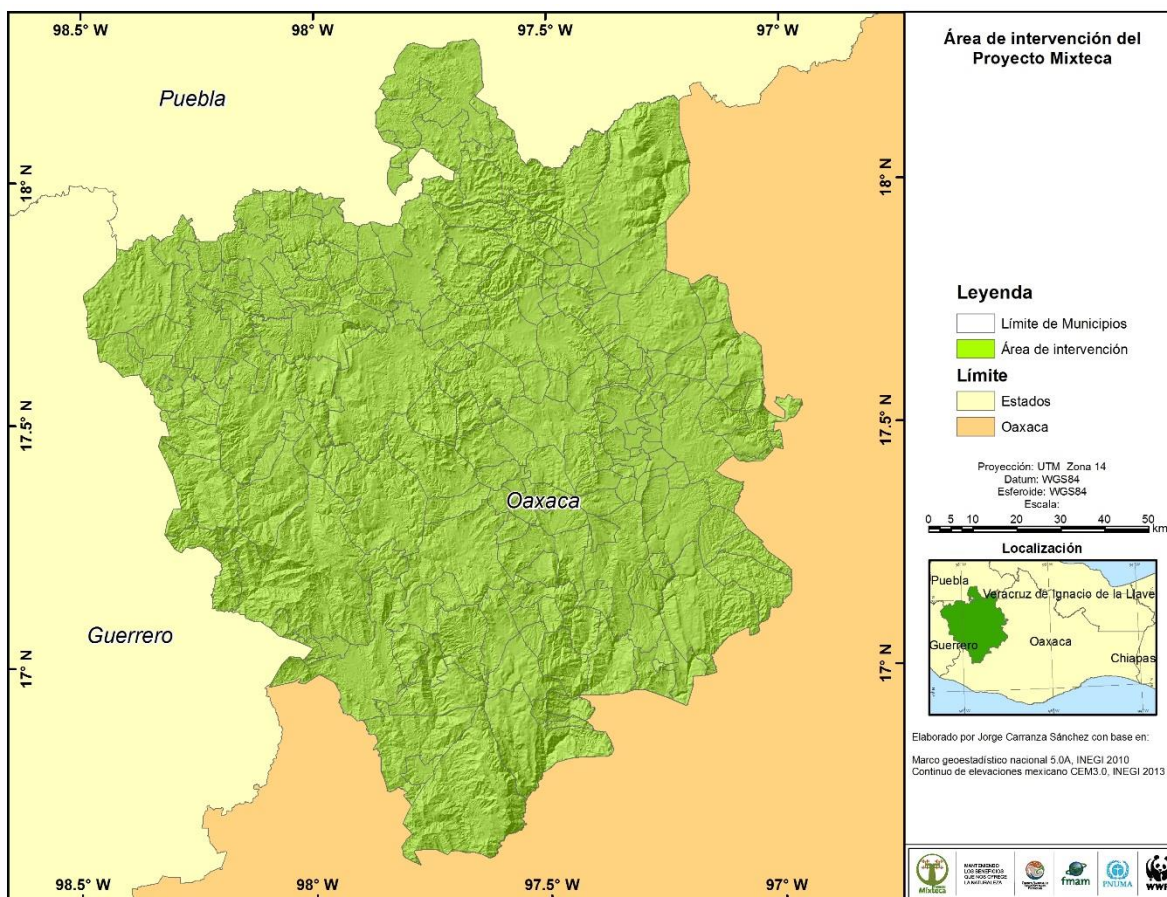


Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

4. Datos necesarios.

El modelo utiliza siete tipos de datos de entrada, cinco de ellos son necesarios y los otros opcionales. Los datos requeridos incluyen:

- 1.- Mapas de Uso del Suelo y Vegetación,
- 2.- La sensibilidad de los tipos de hábitat a cada amenaza,
- 3.- Datos espaciales de la distribución e intensidad de cada amenaza y
- 4.- La ubicación de las áreas protegidas.

4.1. Mapas de Uso del Suelo y Vegetación

Como primer paso se obtuvieron las coberturas de uso del suelo y vegetación, fueron utilizadas las cubiertas del suelo y vegetación del Módulo Tasa de Transformación del Hábitat

para la línea año 1979 y para la actual, la cobertura del año 2010 [Tabla 1, Figuras 2 y 3](#) (Carranza 2014)³⁷

Tabla 1. Tipos de uso del suelo y vegetación.

Uso de suelo y vegetación

Área sin Vegetación Aparente
 Bosque Mesófilo de Montaña con Veg. Sec.
 Bosque de Encino
 Bosque de Encino con Veg. Sec.
 Bosque de Pino
 Bosque de Pino con Veg. Sec.
 Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)
 Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) con Veg. Sec.
 Bosque de Tascáte
 Bosque de Tascáte con Veg. Sec.
 Chaparral
 Matorral Crasicáule
 Matorral Crasicáule con Veg. Sec.
 Matorral Xerófilo
 Palmar
 Plantación Forestal
 Selva Baja Caducifolia
 Selva Baja Caducifolia con Veg. Sec.
 Selva Mediana Subcaducifolia con Veg. Sec.
 Área Agrícola
 Área Impactada por Incendio
 Asentamientos Humanos
 Pastizales
 Cuerpos de Agua

³⁷Carranza, S.J. 2014. Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca. Convenio OO66 WWF.

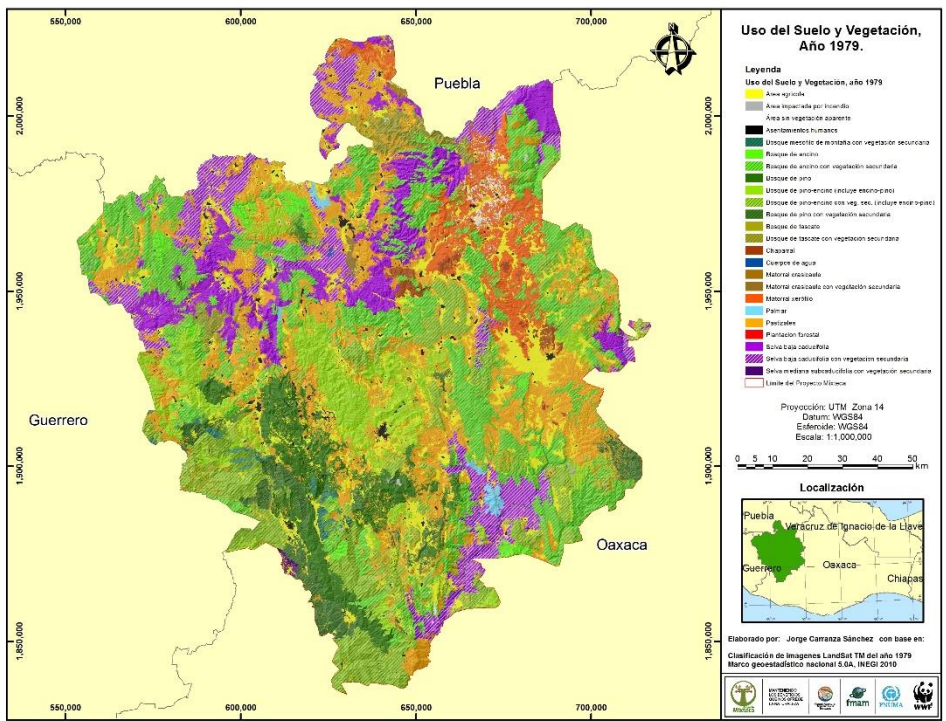


Figura 2. Uso del suelo y vegetación 1979.

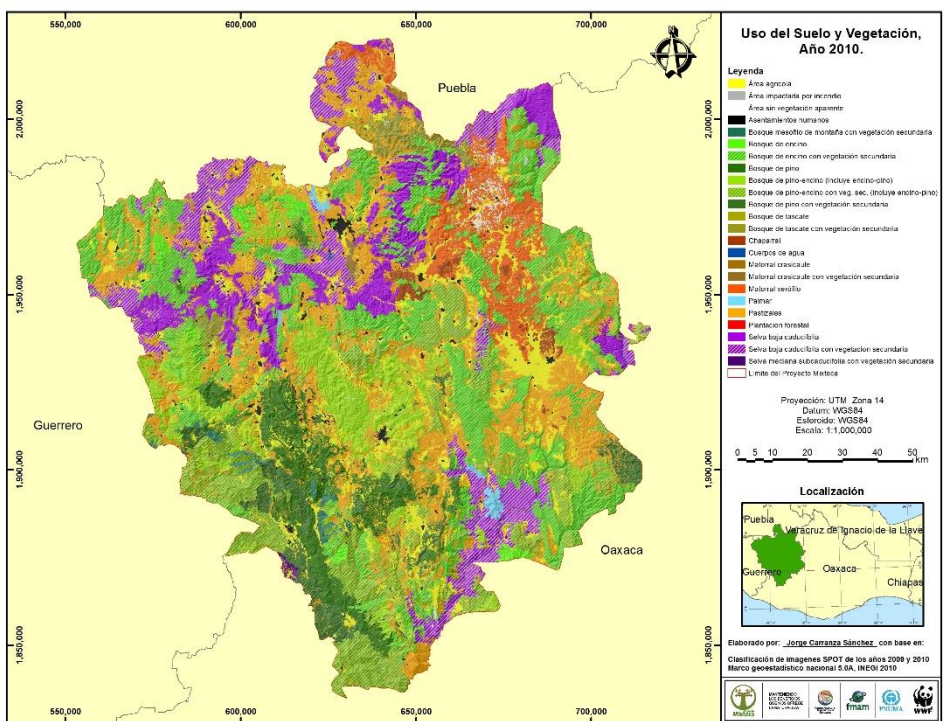


Figura 3. Uso del suelo y vegetación 2010.

4.2. La sensibilidad de los tipos de hábitat a cada amenaza,

Para la determinación de las especies y/o grupos funcionales claves se realizaron tres talleres, los dos primeros se realizaron el 24 y 31 de enero del 2014, enfocados a fauna. Mientras que el tercero se realizó para analizar la situación de la flora y se desarrolló el día 11 de marzo del 2014.

Para el desarrollo de los talleres de fauna se utilizó como base los datos obtenidos del trabajo de Chagoya, V. 2011³⁸. Se clasificaron las especies con base en algunos criterios como NOM059, lista de la UICN, lista de CITES, si son endémicas para México, Oaxaca y la Región. También se consideraron otros criterios como son: indicadoras, carismáticas emblemáticas y sombrilla, así como su importancia económica y cultural entre otros.

Como resultado de los talleres de fauna se obtuvieron las especies y grupos funcionales que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Especies y grupos funcionales obtenidos en los talleres de expertos.

Núm.	Especies	Grupos
1		Rapaces diurnas
2	<i>Ortalis poliocephala</i>	
3	<i>Trogon mexicanus</i>	
4		Salamandras
5	<i>Hyla</i> sp	
6	<i>Iguana</i> sp	
7		Felinos
8	<i>Abronia mixteca</i>	
9		Murciélagos néctar

4.3. Datos espaciales de la distribución e intensidad de cada amenaza y

Las amenazas identificadas se presentan en la **Tabla 3**, estableciendo la distancia de impacto para cada amenaza. La distribución espacial de cada amenaza se presenta en los mapas de la siguiente página (**Figuras 4 y 5**).

Tabla 3. Amenazas identificadas.

AMENAZA	THREAT	MAX_DIST	WEIGHT	DECAY
Asentamientos Humanos	AH	10.0	1.0	0
Pastizal	PAS	2.0	0.5	0
Agricultura de Temporal	AGR	5.0	0.8	0
Vía Pavimentado	VIAP	4.0	0.3	0
Vía Terracería	VIAT	2.0	0.3	0

³⁸Chagoya, L.V. 2011, Biodiversidad de fauna de la región mixteca, Word Wildlife Fund-México, Convenio OL93. México D.F.

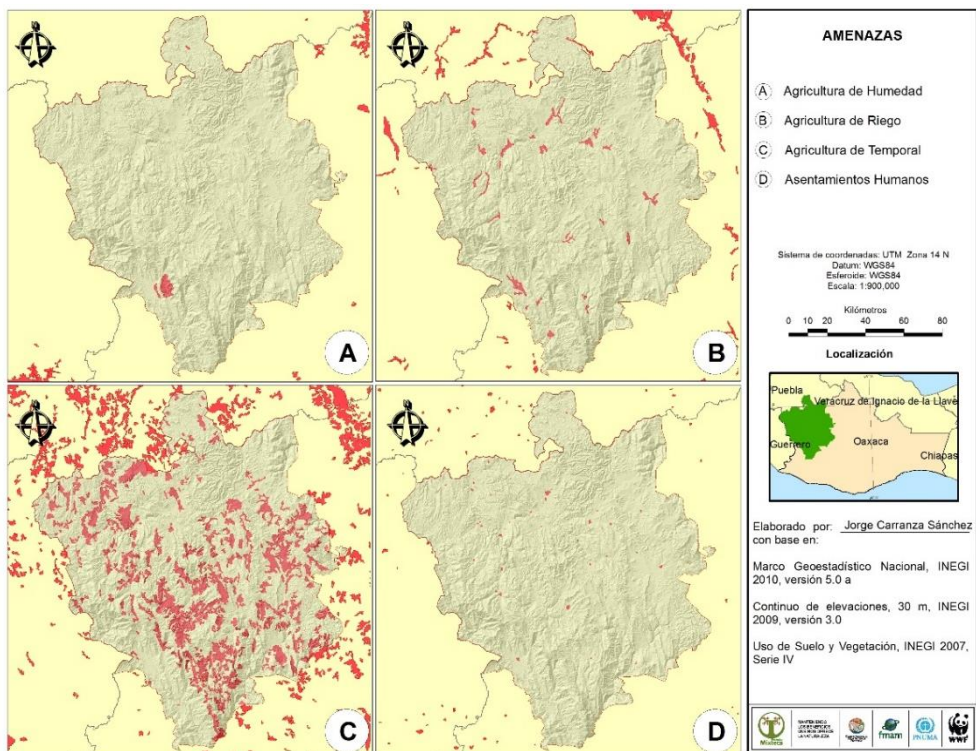


Figura 4. Distribución espacial de amenazas I.

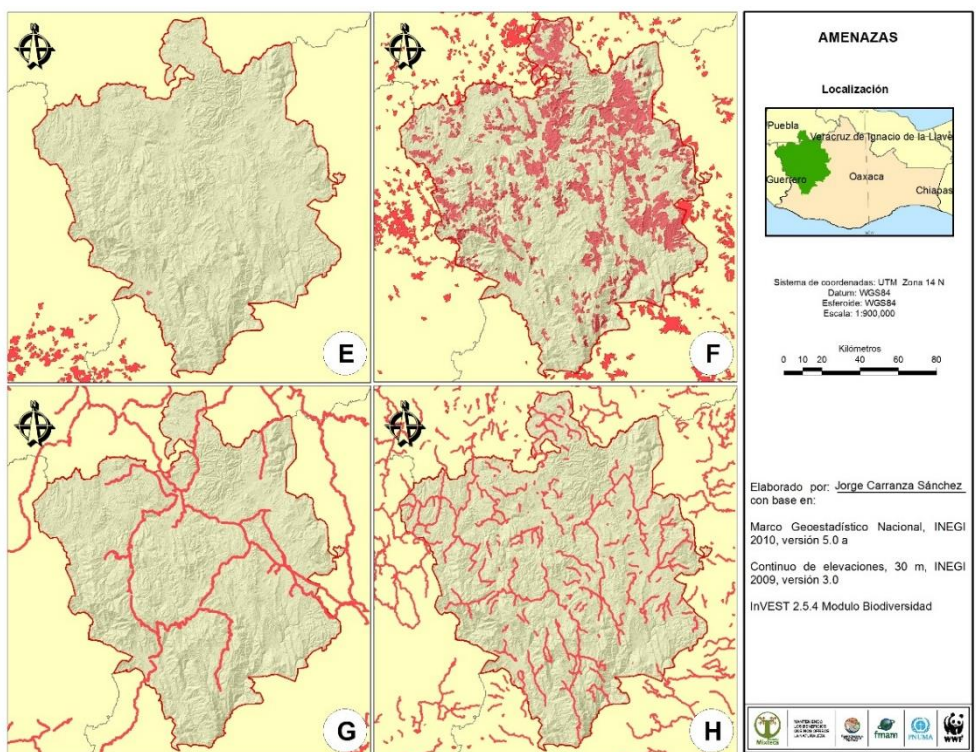


Figura 5. Distribución espacial de amenazas II.

4.4. Áreas Naturales Protegidas

Fueron identificadas las áreas protegidas al interior del polígono de la Región Mixteca identificando cuatro áreas protegidas de carácter federal³⁹, así como una porción del área de carácter estatal que en su mayoría se sobrelapa con la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán (Tabla 4).

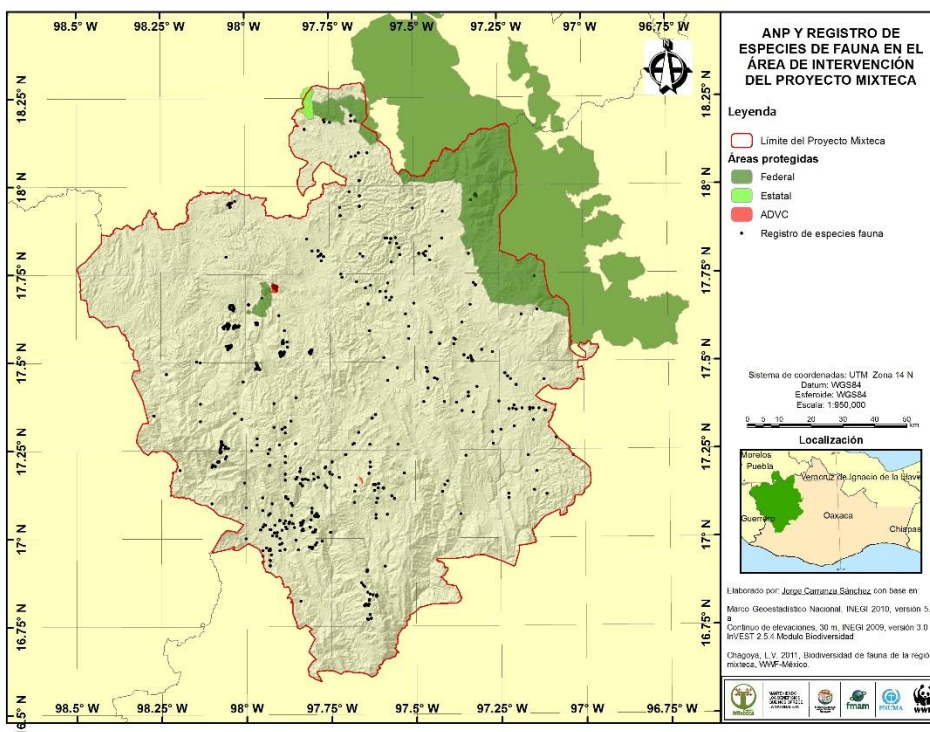


Figura 6. Áreas Naturales Protegidas y registros de especies.

Tabla 4. Áreas Naturales Protegidas en el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

ANP en la Región Mixteca				
Tipo	Categoría	Nombre	Sup (Ha) en la región	Acceso
Federal	Reserva de la biosfera	Tehuacán-Cuicatlán	115,363.99	0.2
Federal	Área de protección de flora y fauna	Boquerón de Tonalá	3911.85	0.2
Federal	Área destinada voluntariamente a la conservación	Barranca del Ángel	104.73	0.1
Federal	Área destinada voluntariamente a la conservación	Cerro de la culebra	463.88	0.1
Estatal		Tehuacán-Cuicatlán	2532.67	0.2

También fueron obtenidos los registros de especies de fauna, del trabajo elaborado por Chagoya, V. 2011⁴⁰. De estos datos identificó un total de 2,299 registros faunísticos equivalentes a 322 especies, 146 subespecies y 5 registros identificados hasta nivel de

³⁹CONANP, 2014 http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/

⁴⁰Idem 33.

género.

5. Resultados

5.1. Modelo binario

Como primer acercamiento se obtuvo el modelo binario dando un valor de 1 a todas las amenazas, como se muestra en la [Tabla 5](#). El mapa resultado se presenta en la [Figura 7](#). Donde se presentan dos clases: Hábitat en un tono verde oscuro y No Hábitat en un tono verde claro.

Tabla 5. Datos de sensibilidad, modelo binario.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.00	Bosque de encino_vs	3	1.00
Pastizales	24	0.00	Matorral crasicaule	12	1.00
Área agrícola	20	0.00	Matorral crasicaule_vs	13	1.00
Palmar	15	1.00	Matorral xerófilo	14	1.00
Bosque de tascate	8	1.00	Chaparral	11	1.00
Bosque de tascate_vs	9	1.00	Selva baja caducifolia	17	1.00
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	1.00	Selva baja caducifolia_vs	18	1.00
Bosque de pino	4	1.00	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	1.00
Bosque de pino_vs	5	1.00	Área sin vegetación aparente	1	1.00
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	1.00	Cuerpos de agua	23	1.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	1.00	Plantación forestal	16	1.00
Bosque de encino	2	1.00	Área impactada por incendio	22	0.00

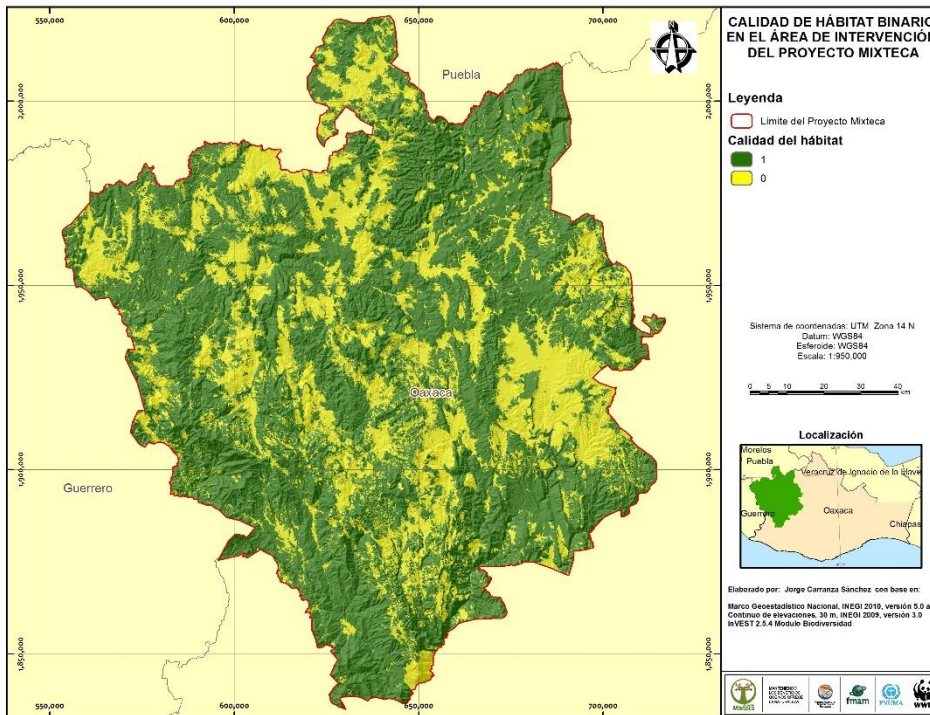


Figura 7. Distribución de área del modelo binario, Hábitat-No hábitat.

Con los resultados obtenidos en los talleres de fauna se aplicaron los valores de sensibilidad para los tipos de vegetación que se encuentran en el área de estudio, obteniendo los resultados que a continuación se muestran. Los datos con valor a 1 (uno) son los que presentan la mejor calidad de hábitat para la especie y/o grupo funcional y se presenta en tono verde oscuro, mientras que el siguiente nivel de calidad del hábitat se presenta con un tono de verde claro.

Es importante recordar que los resultados son únicamente para cada especie o grupo funcional y sobre estos resultados se colocaron los puntos de muestreo obtenidos de la base de datos del trabajo de Chagoya, 2011⁴¹, con la intención de comparar los resultados. También se presentan las tablas para cada especie o grupo funcional con los tipos de Uso del Suelo y Vegetación que presentaron el valor de 1 (uno) en la Calidad de Hábitat.

En la **Tabla 6** se presenta la superficie para cada valor de la calidad de hábitat obtenido del modelo de biodiversidad.

⁴¹Idem 33.

Tabla 6. Superficie para el valor de calidad de hábitat.

Valor Calidad Hábitat	<i>Abronia mixteca</i>	Grupo Felinos	Genero Hyla	Grupo de Iguanas	Grupo Murciélagos	<i>Ortalis poliocephala</i>	Grupo Rapaces Diurnas	Grupo Salamandras	<i>Trogon mexicanus</i>
0	896,100	20,588	633,463	1,456,337	380,472	538,245	1291.05	896,100	894,528
0.1	22,214				15,309		15308.91		
0.2	5,159	537,034				9,456	163,906		
0.3					300,295				
0.4			261,065	6,786		148,374		27,373	1,573
0.5		7,997	1,573				357,740		
0.6		100,089	660,173		288,681	288,681			27373.32
0.7	9,456		148,374				16,242	344,118	
0.8	148,374	798,988				383,149	127,462		
0.9	614,748					6,786	250,980		
1	18,051	249,408	9,456	250,980	729,347	339,412	781,173	446,511	790,629

5.2. Grupo Rapaces diurnas

Las aves rapaces diurnas influyen en la estructura y dinámica de los ecosistemas naturales (Thiollay, 2007)⁴². Estas aves determinan los patrones estructurales y de composición de las comunidades de sus presas, reciclan la materia muerta en el ambiente, controlan plagas en cultivos y se les valora como indicadores de la calidad ambiental por su sensibilidad a las perturbaciones humanas o contaminantes ambientales (Newton, 1979⁴³; Thiollay, 1989⁴⁴). Además, pueden considerarse especies sombrilla al encontrarse en el tope de la cadena trófica. Facilitando la conservación de ecosistemas (Grossman y Hamlet, 1964⁴⁵; Mañosa y Pedrocchi, 1997⁴⁶; Rodríguez *et al.*, 1998⁴⁷).

Por ser generalmente poco abundantes y raras, las rapaces diurnas son un grupo vulnerable a cambios ambientales causados por actividades humanas o fenómenos naturales (Grossman y Hamlet, 1964⁴⁸; Martínez, 1992⁴⁹; Bildstein *et al.*, 1998⁵⁰). Por esta razón, varias especies se les reconoce como amenazadas (Thiollay, 1989⁵¹). En México, el 77% (44 especies) de rapaces diurnas se encuentran en alguna categoría de riesgo (SEMARNAT, 2002⁵²).

Este grupo de especies fue seleccionado en los talleres de expertos y se construyó la **Tabla 7** que es utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST.

Tabla 7. Datos de sensibilidad para el grupo de las aves Rapaces Diurnas.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.10	Bosque de encino_vs	3	1.00
Pastizales	24	0.50	Matorral crasicaule	12	0.80
Área agrícola	20	0.20	Matorral crasicaule_vs	13	0.80
Palmar	15	0.70	Matorral xerófilo	14	0.80
Bosque de tascate	8	0.80	Chaparral	11	0.80
Bosque de tascate_vs	9	0.80	Selva baja caducifolia	17	0.90
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	0.70	Selva baja caducifolia_vs	18	0.90
Bosque de pino	4	1.00	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	0.90
Bosque de pino_vs	5	1.00	Área sin vegetación aparente	1	0.20
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	1.00	Cuerpos de agua	23	0.20
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	1.00	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	1.00	Área impactada por incendio	22	0.00

El resultado del módulo se presenta en la **Figura 8** con los valores de 1 que indica la mejor

⁴²Thiollay, J.M. 2007. Raptor communities in French Guiana distribution, hábitat selection, and conservation. *Journal of Raptor Research* **41**:90-105.

⁴³Newton, I. 1979. *Population ecology of raptor*. T. & A. Poyser, London. 339 p.

⁴⁴Thiollay, J.M. 1989. Area requirements for the conservation of rain forest raptor and game birds in French Guiana. *Conservation Biology* **3**:128-137.

⁴⁵Grossman, M. y J. Hamlet. 1964. *Bird of prey of the world Crow*, New York. 496 p.

⁴⁶Mañosa, S. y V. Pedrocchi. 1997. A raptor survey in the Brazilian Atlantic Rainforest. *Journal of Raptor Research* **27**:121-122.

⁴⁷Rodríguez-Estrella R., J.A. Donazar y F. Hiraldo. 1998 Raptor as indicators of environmental change in the scrub hábitat of Baja California Sur. *Conservation Biology* **12**:921-925.

⁴⁸*Idem* 40.

⁴⁹Martínez, J. 1992. Raptor conservation in Veracruz, México. *Journal of Raptor Research* **26**:184-188.

⁵⁰Bilstein, K., W. Schelski, J. Zalles y S. Ellis. 1998. Conservation status of tropical raptor. *Journal of Raptor Research* **32**:3-18

⁵¹*Idem* 39.

⁵²SEMARNAT 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Diario Oficial de la Federación 06 marzo de 2002.

calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.80 en un tono verde claro.

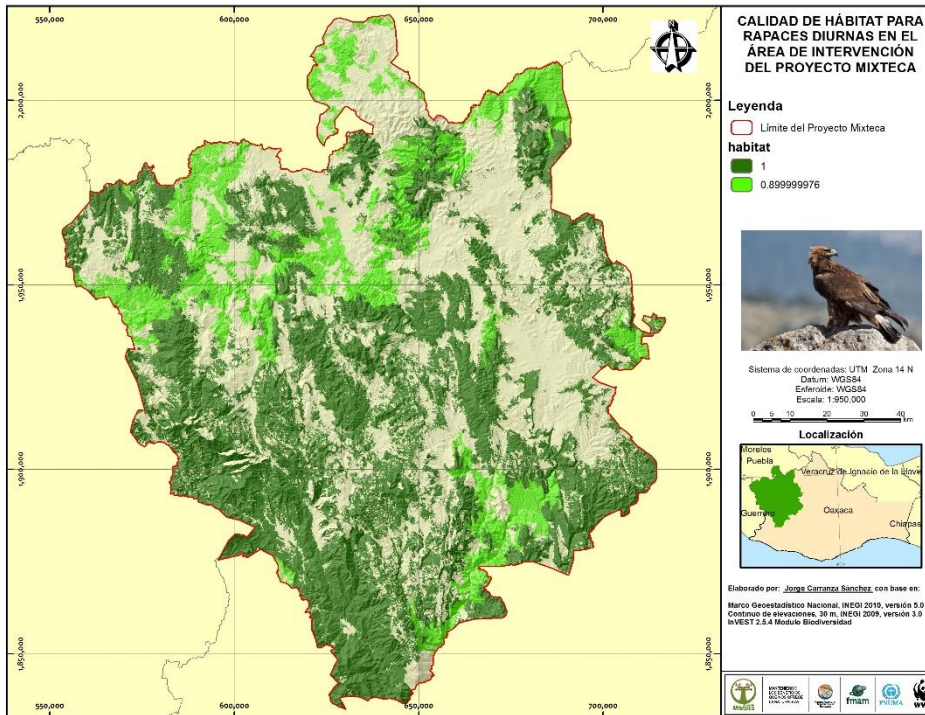


Figura 8. Mejor calidad de hábitat para el grupo de Rapaces Diurnas.

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para el grupo de las aves rapaces diurnas, se encuentra distribuido en toda el área de intervención del proyecto ocupa una superficie de 781,173 hectáreas (Tabla 6). En la Tabla 8, se presentan los tipos de uso del suelo y vegetación, donde destaca por su superficie el bosque de encino con vegetación secundaria, el bosque de pino-encino con vegetación primaria y secundaria.

Tabla 8. Mejor calidad de hábitat para el grupo de las aves Rapaces Diurnas.

USV_10	Calidad 1	Calidad 2
Área agrícola	2,720	409
Área impactada por incendio	143	
Área sin vegetación aparente	65	10
Asentamientos humanos	179	37
Bosque de encino	17,594	17
Bosque de encino_vs	318,990	458
Bosque de pino	93,977	4
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	118,366	11
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	165,935	89
Bosque de pino_vs	51,907	5
Bosque de tascate	19	17
Bosque de tascate_vs	52	31
Bosque mesófilo de montaña_vs	78	
Chaparral	28	5
Cuerpos de agua	120	241
Matorral crasicaule		7
Matorral crasicaule_vs		16
Matorral xerófilo	352	55

Palmar	3	23
Pastizales	10,378	1,482
Plantación forestal		0
Selva baja caducifolia	305	118,624
Selva baja caducifolia_vs	292	128,003
Selva mediana subcaducifolia_vs	4	1,527
	781,509	251,072

5.3. Especie *Ortalis poliocephala*

Chachalaca pálida o chachalaca pacífica (*Ortalis poliocephala*) es una especie de ave galliforme de la familia Cracidae endémica de México. Se distribuye en la vertiente del Océano Pacífico, desde el sur de Sonora hasta el Istmo de Tehuantepec (estado de Chiapas). No se conocen subespecies⁵³. El mapa de CONABIO muestra una distribución hacia la vertiente del Pacífico, abarca gran parte del estado de Oaxaca y de la Región Mixteca.



Tomado de <http://conabio.inaturalist.org/taxa/2089-Ortalis-poliocephala>⁵⁴

Es un ave de 625 a 675 mm, es similar en apariencia a la chachalaca del Golfo (*Ortalis vetula*), pero de mayor tamaño y con la cresta más conspicua; aun así, puede ser difícil la identificación en el campo entre ambas especies, cuya distribución se sobrepone en el Istmo de Tehuantepec. Vive en bosques y matorrales tropicales y subtropicales. Se alimenta de hojas, semillas, insectos y frutos.

⁵³Clements, J. F. 2007. *The Clements Checklist of Birds of the World, 6th Edition*. Cornell University Press. Downloadable from Cornell Lab of Ornithology

⁵⁴<http://conabio.inaturalist.org/taxa/2089-Ortalis-poliocephala>

Esta especie fue seleccionada en los talleres de expertos y se construyó la tabla de sensibilidad **Tabla 9** que fue utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST. El resultado del módulo para esta especie se presenta en la **Figura 9** con los valores de 1 que indica la mejor calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.89 en un tono verde claro.

Tabla 9. Datos de sensibilidad para la especie *Ortalis poliocephala*.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.00	Bosque de encino_vs	3	0.80
Pastizales	24	0.00	Matorral crasicaule	12	1.00
Área agrícola	20	0.00	Matorral crasicaule_vs	13	1.00
Palmar	15	0.90	Matorral xerófilo	14	1.00
Bosque de tascate	8	0.80	Chaparral	11	0.80
Bosque de tascate_vs	9	0.80	Selva baja caducifolia	17	1.00
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	0.20	Selva baja caducifolia_vs	18	1.00
Bosque de pino	4	0.40	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	1.00
Bosque de pino_vs	5	0.40	Área sin vegetación aparente	1	0.00
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	0.60	Cuerpos de agua	23	0.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	0.60	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	0.80	Área impactada por incendio	22	0.00

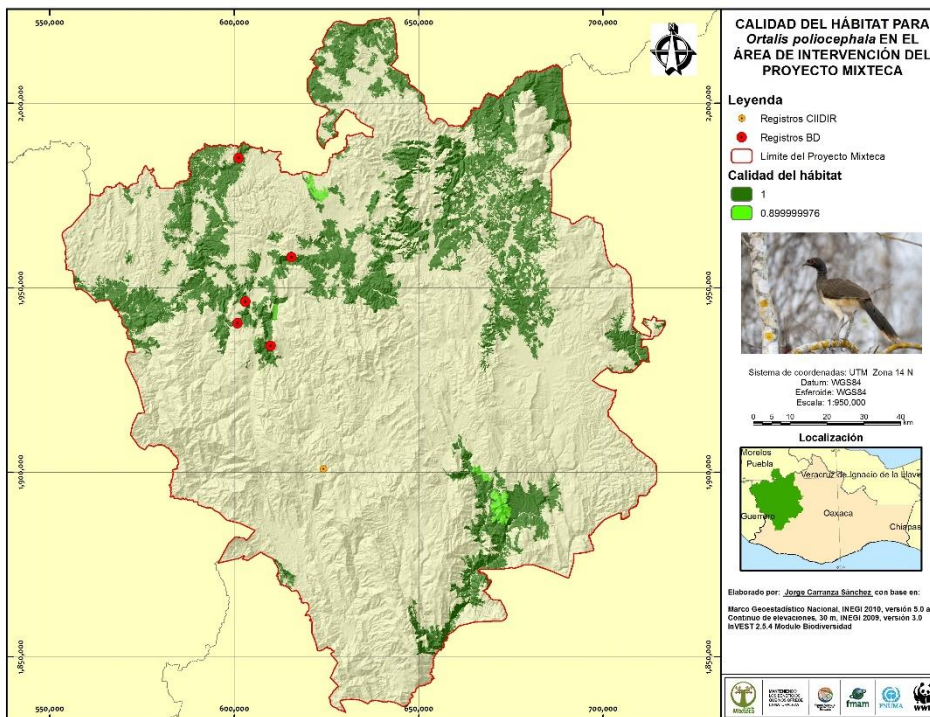


Figura 9. Mejor calidad de hábitat para la especie *Ortalis poliocephala*.

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para esta especie, se encuentra principalmente en la zona Norte del área de intervención del proyecto y una pequeña proporción en la porción Sureste, ocupa una superficie de 339,412 hectáreas (Tabla 6). En la Tabla 10, se presentan los tipos de uso del suelo y vegetación, donde destaca por su superficie la selva baja caducifolia con vegetación primaria y secundaria.

Tabla 10. Mejor calidad de hábitat para la especie *Ortalis poliocephala*.

USV_10	Calidad 1	Calidad 2
Área Agrícola	961	19
Área sin Vegetación Aparente	359	
Asentamientos Humanos	102	
Bosque de Encino	17	
Bosque de Encino_vs	813	4
Bosque de Pino	4	
Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	11	
Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	102	
Bosque de Pino_vs	5	
Bosque de Tascate	19	
Bosque de Tascate_vs	39	
Chaparral	50	
Cuerpos de Agua	286	2
Matorral Crasicaule	1,295	
Matorral Crasicaule_vs	2,280	
Matorral xerófilo	82,988	0
Palmar	23	6,723
Pastizales	1,815	13
Plantación Forestal	194	
Selva Baja Caducifolia	118,628	1
Selva Baja Caducifolia_vs	128,046	23
Selva Mediana Subcaducifolia_vs	1,526	
	339,566	6,786

5.4. Especie *Trogon mexicanus*

Trogon mexicanus, es una especie de ave perteneciente a la familia Trogonidae. Se encuentra en Guatemala, Honduras, y México. En El Salvador, está presente como vagabundo nómada; con una población en la Cordillera Nahuaterique que fue cedida a Honduras en 1992.⁵⁵ El mapa de CONABIO muestra una amplia distribución y abarca una gran parte del estado de Oaxaca y de la Región Mixteca.

⁵⁵Herrera, Néstor; Rivera, Roberto; Ibarra Portillo, Ricardo & Rodríguez, Wilfredo (2006): Nuevos registros para la avifauna de El Salvador. ["New records for the avifauna of El Salvador"]. *Boletín de la Sociedad Antioqueña de Ornitología* 16(2): 1-19.



Tomado de <http://conabio.inaturalist.org/taxa/20777-Trogon-mexicanus>⁵⁶

Su hábitat natural son los bosques húmedos de montaña subtropicales o tropicales. Prefiere el pino y los bosques de pino-encino a una altura de entre 1200 y 3500 metros.⁵⁷ A diferencia de otros más raros trogones, esta especie muestra alguna adaptabilidad a los lugares utilizados para uso humano y se han visto en las plantaciones de café con árboles de sombra adecuados como robles.

Especie seleccionada en los talleres de expertos y se construyó la tabla de sensibilidad **Tabla 11** que fue utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST. El resultado del módulo para esta especie se presenta en la **Figura 10** con los valores de 1 que indica la mejor calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.60 en un tono verde claro.

Tabla 11. Datos de sensibilidad para la especie *Trogon mexicanus*.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.00	Bosque de encino_vs	3	1.00
Pastizales	24	0.00	Matorral crasicaule	12	0.00
Área agrícola	20	0.00	Matorral crasicaule_vs	13	0.00
Palmar	15	0.00	Matorral xerófilo	14	0.00
Bosque de tascate	8	0.60	Chaparral	11	0.00
Bosque de tascate_vs	9	0.60	Selva baja caducifolia	17	0.00
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	1.00	Selva baja caducifolia_vs	18	0.00
Bosque de pino	4	1.00	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	0.40
Bosque de pino_vs	5	1.00	Área sin vegetación aparente	1	0.00
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	1.00	Cuerpos de agua	23	0.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	1.00	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	1.00	Área impactada por incendio	22	0.00

⁵⁶<http://conabio.inaturalist.org/taxa/20777-Trogon-mexicanus>

⁵⁷Howell, Steven N. G. & Webb, Sophie (1995): *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press, Oxford & New York. ISBN 0-19-854012-4

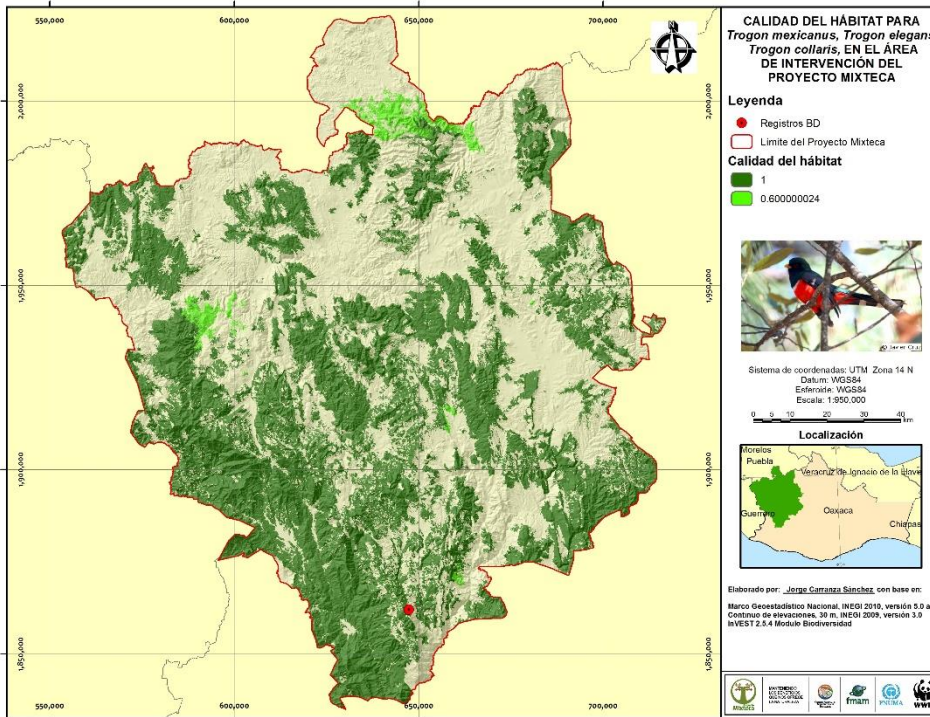


Figura 10. Mejor calidad de hábitat para la especie *Trogon mexicanus*.

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para esta especie, se encuentra principalmente en la zona Sur-Suroeste del área de intervención del proyecto, ocupa una superficie de 790,629 hectáreas (Tabla 6). En la Tabla 12, se presentan los tipos de uso del suelo y vegetación, donde destaca por su superficie el bosque encino con vegetación secundaria y bosque de pino-encino primario y con vegetación secundaria.

Tabla 12. Mejor calidad de hábitat para la especie *Trogon mexicanus*.

USV_10	Calidad 1	Sum_Hectar
Área agrícola	2,775	63
Área impactada por incendio	143	
Área sin vegetación aparente	65	4
Asentamientos humanos	187	10
Bosque de encino	17,593	
Bosque de encino_vs	318,923	55
Bosque de pino	93,980	1
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	118,363	5
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	165,932	14
Bosque de pino_vs	51,904	
Bosque de tascate	19	4,983
Bosque de tascate_vs	52	21,825
Bosque mesófilo de montaña_vs	9,398	
Chaparral	30	0
Cuerpos de agua	120	7
Matorral xerófilo	354	10
Palmar	3	
Pastizales	10,459	355
Plantación forestal		0
Selva baja caducifolia	311	38

Selva baja caducifolia_vs	296	11
Selva mediana subcaducifolia_vs	4	
	790,912	27,382

5.5. Grupo Salamandras

Dentro de los anfibios es importante notar que en el estado de Oaxaca se encuentran ocho de las familias de anuros que se conocen en el mundo y existe también una importante riqueza de cecilias y salamandras⁵⁸. Datos de los géneros de anfibios muestran una menor riqueza comparada con la familias, sin embargo aun cuando en Oaxaca solo se encuentran cinco de los 61 géneros de Salamandras conocidos, estos representan el 8.2% de los géneros en el mundo.

La diversidad de hilidos del norte de Oaxaca es indicativa de la riqueza de muchos otros taxones de anfibios y reptiles, por lo que se considera que la región merece un importante esfuerzo de conservación por parte del gobierno mexicano; a lo largo de los años se ha podido observar la gran destrucción que afecta una proporción sustancial de los bosques mesófilos de montaña y los bosques templados, los que han quedado reducidos a áreas degradadas de vegetación secundaria debido a la roza-tumba-quema, así como a los incendios forestales. Estos factores deben de jugar un papel importante en la disminución de las poblaciones de anfibios en la entidad, por lo que de no llevarse a cabo esfuerzos relevantes de conservación es posible que desaparezcan muchas especies de anfibios en las tierras altas de Oaxaca.

Este fue otro de los grupos seleccionados en los talleres de expertos, para lo cual se construyó la tabla de sensibilidad **Tabla 13** que fue utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST. El resultado del módulo para esta especie se presenta en la **Figura 11** con los valores de 1 que indica la mejor calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.69 en un tono verde claro.

Tabla 13. Datos de sensibilidad para el grupo de Salamandras.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.00	Bosque de encino_vs	3	0.70
Pastizales	24	0.00	Matorral crasicaule	12	0.00
Área agrícola	20	0.00	Matorral crasicaule_vs	13	0.00
Palmar	15	0.00	Matorral xerofilo	14	0.00
Bosque de tascate	8	0.40	Chaparral	11	0.00
Bosque de tascate_vs	9	0.40	Selva baja caducifolia	17	0.00
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	1.00	Selva baja caducifolia_vs	18	0.00
Bosque de pino	4	1.00	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	0.00
Bosque de pino_vs	5	1.00	Área sin vegetación aparente	1	0.00
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	1.00	Cuerpos de agua	23	0.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	1.00	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	0.70	Área impactada por incendio	22	0.00

⁵⁸García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez D. y Briones-Salas, M. 2004 *Biodiversidad de Oaxaca. México*.

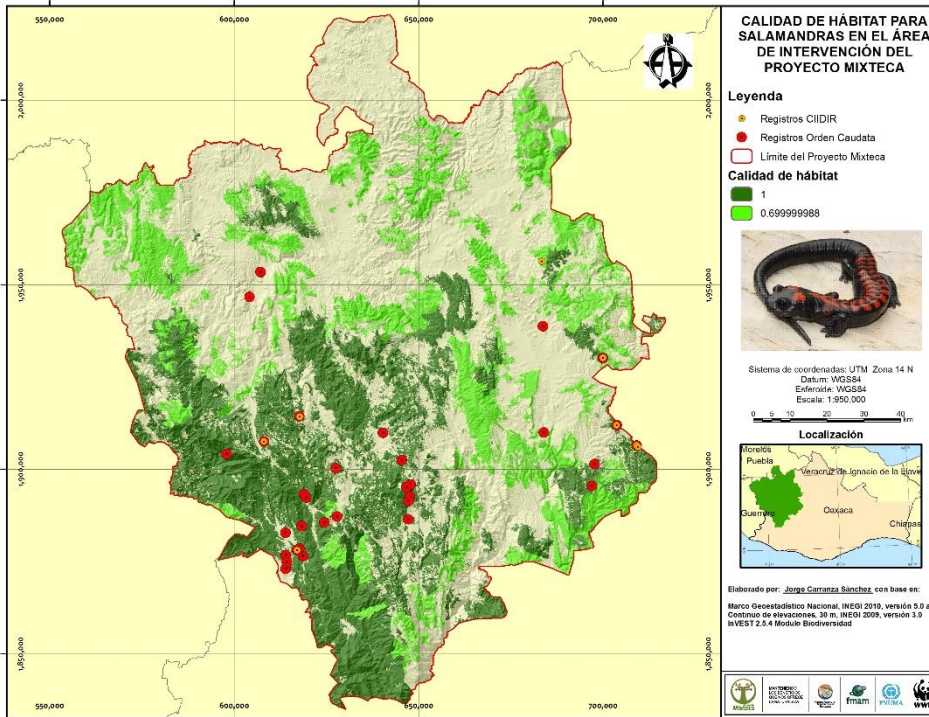


Figura 11. Mejor calidad de hábitat para el grupo de Salamandras.

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para este grupo, se encuentra principalmente en la zona Sur-Suroeste del área de intervención del proyecto, ocupa una superficie de 446,511 hectáreas (Tabla 6). En la Tabla 14, se presentan los tipos de uso del suelo y vegetación, donde destaca por su superficie el bosque de pino-encino primario y con vegetación secundaria.

Tabla 14. Mejor calidad de hábitat para el grupo de Salamandras.

USV_10	Calidad 1	Calidad 2
Área agrícola	2,041	729
Área impactada por incendio	84	60
Área sin vegetación aparente	48	17
Asentamientos humanos	154	32
Bosque de encino	17	17,577
Bosque de encino_vs	275	318,653
Bosque de pino	93,934	48
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	118,267	97
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	165,732	203
Bosque de pino_vs	51,898	6

Bosque de tascate	10	9
Bosque de tascate_vs	11	41
Bosque mesófilo de montaña_vs	9,390	8
Chaparral	4	25
Cuerpos de agua	70	49
Matorral xerófilo	12	341
Palmar		3
Pastizales	4,653	5,797
Selva baja caducifolia	14	296
Selva baja caducifolia_vs	99	195
Selva mediana subcaducifolia_vs	4	
	446,716	344,186

5.6. Genero Hyla

Hyla es un género de anfibios anuros de la familia Hylidae. La palabra *Hyla* proviene de *árbol*, ya que estas ranas son verdaderamente arborícolas. Presentan una amplia distribución, que incluye Europa, Asia, África y América. Indudablemente, la herpetofauna de Oaxaca es la de mayor riqueza en relación con el resto de las entidades federativas del país y la que presenta el mayor número y proporción de especies endémicas. Oaxaca quizá sea una de las áreas geográficas de mayor riqueza herpetofaunística en el mundo. Casas-Andreu *et al.*, (1996) en García-Mendoza, 2004⁵⁹ señala la existencia de especies nuevas al describir al género *Hyla* y *Bufo* en Oaxaca, así como la gran posibilidad de encontrar muchas más, particularmente en los bosques mesófilos de montaña del estado.

Campell (1999) y Duellman (1999) en García-Mendoza, 2004⁶⁰ indican que la Sierra Madre Oriental, especialmente en la porción sur (sierra de Oaxaca), es una de las regiones con mayor número de endemismos en especies de anfibios del mundo. No obstante, al hablar sobre conservación consideran que, como otras regiones de Centroamérica, se presenta una compleja situación que hace difícil la conservación del ambiente y la anfibiofauna.

Este grupo fue seleccionado también en los talleres de expertos, para lo cual se construyó la tabla de sensibilidad **Tabla 15** que fue utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST. El resultado del módulo para esta especie se presenta en la **Figura 12** con los valores de 1 que indica la mejor calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.69 en un tono verde claro.

Tabla 15. Datos de sensibilidad para el grupo del género *Hyla*.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.00	Bosque de encino_vs	3	0.60
Pastizales	24	0.00	Matorral crasicaule	12	0.00
Área agrícola	20	0.00	Matorral crasicaule_vs	13	0.00
Palmar	15	0.00	Matorral xerófilo	14	0.00
Bosque de tascate	8	0.60	Chaparral	11	0.40
Bosque de tascate_vs	9	0.60	Selva baja caducifolia	17	0.40
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	1.00	Selva baja caducifolia_vs	18	0.40
Bosque de pino	4	0.70	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	0.50
Bosque de pino_vs	5	0.70	Área sin vegetación aparente	1	0.00
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	0.65	Cuerpos de agua	23	0.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	0.65	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	0.60	Área impactada por incendio	22	0.00

⁵⁹Idem 53.

⁶⁰Idem 53.

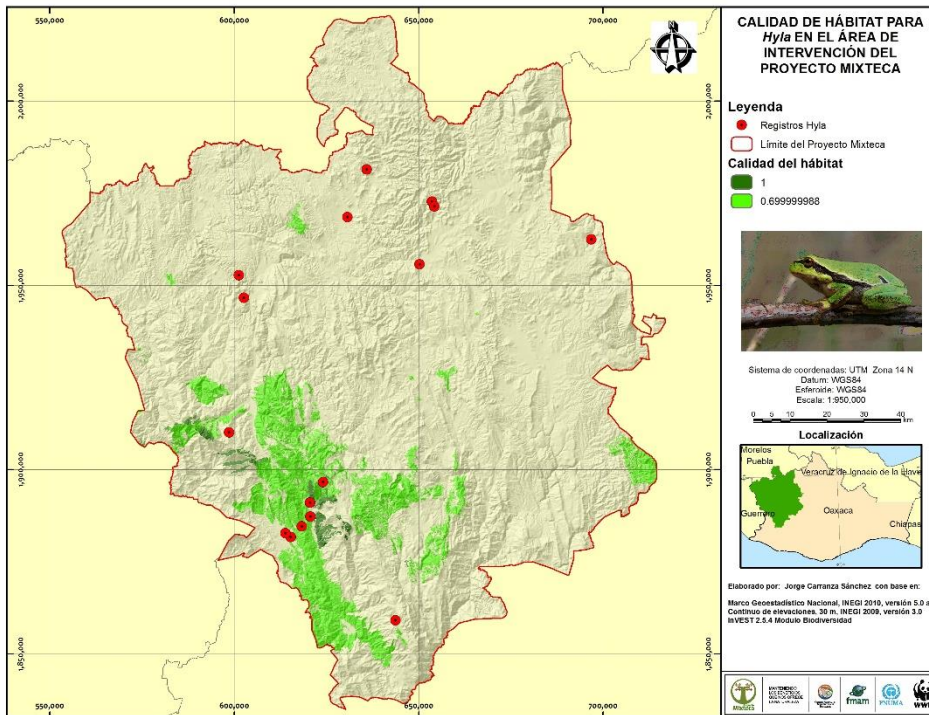


Figura 12. Mejor calidad de hábitat para el grupo del genero Hyla.

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para este grupo, se encuentra principalmente en la zona Sur-Suroeste del área de intervención del proyecto, ocupa una superficie de solo 9,459 hectáreas, que corresponde a la superficie de bosque mesófilo de montaña, mientras que el siguiente nivel (0.69) ocupa una superficie de 148,472 hectáreas (Tabla 6). En la Tabla 16, se presentan los tipos de uso del suelo y vegetación, donde destaca por su superficie el bosque de pino con vegetación primaria y secundaria.

Tabla 16. Mejor calidad de hábitat para el grupo del genero Hyla.

USV_10	Calidad 1	Calidad 2
Área Agrícola	31	762
Área sin Vegetación Aparente	0	8
Asentamientos Humanos	6	65
Bosque de Encino	0	0
Bosque de Encino_vs	8	54
Bosque de Pino	16	93,856
Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	22	24
Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	24	90
Bosque de Pino_vs	4	51,845
Bosque de Tascate_vs		1
Bosque Mesófilo de Montaña_vs	9,320	21
Cuerpos de Agua	0	40
Pastizales	30	1,695
Selva Baja Caducifolia_vs		7
Selva Mediana Subcaducifolia_vs		4
	9,461	148,472

5.7. Grupo de Iguanas

En algunos estados de la república la iguana es esencial como parte de la herencia e identidad local. En Oaxaca le recuerdan a uno: “si comes iguana, serás siempre un oaxaqueño”. Pero algo les pasa a las iguanas de México: están desapareciendo a una velocidad alarmante, víctimas de catástrofes del medio ambiente y de la cacería excesiva. Desde 1990 dos de las quince especies de Iguanadae, la iguana verde (*Iguana iguana*) y la iguana de cola negra o cola de espinas (*Ctenosaura pectinata*) han sido el foco de atención del programa nacional de conservación.

La Iguana Negra de cola espinosa, es nativa del oeste de México, desde Sinaloa hasta Oaxaca. La gama nativa de la iguana verde se extiende de México a Brasil central, Paraguay, Bolivia e Islas del Caribe.

La Iguana Negra es una especie endémica de México, su hábitat natural se encuentra en las regiones de la selva mediana subperinifolia y selva baja caducifolia, caracterizadas por un clima Am (clima de bosque tropical con un periodo de sequía relativa) y Aw (clima de sabana con un periodo de sequía en invierno). Dentro de estos climas la Iguana Negra se desarrolla en regiones tropicales y subtropicales de 0 a 1,000 msnm y temperaturas con un rango de 20 a 26 °C. Se le puede encontrar desde el norte de Sinaloa hasta el Istmo de Tehuantepec, en regiones diversas como el sureste de Oaxaca, en las Islas Isabel y Tres Marías en el Océano Pacífico y en los estados de Durango, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Morelos, Guerrero, Puebla, Oaxaca, Zacatecas y Chiapas.

Son animales fundamentalmente arborícolas, es decir, que en los árboles pasan la mayor parte del tiempo, y lo hacen gracias a sus fuertes garras y su larga cola, que les sirve para aferrarse bien a los troncos y tener buen equilibrio. Son de sangre fría (ectopoiquilotermas), es decir, que el calor necesario para que su metabolismo trabaje adecuadamente lo reciben del medio y no lo producen ellas (como los mamíferos), por lo que con los primeros rayos de Sol, suben a las ramas más altas para alcanzar la temperatura óptima "operativa", digamos unos 28-35 °C.

Las iguanas han sido siempre cazadas por los nativos de la zona (sobre todo el día de Pascua, en la que es el manjar por excelencia), aunque durante los últimos años han sido perseguidas con fines comerciales mediante perros adiestrados. Por esto y debido al renombre de la iguana verde en el comercio del animal doméstico; se enumeraron en el Apéndice II del CITES, lo cual significa que no es especie puesta en peligro de extinción, pero “su comercio debe ser controlado para no dañar la especie en el futuro”.

Especie seleccionada en los talleres de expertos y se construyó la tabla de sensibilidad **Tabla 17** que fue utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST. El resultado del módulo para esta especie se presenta en la **Figura 13** con los valores de 1 que indica la mejor calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.40 en un tono verde claro.

Tabla 17. Datos de sensibilidad para el grupo de las Iguanas.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.00	Bosque de encino_vs	3	0.00
Pastizales	24	0.00	Matorral crasicaule	12	0.00
Área agrícola	20	0.00	Matorral crasicaule_vs	13	0.00
Palmar	15	0.40	Matorral xerófilo	14	0.00
Bosque de tascate	8	0.00	Chaparral	11	0.00
Bosque de tascate_vs	9	0.00	Selva baja caducifolia	17	1.00
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	0.00	Selva baja caducifolia_vs	18	1.00
Bosque de pino	4	0.00	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	1.00
Bosque de pino_vs	5	0.00	Área sin vegetación aparente	1	0.00
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	0.00	Cuerpos de agua	23	0.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	0.00	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	0.00	Área impactada por incendio	22	0.00

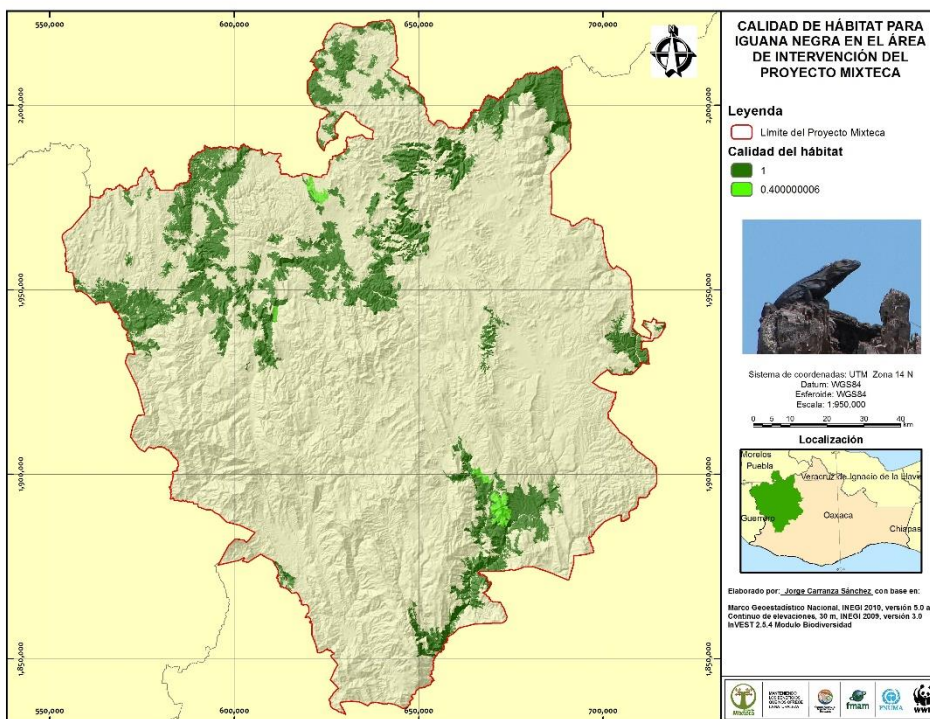


Figura 13. Mejor calidad de hábitat para el grupo de las Iguanas.

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para este grupo, se encuentra distribuido en toda el área de intervención del proyecto, ocupa una superficie de 250,980 hectáreas (Tabla 6). En la Tabla 18, se presentan los tipos de uso del suelo y vegetación, donde destaca la selva baja caducifolia primaria y con vegetación secundaria.

Tabla 18. Mejor calidad de hábitat para el grupo de las Iguanas.

USV_10	Calidad 1	Calidad 2
Área agrícola	416	20
Área sin vegetación aparente	10	
Asentamientos humanos	38	
Bosque de encino	18	
Bosque de encino_vs	468	4
Bosque de pino	4	
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	12	
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	90	
Bosque de pino_vs	5	
Bosque de tascate	17	
Bosque de tascate_vs	32	
Chaparral	6	
Cuerpos de agua	239	2
Matorral crasicaule	7	
Matorral crasicaule_vs	16	
Matorral xerófilo	56	
Palmar	23	6,722
Pastizales	1,507	13
Plantación forestal	0	
Selva baja caducifolia	118,593	1
Selva baja caducifolia_vs	127,963	23
Selva mediana subcaducifolia_vs	1,526	
	251,047	6,786

5.8. Grupo Felinos

Los grandes carnívoros, como el jaguar (*Panthera onca*) y el puma (*Puma concolor*) se encuentran junto con otros felinos silvestres dentro del grupo de mamíferos más amenazados del mundo. Las principales causas de la declinación de las poblaciones de grandes carnívoros son de carácter humano, la destrucción del hábitat, la cacería, la captura ilegal de los individuos y de sus presas son entre otras las más importantes. Por ser los felinos los últimos eslabones de la cadena trófica no mantienen altas densidades dentro de las comunidades y requieren de grandes áreas para desarrollar sus actividades básicas.

Los grandes carnívoros son importantes indicadores de la función y productividad de los ecosistemas (Clarck W.T. et al., 1996 en Nuñez y Miller, 1997⁶¹), son vulnerables a los cambios

⁶¹Nuñez, R. y B. Miller. 1997. Ecología de Jaguares y Pumas en el Oeste de México. CONABIO Proyecto J090.

ambientales y a la explotación, su protección conlleva a la protección del resto de las especies de la cadena trófica, así mismo son fuente de información para la realización de proyectos de conservación a largo plazo.

En Oaxaca son escasos los registros que se conocen del jaguar (*Panthera onca*), la mayoría de los registros actuales se concentran en áreas montañosas, principalmente en zonas poco accesibles y alejadas de grandes poblaciones, principalmente en la Sierra Madre del Sur de Oaxaca y Chiapas y Sierra Madre de Oaxaca; sin embargo, esta última presenta una alta tasa de deforestación de bosques tropicales y templados maduros (3% promedio anual)⁶².

El jaguar se registró en 15 asociaciones vegetales, de las cuales el bosque mesófilo de montaña presentó el mayor porcentaje (19%), seguido de la asociación bosque tropical perennifolio y bosque mesófilo de montaña (16%), cabe destacar que 4 registros se encontraron en áreas agrícolas (13%)⁶³

El grupo de los Felinos fue seleccionado en los talleres de expertos y se construyó la tabla de sensibilidad **Tabla 19** que fue utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST. El resultado del módulo para esta especie se presenta en la **Figura 14** con los valores de 1 que indica la mejor calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.80 en un tono verde claro.

Tabla 19. Datos de sensibilidad para el grupo de los Felinos.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.00	Bosque de encino_vs	3	0.80
Pastizales	24	0.20	Matorral crasicaule	12	0.60
Área agrícola	20	0.20	Matorral crasicaule_vs	13	0.60
Palmar	15	0.80	Matorral xerófilo	14	0.60
Bosque de tascate	8	0.20	Chaparral	11	0.60
Bosque de tascate_vs	9	0.20	Selva baja caducifolia	17	1.00
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	0.80	Selva baja caducifolia_vs	18	1.00
Bosque de pino	4	0.80	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	0.80
Bosque de pino_vs	5	0.80	Área sin vegetación aparente	1	0.50
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	0.80	Cuerpos de agua	23	0.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	0.80	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	0.80	Área impactada por incendio	22	0.00

⁶²Briones-Salas, M., Lavariega, M. C. e I. Lira-Torres 2012. Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. *Rev. Mex. Biodiv.* Vol. 83 No 1 México. Marzo 2012.

⁶³Idem 57.

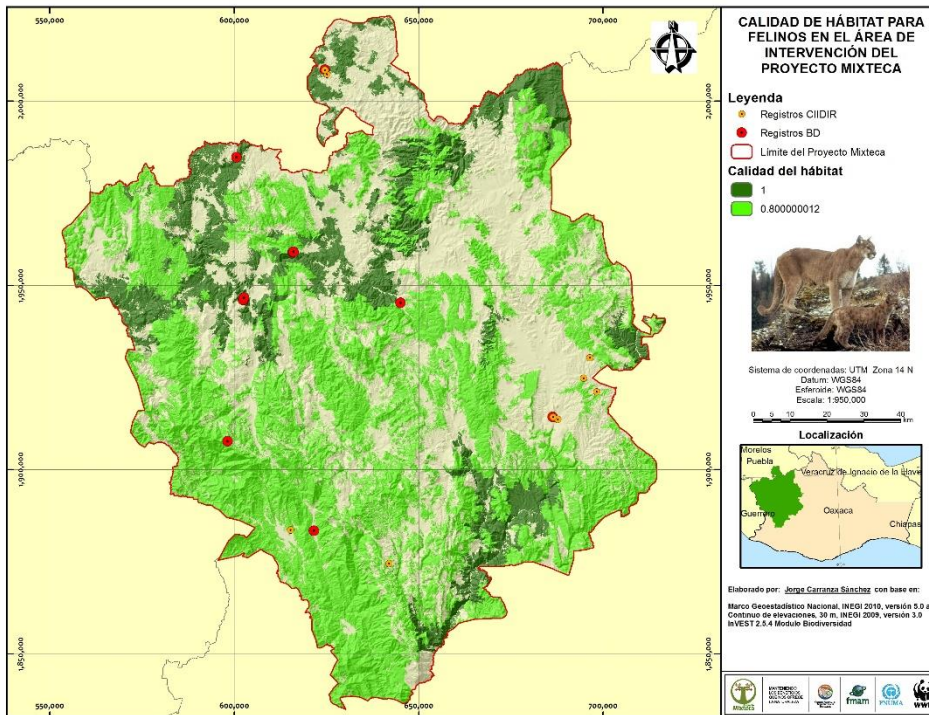


Figura 14. Mejor calidad de hábitat para el grupo de Felinos.

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para este grupo, se encuentra distribuido principalmente en la porción Norte del área de intervención del proyecto, ocupa una superficie de 249,408 hectáreas (Tabla 6). En la Tabla 20, se presentan los tipos de uso del suelo y vegetación, donde destaca la selva baja caducifolia primaria y con vegetación secundaria.

Tabla 20. Mejor calidad de hábitat para el grupo de los Felinos.

USV_10	Calidad 1	Calidad 2
Área agrícola	405	2795
Área impactada por incendio		143
Área sin vegetación aparente	9	66
Asentamientos humanos	37	182
Bosque de encino	17	17593
Bosque de encino_vs	458	318956
Bosque de pino	4	93988
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	11	118368
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	89	165943
Bosque de pino_vs	2	51911
Bosque de tascate	17	19
Bosque de tascate_vs	32	52
Bosque mesófilo de montaña_vs		9398
Chaparral	6	30
Cuerpos de agua	242	124
Matorral crasicaule	7	
Matorral crasicaule_vs	16	
Matorral xerófilo	56	353
Palmar	23	6726
Pastizales	1,461	10492

Plantación forestal	0	
Selva Baja caducifolia	118,611	306
Selva Baja caducifolia_vs	127,991	315
Selva Mediana subcaducifolia_vs		1531
	249,495	799,293

5.8. Especie *Abronia mixteca*

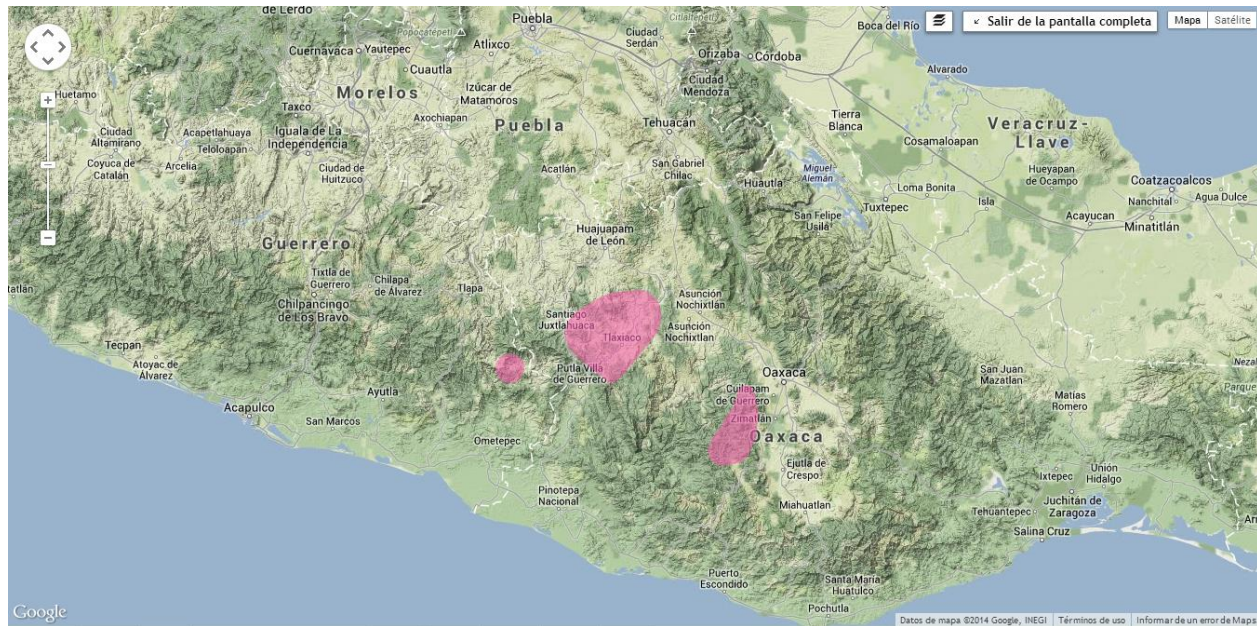
Lagarto alicante mixteco. No existe ningún antecedente sobre el estado de la especie. *Abronia mixteca* se conocía hasta hace poco tan solo en regiones aledañas a su localidad tipo, los Tejocotes, Oaxaca. No obstante, en años recientes un ejemplar de *Abronia mixteca* fue recolectado en una localidad ubicada en el estado de Guerrero (Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM).

Lagartija de cuerpo alargado, cola prensil y patas cortas, perteneciente al subgénero *Abronia*. Se distingue de las demás especies de su género por poseer la siguiente combinación de caracteres de escamación y coloración: superciliar anterior en contacto con la cantoloreal; frontonasal de tamaño grande; cuatro escamas en la primera hilera de temporales; antepenúltima supralabial en contacto con la órbita; un mínimo de seis nucales; 28-31 hileras transversales de dorsales; coloración dorsal en adultos variable, de amarillo verdoso a café claro; seis a ocho bandas transversales oscuras no bien definidas en la región dorsal, las cuales están alineadas a lo largo del tronco; escamas en las labiales, cuello y párpados de color amarillo claro. La máxima longitud hocico-cloaca conocida para un ejemplar de esta especie es de 145 mm (registro del Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM; MZFC)^{64,65}.

Abronia mixteca se conoce tan solo para su localidad tipo y regiones aledañas ubicadas al norte de la ciudad de Oaxaca, y en una localidad ubicada al este del estado de Guerrero. Se desconoce el rango de distribución histórica para la especie.

⁶⁴Zaldívar Riverón, A., Schmidt, W. y Heimes, P. 2002. Ficha técnica de *Abronia mixteca*. En: Zaldívar Riverón, A. (compilador). Revisión de las categorías en el proyecto de norma oficial mexicana (PROY-NOM-059-2000) para las especies de lagartijas de la familia Anguidae (Reptilia). Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W026. México, D.F.

⁶⁵© CONABIO, algunos derechos reservados.



Tomado de <http://conabio.inaturalist.org/taxa/32006-Abronia-mixteca>⁶⁶

Al igual que los demás miembros de su género, *Abronia mixteca* es de hábitos diurnos y arborícolas. *Abronia mixteca* habita en climas templados húmedos en altitudes que van de los 2134 a los 2400 msnm. Las zonas donde habita esta especie se ubican en el estado de Oaxaca, actualmente se encuentran fuertemente alteradas debido a la tala inmoderada. Por otra parte, debido a la inaccesibilidad de la localidad conocida para *Abronia mixteca* en el estado de Guerrero, se desconoce la situación actual del hábitat de esta especie en dicha región.

Abronia mixteca tiene un rango de distribución restringido, lo cual aunado con su susceptibilidad a la alteración de su medio debido a sus hábitos preferentemente arborícolas hace que esta especie sea considerada como prioritaria para la conservación.

Esta especie fue seleccionada en los talleres de expertos y se construyó la tabla de sensibilidad **Tabla 21** que fue utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST. El resultado del módulo para esta especie se presenta en la **Figura 15** con los valores de 1 que indica la mejor calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.89 en un tono verde claro.

Tabla 21. Datos de sensibilidad para la especie *Abronia mixteca*.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.00	Bosque de encino_vs	3	0.90
Pastizales	24	0.00	Matorral crasicaule	12	0.00
Área agrícola	20	0.00	Matorral crasicaule_vs	13	0.00
Palmar	15	0.00	Matorral xerófilo	14	0.00
Bosque de tascate	8	0.20	Chaparral	11	0.00

⁶⁶<http://conabio.inaturalist.org/taxa/32006-Abronia-mixteca>

Bosque de tascate_vs	9	0.10	Selva baja caducifolia	17	0.00
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	0.70	Selva baja caducifolia_vs	18	0.00
Bosque de pino	4	0.80	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	0.00
Bosque de pino_vs	5	0.80	Área sin vegetación aparente	1	0.00
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	0.90	Cuerpos de agua	23	0.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	0.90	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	1.00	Área impactada por incendio	22	0.00

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para este grupo, se encuentra distribuido principalmente en toda el área de intervención del proyecto, ocupa una superficie de 18,051 hectáreas (Tabla 6), principalmente de bosque de encino, mientras que el siguiente nivel (0.89) ocupa una superficie de 614,908 hectáreas, siendo los tipos de vegetación con mayor superficie el bosque de encino, así como pino-encino primario y con vegetación secundaria (Tabla 22).

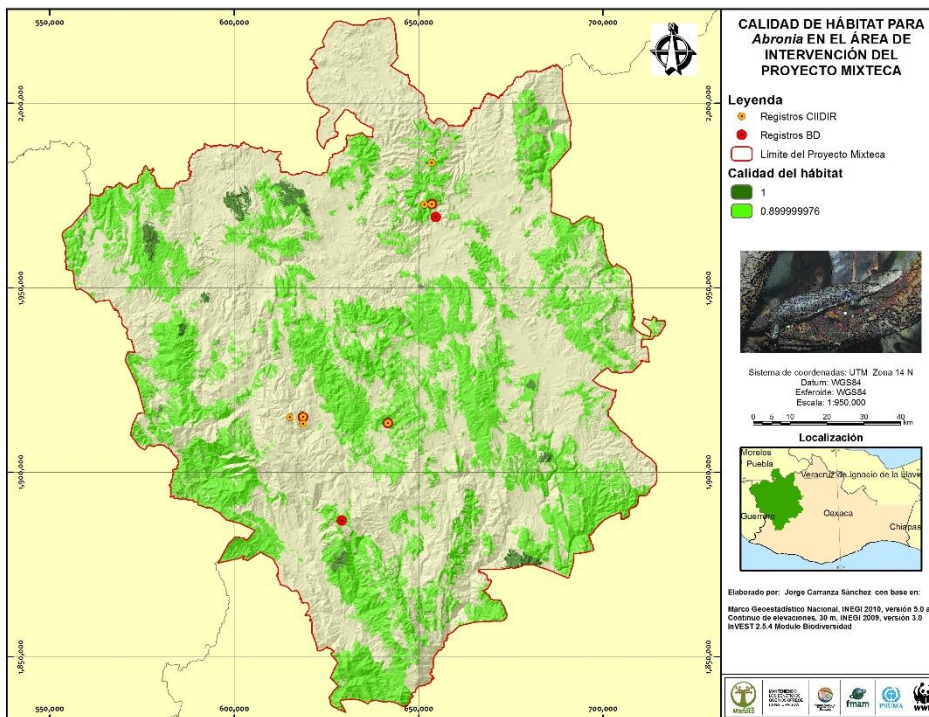


Figura 15. Mejor calidad de hábitat para la especie *Abronia mixteca*.

Tabla 22. Mejor calidad de hábitat para la especie *Abronia mixteca*.

USV_10	Calidad 1	Calidad 2
--------	-----------	-----------

Área agrícola	20	1,958
Área impactada por incendio		143
Área sin vegetación aparente		57
Asentamientos humanos	1	114
Bosque de encino	17,535	58
Bosque de encino_vs	353	318,504
Bosque de pino	0	115
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	118,310
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	9	165,807
Bosque de pino_vs		55
Bosque de tascate		19
Bosque de tascate_vs		52
Bosque mesófilo de montaña_vs	0	60
Chaparral	2	27
Cuerpos de agua	11	65
Matorral xerófilo		354
Palmar		3
Pastizales	105	8,626
Selva baja caducifolia	10	300
Selva baja caducifolia_vs	8	280
Selva mediana subcaducifolia_vs		0
	18,061	614,908

5.9. Grupo Murciélagos nectarívoros

Las selvas y bosques tropicales albergan una enorme diversidad de organismos que de una u otra manera interactúan. Por lo tanto, las interacciones planta-animal son fundamentales para el mantenimiento de los ecosistemas boscosos. Tanto es así que al menos un 80% de las plantas dependen de insectos y vertebrados para su reproducción y dispersión. En los casos articulares de la dispersión de semillas y la polinización, la interacción entre animales frugívoros y nectarívoros y plantas es un factor crucial para el mantenimiento de la estructura y diversidad del bosque (Howe y Smallwood, 1982 en Bracamonte, 2011⁶⁷).

Para la mayor parte de la gente es difícil imaginar que animales tan pequeños y muchas veces despreciados como los murciélagos puedan tener importancia en los ecosistemas. Sin embargo, estos animales tienen características únicas que los colocan en una posición crucial en cuanto al funcionamiento de los bosques. En términos ecológicos, si bien los murciélagos son el segundo grupo de mamíferos en número de especies luego de los roedores, su diversidad dietaria no tiene igual. En ambientes tropicales la dieta de las especies de una familia (Phyllostomidae) abarca desde frutos, polen y néctar, insectos, pequeños vertebrados (como lagartos, aves, roedores, peces y otros murciélagos), hasta sangre.

Dentro de la misma familia, Phyllostomidae, se encuentra un grupo de especies que tienen una importante función en las selvas y bosques: los nectarívoros. En el proceso de alimentarse de néctar y polen estos murciélagos se convierten en importantes polinizadores de las plantas que visitan. El gremio de los nectarívoros es un grupo reducido de cerca de 40 especies que agrupan a aquellas que se alimentan exclusivamente de polen y néctar y otras que incorporan además otros alimentos.

⁶⁷Bracamonte, C. 2011. El rol de los murciélagos en el mantenimiento de los bosques. *Temas BGNoa* Vol. 1, Núm. 1, Abril 2011

La interdependencia hace más vulnerables a los murciélagos nectarívoros que otros murciélagos a procesos de extinción. La dieta especializada que poseen los vuelve particularmente sensibles a la pérdida del hábitat a causa de la desaparición de las plantas de las que se alimentan. Además, muchas de estas especies son raras, sus poblaciones son reducidas o tienen distribuciones restringidas. De igual manera, las plantas que se reproducen gracias a la ayuda de los murciélagos nectarívoros también son susceptibles de desaparecer si estos desaparecen primero.

Los murciélagos enfrentan toda una serie de amenazas a nivel mundial. Por un lado, los cambios climáticos alteran las temperaturas adecuadas para aquellos que hibernan, los vuelve más vulnerables a inundaciones, sequías, frío y calor extremo. Por otro lado, la transformación, la fragmentación y/o pérdida de hábitat generadas por la urbanización y la intensificación de la agricultura causan ruidos, pérdida de refugios, alteración de la calidad del agua y potenciales intoxicaciones por pesticidas. Esto ha llevado a una disminución notable en las poblaciones a nivel mundial y a que un 20% de las especies estén catalogadas bajo alguna categoría de amenaza.

Este grupo también fue seleccionado en los talleres de expertos y se construyó la tabla de sensibilidad [Tabla 23](#) que fue utilizada como insumo en el Modulo de Biodiversidad de InVEST. El resultado del módulo para esta especie se presenta en la [Figura 16](#) con los valores de 1 que indica la mejor calidad del hábitat representado por el tono verde oscuro, así como el siguiente valor y 0.60 en un tono verde claro.

Tabla 23. Datos de sensibilidad para el grupo de los murciélagos nectarívoros.

NAME	LULC	HABITAT	NAME	LULC	HABITAT
Asentamientos humanos	21	0.10	Bosque de encino_vs	3	1.00
Pastizales	24	0.00	Matorral crasicaule	12	1.00
Área agrícola	20	0.33	Matorral crasicaule_vs	13	1.00
Palmar	15	1.00	Matorral xerófilo	14	1.00
Bosque de tascate	8	1.00	Chaparral	11	1.00
Bosque de tascate_vs	9	1.00	Selva baja caducifolia	17	1.00
Bosque mesófilo de montaña_vs	10	0.00	Selva baja caducifolia_vs	18	1.00
Bosque de pino	4	0.33	Selva mediana subcaducifolia_vs	19	1.00
Bosque de pino_vs	5	0.33	Área sin vegetación aparente	1	0.00
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	6	0.60	Cuerpos de agua	23	0.00
Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)	7	0.60	Plantación forestal	16	0.00
Bosque de encino	2	1.00	Área impactada por incendio	22	0.00

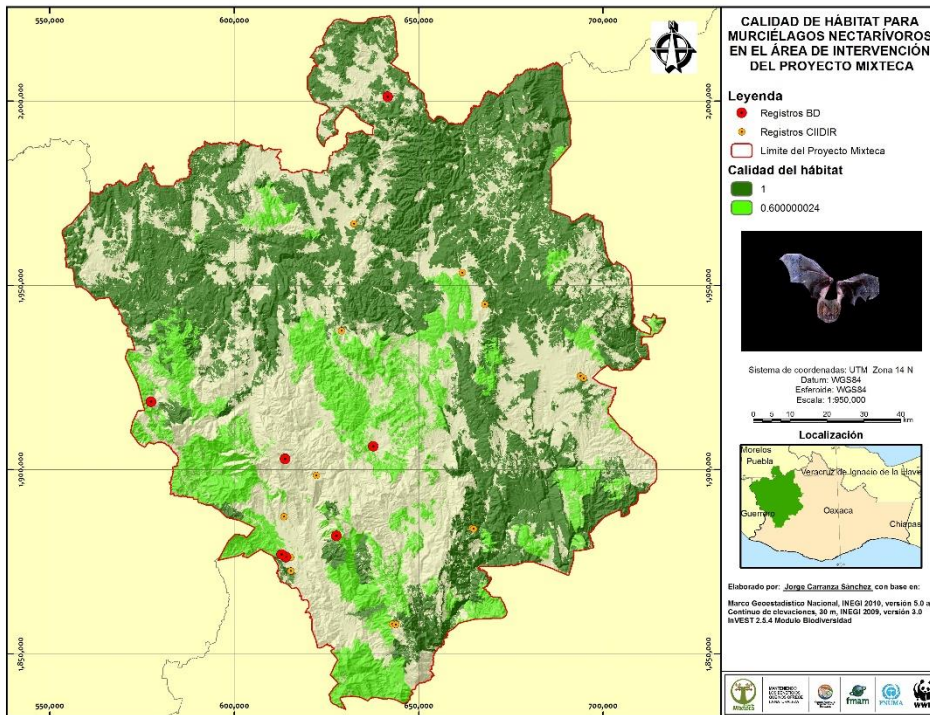


Figura 16. Calidad de hábitat para el grupo de murciélagos nectarívoros.

La mejor calidad del hábitat con un valor de 1 para este grupo, se encuentra distribuido principalmente en toda el área de intervención del proyecto, ocupa una superficie de 729,347 hectáreas (Tabla 6). En la Tabla 24, se presentan los tipos de uso del suelo y vegetación, donde destaca los bosques de encino, así como la selva baja caducifolia primaria y con vegetación secundaria.

Tabla 24. Mejor calidad de hábitat para el grupo de los murciélagos nectarívoros.

USV_10	Sum_Hectar	Sum_Hectar
Área Agrícola	1,802	1,236
Área Impactada por Incendio	60	84
Área sin Vegetación Aparente	379	40
Asentamientos Humanos	143	82
Bosque de Encino	17,598	16
Bosque de Encino_vs	319,619	214
Bosque de Pino	53	64
Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	115	118,245
Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	321	165,646
Bosque de Pino_vs	11	48
Bosque de Tascate	5,013	10
Bosque de Tascate_vs	21,911	10
Bosque Mesófilo de Montana_vs	8	50
Chaparral	11,562	3
Cuerpos de Agua	351	29
Matorral Crasicaule	1,295	
Matorral Crasicaule_vs	2,281	
Matorral xerófilo	83,389	12
Palmar	6,750	
Pastizales	8,004	2,910
Plantación Forestal	194	14
Selva Baja Caducifolia	118,974	91

Selva Baja Caducifolia_vs	128,290	0
Selva Mediana Subcaducifolia_vs	1,526	
	729,650	288,803

6. Conclusiones.

Hábitat se define como: los recursos y condiciones presentes en un área que puede ser ocupada —incluye supervivencia y reproducción— por un organismo dado (Hall *et al.*, 1997⁶⁸). Calidad de hábitat se refiere a la habilidad del medio para proveer condiciones apropiadas para la persistencia individual o la población, y es considerado una variable continua en el modelo, se expresa en niveles bajo, medio y alto, con base en la disponibilidad de supervivencia, reproducción y persistencia de la población respectivamente (Hall *et al.*, 1997⁶⁹).

Hay que considerar que los datos específicos de las relaciones de especies grupo-hábitat, la salida del modelo se refiere a la extensión y la calidad solo para la especie o el grupo modelado. Por lo anterior la mejor calidad de hábitat ocupa diferentes tipos de vegetación, algunos de ellos pueden tener coincidencia. Para lo cual se combinaron los datos de mejor calidad de hábitat obtenidos para los grupos seleccionados a fin de determinar aquellas áreas donde se presenta una mayor concordancia.

De las nueve especies y grupos seleccionados se obtuvieron 91 combinaciones de los cuales en una combinación coinciden 6 especies y/o grupos aunque de manera aislada, mientras que en 13 combinaciones coinciden 5 especies y/o grupos, en 23 combinaciones hay una coincidencia de 4 especies y/o grupos, 26 combinaciones coinciden 3 especies y/o grupos, 18 combinaciones coinciden 2 especies y/o grupos y 18 combinaciones con solo una especie y/o grupos.

A fin obtener las áreas de mejor calidad de hábitat para las especies y grupos seleccionados se generó un mapa que se muestra en la Figura 17, en este se puede observar que se presentan dos zonas importantes con base en las especies y seleccionados. El primero donde concuerdan 5 especies y/o grupos corresponde principalmente a hábitats ocupados por los bosques, mientras que el segundo en donde concuerdan 4 especies y/o grupos se presenta principalmente en las zonas de selvas.

⁶⁸Hall, L.S., Krausman, P.R. and Morrison, M.L. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin* 25(1):173-182.

⁶⁹*Idem* 18.

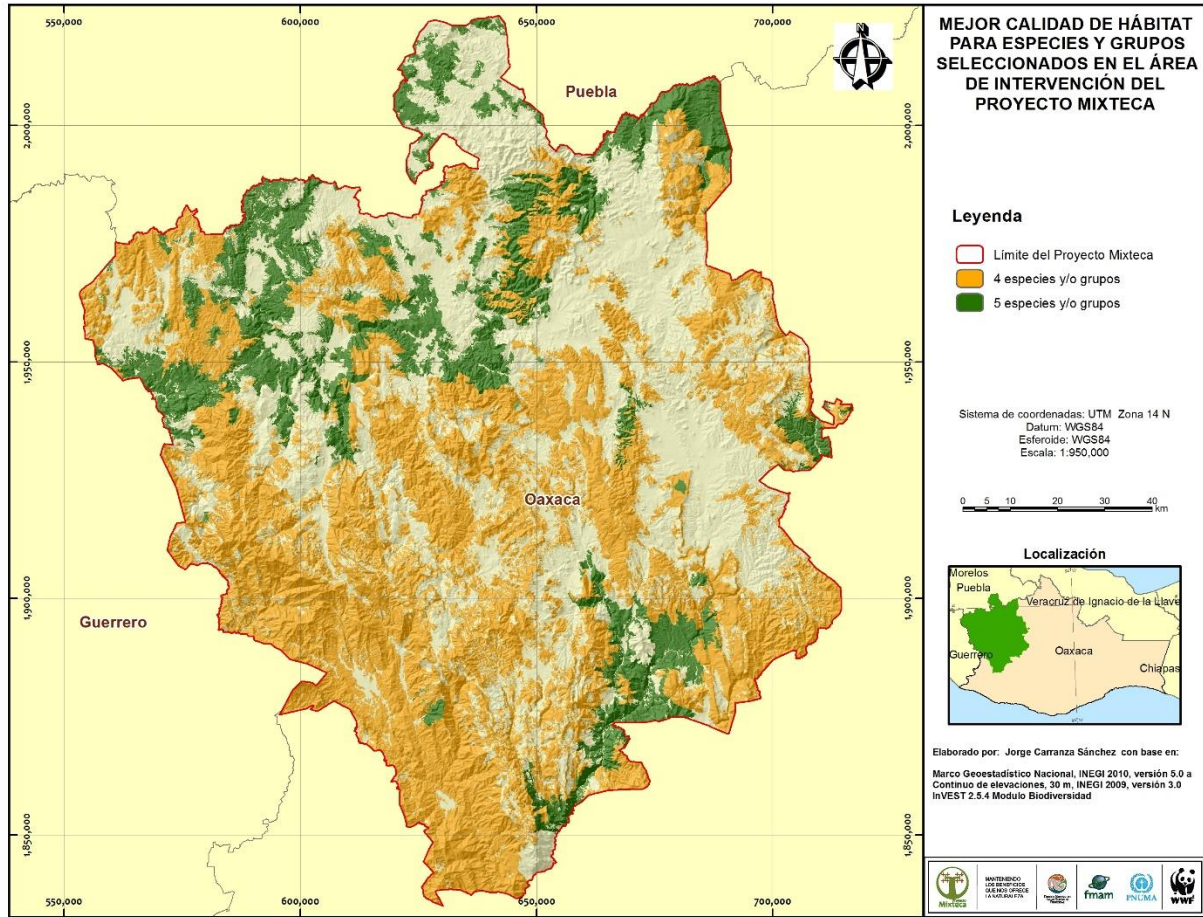


Figura 17. Combinación de la mejor calidad de hábitat de las especies y grupos seleccionados.

7. Referencias bibliográficas

- Aguilera-Taylor, I., A. Corzo-Dominguez, G. Muñoz-Castro y L. López-Hoffman. 2007. Servicios ambientales de una palma endémica: importancia para la población rural. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 75-84.
- Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, M. J. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, D.F. *Gaceta Ecológica* **84-85**:53-64.
- Ando, A, J. Camm, S. Polasky, and A. Solow. 1998. Species distributions, land values, and efficient conservation. *Science* **279**:2126-2128.
- Balvanera, P., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, T. H. Ricketts, S. A. Bailey, S. Kark, C. Kremen and H. Pereira. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* **291**: 2047
- Balvanera, P. y Cotler, H. 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica número especial 84-85* (2007) 8-15 Instituto Nacional de Ecología, México.
- Bilstein, K., W. Schelski, J. Zalles y S. Ellis. 1998. Conservation status of tropical raptor. *Juornal of Raptor Research* **32**:3-18
- Bracamonte, C. 2011. El rol de los murciélagos en el mantenimiento de los bosques. *Temas BGN* Vol. 1, Núm. 1, Abril 2011
- Briones-Salas, M., Lavariega, M. C. e I. Lira-Torres 2012. Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. *Rev. Mex. Biodiv.* Vol. **83** No 1 México. Marzo 2012.
- Castello, L., J. P. Castello y C. A. S. Hall. 2007 Problemas en el estudio y manejo de pesquerías tropicales. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 65-73.
- Chagoya, L.V. 2011, Biodiversidad de fauna de la región mixteca, Word Wildlife Fund-México, Convenio OL93. México D.F.
- Clements, J. F. 2007. *The Clements Checklist of Birds of the World, 6th Edition*. Cornell University Press. Downloadable from Cornell Lab of Ornithology
- © CONABIO, algunos derechos reservados.
- CONANP, 2014 http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/
- Czech, B., P. R. Krausman, and P. K. Devers. 2000. Economic Associations among Causes of Species Endangerment in the United States. *Bioscience* **50**:593-601.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>
- Forman, R. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of landscapes and regions*. Cambridge Univ Press. New York.
- Forman, R. 2003. *Road ecology: science and solutions*. Island Press. New York, New York.
- Franklin, J.F. and D. B. Lindenmayer. 2009. Importance of matrix habitats in maintaining biological diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **106**:349-350.
- García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez D. y Briones-Salas, M. 2004 *Biodiversidad de Oaxaca*. México.
- Grossman, M. y J. Hamlet. 1964. *Bird of prey of the world Crow*, New York. 496 p.
- <http://conabio.inaturalist.org/taxa/2089-Ortalis-poliocephala>

<http://conabio.inaturalist.org/taxa/20777-Trogon-mexicanus>

<http://conabio.inaturalist.org/taxa/32006-Abronia-mixteca>

Hall, L.S., Krausman, P.R. and Morrison, M.L. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin* **25**(1):173-182.

Herrera, Néstor; Rivera, Roberto; Ibarra Portillo, Ricardo & Rodríguez, Wilfredo (2006): Nuevos registros para la avifauna de El Salvador. ["New records for the avifauna of El Salvador"]. *Boletín de la Sociedad Antioqueña de Ornitología* **16**(2): 1-19.

Howell, Steven N. G. & Webb, Sophie (1995): *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press, Oxford & New York. ISBN 0-19-854012-4

INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión

5.0A.http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

INEGI 2010. Censo de población y vivienda.

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

Lindenmayer, D., Hobbs, R., Montague-Drake, R., Alexandra, J., Bennett, A., Burgman, M., Cae, P., Calhoun, A., Cramer, V., Cullen, P. 2008. A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecology Letters* **11**:78-91.

Liu, J., T. Dietz, S. R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A. N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C. L. Redman, S. H. Schneider y W. W. Taylor. 2007. Complexity of Coupled Human and Natural System. *Science* **317**: 1,513-516.

Mañosa, S. y V. Pedrocchi. 1997. A raptor survey in the Brazilian Atlantic Rainforest. *Journal of Raptor Research* **27**:121-122.

Martínez, J. 1992. Raptor conservation in Veracruz, México. *Journal of Raptor Research* **26**:184-188.

Meynard, C. N., Lara, M. Pino, M. Soto, D. Soto, L. Nahuelhual, D. Nuñez, C. Echeverría, C. Jara, C. Oyarzún, M. Jiménez y F. Morey 2007. Integrando ciencia, economía y sociedad: servicios ecosistémicos en la región de los bosques lluviosos valdivianos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 29-38.

Mckinney, M.L. 2002. Urbanization, biodiversity, and conservation. *BioScience* **52**:883-890.

Nelson, E., S. Polasky, D. J. Lewis, A. J. Plantinga, E. Lonsdorf, D. White, D. Bael & J. J. Lawler. 2008. Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **105**: 9471-9476.

Nelleman C, Kullered L, Vistnes I, Forbes B, Foresman T, Husby E, Kofinas G, Kaltenborn B, Rouaud J, Magomedova M, Bobiwash R, Lambrechts C, Schei P, Tveitdal S, Gron O, Larsen T. 2001. GLOBIO. Global methodology for mapping human impacts on the biosphere. UNEP/DEWA/TR.01-3.

Newton, I. 1979. *Population ecology of raptor*. T. & A. Poyser, London. 339 p.

Noss, R. F., M. A. Connell, and D. D. Murphy. 1997. *The science of conservation planning: habitat conservation under the endangered species act*. Island Press.

Nuñez, R. y B. Miller. 1997. *Ecología de Jaguares y Pumas en el Oeste de México*. CONABIO Proyecto J090.

Pérez-Maqueo, O., M. Equihua, G. Vázquez, M. L., Martínez, A. Campos, G. Castillo, E. Díaz Pardo, J.G. García Franco, D. Gelsert, K. Mehlreter, E. Meza y L. Muñoz-Viller. 2007 Construcción de consensos mediante modelación medida con enfoque en servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica* **84-85**: 107-116.

- Prugh, L., K. Hodges, A. Sinclair, and J. Brashares. 2008. Effect of habitat area and isolation on fragmented animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**:20770.
- Ricketts, T. H. 2001. The Matrix Matters: Effective Isolation in Fragmented Landscapes. *American Naturalist* **158**:87- 99.
- Rodriguez-Estrella R., J.A. Donazar y F. Hiraldo. 1998 Raptor as indicators of environmental change in the scrub hábitat of Baja California Sur. *Conservation Biology* **12**:921-925.
- Sarukhán, J., et al. 2009. *Capital natural de México*. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- SEMARNAT 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Diario Oficial de la Federación 06 marzo de 2002.
- Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., and Griffin, R. 2013. *INVEST 2.5.4 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford.
- Thiollay, J.M. 1989. Area requirements for the conservation of rain forest raptor and game birds in French Guiana. *Conservation Biology* **3**:128-137.
- Thiollay, J.M. 2007. Raptor communities in French Guiana distribution, hábitat selection, and conservation. *Journal of Raptor Research* **41**:90-105.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, and J. M. Melillo. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* **277**:494.
- Wilcove, D. S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips, and E. Losos. 1998. Quantifying Threats to Imperiled Species in the United States. *Bioscience* **48**:607-615.
- Zaldívar Riverón, A., Schmidt, W. y Heimes, P. 2002. Ficha técnica de *Abronia mixteca*. En: Zaldívar Riverón, A. (compilador). Revisión de las categorías en el proyecto de norma oficial mexicana (PROY-NOM-059-2000) para las especies de lagartijas de la familia Anguidae (Reptilia). Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W026. México, D.F.

ANEXO V.

Informe de final

Aplicar los módulos del InVEST a los servicios ecosistémicos claves del Proyecto GEF-Mixteca.

InVEST. Módulo Almacenamiento y captura de carbono.

Elaboración:

Jorge Carranza Sánchez
Cesar Octavio Silva González
Maritza Valle Villanueva

Contenido	Pag.
1. Introducción.....	5
2. Modelo de almacenamiento y captura de carbono.	9
2.1. El modelo.	9
2.2. ¿Cómo trabaja?	9
2.3. Limitaciones y simplificaciones.	11
3. Área de estudio.....	13
4. Datos necesarios.	14
5. Resultados	22
6. Conclusiones.....	28
7. Referencias bibliográficas.....	29

Figuras	Pag.
Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.	14
Figura 2. Carbono total año 2010.	22
Figura 3. Carbono total proyección año 2030.	23
Figura 4. Carbono aéreo año 2010.	24
Figura 5. Carbono aéreo proyección año 2030.	24
Figura 6. Carbono en raíces año 2010.	25
Figura 7. Carbono en raíces proyección año 2030.	26
Figura 8. Carbono en materia muerta año 2010.	26
Figura 9. Carbono en materia muerta proyección año 2030.	27
Figura 10. Carbono en el suelo año 2010.	27
Figura 11. Carbono en el suelo proyección año 2030.	28

Tablas	Pag.
Tabla 1. Tipos de uso del suelo y vegetación.	14
Tabla 2. Valores de carbono reportado en diferentes tipos de vegetación.	16
Tabla 3. Clases de LULC que contienen los datos de carbono almacenado en las cuatro reservas fundamentales	18

Resumen ejecutivo

Los ecosistemas regulan el clima en la tierra al incrementar o disminuir los gases de efecto invernadero (GHG), tales como el CO₂ de la atmósfera. De hecho, bosques, pastizales, pantanos y otros ecosistemas terrestres en conjunto, almacenan mucho más carbono que el que almacena la atmósfera. Al almacenar este carbono en la madera, otras biomásas y en el suelo, los ecosistemas mantienen el CO₂ fuera de la atmósfera, donde contribuiría al cambio climático. Más allá de solo almacenar el carbono, muchos ecosistemas también continúan acumulándolo en las plantas y en el suelo conforme pasa el tiempo, y por tanto, capturando carbono adicional cada año.

Emisiones causadas por el uso de suelo, el tipo de vegetación y el sector forestal, se estimaron en 43 GgC/año., las cuales provienen principalmente de la deforestación y la degradación forestal. De acuerdo a estimaciones presentadas por la FAO en 2010, México se encuentra entre los diez países con mayor pérdida neta anual de área de bosque, registrando una disminución importante en los bosques primarios en los últimos 20 años.

El modelo de almacenamiento y captura de carbono InVEST incorpora la cantidad de carbono almacenado en estos depósitos de acuerdo a los mapas de uso de suelo y la categorización producida por el usuario. Fueron utilizados datos obtenidos de otros trabajos para construir la tabla de carbono para las cuatro reservas.

Los resultados se presentan en diferentes mapas, sin embargo es importante tomar estos datos con reservas, debido a que los datos utilizados no corresponden al área de estudio y las variaciones en cuanto a la cantidad de carbono en las reservas es significativo. Por lo anterior se recomienda contar con una línea base de datos que permitan correr el modelo de InVEST a fin de obtener datos más acordes con el área de interés.

1. Introducción.

Los ecosistemas regulan el clima en la tierra al incrementar o disminuir los gases de efecto invernadero (GHG), tales como el CO₂ de la atmósfera. De hecho, bosques, pastizales, pantanos y otros ecosistemas terrestres en conjunto, almacenan mucho más carbono que el que almacena la atmósfera (Lal, 2002)¹. Al almacenar este carbono en la madera, otras biomásas y en el suelo, los ecosistemas mantienen el CO₂ fuera de la atmósfera, donde contribuiría al cambio climático. Más allá de solo almacenar el carbono, muchos ecosistemas también continúan acumulándolo en las plantas y en el suelo conforme pasa el tiempo, y por tanto, capturando carbono adicional cada año.

Al perturbar los ecosistemas con fuego, enfermedades o bien la conversión de la vegetación, puede liberar grandes cantidades de CO₂. Durante el último siglo, la concentración de dióxido de carbono (CO₂) se ha incrementado en la atmósfera de 280 a 367 partes por millón (IPCC, 2001)². Es importante para México derivar estimaciones más exactas de las emisiones de los procesos de cambio de uso del suelo, ya que este constituye la segunda fuente más grande de emisión de CO₂ (IPCC, 2001)³, después las emisiones de los combustibles fósiles (Ordóñez y Masera, 2001)⁴. Lo anterior debido a que las áreas forestales están cambiando rápidamente a zonas agrícolas, ganaderas, y a otros tipos de vegetación implementadas por el hombre a áreas degradadas (Lambin, 1994)⁵.

Emisiones causadas por el uso de suelo, el tipo de vegetación y el sector forestal, se estimaron en 43 GgC/año (Masera *et al.* 2000)⁶, las cuales provienen principalmente de la deforestación y la degradación forestal. De acuerdo a estimaciones presentadas por la FAO en 2010⁷, México se encuentra entre los diez países con mayor pérdida neta anual de área de bosque, registrando una disminución importante en los bosques primarios en los últimos 20 años. Evaluar las emisiones de carbono derivadas de la deforestación y la degradación forestal permitirá estimar el carbono almacenado en el bosque y clases no forestales. Los estudios deberían tratar de incluir tanto las reservas de carbono por encima y por debajo del suelo utilizando métodos de muestreo integrados (IPCC, 1996)⁸. Actualmente pocos estudios integrales de este tipo están disponibles en los países en desarrollo y sólo uno está disponible en las regiones montañosas de México (de Jong *et al.* 1999⁹; Jaramillo *et al.*

¹ Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304:1623-1627.

² Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. *Climate Change 2001. The Synthesis Report*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 397 p.

³ *Idem* 125

⁴ Ordóñez, A., Masera, O., 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7 (1), 3–12.

⁵ Lambin, E.F., 1994. Modelling deforestation processes: a review *Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites, TREES Series B, Research report No. 1*. Office of the European Commission, Directorate- General XIII. Luxemburg. 113 pp.

⁶ Masera, O., Martínez, R.D., Hernández, T., Guzmán y, A., Ordóñez, A., 2000. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1994–1996. Parte 6: Cambio en el uso del suelo y bosques*. Laboratorio de Bioenergía del Departamento de Ecología de los Recursos Naturales del Instituto de Ecología de la UNAM, Campus Morelia-INE, SEMARNAT, México, D.F. p. 44.

⁷

⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1996. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Land-use change and forestry. Guidelines for National Green house Gas Inventories: Reference Manual (Chapter 5)*.

⁹ de Jong, B.H.J., Cairns, M.A., Haggerty, P.K., Ramírez-Marcial, N., Ochoa- Gaona, S., Mendoza-Vega, J., González Espinosa, M., March-Mifsut, I., 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in the central highlands of Chiapas, México. *Environ. Manage.* 23 (3), 373–1285.

2003¹⁰; Figueroa Navarro *et al.* 2005¹¹).

Por otra parte en México, el 53% del área de bosque está clasificado como bosque primario, por lo que es considerado uno de los países con mayor superficie de estos bosques, y un 43% está representado por vegetación secundaria (CONAFOR, 2011¹²; FAO, 2011¹³). Cambios en el manejo como restauración forestal o prácticas agrícolas alternativas, puede conducir al almacenamiento de enormes cantidades de CO₂. Por lo tanto las formas en las que se gestionan los ecosistemas terrestres son críticas para la regulación del clima.

Al igual que para otros modelos para los cuales InVEST proporciona estimaciones de valor, ahora el enfoque es el valor social de la captura de carbono y su almacenamiento. De todos los servicios ecosistémicos, el que quizá esté más ampliamente reconocido es la captura de carbono en la tierra y su almacenamiento (Stern 2007¹⁴, IPCC 2006¹⁵, Canadell y Raupach 2008¹⁶, Capoor y Ambrosi 2008¹⁷, Hamilton *et al.* 2008¹⁸, Pagiola 2008¹⁹).

Los servicios benefician directamente a distintos sectores de la sociedad, quienes aprecian o perciben de manera diferente los beneficios y que además promueven de forma diversa la provisión de los servicios. El valor social de una tonelada de carbono capturado es igual al daño social evitado al no liberar esa tonelada de carbono en la atmósfera (Tol 2005²⁰, Stern 2007²¹). Calcular los costos sociales es complicado y controversial (ver Weitzman 2007²² y Nordhaus 2007b²³), pero han resultado en estimaciones de valor que fluctúan entre \$9.55 USD a \$84.55 USD por tonelada métrica de CO₂ liberado en la atmósfera (Nordhaus 2007a²⁴, Stern 2007²⁵).

Además del valor social de captura y almacenamiento de carbono, hay varios mercados emergentes de carbono, basados tanto en la regulación como en la demanda voluntaria. El Protocolo de Kyoto (tratado que aborda el cambio climático internacional) incluye un

¹⁰ Jaramillo, V.J., Boone, J., Rentería-Rodríguez, L., Cummings, D.L., Ellingson, L., 2003. Biomasa, carbon, and nitrogen pool in Mexican Tropical Dry Forest landscapes. *Ecosystems* 6, 609–629.

¹¹ Figueroa Navarro, C., Etchevers Barra, J.D., Velázquez Martínez, A., Acosta- Mireles, Y.M., 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamérica* 23, 57–64.

¹² *Idem 1*.

¹³ FAO. 2011. *Situación de los bosques del mundo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

¹⁴ Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.

¹⁵ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, HS, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan. <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>.

¹⁶ Canadell, JG and MR Raupach. 2008. Managing Forests for Climate Change Mitigation. *Science* 320:1456-1457.

¹⁷ Capoor, K., and P. Ambrosi. State and Trends of the Carbon Market 2008. Washington, D.C.: World Bank Institute, 2008 May.

¹⁸ Hamilton, K., M Sjardin, T Marcello, and G Xu. Forging a Frontier: State of the Voluntary Carbon Markets 2008. Washington, D.C.: Ecosystem Marketplace and New Carbon Finance; 2008.

¹⁹ Pagiola, S. 2008. Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics* 65 (4): 712-724.

²⁰ Tol, RSJ. 2005. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energy Policy* 33:2064-2074.

²¹ *Idem 2*

²² Weitzman, ML. 2007. A review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature* 45:703-724.

²³ Nordhaus, W. 2007b. A Review of the Stern Review on the Economics of Global Warming. *Journal of Economic Literature* 45: 686-702.

²⁴ Nordhaus, W. 2007a. Critical Assumptions in the Stern Review on Climate Change. *Science* 317 (5835): 201–202.

²⁵ *Idem 2*

mecanismo para el establecimiento de proyectos de captación de carbono para obtener recursos financieros de aquellos que necesitan compensar por sus propias emisiones de CO₂.

Actualmente estos mercados sólo aplican a la captura de carbono (por ejemplo, el almacenamiento adicional de carbono en el tiempo), pero existe un interés creciente en los incentivos financieros para evitar la liberación de carbono en los ecosistemas en primer lugar, llamado "emisiones reducidas de la deforestación y la degradación" o "REDD" (Gibbs *et al.* 2007²⁶, Mollicone *et al.* 2007²⁷, Mackey *et al.* 2008²⁸). Esta opción fue aceptada en la última reunión de los grupos en el marco de la convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y es probable que se haga por escrito en el acuerdo de seguimiento al Protocolo de Kyoto. Los pagos de REDD recompensaría económicamente a los propietarios de bosques para revertir la deforestación planificada y las acciones de adelgazamiento (Sedjo y Sohngen 2007²⁹, Sohngen *et al.* 2008³⁰). Las cuestiones de contabilidad y verificación han frenado la aparición de mercados de REDD, pero muchos de ellos se están anticipando con transacciones privadas.

Mientras que los precios del mercado son una forma de estimar el valor de la captura de CO₂, estos precios se reflejan en las políticas, los subsidios y otros factores, y por lo tanto sólo se indicará el verdadero valor de este servicio a la sociedad por casualidad (Murray *et al.* 2007)³¹. Por esta razón, se recomienda que los usuarios se basen en evitar los daños asociados con la emisión de CO₂ a la atmósfera, en lugar de confiar en los precios existentes en los mercados para estimar el valor social de captura y almacenamiento de carbono.

La gestión de terrenos para el almacenamiento y captura de carbono requiere de información sobre cuánto y dónde se almacena el carbono, cuánto carbono se captura o se pierde en un periodo tiempo, y cómo los cambios en el uso del suelo afectan a la cantidad de carbono almacenado y capturado en un periodo tiempo. Dado que los administradores de tierras deben elegir entre los sitios para la protección, cosecha, o desarrollo, los mapas de almacenamiento y captura de carbono son ideales para apoyar las decisiones de estos administradores, las cuales influyen en estos servicios ambientales. Estos mapas pueden apoyar una serie de decisiones de los gobiernos, las ONG y las empresas. Por ejemplo, los gobiernos los pueden utilizar para identificar oportunidades para obtener créditos para la reducción de emisiones (de carbono) por deforestación y degradación (REDD). Sabiendo que partes del terreno almacenan la mayor parte del carbono ayudaría a los gobiernos a destinar incentivos eficientemente para los propietarios de tierras a cambio de la conservación de los

²⁶ Gibbs, HK, S Brown, JO Niles, and JA Foley. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2:045023.

²⁷ Mollicone D, F. Achard, S. Federici, H. Eva, G. Grassi, A. Belward, F. Raes, G. Seufert, H. Stibig, G. Matteucci, and E. Schulze. 2007. An incentive mechanism for reducing emissions from conversion of intact and non-intact forests. *Climatic Change* 83:477-493.

²⁸ Mackey, B, Keith H, Berry S.L., Lindenmayer DB. Green carbon: the role of natural forests in carbon storage. Part 1, A green carbon account of Australia's Southeastern Eucalypt forest, and policy implications. Canberra, Australia: ANU E Press, 2008.

²⁹ Sedjo, RA and B. Sohngen. Carbon Credits for Avoided Deforestation. Washington, DC: Resources for the Future; 2007 October 2007. Report for RFF DP 07-47.

³⁰ Sohngen, Brent, RH Beach, and Kenneth Andrasko. 2008. Avoided Deforestation as a Greenhouse Gas Mitigation Tool: Economic Issues. *Journal of Environmental Quality* 37: 1368-1375.

³¹ Murray, B, B. Sohngen, and M. Ross. 2007. Economic consequences of consideration of permanence, leakage and additionality for soil carbon sequestration projects. *Climatic Change* 80:127-143.

bosques. Además, una ONG conservacionista podría invertir en áreas donde coincidan una rica biodiversidad y un alto nivel de captura de carbono (Nelson *et al.* 2008)³².

Los métodos para la cuantificación de servicios necesitan producir datos relevantes para la toma de decisiones que afecten en un sitio, estos deben ser prácticos y económicos (en términos de experiencia, equipamiento y tiempo), además de proveer resultados de una forma accesible para los actores, como políticos, planeadores y manejadores de los recursos. Una gran variedad de herramientas se han desarrollado con amplios progresos en la medición de los servicios ecosistémicos. Sin embargo algunos tienden a estar más especializados que cualquier usuario, técnicamente hablando, o bien requieren de trabajo de campo muy costoso y/o el uso de modelos de extrapolación de datos obtenidos en otros sitios el cual puede no reflejar las condiciones locales. Muchas otras herramientas no son apropiadas para estimar la red de consecuencias de una acción particular o de los servicios ecosistémicos, aun cuando esta sea la pregunta de mayor interés para la toma de decisiones.

Para alinear la conservación de los ecosistemas con fuerzas económicas, se han desarrollado modelos que cuantifican y trazan un mapa de los valores de servicios ambientales. El conocer los patrones espaciales de provisión de los servicios ecosistémicos por medio de mapas es una herramienta útil, ya que muchas decisiones de conservación y manejo se dan en un contexto espacial (Balvanera *et al.*, 2001³³, Tallis *et al.*, 2013³⁴). El conjunto de aplicaciones que mejor modela es aquel que satisface los análisis de múltiples servicios y múltiples objetivos. Algunos modelos actuales, que requieren relativamente pocos datos de entrada, pueden identificar áreas donde la inversión puede elevar el bienestar humano y el de la naturaleza.

Una de las aplicaciones a utilizar es InVEST³⁵ (Integrated Valuation of Environment Services and Trade offs) que fue diseñada para tomar decisiones de manejo de los recursos naturales. Desde funcionarios de gobierno hasta organizaciones no gubernamentales frecuentemente manejan recursos de tierra y agua para múltiples usos e inevitablemente deben evaluar compensaciones entre estos; el multiservicio de InVEST a través del diseño modular proporciona una herramienta eficaz para evaluar estas compensaciones.

Las herramientas de InVEST incluyen un conjunto de modelos para cuantificar, mapear y evaluar los beneficios proporcionados por los sistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas; entre los modelos para los sistemas terrestres se encuentra el de **Almacenamiento y Captura de Carbono**, el cual será desarrollado en el presente trabajo para el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

³² Nelson, E., G. Mendoza, J. Regetz, S. Polasky, H. Tallis, D. Cameron, K. Chan, G. Daily, J. Goldstein, P. Kareiva, E. Lonsdorf, R. Naidoo, T.H. Ricketts, and R. Shaw. 2008. Modeling Multiple Ecosystem Services and Tradeoffs at Landscape Scales. *Frontiers in Ecology and the Environment* Forthcoming.

³³ Balvanera, P., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, T. H. Ricketts, S. A. Bailey, S. Kark, C. Kremen and H. Pereira. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* **291**: 2047

³⁴ Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., and Griffin, R. 2013. *InVEST 2.5.4 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford.

³⁵ *Idem* 10.

2. Modelo de almacenamiento y captura de carbono.

2.1. El modelo.

El almacenamiento de carbono en una parcela de tierra depende en gran medida de los tamaños de los cuatro "depósitos" de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, el suelo y la materia orgánica muerta. El modelo de almacenamiento y captura de carbono InVEST incorpora la cantidad de carbono almacenado en estos depósitos de acuerdo a los mapas de uso de suelo y la categorización producida por el usuario. La biomasa aérea comprende todo el material vegetal vivo por encima del suelo (por ejemplo, cortezas, troncos, ramas, hojas). La biomasa subterránea abarca los sistemas de raíces de vida de la biomasa aérea. La materia orgánica del suelo es el componente orgánico de los suelos, y representa la reserva de carbono terrestre más grande. La materia orgánica muerta incluye la hojarasca, así como la madera muerta en pie y la que yace sobre la superficie. Un quinto depósito de carbono opcional incluido en el modelo, se aplica a las parcelas que producen productos de madera cosechada (HWP), como leña o carbón o productos de más larga vida, tales como madera para construcción de casas o muebles para el hogar. Darle seguimiento al carbono en este depósito es útil porque representa la cantidad de carbono de la atmósfera mantenido en un producto dado.

Empleando los mapas de uso de suelo, tipo de cobertura vegetal y de cantidad de carbono almacenado en los depósitos de carbono, este modelo estima: el importe neto de carbono almacenado en una parcela de tierra en un periodo tiempo; la biomasa que se extrae a partir de una superficie cosechada de la parcela, el valor de mercado y el valor social del carbono capturado que aún queda almacenado. Las limitaciones del modelo incluyen el uso de un ciclo del carbono muy simplificado, el asumir un cambio lineal en la captura de carbono a través del tiempo, y tasas de descuento potencialmente inexactas. Condiciones biofísicas importantes para la captura de carbono, tales como tasas de fotosíntesis y la presencia de organismos del suelo activos no se incluyen en el modelo.

2.2. ¿Cómo trabaja?

El modelo se ejecuta en un mapa de celdas llamado formato raster en un SIG. Si el depósito de productos de madera cosechada (HWP) se incluye en el análisis, también se construye un mapa de polígonos de parcelas de cosecha. A cada celda del mapa se le asigna un uso de suelo y el tipo de uso del suelo y cubierta vegetal (LULC), tales como los bosques, pastos o tierras agrícolas. A cada polígono de cosecha se le asigna el tipo de cosecha en referencia al producto cosechado, la frecuencia de la cosecha, y las tasas de descomposición de los productos. Después de ejecutar el modelo en formato raster, los resultados se pueden resumir a unidades prácticas de terreno, tales como propiedades individuales, unidades políticas, o las cuencas hidrográficas.

Para cada tipo LULC, el modelo requiere una estimación de la cantidad de carbono al menos en uno de los cuatro depósitos fundamentales descritos anteriormente. Si el usuario tiene

datos para más de un depósito, los resultados modelados serán más completos. El modelo se limita a aplicar estos estimados al mapa de LULC para producir un mapa de almacenamiento de carbono con los depósitos de carbono incluidos en el modelo.

Para el quinto depósito de carbono, HWP, los valores del modelo se definen para cada parcela (polígono) y no para cada LULC. Para cada parcela el usuario indicará la cantidad de biomasa eliminada por cosecha en términos de carbono, la frecuencia de las cosechas, y la velocidad a la que se degradan los productos que contienen carbono. Con estos datos, el modelo calcula la cantidad de carbono almacenado que se originó en una parcela, pero ahora reside en los productos terminados, tales como casas o muebles. El modelo convierte los valores de carbono HWP del nivel de parcela en una capa de celdas que espacialmente coincide con el sistema de red utilizado para los otros cuatro depósitos de almacenamiento de carbono.

El modelo incorpora el carbono en cada uno de los cinco depósitos, proporcionando un estimado del carbono total almacenado en cada celda y en todo el terreno visualizado. Si no se asignan los datos de almacenamiento de carbono de un depósito determinado, entonces se puede subestimar el almacenamiento de carbono total. El modelo también da como salida la biomasa total y el volumen de madera extraída de cada parcela cosechada hasta el año asociado con el terreno modelado.

Si el usuario proporciona un mapa actual y futuro de LULC, entonces social se pueden calcular el cambio neto en el almacenamiento de carbono en el tiempo (la captura y la pérdida) y su valor. Para estimar este cambio en la captura de carbono a través del tiempo, el modelo se aplica simplemente al terreno actual y a un terreno futuro proyectado, y se calcula la diferencia en el almacenamiento de carbono, esto se hace unidad de mapa por unidad de mapa. Si se dispone de múltiples escenarios futuros se puede comparar la diferencia entre el escenario actual y cada uno de los escenarios futuros.

Las salidas del modelo se expresan como Mg de carbono por celda, o si se desea, el valor de captura de carbono en dólares por cada celda. Es muy recomendable utilizar el valor social de la captura de carbono si el usuario está interesado en expresar la captura de carbono en unidades monetarias. El valor social de una tonelada de carbono capturado es equivalente al daño social evitado al no liberar de la tonelada de carbono a la atmósfera. El valor de mercado puede ser relevante si el usuario está interesado en identificar el valor del terreno para comercialarlo en las condiciones actuales del mercado. El valor de mercado de la captura de carbono terrestre es el precio por tonelada métrica de carbono negociado en mercados tales como el Chicago Climate Exchange (ECX).

El modelo de valoración estima el valor económico de la captura (no el almacenamiento) en función de la cantidad de carbono capturado, el valor monetario de cada unidad de carbono, una tasa de descuento monetaria, y el cambio en el valor de la retención de carbono en el tiempo. **Por lo tanto, la valoración sólo se puede hacer en el modelo de carbono si tiene un escenario futuro.** La valoración se aplica a la captura, no al almacenamiento, ya que los precios actuales del mercado se refieren únicamente a la captura de carbono. Las tasas de descuento son multiplicadores que normalmente reducen el valor de la captura de carbono a través del tiempo. El primer tipo de descuento, el procedimiento económico estándar de

descuento financiero, refleja el hecho de que la gente normalmente valora los beneficios inmediatos más que los beneficios futuros, debido a la impaciencia y al crecimiento económico incierto. El segundo tipo de descuento se ajusta al valor social de la captura de carbono a través del tiempo; este valor cambiará a medida que se modifique el impacto esperado de las emisiones de carbono en el daño relacionado al cambio climático. Si esperamos que el carbono capturado hoy tenga un mayor impacto en la mitigación del cambio climático que el carbono capturado en el futuro, esta segunda tasa de descuento debe ser positiva. Por otro lado, si esperamos que el carbono secuestrado hoy tenga un menor impacto en la mitigación del cambio climático que el carbono secuestrado en el futuro, esta segunda tasa de descuento debe ser negativa.

2.3. Limitaciones y simplificaciones

El modelo simplifica en gran medida el ciclo del carbono, lo que permite que se ejecute con poca información en realidad, pero también conduce a limitaciones importantes. Por ejemplo, el modelo asume que ninguno de los tipos LULC en el terreno está ganando o perdiendo carbono a través del tiempo. En lugar de ello, se supone que todos los tipos LULC están en algún nivel de almacenamiento fijo igual al promedio de los niveles medidos de almacenamiento medidos dentro de ese tipo LULC. Bajo este supuesto, los únicos cambios en el almacenamiento de carbono a través del tiempo se deben a cambios de un tipo LULC a otro, o de la cosecha de los productos de madera. Por lo tanto, cualquier celda que no cambie su tipo LULC o bien que se encuentre en un estado estacionario de la cosecha de madera tendrá un valor de captura de 0 a través del tiempo. En realidad, muchas zonas se están recuperando del uso de suelo pasado o están pasando por algún proceso natural. El problema puede ser abordado dividiendo los tipos de LULC en categorías de edades (esencialmente adicionando más tipos de LULC), como tres edades del bosque; luego, las parcelas se pueden mover de una clase de edad a la otra en los escenarios y como resultado cambiar sus valores de almacenamiento de carbono.

Una segunda limitación es que debido a que **el modelo se basa en estimaciones de almacenamiento de carbono para cada tipo LULC, los resultados son tan detallados y fiables como la clasificación LULC que se utilice**. El almacenamiento de carbono difiere claramente entre tipos de LULC (por ejemplo, los bosques tropicales frente a bosque abierto) pero a menudo también puede haber una variación significativa dentro de un tipo de LULC. Por ejemplo, el almacenamiento de carbono en un "bosque húmedo tropical" se ve afectado por la temperatura, la altitud, las precipitaciones, y el número de años transcurridos desde una perturbación importante (por ejemplo, tala o incendios forestales). La variedad de los valores de almacenamiento de carbono de los tipos LULC definidos a groso modo, se pueden recuperar en parte mediante el uso de un sistema de clasificación LULC y mediante tablas de depósitos de carbono, las cuales estratifican los tipos LULC gruesamente definidos con las variables relevantes de gestión y las ambientales. Por ejemplo, los tipos LULC forestales pueden ser estratificados por elevación, bandas climáticas o intervalos de tiempo desde una gran perturbación. Por supuesto, este enfoque más detallado requiere datos que describen

la cantidad de carbono almacenado en cada uno de los depósitos de carbono para cada una de las clases LULC más finas.

Otra limitación del modelo es que no captura el carbono que se mueve de un depósito a otro. Por ejemplo, si los árboles en un bosque mueren debido a una enfermedad, la mayor parte del carbono almacenado en la biomasa aérea se convierte en carbono almacenado en otro material orgánico (muerto). Además, cuando los árboles de un bosque se cosechan, algunas ramas, tallos, corteza, etc, se dejan como desperdicio en el suelo. El modelo supone que el carbono de desperdicio de madera entra en la atmósfera "al instante".

Con respecto a sus estimaciones de carbono en HWP, el modelo se ve limitado por el hecho de que los usuarios pueden asignar sólo una tasa de cosecha (por ejemplo, 50 Mg de madera por cosecha, donde la cosecha se produce cada 2 años) y sólo una tasa de decaimiento (por ejemplo, la madera cosechada de la parcela en los últimos años se utiliza siempre para hacer el mismo producto que se desintegra en la misma proporción), para cada parcela. En la realidad, las parcelas cosechadas exhibirán variación en las tasas de explotación y de decaimiento en el tiempo. El modelo tampoco da cuenta de los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por el transporte de la madera cosechada desde el sitio inicial de la cosecha hasta su destino final, ni de la conversión de la madera en bruto en productos terminados, o de actividades relacionadas con la agricultura tales como los tractores y ganado. Las emisiones anuales de GEI por uso de la tierra agrícola se pueden calcular con el Modelo de Producción de Agricultura del InVEST, el cual pronto estará disponible.

Por último, mientras que la mayor parte de la captura de carbono sigue una trayectoria no lineal tal que el carbono se captura a un ritmo mayor en los primeros años y una tasa más baja en los años siguientes, la valoración económica del modelo de captura de carbono supone un cambio lineal en el almacenamiento de carbono en el tiempo. La hipótesis de una tasa de cambio constante tenderá a subestimar el carbono almacenado, mientras que un comportamiento no lineal de la captura de carbono debido a los descuentos es más valioso desde el punto de vista social que una trayectoria lineal.

3. Área de estudio.

La región de la Mixteca se encuentra al Oeste del estado de Oaxaca y colinda al Oeste con el límite del estado de Guerrero y al norte con el estado de Puebla, con la Región de la Cañada al Este, al Sureste con Los Valles Centrales y al Sur con la Sierra Sur. Se ubica entre las coordenadas extremas de 16° 35' 11.928" N y 18° 17' 49.390" N de Latitud Norte y 96° 57' 58.692" W y 98° 30' 0.810" W de Longitud Oeste (**Figura 1**).

El área de intervención del proyecto ocupa una superficie de 1'714,097 hectáreas y se encuentra localizada en la Región Mixteca con siete distritos: Silacayoapam, Huajuapam, Coixtlahuacan, Juxtlahuaca, Teposcula, Nochitlan y Tlaxiaco; y parte de la región Sierra Sur. Con 155 municipios de la Región Mixteca y 5 de la Región Sierra Sur³⁶ y un total de 2,364 localidades³⁷. Con base en los datos del Censo Nacional de Población 2010³⁸, la región mixteca, cuenta con una población de 522,252 habitantes, donde la Heroica Ciudad de Huajuapam de León, es la población que cuenta con el mayor número de habitantes con 69,839.

³⁶INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión

5.0A.http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

³⁷Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

³⁸INEGI 2010. Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

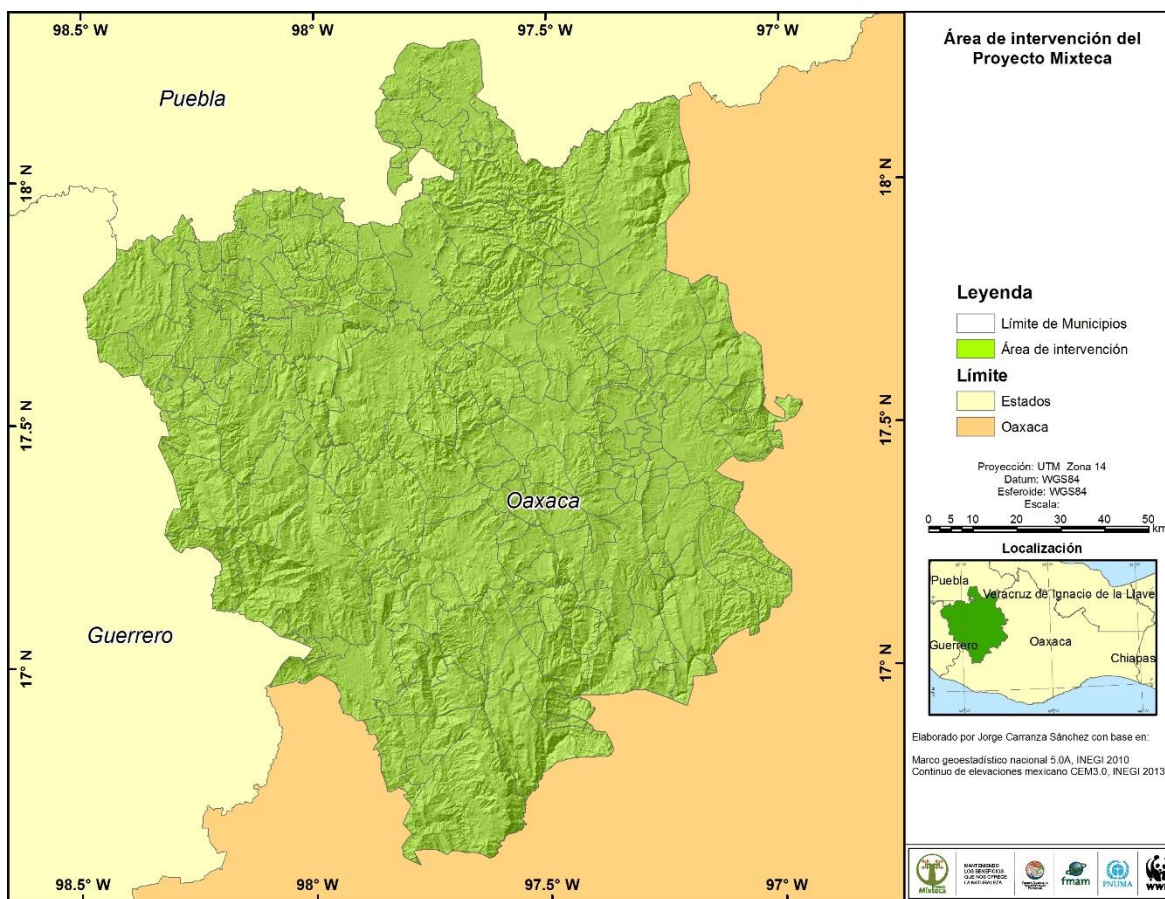


Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

4. Datos necesarios.

4.1 Uso del suelo y vegetación actual (requerido)

Archivo raster con el valor LULC en cada celda. Los datos pueden ser proyectados a metros y definir la proyección utilizada. La clasificación más simple de LULC en el terreno involucra la delineación únicamente por la cubierta vegetal. Para el desarrollo del módulo se utilizó la cobertura de uso del suelo y vegetación obtenida al análisis de la imágenes SPOT de fecha 2010, obtenida en el módulo Tasa de transformación del hábitat (Carranza, 2014). Los tipos de uso del suelo y vegetación identificadas cuenta con 24 clases [Tabla 1](#), en estas solo se hace la diferenciación entre vegetación primaria y secundaria.

Tabla 1. Tipos de uso del suelo y vegetación.

LULC	Uso del suelo y vegetación
1	Área sin vegetación aparente
2	Bosque de encino
3	Bosque de encino_vs
4	Bosque de pino
5	Bosque de pino_vs
6	Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)

- 7 Bosque de pino-encino_vs (incluye encino-pino)
- 8 Bosque de tascate
- 9 Bosque de tascate_vs
- 10 Bosque mesófilo de montaña_vs
- 11 Chaparral
- 12 Matorral crasicaule
- 13 Matorral crasicaule_vs
- 14 Matorral xerófilo
- 15 Palmar
- 16 Plantación forestal
- 17 Selva Baja caducifolia
- 18 Selva Baja caducifolia_vs
- 19 Selva mediana subcaducifolia_vs
- 20 Área agrícola
- 21 Asentamientos humanos
- 22 Área impactada por incendio
- 23 Cuerpos de agua
- 24 Pastizales

4.2 Reserva de carbono (requerido)

Una tabla de las clases LULC que contienen los datos de carbono almacenado en las cuatro reservas fundamentales. Los datos de carbono almacenado deben ser colectados de estimaciones de campo de estudios locales, extraídos de análisis de tipos de hábitat específicos o regiones o bien de datos publicados. Si la información de algunas reservas no está disponible, esta puede ser estimada de otras reservas o bien omitir el valor dejando todos los valores de la reserva en cero.

Para construir la tabla se realizó una revisión de los valores reportados por diferentes autores sobre el contenido de carbono en diferentes asociaciones vegetales (Tabla 2). En esta tabla se puede apreciar la variación de valores que se presentan, lo que dificulta la construcción de la tabla para el modelo (Tabla 3).

Tabla 2. Valores de carbono reportado en diferentes tipos de vegetación.

	Valores mínimos	Valores máximos	Referencias consultadas	
	reportados t C/Ha-1	reportados t C/Ha-1	Min	Max
Agricultura	5	9	4	A
B coníferas	36.8	133.4	8	B
B. coníferas-latifoliadas	13	157	9	C
B. de Abies	26.7	169.7	8	D
B. de Encino	20.1	205	10	E
B. de Pino	44	147	16	F
B. Fragmentado	9.9	87.5	6	G
B. Latifoliadas	13	144.8	8	H
B. Mesófilo	20	220	6	I
Matorrales	6	30	3	J
Pastizales	0.2	18	5	L
Plantaciones	5	120	8	M

Referencias.

A: (De-Jong *et al.* 1999³⁹, Masera *et al.* 2001⁴⁰, Rangel 2004⁴¹, Ordoñez *et al.* 2008⁴²);

B: (Dixon and García 1992⁴³, Cairns *et al.* 1995⁴⁴, Masera *et al.* 1997⁴⁵, Masera *et al.* 2001, Ordoñez *et al.* 2001⁴⁶, Etchevers *et al.* 2006⁴⁷, Mendoza-Ponce 2008⁴⁸, Rojas-García 2008⁴⁹);

³⁹ De Jong B, Cairns M., Haggerty P, Ramírez-Marcial N., Ochoa-Gaona S., Mendoza-Vega J., González-Espinoza M., March-Mifsut I. 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in central Highlands of Chiapas, Mexico. *Environmental Management*. 23(3):373-385.

⁴⁰ Masera O.R., A.D. Ceron, y J. Antonio Ordoñez, 2001. Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change, 6: 291-312.

⁴¹ Rangel, M.B. 2004. Evaluación de la captura de carbono en sistemas agrícolas en producción, abandonados y reforestados de áreas afectadas por ceniza Volcánica Del Parícutín, Michoacán, México. Tesis Maestría, Facultad De Biología, UMSNH.

⁴² Ordoñez, JAB, BHJ De Jong, F García-Oliva, FL Aviña, JV Pérez, G Guerrero, R Martínez, O Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico *Forest Ecology and Management* 255 (7), 2074-2084

⁴³ Dixon, R. y García, M. 1992. Rates of Deforestation in Los Tuxtlas a Neotropical Area in Southeast, México. 1992. *Conservation Biology* 6(1): 84-93.

⁴⁴ Cairns, M.A., Kolchuniga, T.P., Turner, D.P., Winjum, J.K., 1995. The contribution of forest land use to total national carbon flux: case studies in the former Soviet Union, United States, Mexico and Brazil. EPA/600/R-95/044. U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, OR. 212 pp.

⁴⁵ Masera O.R., Ordoñez M.J., y Dirzo R., 1997. *Climatic Change* 35, 265-295.

⁴⁶ Ordoñez, J.A., Bernardus, H.J. de Jong, O. Masera. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosque* 7(2) 2001:27-47.

⁴⁷ Etchevers, J.D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo, M. Martínez. Influence of land use on carbon sequestration and erosion in Mexico,

C: (De-Jong et al. 1999, INE 2000, **De-Jong et al. 2001**⁵⁰, Ordoñez et al. 2001, **Peña del Valle 2003**⁵¹, **Almeida-Leñero et al. 2007**⁵², Ordoñez et al. 2008, Rojas-García 2008, **Jiménez-Pérez et al. 2010**⁵³);

D: (**Cairns et al. 2000**⁵⁴, Peña del Valle 2003, **Zamora-Collazo 2003**⁵⁵, **Nava 2006**⁵⁶, **Almeida-Leñero et al. 2007**⁵⁷, Mendoza-Ponce 2008, Ordoñez et al. 2008, Rojas-García 2008);

E: (**Masera 1995**⁵⁸, Masera et al. 1997, **Acosta et al. 2001**⁵⁹, Ordoñez et al. 2001, **Etchevers et al. 2002**⁶⁰, Zamora-Collazo 2003, Etchevers et al. 2006, Ordoñez et al. 2008, Rojas-García 2008, **Martínez Vera and Quintana Sagarnaga 2010**⁶¹);

F: (**De-Jong et al. 1995**⁶², Masera 1995, Masera et al. 1997, De-Jong et al. 1999, Cairns et al. 2000, De-Jong et al. 2001, Ordoñez et al. 2001, **Terradas 2001**⁶³, Peña del Valle 2003, Zamora-Collazo 2003, Almeida-Leñero et al. 2007, **Díaz et al. 2007**⁶⁴, **Pimienta-de-la-Torre et al. 2007**⁶⁵, Mendoza-Ponce 2008, Rojas-García 2008, **Aguirre-Salgado et al. 2009**⁶⁶);

G: (De-Jong et al. 1999, Cairns et al. 2000, Masera et al. 2001, **Etchevers et al. 2002**⁶⁷, Etchevers et al. 2006, Ordoñez et al. 2008);

H: (Cairns et al. 1995, Masera et al. 1997, De-Jong et al. 2001, Masera et al. 2001, Zamora-Collazo 2003, Etchevers et al. 2006, Almeida-Leñero et al. 2007, Rojas-García 2008);

I: (De-Jong et al. 1999, Cairns et al. 2000, Acosta et al. 2001, Terradas 2001, Etchevers et al. 2002, Jiménez-Pérez et al. 2010);

a review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany), 2006, 26 (1), pp.21-28

⁴⁸ Mendoza-Ponce, A. V. 2008. Estimación de biomasa aérea y almacenamiento de carbono en paisajes de bosques templados en Cofre de Perote, Veracruz. Tesis Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

⁴⁹ Rojas-García, F. 2008 consideraciones para el balance de carbono: evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche, Tesis Maestría Ciencias Biológicas, UNAM.

⁵⁰ De Jong B.H.J. 2001. Uncertainties in estimating the potential for carbon mitigation of forest management. *Forest Ecology and Management*. 154(1-2): 85-104.

⁵¹ Peña del Valle, A.E. 2003. captura de carbono: un estudio en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. 2003. Tesis Maestría, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.

⁵² Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, Mj Ordoñez, J. Jujnovsky. 2007. servicios ecosistemicos en la cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal, México, *Gaceta Ecológica* 84-85:53-64.

⁵³ Jiménez-Pérez, J., Aguirre, O., Treviño, E. 2010. capacidad de captura de carbono en ecosistemas mixtos en el estado de Tamaulipas. Facultad De Ciencias Forestales. UANL.

⁵⁴ Cairns, M. A., P. K. Haggerty, R. Alvarez, B. H. J. De Jong, and I.Olmsted 2000. Tropical Mexico's Recent Land-Use Change: A Region's Contribution To The Global Carbon Cycle. *Ecological Applications* 10:1426–1441

⁵⁵ Zamora-Collazo, J.C. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa Aérea en el bosque de pino del ejido “la majada” municipio de Peribán de Ramos, Michoacán. Tesis Licenciatura, UMSNH.

⁵⁶ Nava, L.M.Z. 2006. carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterio de restauración, en el bosque de Abies religiosa de la cuenca del Río Magdalena. D.F. Tesis Maestría. Posgrado En Ciencias Biológicas, UNAM.

⁵⁷ Almeida-Leñero, L. Nava, M., Ramos, A., Espinosa, M., Ordoñez, M. y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal. *Gaceta Ecológica número especial* 84-85 (2007):53-64. Instituto Nacional de Ecología. México.

⁵⁸ Masera O.R. 1995. en Jardón J.J. (ed.) *Energía y Medio Ambiente*, Plaza y Valdes Ed., México D.F., 157-178.

⁵⁹ Acosta M., Etchevers J.D., Monreal C., Quednow K., Hidalgo C. (2001) Un método para la medición del Co en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México, in: *Memoria del Simposio Internacional sobre "Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, Nov. 2001, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile (CD ROM).

⁶⁰ Etchevers B.J.D. (2002) Metodología para la medición de la captura de carbono, Proyecto Manejo Sostenible de Laderas, Cuarta reunión del Comité Técnico de Coordinación y Seguimiento, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (CD-ROM).

⁶¹ Martínez-Vera, D. y Quintana-Sagarnaga, S.B. 2010. Determinación del contenido de carbono en *Quercus microphylla* y dos unidades de suelo en el predio Las Cruces, Texcoco, Estado de México. Tesis Licenciatura, Universidad Autonoma Chapingo.

⁶² De Jong, B., Montoya G., Nelson K., Soto L., Taylor J., Tipper R. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia*. 20(6):409-416.

⁶³ Terradas, J. Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. 2001. Ediciones Omega. Barcelona.

⁶⁴ Díaz F. R., M. Acosta, F. Carrillo, E. Buendía, E. Flores, J. Etchevers. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula*, schl. et cham. *Madera y Bosques*, 13(001): 25-34.

⁶⁵ Pimienta-De-La-Torre, DJ, G. Domínguez, O. Aguirre, F.J. Hernández, J. Jiménez. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* blanco, en Pueblo Nuevo Durango. *Madera y Bosques*, 13(001): 35-46.

⁶⁶ Aguirre-Salgado, C. A., J. R. Valdez-Lazalde, G. Ángeles-Pérez, H. M. De Los Santos-Posadas, R. Haapanen, A.I. Aguirre-Salado. 2009. Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de pino patula en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 43:209-220.

⁶⁷ Etchevers J., M. Acosta, C. Monreal, K. Quednow y Jiménez, L. 2002. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales del 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia – Chile.

J: (Cairns *et al.* 2000, De-Jong *et al.* 2001, **Navar *et al.* 2002**⁶⁸);

K: (Cairns *et al.* 2000, Peña del Valle 2003, **Vigil 2010**⁶⁹);

L: (De-Jong *et al.* 1999, De-Jong *et al.* 2001, Masera *et al.* 2001, Etchevers *et al.* 2006, Ordoñez *et al.* 2008);

M: (AMBIO, Cairns *et al.* 2000, **Arteaga 2001**⁷⁰, Rangel 2004, Etchevers *et al.* 2006, **Pacheco *et al.* 2007**⁷¹, Ordoñez *et al.* 2008, **Roncal-García *et al.* 2008**⁷²);

N: (Masera *et al.* 1997, **Huges *et al.* 2000**⁷³, De-Jong *et al.* 2001, Terradas 2001);

O: (**Castellanos *et al.* 1991**⁷⁴, Masera *et al.* 1997, De-Jong *et al.* 2001, Terradas 2001, **Estrada 2005**⁷⁵, Jiménez-Pérez *et al.* 2010).

Tabla 3. Clases de LULC que contienen los datos de carbono almacenado en las cuatro reservas fundamentales

LULC	LULC_name	C_above	C_below	C_soil	C_dead	Total
1	Area sin Vegetacion Aparente	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Bosque de Encino	112.80	28.60	116.40	0.61	258.41
3	Bosque de Encino_vs	72.70	13.10	72.80	1.78	160.38
4	Bosque de Pino	100.50	26.00	93.10	0.31	219.91
5	Bosque de Pino_vs	72.70	13.10	72.80	1.78	160.38
6	Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	91.50	23.70	101.30	0.41	216.91
7	Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	72.70	13.10	72.80	1.78	160.38
8	Bosque de Tascate	72.70	13.10	72.80	1.78	160.38
9	Bosque de Tascate_vs	72.70	13.10	72.80	1.78	160.38
10	Bosque Mesofilo de Montana_vs	124.10	3.30	152.00	5.87	285.27
11	Chaparral	15.48	7.80	6.72	1.91	31.91
12	Matorral Crasicaule	28.70	22.40	84.20	0.10	135.40
13	Matorral Crasicaule_vs	28.70	22.40	84.20	0.10	135.40
14	Matorral xerofilo	7.10	22.40	84.20	0.10	113.80
15	Palmar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Plantacion Forestal	50.50	24.20	23.50	0.10	98.30
17	Selva Baja Caducifolia	47.27	14.70	76.20	1.78	139.95
18	Selva Baja Caducifolia_vs	25.00	7.80	76.20	1.78	110.78
19	Selva Mediana Subcaducifolia_vs	55.00	14.70	76.20	1.78	147.68
20	Area Agricola	4.00	22.30	81.60	0.31	108.21
21	Asentamientos Humanos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	Area Impactada por Incendio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Cuerpos de Agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	Pastizales	5.40	26.00	89.90	0.23	121.53

⁶⁸ Navar, J., Mendez, E. y Dale, V. 2002. Estimation stand biomass in the tamaulipan thronscrub of northeastern Mexico. *Annals of forest science*. 59(8): 813-821.

⁶⁹ Vigil, N. N. 2010. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Cupressus lindley klotzsch ex endil.* en el campo forestal experimental "Las Cruces", Texcoco, México. Tesis licenciatura Universidad Autónoma Chapingo.

⁷⁰ Arteaga, M.B. 2001. evaluación dasométrica de una plantación de pino en Perote Veracruz, Mexico. *Foresta Veracruzana*, 5(1): 27-32.

⁷¹ Pacheco, E. F.C, Aldrete, A., G.A, Fierros, Cetina, V. M., Gómez, A. y Vaquera, H. 2007. almacenamiento de carbno en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus Greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(003):251:254.

⁷² Roncal-García, S., Soto-Pinto, L., Castellanos-Albores, J., Ramírez-Marcial, N., y de Jong, B. H. J. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33, 200–206.

⁷³ Hughes, R.F., J.B. Kauffman, V. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical región of Mexico. *Ecological Applications*. 10:515-527.

⁷⁴ Castellanos, J., M. Maass, J. Kummerow. 1991. Root biomass of dry deciduous tropical forest in México. 1991. *Plant and Soil*, 131:225-228.

⁷⁵ Estrada, S. A.L. 2005. Almacén y flujos de carbono en ecosistemas forestales del estado de Morelos, México. 2005. Tesis maestría, Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

4.3. Futuros escenarios (opcional).

Para generar el mapa a futuro, se utilizó el Software DINAMICA EGO, desarrollado por Britaldo y colaboradores en el 2009⁷⁶ del Centro de Sensoramiento Remoto de la Universidad Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG) de Brazil.

Los modelos de simulación pueden ser vistos como un dispositivo heurístico útil para realizar la evaluación de resultados ante una variedad de escenarios, con diferentes marcos de referencia, socioeconómicos, políticos, y ambientales. Una clase especial entre ellos, modelos espacialmente explícitos simulan la dinámica de un sistema ambiental, reproduciendo el modo en que el modelo espacial se desarrolla, proyectar las consecuencias probables ecológicas y socioeconómicas de la dinámica del sistema. En este contexto fue que se desarrollo el Proyecto de Dinamica. Cuyo objetivo fue desarrollar instrumentos y métodos para ser aplicados a una variedad de los estudios de dinámica de paisaje y el modelado ambiental y diseminar libremente esta nueva tecnología a estudiantes e investigadores interesados en su empleo.

De un modelo de simulación espacialmente explícito de dinámica de paisaje, el programa Dinamica desarrollo Dinamica EGO, ahora en su versión actual 2.4. DINAMICA EGO. El término EGO hace referencia al concepto de Environment for Geoprocessing Objects (Entorno para Objetos de Geo-procesamiento). DINAMICA es una herramienta de modelación con posibilidades excepcionales para el diseño de modelos que van, desde los espaciales estáticos hasta complejos modelos dinámicos, los cuales pueden involucrar iteraciones anidadas, retroalimentaciones dinámicas, aproximaciones multi-regionales, manipulación y combinación algebraica de datos en distintos formatos, tales como mapas, tablas, matrices, y constantes, y procesos de decisión para bifurcar y juntar flujos de ejecución, y una serie de complejos algoritmos para el análisis y simulación de fenómenos espacio-temporales (Britaldo *et al.*, 2009⁷⁷).

El entorno del software, escrito en C++ y Java, contiene una serie de algoritmos llamados **functors**, cada uno de los cuales, ejecuta una operación específica. Cuenta con algoritmos especialmente diseñados para simulaciones espaciales, incluyendo funciones de transición, calibración, y validación de métodos.

Estos functors están secuenciados para establecer un flujo de datos en forma gráfica. Mediante la interfase de Dinamica EGO, es posible crear modelos sólo con arrastrar y conectar functors a través de sus puertos, los cuales representan conectores hacia distintos tipos de datos, tales como mapas, tablas, matrices, expresiones matemáticas, y constantes.

Los modelos pueden ser diseñados como diagramas y su ejecución sigue una cadena de flujo de datos. Esta amigable interfase permite el diseño de modelos desde simples a modelos espaciales muy complejos que son almacenados en un lenguaje script en formato XML o en el lenguaje de programación EGO. Dinamica EGO favorece la simplicidad, flexibilidad, y buen performance, optimizando velocidad y los recursos de la computadora, tales como la

⁷⁶ Britaldo S. Soares Filho, Hermann O. Rodrigues, William L. Costa. 2009. Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG).Brazil

⁷⁷ *Idem* 75.

memoria virtual y el procesamiento paralelo. La mayoría de sus algoritmos están diseñados para aprovechar la arquitectura dual, o de mayor rango, del procesador.

Dinamica el EGO ha sido aplicado a numerosos estudios medioambientales, incluyendo el modelado de deforestación en un área local del Amazonas en base a amplias escalas⁷⁸, uso del suelo y cambio de cubierta del Bosque Atlántico⁷⁹ (4) y del bosque seco tropical de México⁸⁰, dinámica urbana⁸¹, explotación forestal en el Amazonas⁸², y el riesgo de incendio forestal⁸³. Además, el uso de Dinamica EGO fue central para ayudar a desarrollar estudios pionero de REDD, tal como el costo y beneficio para reducir emisiones de carbón de la deforestación y la degradación forestal en Amazonas brasileñas⁸⁴, el papel de áreas protegidas en reducir emisiones de carbón en Amazonas brasileñas, los co-beneficios de REDD en la cabecera Xingu⁸⁵, una propuesta para terminar con la deforestación en el Amazonas brasileñas⁸⁶, y como REDD+ podría aumentar la producción de nuez brasileña en Madre de Dios, Peru⁸⁷, entre otros.

Cuenta con un modelo para construcción de simulación del cambio de uso del suelo y cobertura (Land Use Change and Land Cover – LUCC). El desarrollo de estos modelos espacio-temporales, en los que el estado o atributo de una cierta ubicación geográfica, o celda, cambia a través del tiempo como respuesta a una serie de causas o drivers, es un requisito de extrema importancia para el modelamiento ambiental y, por lo tanto, ofrece una gama de posibilidades para la representación de fenómenos dinámicos.

En este contexto, el modulo utiliza a Dinamica EGO como una plataforma de simulación de modelos LUCC. La meta es calibrar, ejecutar, y validar un modelo LUCC que simula la

⁷⁸ Soares-Filho B. S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Voll, E.; Cerqueira, G.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*, London, v. **440**, p. 520-523, 2006.

⁷⁹ Teixeira, A. M.; Soares-Filho, B. S.; Freitas, S.; Metzger, J. P. W. Modeling Landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 257, 1219–1230, 2009.

⁸⁰ Cuevas S G, Mas J-F. Land use scenarios: a communication tool with local Communities. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag, 2008.

⁸¹ Godoy, M. M. G. & Soares-Filho, B. S. Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighbourhood, Belo Horizonte city, Brazil. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag.

⁸² Merry, F.; Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D.; Aamacher, G.; Rodrigues, H. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. *Environmental Management*, EUA, 44 (3): 395-407.2009.

⁸³ Soares-Filho B. S.; Silvestrini, R.; Nepstad, D.; Brando, P.; Rodrigues, H.O.; Alencar, A.; Coe, M.; Locks, C.; Lima, L.; Hissa, L.B.V. et al. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. *Landscape Ecology*. Volume 27, Number 4 (2012), 585-598.

⁸⁴ Nepstad, D.; Soares-Filho, B. S.; Merry, F.; Moutinho, P.; Rodrigues, H.; Bowman, M.; Schwartzman, S.; Almeida, O.; Rivero, S. The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. A report for Bali COP-13.

⁸⁵ Stickler, C.M.; D.C. Nepstad; Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Merry, F.; Bowman, M.S.; Walker, W.S.; Kelndofer, J.M.; Almeida, O.T. The opportunity costs of reducing carbon emissions in an Amazonian agroindustrial region: the Xingu River headwaters. A paper prepared for and presented at the 2008 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, February 22-23, 2008, Berlin, Germany.

⁸⁶ Nepstad, D.; Soares-Filho, B.S.; Merry, F.; Lima, A.; Moutinho, P.; Carter, J.; Bowman, M., Cattaneo, A.; Rodrigues, H., Schwartzman, S.; McGrath, D.; Stickler, C.; Lubowski, P. P.; Rivero, S.; Alencar, A.; Almeida, O.; Stella, O. The End of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Science* 326 (5958) 1350-1351. 2009

⁸⁷ Nunes F.; Soares-Filho B. S.; Giudice; R. Rodrigues H. O.; Bowman M. S.; Silvestrini. R; Mendoza, E. Economic benefits of forest conservation: assessing the potential rents from Brazil nut concessions in Madre de Dios, Peru, to channel REDD+ investments. *Environmental Conservation*, 39 (3): 2012.

deforestación. Se requieren completar diez pasos para poder completar el modelo.

5. Resultados

Los resultados se presentan en las siguientes Figuras 2 y 3 en donde se presenta el Carbono total, para la fecha actual (2010) y la proyectada (2030). En esta se puede observar las áreas en donde se concentra la mayor cantidad de carbono y que corresponde a las áreas forestales principalmente en la zona de bosques.

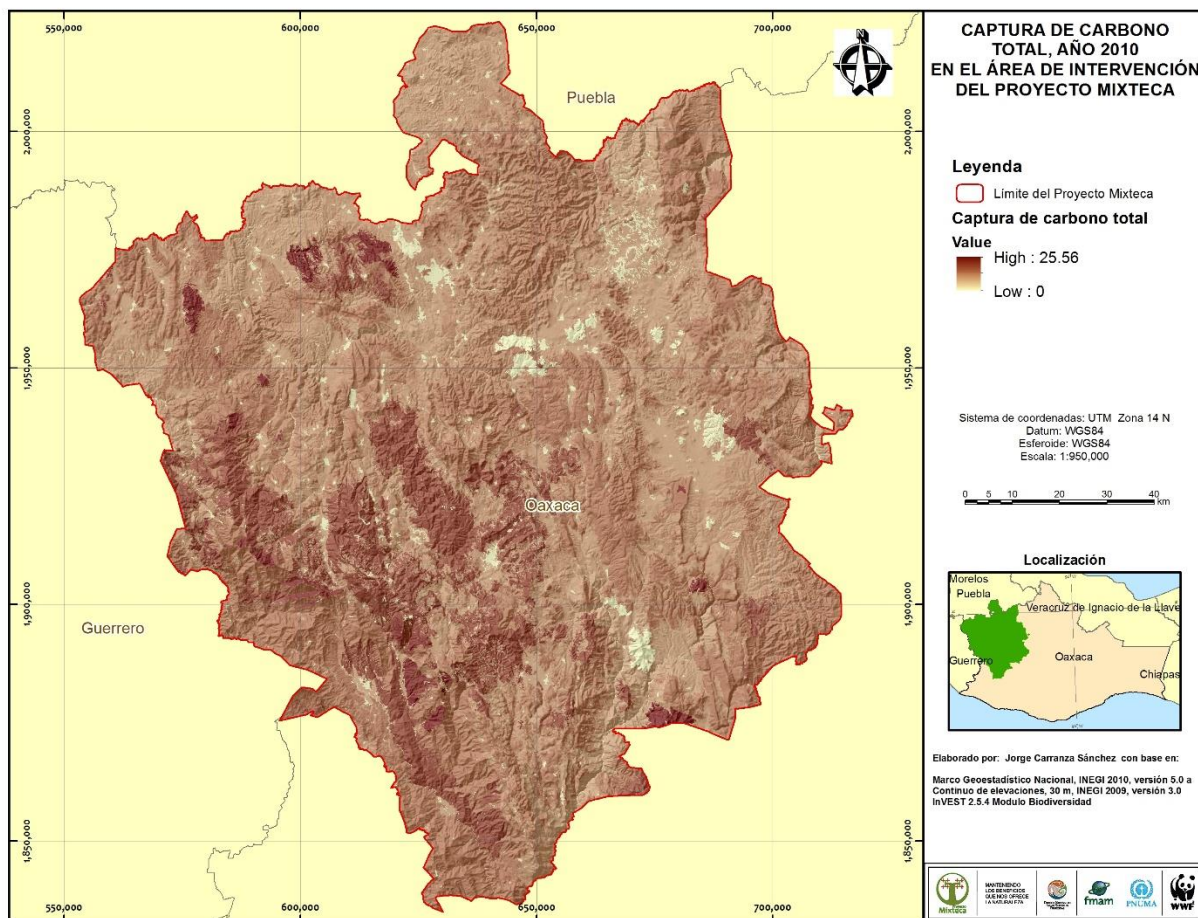


Figura 2. Carbono total año 2010.

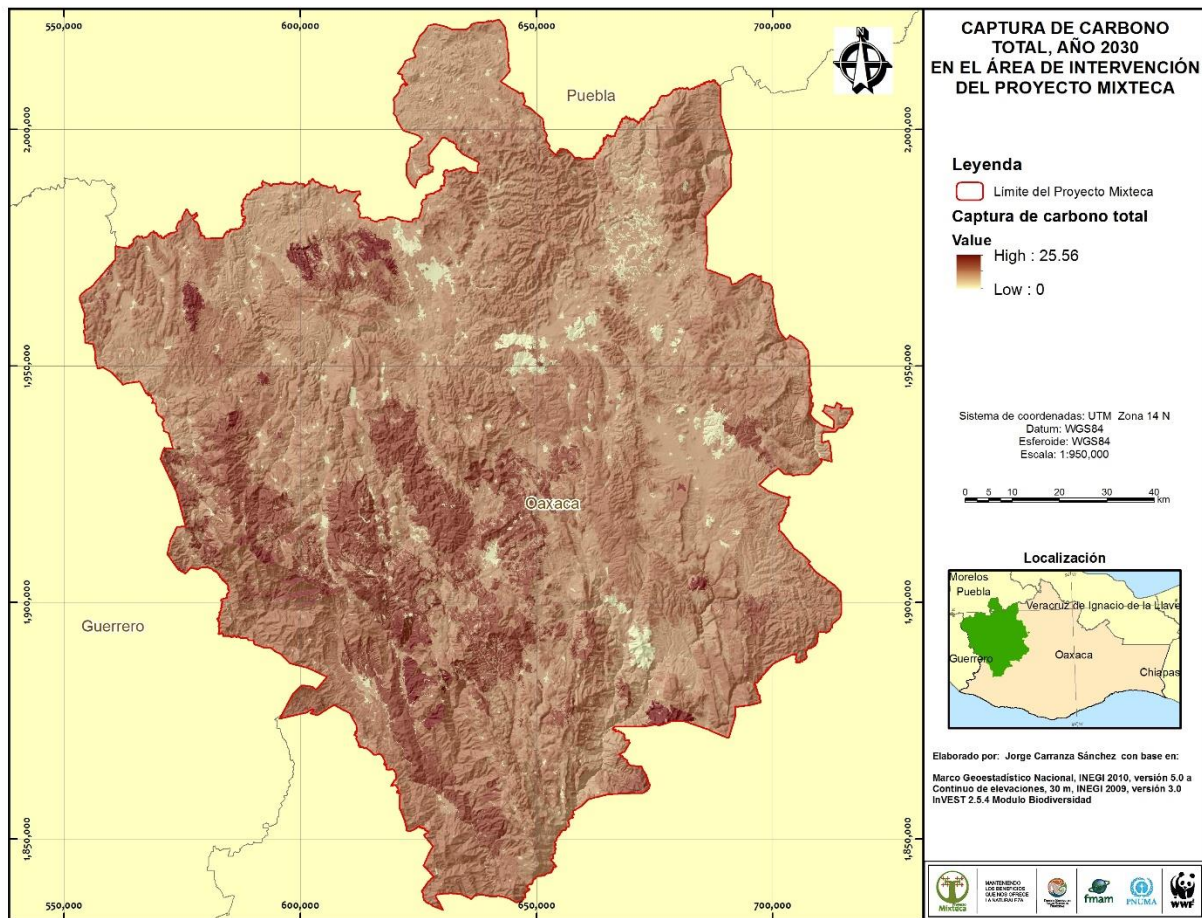


Figura 3. Carbono total proyección año 2030.

También se presentan los resultados para las cuatro reservas, aéreo, raíces, materia muerta y suelos, conforme se presenta en la Tabla 3. Al mismo tiempo se presenta para la fecha actual (2010), así como para el escenario a futuro que se haya presentado (2030) (Figuras 4 a la 11).

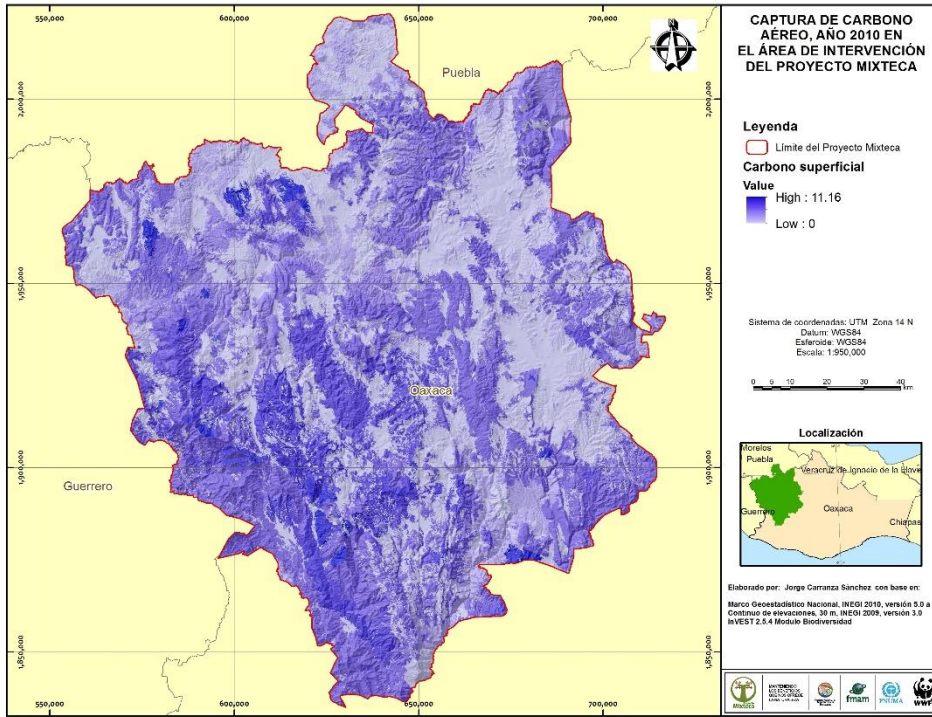


Figura 4. Carbono aéreo año 2010.

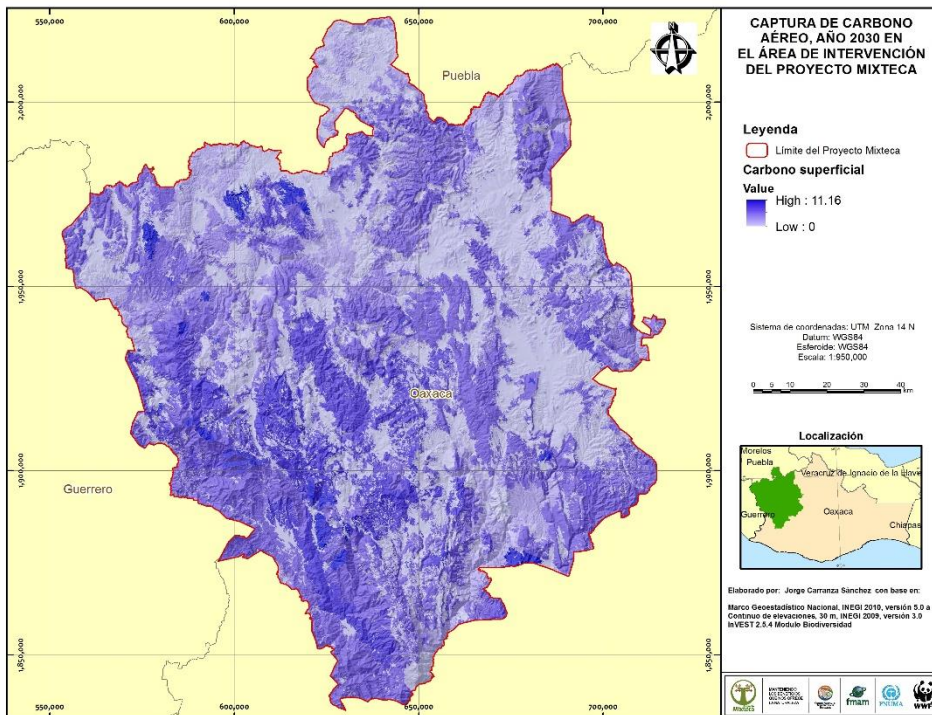


Figura 5. Carbono aéreo proyección año 2030.

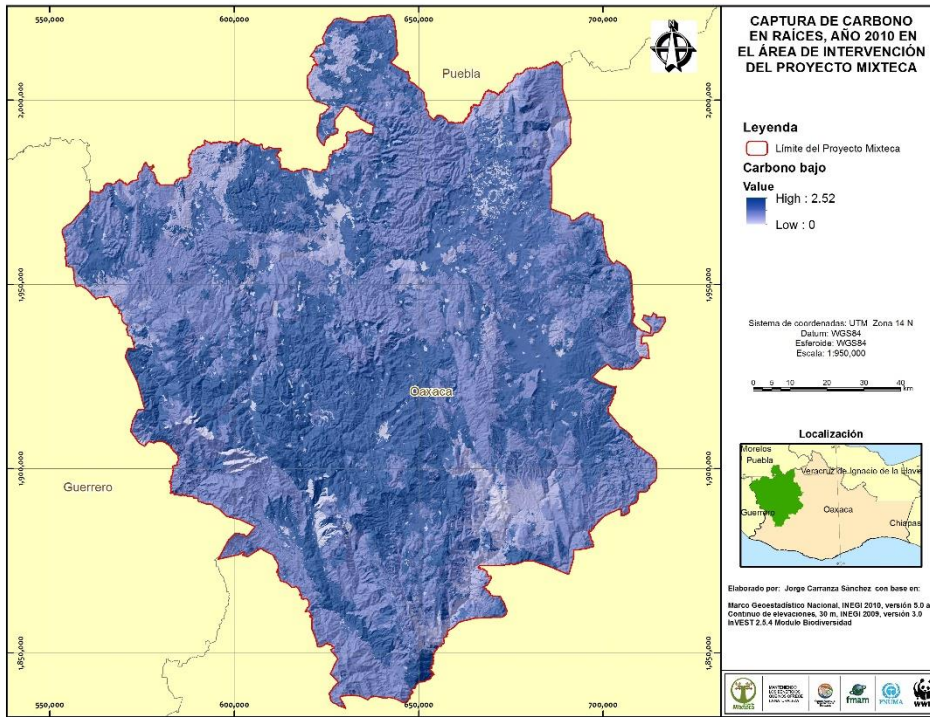


Figura 6. Carbono en raíces año 2010.

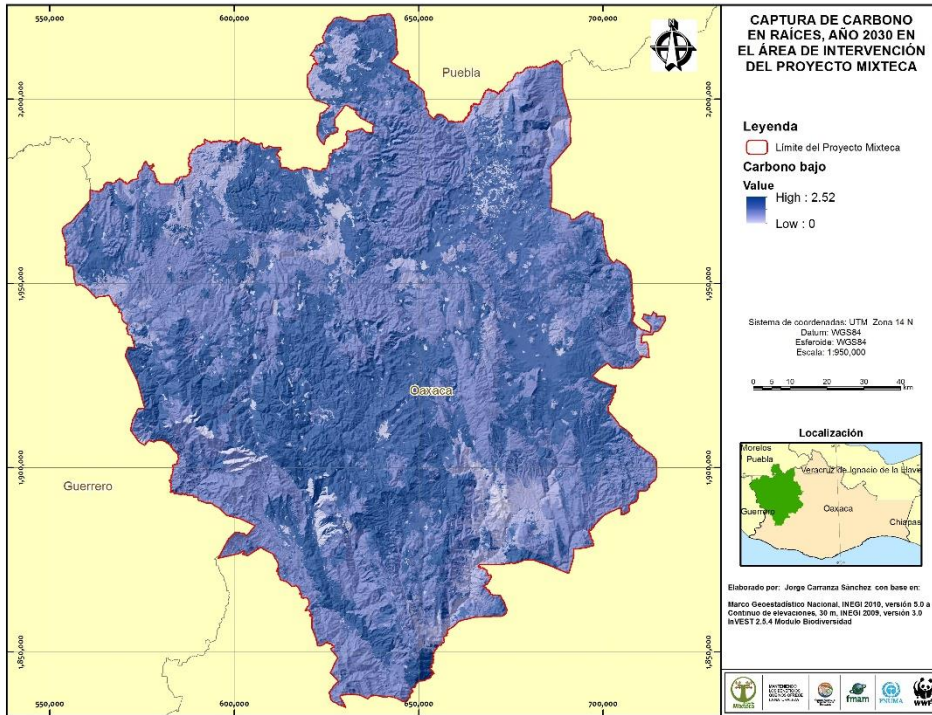


Figura 7. Carbono en raíces proyección año 2030.

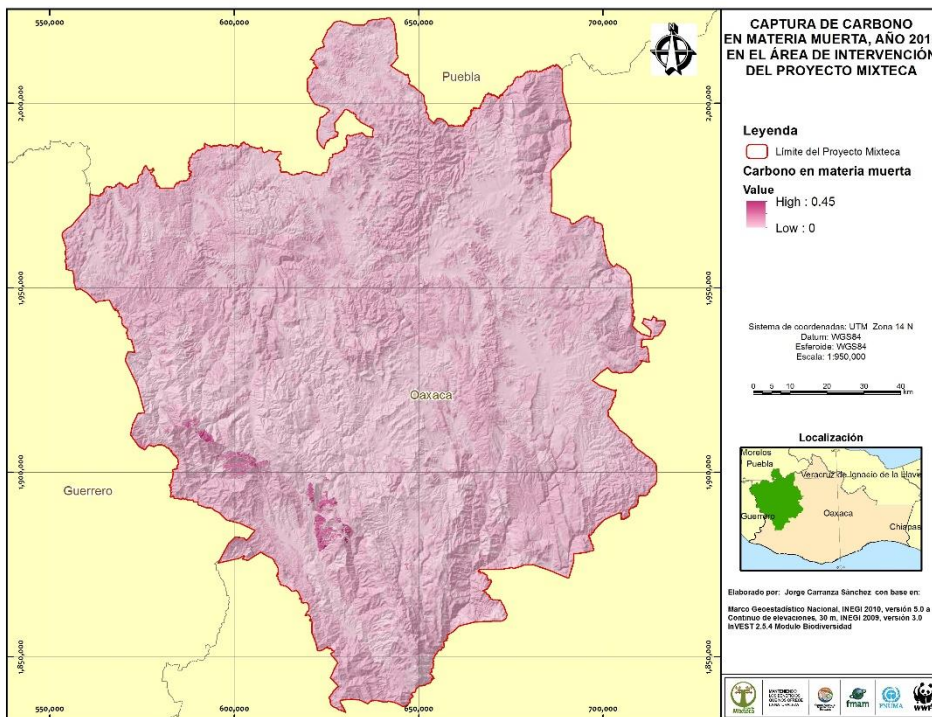


Figura 8. Carbono en materia muerta año 2010.

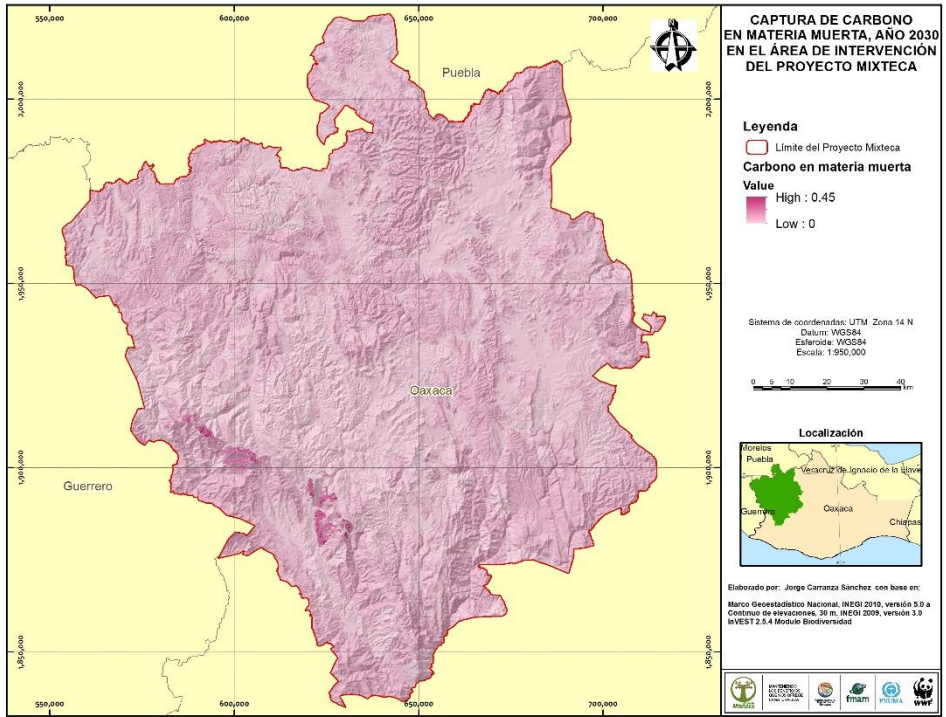


Figura 9. Carbono en materia muerta proyección año 2030.

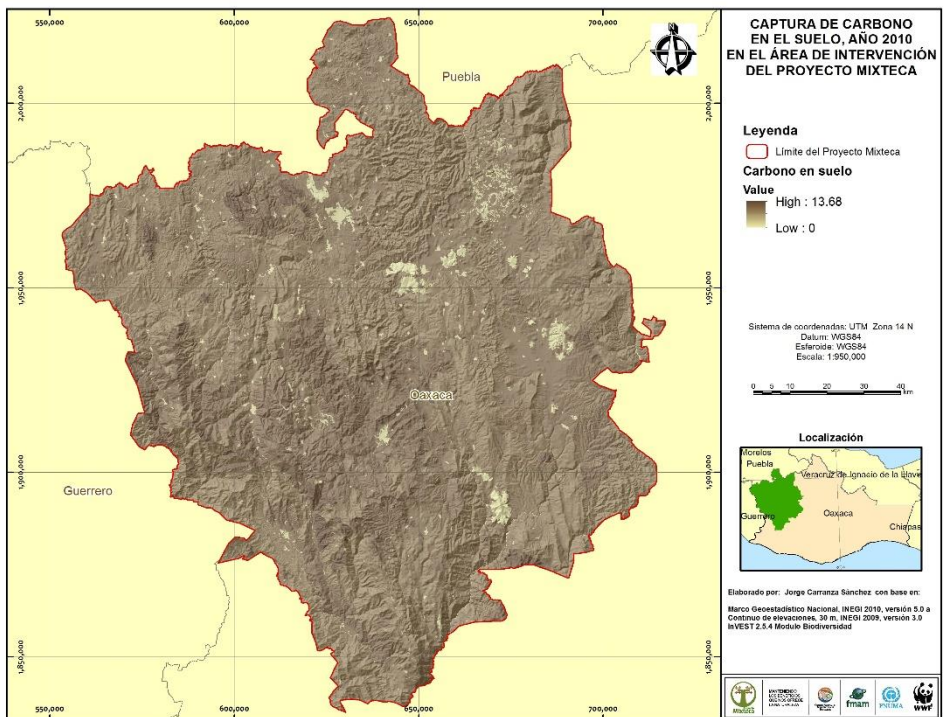


Figura 10. Carbono en el suelo año 2010.

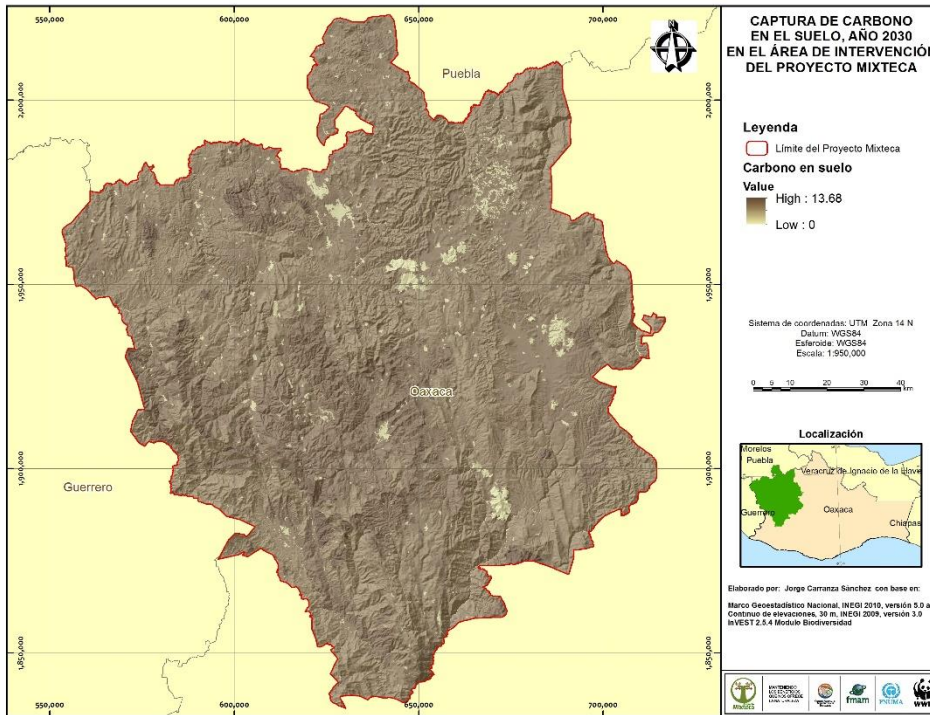


Figura 11. Carbono en el suelo proyección año 2030.

6. Conclusiones.

Los resultados obtenidos deben ser tomados con muchas reservas, debido a que los datos utilizados para alimentar los datos de carbono en las cuatro principales reservas (aéreo, raíces, materia muerta y suelo) y construir la tabla 3, para la ejecución del modelo de InVEST, fueron obtenidos de trabajos de otros sitios del estado de Michoacán y Oaxaca.

Lo anterior debido a que no se cuenta con datos específicos para la región, también es importante considerar que de la revisión bibliográfica se observa que de los trabajos realizados existe una fuerte variación en cuanto a la cantidad de carbono para cada uno de las asociaciones vegetales utilizadas.

Por lo anterior se recomienda contar con una línea base de datos para la región que permita alimentar el modelo a fin de obtener datos confiables sobre la cantidad de carbono almacenada y capturada en las diferentes reservas.

7. Referencias bibliográficas

- Acosta M., Etchevers J.D., Monreal C., Quednow K., Hidalgo C. (2001) Un método para la medición del Co en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México, in: Memoria del Simposio Internacional sobre "Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Nov. 2001, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile (CD ROM).
- Aguirre-Salgado, C. A., J. R. Valdez-Lazalde, G. Ángeles-Pérez, H. M. De Los Santos-Posadas, R. Haapanen, A.I. Aguirre-Salado. 2009. Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de pino patula en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 43:209-220.
- Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, Mj Ordoñez, J. Jujnovsky. 2007. servicios ecosistemicos en la cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal, México, *Gaceta Ecológica* 84-85:53-64.
- Arteaga, M.B. 2001. evaluación dasométrica de una plantación de pino en Perote Veracruz, Mexico. *Foresta Veracruzana*, 5(1): 27-32.
- Balvanera, P., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, T. H. Ricketts, S. A. Bailey, S. Kark, C. Kremen and H. Pereira. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* **291**: 2047.
- Britaldo S. Soares Filho, Hermann O. Rodrigues, William L. Costa. 2009. Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG).Brazil
- Canadell, JG and MR Raupach. 2008. Managing Forests for Climate Change Mitigation. *Science* **320**:1456-1457.
- Capoor, K., and P. Ambrosi. State and Trends of the Carbon Market 2008. Washington, D.C.: World Bank Institute, 2008 May.
- Cairns, M.A., Kolchuniga, T.P., Turner, D.P., Winjum, J.K., 1995. The contribution of forest land use to total national carbon flux: case studies in the former Soviet Union, United States, Mexico and Brazil. EPA/600/R-95/044. U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, OR. 212 pp.
- Cairns, M. A., P. K. Haggerty, R. Alvarez, B. H. J. De Jong, and I.Olmsted 2000. Tropical Mexico's Recent Land-Use Change: A Region's Contribution To The Global Carbon Cycle. *Ecological Applications* 10:1426–1441.
- Castellanos, J., M. Maass, J. Kummerow. 1991. Root biomass of dry deciduous tropical forest in México. 1991. *Plant and Soil*, 131:225-228.
- CuevasS G, Mas J-F. Land use scenarios: a communication tool with local Communities. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag, 2008.
- De Jong, B., Montoya G., Nelson K., Soto L., Taylor J., Tipper R. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia*. 20(6):409-416.

De Jong, B.H.J., Cairns, M.A., Haggerty, P.K., Ramírez-Marcial, N., Ochoa- Gaona, S., Mendoza-Vega, J., González Espinosa, M., March-Mifsut, I., 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in the central highlands of Chiapas, México. *Environ. Manage.* 23 (3), 373–1285.

De Jong B., Cairns M., Haggerty P., Ramírez-Marcial N., Ochoa-Gaona S., Mendoza-Vega J., González-Espinosa M., March-Mifsut I. 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in central Highlands of Chiapas, Mexico. *Environmental Management*. 23(3):373-385.

De Jong B.H.J. 2001. Uncertainties in estimating the potential for carbon mitigation of forest management. *Forest Ecology and Management*. 154(1-2): 85-104.

Díaz F. R., M. Acosta, F. Carrilo, E. Buendía, E. Flores, J. Etchevers. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula*, schl. et cham. *Madera y Bosques*, 13(001): 25-34.

Dixon, R. y García, M. 1992. Rates of Deforestation in Los Tuxtlas a Neotropical Area in Southeast, México. 1992. *Conservation Biology* 6(1): 84-93.

E. Schulze. 2007. An incentive mechanism for reducing emissions from conversion of intact and non-intact forests. *Climatic Change* 83:477-493.

Estrada, S. A.L. 2005. Almacén y flujos de carbono en ecosistemas forestales del estado de Morelos, México. 2005. Tesis maestría, Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

Etchevers B.J.D. (2002) Metodología para la medición de la captura de carbono, Proyecto Manejo Sostenible de Laderas, Cuarta reunión del Comité Técnico de Coordinación y Seguimiento, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (CD-ROM).

Etchevers J., M. Acosta, C. Monreal, K. Quednow y Jiménez, L. 2002. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales del 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia – Chile.

Etchevers, J.D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo, M. Martínez. Influence of land use on carbon sequestration and erosion in Mexico, a review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany), 2006, 26 (1), pp.21-28

Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e->

Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan. <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>.

FAO. 2011. *Situación de los bosques del mundo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Figueroa Navarro, C., Etchevers Barra, J.D., Velázquez Martínez, A., Acosta- Mireles, Y.M., 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamérica* 23, 57–64.

- Gibbs, H.K., S. Brown, J.O. Niles, and J.A. Foley. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2:045023.
- Godoy, M. M. G. & Soares-Filho, B. S. Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighbourhood, Belo Horizonte city, Brazil. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag.
- Hamilton, K., M. Sjardin, T. Marcello, and G. Xu. Forging a Frontier: State of the Voluntary Carbon Markets 2008. Washington, D.C.: Ecosystem Marketplace and New Carbon Finance; 2008.
- Hughes, R.F., J.B. Kauffman, V. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Applications*. 10:515-527.
- INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión 5.0A. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx
- INEGI 2010. Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. *Climate Change 2001. The Synthesis Report*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 397 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1996. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Land-use change and forestry. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Chapter 5)*.
- Jaramillo, V.J., Boone, J., Rentería-Rodríguez, L., Cummings, D.L., Ellingson, L., 2003. Biomasa, carbon, and nitrogen pool in Mexican Tropical Dry Forest landscapes. *Ecosystems* 6, 609–629.
- Jiménez-Pérez, J., Aguirre, O., Treviño, E. 2010. capacidad de captura de carbono en ecosistemas mixtos en el estado de Tamaulipas. *Facultad De Ciencias Forestales. UANL*.
- Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304:1623- 1627.
- Lambin, E.F., 1994. *Modelling deforestation processes: a review Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites, TREES Series B, Research report No. 1*. Office of the European Commission, Directorate- General XIII. Luxemburg. 113 pp.
- Mackey, B, Keith H, Berry S.L, Lindenmayer DB. Green carbon: the role of natural forests in carbon storage. Part A green carbon account of Australia's Southeastern Eucalypt forest, and policy implications. Canberra, Australia: ANU E Press, 2008.
- Martínez-Vera, D. y Quintana-Sagarnaga, S.B. 2010. Determinación del contenido de carbono en *Quercus microphylla* y dos unidades de suelo en el predio Las Cruces, Texcoco, Estado de México. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo.
- Masera O.R. 1995. en Jardón J.J. (ed.) *Energía y Medio Ambiente*, Plaza y Valdes Ed., México D.F., 157-178.
- Masera O.R., Ordoñez M.J., y Dirzo R., 1997. *Climatic Change* 35, 265-295.

- Masera, O., Martínez, R.D., Hernández, T., Guzmán y, A., Ordóñez, A., 2000. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1994–1996. Parte 6: Cambio en el uso del suelo y bosques. Laboratorio de Bioenergía del Departamento de Ecología de los Recursos Naturales del Instituto de Ecología de de la UNAM, Campus Morelia-INE, SEMARNAT, México, D.F, p. 44.
- Masera O.R., A.D. Ceron, y J. Antonio Ordóñez, 2001. Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change, 6: 291-312.
- Mendoza-Ponce, A. V. 2008. Estimación de biomasa aérea y almacenamiento de carbono en paisajes de bosques templados en Cofre de Perote, Veracruz. Tesis Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.
- Merry, F.; Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D.; Aamacher, G.; Rodrigues, H. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. *Environmental Management*, EUA, 44 (3): 395-407.2009.
- Mollicone D., F. Achard, S. Federici, H. Eva, G. Grassi, A. Belward, F. Raes, G. Seufert, H. Stibig, G. Matteucci, and Nepstad, D.; Soares-Filho, B.S.; Merry, F.; Lima, A.; Moutinho, P.; Carter, J.; Bowman, M., Cattaneo, A.; Rodrigues, H., Schwartzman, S.; Mcgrath, D.; Stickler, C.; Lubowski, P. P.; Rivero, S.; Alencar, A.; Almeida, O.; Stella, O. The End of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Science* 326 (5958) 1350-1351. 2009.
- Murray, B., B. Sohngen, and M. Ross. 2007. Economic consequences of consideration of permanence, leakage and additionality for soil carbon sequestration projects. *Climatic Change* 80:127-143.
- Nava, L.M.Z. 2006. carbono almacenado como servicio ecosistemico y criterio de restauración, en el bosque de Abies religiosa de la cuenca del Río Magdalena. D.F. Tesis Maestría. Posgrado En Ciencias Biológicas, UNAM.
- Navar, J., Mendez, E. y Dale, V. 2002. Estimation stand biomass in the tamaulipan thronscrub of northeastern Mexico. *Annals of forest science*. 59(8): 813-821.
- Nelson, E., G. Mendoza, J. Regetz, S. Polasky, H. Tallis, D. Cameron, K. Chan, G. Daily, J. Goldstein, P. Kareiva, E. Lonsdorf, R. Naidoo, TH Ricketts, and R. Shaw. 2008. Modeling Multiple Ecosystem Services and Tradeoffs at Landscape Scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*Forthcoming.
- Nepstad, D.; Soares-Filho, B. S.; Merry, F.; Moutinho, P.; Rodrigues, H.; Bowman, M.; Schwartzman, S.; Almeida, O.; Rivero, S.. The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. A report for Bali COP-13.
- Nordhaus, W. 2007b. A Review of the Stern Review on the Economics of Global Warming. *Journal of Economic Literature* 45: 686-702.
- Nordhaus, W. 2007a. Critical Assumptions in the Stern Review on Climate Change. *Science* 317 (5835): 201–202.
- Nunes F.; Soares-Filho B. S.; Giudice; R. Rodrigues H. O.; Bowman M. S.; Silvestrini. R;

- Mendoza, E. Economic benefits of forest conservation: assessing the potential rents from Brazil nut concessions in Madre de Dios, Peru, to channel REDD+ investments. *Environmental Conservation*, 39 (3): 2012.
- Ordóñez, A., Maser, O., 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7 (1), 3–12.
- Ordóñez, J.A., Bernardus, H.J. de Jong, O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosque* 7(2) 2001:27-47.
- Ordóñez, JAB, BJJ De Jong, F García-Oliva, FL Aviña, JV Pérez, G Guerrero, R Martínez, O Maser. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico *Forest Ecology and Management* 255 (7), 2074-2084
- Pagiola, S. 2008. Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics* 65 (4): 712-724.
- Rangel, M.B. 2004. Evaluación de la captura de carbono en sistemas agrícolas en producción, abandonados y reforestados de áreas afectadas por ceniza Volcánica Del Parícutín, Michoacán, México. Tesis Maestría, Facultad de Biología, UMSNH.
- Peña del Valle, A.E. 2003. captura de carbono: un estudio en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. 2003. Tesis Maestría, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Pacheco, E. F.C, Aldrete, A., G.A, Fierros, Cetina, V. M., Gómez, A. y Vaquera, H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus Greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(003):251:254.
- Pimienta-De-La-Torre, D.J, G. Domínguez, O. Aguirre, F.J. Hernández, J. Jiménez. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* blanco, en Pueblo Nuevo Durango. *Madera y Bosques*, 13(001): 35-46.
- Rojas-García, F. 2008 consideraciones para el balance de carbono: evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche, Tesis Maestría Ciencias Biológicas, UNAM.
- Roncal-García, S., Soto-Pinto, L., Castellanos-Albores, J., Ramírez-Marcial, N., y de Jong, B. H. J. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33, 200–206.
- Sedjo, RA and B. Sohngen. Carbon Credits for Avoided Deforestation. Washington, DC: Resources for the Future; 2007 October 2007. Report for RFF DP 07-47.
- Soares-Filho B. S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Voll, E.; Cerqueira, G.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*, London, v. **440**, p. 520-523, 2006.
- Soares-Filho B. S.; Silvestrini, R.; Nepstad, D.; Brando, P.; Rodrigues, H.O.; Alencar, A.; Coe, M.; Locks, C.; Lima, L.; Hissa, L.B.V. et al. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. *Landscape Ecology*. Volume 27, Number 4 (2012), 585-598.

- Sohngen, Brent, RH Beach, and Kenneth Andrasko. 2008. Avoided Deforestation as a Greenhouse Gas Mitigation Tool: Economic Issues. *Journal of Environmental Quality* 37: 1368-1375.
- Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Stickler, C.M.; D.C. Nepstad; Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Merry, F.; Bowman, M.S.; Walker, W.S.; Kellndorfer, J.M.; Almeida, O.T. The opportunity costs of reducing carbon emissions in an Amazonian agroindustrial region: the Xingu River headwaters. A paper prepared for and presented at the 2008 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, February 22-23, 2008, Berlin, Germany.
- Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., and Griffin, R. 2013. *InVEST 2.5.4 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, HS, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). Institute for Global
- Tol, RSJ. 2005. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energy Policy* 33:2064-2074.
- Teixeira, A. M.; Soares-Filho, B. S.; Freitas, S.; Metzger, J. P. W. Modeling Landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 257, 1219–1230, 2009.
- Terradas, J. *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. 2001. Ediciones Omega. Barcelona.
- Vigil, N. N. 2010. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Cupressus lindley klotzsch ex endil*. en el campo forestal experimental "Las Cruces", Texcoco, México. Tesis licenciatura Universidad Autónoma Chapingo.
- Weitzman, ML. 2007. A review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature* 45:703-724.
- Zamora-Collazo, J.C. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa Aérea en el bosque de pino del ejido "la majada" municipio de Peribán de Ramos, Michoacán. Tesis Licenciatura, UMSNH.

ANEXO VI.

Informe de final

Elaborar un protocolo para la evaluación de los servicios ecosistémicos clave de la Mixteca con la aplicación del Sistema de Información Geográfica.

Elaboración:

Jorge Carranza Sánchez
Maritza Valle Villanueva

Contenido	Pag.
1. Introducción.....	3
2. Justificación.....	5
2.1. Observaciones de campo.....	7
2.2. Sensores remotos.....	8
2.3. Modelos.....	10
2.3.1. InVEST.....	11
2.3.2. ARIES.....	11
2.3.3. POLYSCAPE.....	12
3. Objetivo.....	12
3.1. Objetivo particular.....	12
4. Área de estudio.....	12
4. Método.....	14
4.1. Módulo Retención de suelos.....	14
4.1.1. Modelo digital de elevación.....	16
4.1.2. Índice de erosividad por lluvia.....	17
4.1.3. Erosionabilidad del suelo.....	18
4.1.4. Uso del suelo y vegetación (LULC).....	19
4.1.5. Cuencas hidrológicas.....	19
4.1.6. Subcuencas.....	20
4.1.7. Tabla biofísica.....	20
4.1.8. Tabla Tabla del límite del sedimento.....	20
4.2. Módulo Biodiversidad: <i>Calidad del hábitat</i>	20
4.2.1. Mapas de Uso del Suelo y Vegetación.....	23
4.2.2. La sensibilidad de los tipos de hábitat a cada amenaza.....	23
4.2.3. Datos espaciales de la distribución e intensidad de cada amenaza.....	24
4.2.4. Áreas Naturales Protegidas.....	24
4.3. Módulo Captura de carbono.....	25
4.3.1. Mapas de Uso del Suelo y Vegetación.....	28
4.3.1.1. Proyección a futuro.....	28
4.3.3. Reserva se carbono.....	30
5. Conclusiones.....	34
6. Referencias.....	35

Figuras	Pag.
Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.	13
Figura 2. Diagrama de variables identificadas para el módulo de retención de suelos.	16
Figura 3. Diagrama de variables identificadas para el módulo de biodiversidad.	22
Figura 4. Diagrama de variables identificadas para el módulo de captura de carbono.	27

Tablas	Pag.
Tabla 1. Variables identificadas para el módulo de Retención de suelos.	15
Tabla 2. Variables identificadas para el módulo de biodiversidad.	22
Tabla 3. Especies y grupos funcionales obtenidos en los talleres de expertos.	23
Tabla 4. Amenazas identificadas.	24
Tabla 5. Variables identificadas para el módulo de captura de carbono.	26
Tabla 6. Datos comparativos de reservas de carbono.	30

Resumen ejecutivo

Los servicios ecosistémicos son las contribuciones de los **productos y procesos** de los ecosistemas utilizados para el bienestar de la sociedad. El estudio de los servicios ecosistémicos y sus aplicaciones para la toma de decisiones está creciendo rápidamente. Sin embargo, los vínculos entre el bienestar humano y los ecosistemas no se conocen a fondo para la mayoría de los ecosistemas del planeta, para una gran variedad de contextos socio-económicos, y para múltiples escalas.

El monitoreo de los servicios ecosistémicos se ha enfocado principalmente al sistema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), ésta compensación económica está destinada a los poseedores y propietarios por mantener las condiciones ambientales de los ecosistemas que proporcionan servicios para el bienestar y calidad de vida de la población usuaria. Los avances logrados en los esquemas de PSA son significativos; sin embargo, las evaluaciones denotan limitaciones que van desde; carencia de información confiable y precisa sobre los servicios que suministran los ecosistemas. La escasa disponibilidad de información biofísica, la extrapolación de indicadores e información de ecosistemas diferentes y las generalizaciones de un lugar a otro han creado estimaciones, datos inapropiados e inexistencia de referencias confiables sobre flujos ecosistémicos.

La cuantificación de servicios necesitan producir datos relevantes para la toma de decisiones, por lo anterior es necesario contar con un método estándar y consistente, para mapear la cantidad y flujos de los proveedores y consumidores del conjunto completo de los servicios ecosistémicos. El Grupo de la Red de Observadores de la Biodiversidad de la Tierra (GEO BON) identificó cuatro principales recursos de datos: estadísticas nacionales, observaciones de campo, sensores remotos y modelos de simulación numérica.

Los datos biofísicos pueden ser obtenidos de manera propia durante el desarrollo del proyecto, también se puede optar por utilizar la serie de datos que se encuentran disponibles para alguna de las variables utilizadas y que han sido obtenidos por otros proyectos o por las diferentes instituciones académicas o de gobierno. Los sensores remotos pueden ser utilizados para el mapeo de los servicios ecosistémicos para monitorear directa o indirectamente y en combinación con modelos ecosistémicos. Finalmente los modelos pueden ser construidos utilizando las herramientas de los programas de Sistemas de Información Geográfica, o bien utilizar los modelos que se encuentran predefinidos como puede ser InVEST, ARIES y POLYSCAPE.

Para el desarrollo del proyecto, la intención es poder monitorear los servicios ecosistémicos para lo cual se tomó la decisión de utilizar el modelo InVEST, el cual fue seleccionado por los administradores del Proyecto GEF-Mixteca. La ejecución de los módulos pueden ser a través de las herramientas de ArcMap o bien ejecutando cada uno de los módulos independientes y la sistematización del procedimiento permitirá obtener resultados que pueden compararse en el tiempo. Sin embargo es importante considerar que muchos de los datos biofísicos que son utilizados por los módulos son adquiridos por las diferentes instituciones, utilizando los protocolos establecidos, así como el tiempo y las escalas de muestreo. Contar con todos los datos para el área de interés permitirá obtener los mejores resultados.

1. Introducción.

Los servicios ecosistémicos son las contribuciones de los **productos y procesos** de los ecosistemas utilizados para el bienestar de la sociedad. Estos servicios se establecen como el vínculo entre los ecosistemas y la sociedad y se pueden clasificar para entender las relaciones entre el bienestar de las poblaciones humanas y los ecosistemas (CDI, 2012¹). Los servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales benefician de forma más directa a las personas, mientras que los servicios de soporte son indispensables para el mantenimiento de los demás servicios (Sarukhán, J., et al. 2009²). Los servicios ecosistémicos contribuyen a las distintas esferas del bienestar humano. Proporcionan los bienes básicos para el consumo o para la actividad comercial e industrial como el agua, la leña o los alimentos. También contribuyen con la salud humana, a través de una adecuada alimentación, un ambiente limpio, libre de enfermedades y de materiales tóxicos. Permiten además que las poblaciones estén protegidas ante cambios extremos que amenacen directamente su integridad o la de sus actividades económicas (Galan et al. 2012³).

El campo del estudio de los servicios ecosistémicos y sus aplicaciones para la toma de decisiones está creciendo rápidamente (Balvanera y Cotler, 2007⁴). Sin embargo, los vínculos entre el bienestar humano y los ecosistemas no se conocen a fondo para la mayoría de los ecosistemas del planeta, para una gran variedad de contextos socio-económicos, y para múltiples escalas. Aún queda mucho por saber acerca del papel que juegan las características de los ecosistemas y su capacidad de brindar servicios, por lo anterior es necesario conocer más acerca de la relación entre los componentes, condiciones y procesos de los ecosistemas y los distintos servicios ecosistémicos. El estudio de los servicios ecosistémicos es inherentemente complejo y representa un reto enorme. Su comprensión requiere del entendimiento tanto de la complejidad inherente de los sistemas ecológicos, así como de los sociales y su interacción (Liu et al., 2007⁵). El entendimiento de los servicios ecosistémicos es indispensable para poder transferirlos hacia la sociedad de tal forma que tengan consecuencias en la toma de decisiones y en la generación de políticas que aseguren su mantenimiento.

En este sentido, muchos autores han notado la importancia para la identificación de la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios (proveedores) y su demanda social (consumidores), marcando que el estado de un servicio ecosistémico está influenciado no solo por las propiedades de los ecosistemas sino también por las necesidades sociales (Paetzold et al. 2010; Syrbe and Walz 2012; Burkhard et al. 2012b en Castro et al 2013)⁶. Sin

¹ Información de La Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (consultado en CDI [en línea] http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=758&Itemid=68)

² Sarukhán, J., et al. 2009. *Capital natural de México*. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

³ Galan, C., P. Balvanera y F. Catellarini. 2012. *Políticas públicas hacia la sustentabilidad: integrando la visión ecosistémica*. CONABIO, México.

⁴ Balvanera, P. y Cotler, H. 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica* número especial **84-85** (2007) 8-15 Instituto Nacional de Ecología, México.

⁵ Liu, J., T. Dietz, S. R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A. N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C. L. Redman, S. H. Shneider y W. W. Taylor. 2007. Complexity of Coupled Human and Natural System. *Science* **317**: 1,513-516.

⁶ Castro-Martínez, A.J., M. García-Llorente, B. Martín-López, I. Palomo y I. Iniesta-Arandia. 2013 Multidimensional Approaches in Ecosystem Services Assessment. In Alcaraz-Segura, D., C.M. Di Bella, J.V. Strasschnoy. Earth Observation of Ecosystem Services. CRC Press, noviembre 2013.

embargo la mayoría de los estudios sobre servicios ecosistémicos no incluyen las preferencias y el valor para los diferentes beneficiarios de los servicios ecosistémicos (Menzel and Teng 2010⁷; Seppelt *et al.* 2011 en Castro *et al.* 2013⁸). Sin embargo existen grupos de tomadores de decisiones con diferentes prioridades en lo referente a cual servicio ecosistémico es más importantes para su bienestar (McMichael *et al.* 2003⁹; Díaz *et al.* 2011 en Castro *et al.* 2013¹⁰) y consecuentemente, estos pueden ser incluidos en la evaluación de los servicios ecosistémicos (Egoh *et al.* 2007 en Castro *et al.* 2013¹¹).

Algunos esfuerzos han sido elaborados para cuantificar, valorar, mapear, monitorear y analizar los diferentes componentes de los servicios ecosistémicos que sostienen el bienestar humano: de los primeros se puede mencionar a Costanza *et al.* (1997)¹² y la Evaluación del milenio de los Ecosistemas (MA 2005¹³) para las más reciente iniciativas integradas de la Plataforma Intergubernamental Ciencia-Política sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES 2013¹⁴) y el Sistema de Monitoreo Global del Cambio de Servicios Ecosistémicos (Tallis *et al.* 2012¹⁵; GEO BON ES 2013¹⁶).

Las últimas iniciativas unieron a más de 50 organizaciones internacionales y 80 representaciones gubernamentales bajo el auspicio del Grupo de Observadores de la Tierra a fin de desarrollar los Sistemas para el Sistema Global de Observación de la Tierra (GEOSS). Su intención es la compilación extensiva y monitoreo estándar de múltiples servicios para permitir a los tomadores de decisiones y científicos explorar, entender mejor y priorizar decisiones a través de niveles socio-ecológicas y diferentes escalas (de nivel nacional a nivel global).

El monitoreo de los servicios ecosistémicos se ha enfocado principalmente al sistema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), ésta compensación económica está destinada a los poseedores y propietarios por mantener las condiciones ambientales de los ecosistemas que proporcionan servicios para el bienestar y calidad de vida de la población usuaria, lo anterior está fundamentado en principios de sustentabilidad ambiental, manejo de recursos naturales y políticas ambientales dirigidas a proteger los ecosistemas y contribuir al crecimiento económico local.

Los avances logrados en los esquemas de PSA son significativos; sin embargo, las evaluaciones denotan limitaciones que van desde; carencia de información confiable y

⁷ Menzel, S., and J. Teng. 2010. Ecosystem services as a stakeholder-driven concept for conservation science. *Conservation Biology* 3:907–909.

⁸ *Idem* 6.

⁹ McMichael, A. J., D. Campbell-Lendrum, C. F. Corvalan, et al. 2003. *Climate change and human health: Risks and responses*. Geneva: World Health Organization.

¹⁰ *Idem* 6.

¹¹ *Idem* 6.

¹² Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253–260.

¹³ MA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Current states and trends*. Washington, DC: World Resources Institute.

¹⁴ IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). 2013. IPBES Draft Work Programme 2014–2018. Available from: <http://www.ipbes.net> (accessed April 4, 2013).

¹⁵ Tallis, H., H. Mooney, S. Andelman, et al. 2012. A global system for monitoring ecosystem service change. *BioScience* 62:977–986.

¹⁶ GEO BON ES (Group on Earth Observations. Biodiversity Observation Network. Ecosystem Services Working Group). 2013. Available from: http://www.earthobservations.org/geobon_wgs.shtml (accessed April 4, 2013).

precisa sobre los servicios que suministran los ecosistemas, inexistencia de estudios sobre flujos y balances hidrológicos, medición de caudales que reflejen el impacto del pago sobre el servicio ambiental o conocer la procedencia de los servicios que recibe el usuario. La escasa disponibilidad de información biofísica, la extrapolación de indicadores e información de ecosistemas diferentes y las generalizaciones de un lugar a otro han creado estimaciones, datos inapropiados e inexistencia de referencias confiables sobre flujos ecosistémicos. En algunos casos, una vez realizado el pago y las acciones de conservación o el cambio de usos del suelo, **no es posible verificar la producción de servicios o su impacto por la ausencia de estudios previos.**

Los sistemas de PSA con frecuencia se han establecido sin estudios diagnósticos previos, iniciando por la definición de marcos regulatorios y/o negociaciones entre proveedores y compradores del servicio, sin conocer la efectiva provisión de servicios. Algunos criterios que se han considerado en un sistema de pago son: el pago como un acuerdo voluntario, destinado a un servicio ambiental definido, canalizarlo al menos a un servicio y condicionarlo al efectivo suministro del mismo. Cuando en la realidad las actividades podrían estar abarcando más de un servicio ecosistémico.

En la práctica, los esquemas de PSA instrumentados en América Latina demuestran que la ausencia de planeación, de estudios biofísicos para evaluar la provisión de servicios ante, durante y ex-post y el no asegurar un flujo permanente de recursos financieros tiene riesgo de producir modelos insostenibles. Es necesario cambiar la idea de políticas «Express» para resolver problemas en el corto plazo o responder a presiones políticas mediatas. Los administradores del sistema de PSA deberán mantenerlo ajeno a voluntades personales, promoción político-partidista, periodos administrativos o como fuente de recursos económicos para objetivos diferentes.

2. Justificación.

Un protocolo debe expresar con claridad y precisión los objetivos y el plan de investigación. El contenido debe ser lo suficientemente detallado y completo para que cualquier persona pueda realizar el estudio con resultados semejantes, o evaluar la validez y confiabilidad de los pasos del estudio. Debe ser claro y sencillo y redactado de manera que su contenido sea entendido por los evaluadores del proyecto, los investigadores, y los técnicos involucrados en la ejecución. Debe estar ordenado de tal forma que pueda percibirse la relación de una fase con la otra, y su consistencia en el contexto del documento.

En este caso es importante considerar que los servicios ambientales o ecosistémicos son **productos y procesos** de los ecosistemas y su estudio es inherentemente complejo. Para describir cualquier servicio ecosistémico, se requiere tener en cuenta simultáneamente varias variables. El análisis de datos multivariantes tienen por objeto el estudio estadístico de varias variables medidas en elementos del servicio ecosistémico.

Si se observa un conjunto de variables, se puede esperar que los datos indiquen una división en grupos en función a sus características. En muchas situaciones los grupos son desconocidos a priori y se podría disponer de un procedimiento objetivo para obtener los

grupos existentes y clasificar las observaciones. Muchas variables se pueden simplificar mediante la construcción de uno o varios Índices o indicadores que la resumen. Disponer de estos indicadores tiene varias ventajas: (1) si son pocas se puede representar gráficamente y comparar distintos conjuntos de datos o instantes en el tiempo; (2) simplificar el análisis al permitir trabajar con un número menor de variables; (3) si las variables indicadoras pueden interpretarse, se puede mejorar el conocimiento de la realidad estudiada. El análisis multivariable de datos proporciona métodos objetivos para conocer cuántas variables indicadoras, que a veces se denomina factores, son necesarias para describir una realidad compleja y determinar su estructura.

La información de partida puede ser de varios tipos. Las variables pueden ser cuantitativas, cuando su valor se exprese numéricamente, las variables cuantitativas pueden a su vez clasificarse en continuas o de intervalo, cuando pueden tomar cualquier valor real en un intervalo, o discretas, cuando sólo toman valores enteros. Las variables cualitativas pueden clasificarse en binarias, cuando toman únicamente dos valores posibles, o generales, cuando toman muchos valores posibles.

Describir datos multivariable supone estudiar cada variable aisladamente y además las relaciones entre ellas. El análisis multivariable tiene como finalidad analizar simultáneamente un conjunto de datos en el sentido de que hay varias variables medidas para el objeto estudiado. En este sentido la razón radica en contar con un mejor entendimiento del objeto estudiado, proporcionando información para la toma de decisiones óptimas en el contexto, teniendo en cuenta la información disponible del conjunto de datos analizado.

Los métodos para la cuantificación de servicios necesitan producir datos relevantes para la toma de decisiones que afecten en un sitio, estos deben ser prácticos y económicos (en términos de experiencia, equipamiento y tiempo) y deben proveer resultados de una forma accesible para actores como políticos, planeadores y manejadores de la recursos. Por lo anterior es necesario contar con un método estándar y consistente, para mapear la cantidad y flujos de los proveedores y consumidores del conjunto completo de los servicios ecosistémicos (Crossman et al. 2012¹⁷; Martínez-Harms and Balvanera 2012¹⁸; Palomo et al. 2012¹⁹).

El mapeo de los servicios ecosistémicos parece ser entre los más utilizados para integrar el concepto de los servicios ecosistémicos dentro del manejo de los ecosistemas (Balvanera et al. 2001²⁰; Daily and Matson 2008²¹). Ellos permiten la identificación de áreas altamente valiosas para la conservación (Chan et al. 2006²²; Naidoo and Ricketts 2006²³) o para la

¹⁷ Crossman, N. D., B. Burkhard, and S. Nedkov. 2012. Quantifying and mapping ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 8:1–4.

¹⁸ Martínez-Harms, M. J., and P. Balvanera. 2012. Methods for mapping ecosystem service supply: A review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 8:17–25.

¹⁹ Palomo, I., B. Martín-López, M. Potschin, R. Haines-Young, and C. Montes. 2012. National parks, buffer zones and surrounding landscape: Mapping ecosystem services flows. *Ecosystem Services Journal* 4:104–116.

²⁰ Balvanera, P., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, et al. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* 291:2047.

²¹ Daily, G. C., and P. Matson. 2008. Ecosystem services: From theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:9455–9456.

²² Chan, K. M. A., M. R. Shaw, D. R. Cameron, E. C. Underwood, and G. C. Daily. 2006. Conservation planning for ES. *PLoS Biology* 4:2138–2152.

²³ Naidoo, R., and T. H. Ricketts. 2006. Mapping the economic costs and benefits of conservation. *PLoS Biology* 11:360.

identificación de los proveedores o consumidores de los servicios ecosistémicos, el cual puede ayudar en alcanzar un uso sustentable de los servicios ecosistémicos (Kroll et al. 2012²⁴).

El Grupo de la Red de Observadores de la Biodiversidad de la Tierra (GEO BON) identificó cuatro principales recursos de datos: estadísticas nacionales, observaciones de campo, sensores remotos y modelos de simulación numérica (Tallis et al. 2012²⁵).

2.1. Observaciones de campo.

Aquí se parte en contar con un mejor entendimiento de cada uno de los servicios ecosistémicos, a través de un sistema de monitoreo. Sin embargo la evaluación de un servicio ecosistémico no se obtiene a partir del análisis univariable, sino a través del análisis de un conjunto de variables, algunas de ellas agrupadas en factores que proporcionan una característica propia.

Las variables biofísicas están estrechamente ligados a las funciones de los ecosistemas y asociados a sus servicios ecosistémicos; por esto, ellos han sido ampliamente utilizados para el mapeo y evaluación de los servicios ecosistémicos (Jin et al. 2009²⁶; Krishnaswamy et al. 2009²⁷; Malmstrom et al. 2009²⁸; Newton et al. 2009²⁹; Tenhunen et al. 2009³⁰; Feng et al. 2010³¹; Lane and D'Amico 2010³²; Porfirio et al. 2010³³; Rocchini et al. 2010³⁴; Woodcock et al. 2010³⁵; McPherson et al. 2011³⁶; Turner et al. 2011³⁷; Caride et al. 2012³⁸; Frazier et al. 2012³⁹;

²⁴ Kroll, F., F. Müller, D. Haase, and N. Fohrer. 2012. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. *Land Use Policy* 29:521–535.

²⁵ *Idem* 15.

²⁶ Jin, Y., J. F. Huang, and D. L. Peng. 2009. A new quantitative model of ecological compensation based on ecosystem capital in Zhejiang Province, China. *Journal of Zhejiang University: Science B* 10:301–305.

²⁷ Krishnaswamy, J., K. S. Bawa, K. N. Ganeshaiyah, and M. C. Kiran. 2009. Quantifying and mapping biodiversity and ecosystem services: Utility of a multi-season NDVI based Mahalanobis distance surrogate. *Remote Sensing of Environment* 113:857–867.

²⁸ Malmstrom, C. M., H. S. Butterfield, C. Barber, et al. 2009. Using remote sensing to evaluate the influence of grassland restoration activities on ecosystem forage provisioning services. *Restoration Ecology* 17:526–538.

²⁹ Newton, A. C., R. A. Hill, C. Echeverría, et al. 2009. Remote sensing and the future of landscape ecology. *Progress in Physical Geography* 33:528–546.

³⁰ Tenhunen, J., R. Geyer, S. Adiku, et al. 2009. Influences of changing land use and CO₂ concentration on ecosystem and landscape level carbon and water balances in mountainous terrain of the Stubai Valley, Austria. *Global and Planetary Change* 67:29–43.

³¹ Feld, C. K., J. P. Sousa, P. M. da Silva, and T. P. Dawson. 2010. Indicators for biodiversity and ecosystem services: Towards an improved framework for ecosystems assessment. *Biodiversity and Conservation* 19:2895–2919.

³² Lane, C. R., and E. D'Amico. 2010. Calculating the ecosystem service of water storage in isolated wetlands using LIDAR in north central Florida, USA. *Wetlands* 30:967–977.

³³ Porfirio, L. L., W. Steffen, D. J. Barrett, and S. L. Berry. 2010. The net ecosystem carbon exchange of human-modified environments in the Australian capital region. *Regional Environmental Change* 10:1–12.

³⁴ Rocchini, D., N. Balkenhol, G. A. Carter, et al. 2010. Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: Recent advances and open challenges. *Ecological Informatics* 5:318–329.

³⁵ Woodcock, B. A., J. Redhead, A. J. Vanbergen, et al. 2010. Impact of habitat type and landscape structure on biomass, species richness and functional diversity of ground beetles. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139:181–186.

³⁶ McPherson, E. G., J. R. Simpson, Q. Xiao, and C. Wu. 2011. Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment. *Landscape and Urban Planning* 99:40–50.

³⁷ Turner, D. P., W. D. Ritts, Z. Yang, et al. 2011. Decadal trends in net ecosystem production and net ecosystem carbon balance for a regional socioecological system. *Forest Ecology and Management* 262:1318–1325.

³⁸ Caride, C., G. Piñeiro, and J. M. Paruelo. 2012. How does agricultural management modify ecosystem services in the Argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. *Agriculture Ecosystems and Environment* 154:23–33.

³⁹ Frazier, A. E., C. S. Renschler, and S. B. Miles. 2012. Evaluating post-disaster ecosystem resilience using MODIS GPP data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21:43–52.

Ivits *et al.* 2012⁴⁰; Martínez- Harms and Balvanera 2012⁴¹; Politi *et al.* 2012⁴²; Shi *et al.* 2012⁴³; Tallis *et al.* 2012⁴⁴; Volante *et al.* 2012⁴⁵; Forsius *et al.* 2013⁴⁶; Oki *et al.* 2013⁴⁷).

Los datos biofísicos pueden ser obtenidos de manera propia durante el desarrollo del proyecto, lo cual genera un costo adicional para el desarrollo del proyecto, aunque hay que evaluar la factibilidad de obtener datos de campo directamente por el proyecto, en función del costo, los tiempos y la calidad de datos, el área de interés, entre otros. También se puede optar por utilizar la serie de datos que se encuentran disponibles para algunas de las variables utilizadas y que han sido obtenidos por otros proyectos o por las diferentes instituciones de gobierno. En este sentido la calidad de los datos se encuentra en función de los protocolos establecidos para la obtención de datos. Por lo anterior se puede partir de la premisa que los datos biofísicos obtenidos por las diferentes instituciones cuentan con la calidad para ser utilizados en los diferentes modelos. Aunque se pueden tener algunos inconvenientes entre los que se puede mencionar el no contar con datos suficientes para el área de interés, posiblemente no se cuente con las series de tiempo para el desarrollo del monitoreo de un servicio ecosistémico en particular, debido a que las instituciones cuentan con sus tiempo, de manera que se puede estar en una situación en la que los datos de diferentes variables utilizados para la ejecución de los modelos sean asincrónicos, por lo que los resultados no reflejaran la realidad.

2.2. Sensores remotos.

Los sensores remotos pueden ser utilizados para el mapeo de los servicios ecosistémicos para monitorear directa o indirectamente y en combinación con modelos ecosistémicos (Feng *et al.* 2010⁴⁸). Los servicios ecosistémicos monitoreados tal como el hábitat de las especies, la fijación de carbono, provisión de agua y regulación del clima requieren información sobre aspectos de vegetación y agua. Mientras que los servicios indirectamente monitoreados, como los que son a base del suelo, utilizan información como el estado del suelo o la reflectancia del dosel. Finalmente algunos servicios como la regulación del flujo o la erosión del suelo pueden ser monitoreados e implementados en modelos ecosistémicos a través de datos derivados sensores remotos.

⁴⁰ Ivits, E., M. Cherlet, G. Tóth, et al. 2012. Combining satellite derived phenology with climate data for climate change impact assessment. *Global and Planetary Change* **88**–89:85–97.

⁴¹ *Idem* 18.

⁴² Politi, E., M. E. J. Cutler, and J. S. Rowan. 2012. Using the NOAA advanced very high resolution radiometer to characterise temporal and spatial trends in water temperature of large European lakes. *Remote Sensing of Environment* **126**:1–11.

⁴³ Shi, Y., R. S. Wang, J. L. Huang, and W. R. Yang. 2012. An analysis of the spatial and temporal changes in Chinese terrestrial ecosystem service functions. *Chinese Science Bulletin* **57**:2120–2131.

⁴⁴ *Idem* 25.

⁴⁵ Volante, J. N., D. Alcaraz-Segura, M. J. Mosciaro, E. F. Viglizzo, and J. M. Paruelo. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **154**:12–22.

⁴⁶ Forsius, M., S. Anttila, L. Arvola, et al. 2013. Impacts and adaptation options of climate change on ecosystem services in Finland: A model based study. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **5**:26–40.

⁴⁷ Oki, T., E. M. Blyth, E. H. Berbery, and D. Alcaraz-Segura. 2013. Land cover and land use changes and their impacts on hydroclimate, ecosystems and society. In *Climate science for serving society: Research, modeling and prediction priorities*, eds. G. R. Asrar and J. W. Hurrell, 185–203. Dordrecht, The Netherlands: Springer Science and Business Media.

⁴⁸ Feng, X., B. Fu, X. Yang, and Y. Lü. 2010. Remote sensing of ecosystem services: An opportunity for spatially explicit assessment. *Chinese Geographical Science* **20**:522–535.

De estos, los sensores remotos ofrecen el potencial para usar el mismo protocolo estándar para escalas de local a global a través del tiempo, la cual es esencial para el monitoreo a largo plazo para la evaluación de las decisiones a través de las regiones. La observación de la tierra con base en satélites es probablemente el medio más factible para obtener sistemáticamente información global con mayor resolución temporal, espacial y espectral sobre amplias áreas (Ayanu et al. 2012⁴⁹).

Hasta ahora, el uso más frecuente de las imágenes de satélite del lado de proveedores ha sido en la producción de mapas de uso del suelo/cubierta posteriormente utilizados en modelos para simulación de distribución de los servicios ecosistémicos y sus cambios a través del tiempo y el espacio (Kreuter et al. 2001⁵⁰; Konarska et al. 2002⁵¹; Zhao et al. 2004⁵²; De-Yong et al. 2005⁵³; Wang et al. 2006⁵⁴, 2009⁵⁵; Li et al. 2007⁵⁶, 2011⁵⁷, 2012⁵⁸; Hu et al. 2008⁵⁹; Du et al. 2009⁶⁰; Huang et al. 2009⁶¹, 2011⁶²; Liu et al. 2009⁶³, 2012⁶⁴; Feng et al. 2010⁶⁵; McNally et al. 2011⁶⁶; Burkhard et al. 2012⁶⁷; Estoque and Murayama 2012⁶⁸; Hao et al. 2012⁶⁹; Bian and

⁴⁹ Ayanu, Y. Z., C. Conrad, T. Nauss, M. Wegmann, and T. Koellner. 2012. Quantifying and mapping ecosystem services supplies and demands: A review of remote sensing applications. *Environmental Science and Technology* **46**:8529–8541.

⁵⁰ Kreuter, U. P., H. G. Harris, M. D. Matlock, and R. E. Lacey. 2001. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics* **39**:333–346.

⁵¹ Konarska, K. M., P. C. Sutton, and M. Castellon. 2002. Evaluating scale dependence of ecosystem service valuation: A comparison of NOAA-AVHRR and Landsat TM datasets. *Ecological Economics* **41**:491–507.

⁵² Zhao, B., U. Kreuter, B. Li, Z. Ma, J. Chen, and N. Nakagoshi. 2004. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China. *Land Use Policy* **21**:139–148.

⁵³ De-Yong, Y., P. Yao-Zhong, W. Yan-Yan, L. Xin, L. Jing, and L. Zhong-Hua. 2005. Valuation of ecosystem services for Huzhou City, Zhejiang Province from 2001 to 2003 by remote sensing data. *Journal of Forestry Research* **16**:223–227.

⁵⁴ Wang, Z., B. Zhang, S. Zhang, et al. 2006. Changes of land use and of ecosystem service values in Sanjiang Plain, northeast China. *Environmental Monitoring and Assessment* **112**:69–91.

⁵⁵ Wang, C., P. D. Van Meer, M. Peng, W. Douven, R. Hessel, and C. Dang. 2009. Ecosystem services assessment of two watersheds of Lancang River in Yunnan, China with a decision tree approach. *Ambio* **38**:47–54.

⁵⁶ Li, R. Q., M. Dong, J. Y. Cui, L. L. Zhang, Q. G. Cui, and W. M. He. 2007. Quantification of the impact of land-use changes on ecosystem services: A case study in Pingbian County, China. *Environmental Monitoring and Assessment* **128**:503–510.

⁵⁷ Li, W. J., S. H. Zhang, and H. M. Wang. 2011. Ecosystem services evaluation based on geographic information system and remote sensing technology: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology* **22**:3358–3364.

⁵⁸ Li, P., L. Jiang, Z. Feng, and X. Yu. 2012. Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services: An overview. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica* **32**:5219–5229.

⁵⁹ Hu, H., W. Liu, and M. Cao. 2008. Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglun, Xishuangbanna, southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment* **146**:147–156.

⁶⁰ Du, Z., Y. Shen, J. Wang, and W. Cheng. 2009. Land-use change and its ecological responses: A pilot study of typical agro-pastoral region in the Heihe River, northwest China. *Environmental Geology* **58**:1549–1556.

⁶¹ Huang, Q., D. D. Li, and H. B. Zhang. 2009. Effects of land use and land cover change on ecosystem service values in oasis region of northwest China. *Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering* 7384. doi:10.1117/12.834897.

⁶² Huang, X., Y. Chen, J. Ma, and X. Hao. 2011. Research of the sustainable development of Tarim River based on ecosystem service function. *Procedia Environmental Sciences* **10**:239–246.

⁶³ Liu, J., J. Gao, and Y. Nie. 2009. Measurement and dynamic changes of ecosystem services value for the Tibetan Plateau based on remote sensing techniques. *Geography and Geo-Information Science* **3**:022.

⁶⁴ Liu, Y., J. Li, and H. Zhang. 2012. An ecosystem service valuation of land use change in Taiyuan City, China. *Ecological Modelling* **225**:127–132.

⁶⁵ *Idem* 48.

⁶⁶ McNally, C. G., E. Uchida, and A. J. Gold. 2011. The effect of a protected area on the tradeoffs between short-run and long-run benefits from mangrove ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **108**:13945–13950.

⁶⁷ Burkhard, B., F. Kroll, S. Nedkov, and F. Müller. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators* **21**:17–29.

⁶⁸ Estoque, R. C., and Y. Murayama. 2012. Examining the potential impact of land use/cover changes on the ecosystem services of Baguio City, the Philippines: A scenario-based analysis. *Applied Geography* **35**:316–326.

⁶⁹ Hao, F., X. Lai, W. Ouyang, Y. Xu, X. Wei, and K. Song. 2012. Effects of land use changes on the ecosystem service values of a reclamation farm in northeast China. *Environmental Management* **50**:888–899.

Lu 2013⁷⁰; Duan et al. 2013⁷¹; Verburg et al. 2013⁷²; Zhao and Tong 2013⁷³).

Los primeros intentos para los mapas de los servicios ecosistémicos para ligar el valor de los servicios ecosistémicos de los diferentes tipos de uso del suelo/cubierta presentes en una imagen clasificada. Entonces cambios en la distribución de los servicios ecosistémicos son estimados de cambios en el tipo uso del suelo/cubierta. Sin embargo, existen variables espaciales dentro de los tipos de cubierta; la misma cubierta del suelo puede ofrecer diferentes funciones en el paisaje y, así, distribuir múltiples servicios ecosistémicos (Verburg et al. 2009⁷⁴).

Las imágenes de satélite pueden ser utilizadas para cuantificar directamente uno o un grupo de servicios ecosistémicos en particular, esto es, sin modelarlos ligando de uno a otro el tipo particular de cubierta de suelo. La literatura de los sensores remotos tienen amplios modelos conceptuales y empíricos que ligan la información espectral a variables biofísicas críticas y procesos ecosistémicos tales como la producción primaria, biomasa, temperatura de la superficie, radiación solar, evapotranspiración, humedad del suelo y rugosidad de la superficie, riqueza de especies, entre otros (Verstraete et al. 2000⁷⁵; Jensen 2007⁷⁶; Chuvieco 2008⁷⁷).

2.3. Modelos.

Los modelos pueden ser construidos utilizando las herramientas de los programas de Sistemas de Información Geográfica, en donde los datos son colocados para la ejecución del modelo. O bien utilizar los modelos que se encuentran predefinidos y solo se requiere colocar los datos necesarios, en los formatos establecidos a fin de obtener los resultados. Sin embargo hay que considerar que este tipo de modelos han sido elaborados con base a objetivos específicos y utilizados en sitios con condiciones específicas. En ambos casos la carencia de datos o la utilización de datos de otros sitios pueden producir resultados que no describan la realidad del área de interés.

En general, todos los modelos utilizados en modelaje y mapeo de los servicios ecosistémicos utilizan información espacial explícita sobre cubierta del suelo, variables climáticas y topográficas. Adicionalmente pueden incorporar otras variables biofísicas, tal como la evapotranspiración (ET), que puede ser obtenida de datos de sensores remotos. Actualmente los más amplios modelos de servicios ecosistémicos son InVEST, ARIES y

⁷⁰ Bian, Z., and Q. Lu. 2013. Ecological effects analysis of land use change in coal mining area based on ecosystem service valuing: A case study in Jiawang. *Environmental Earth Sciences* **68**:1619–1630.

⁷¹ Duan, J., Y. Li, and J. Huang. 2013. An assessment of conservation effects in Shilin Karst of South China Karst. *Environmental Earth Sciences* **68**:821–832.

⁷² Verburg, P., S. van Asselen, E. van der Zanden, and E. Stehfest. 2013. The representation of landscapes in global scale assessments of environmental change. *Landscape Ecology* **28**(6):1067–1080.

⁷³ Zhao, X., and P. Tong. 2013. Ecosystem services valuation based on land use change in a typical waterfront town, Poyang Lake basin, China. *Applied Mechanics and Materials* **295**:722–725.

⁷⁴ Verburg, P. H., J. van de Steeg, A. Veldkamp, and L. Willemsen. 2009. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management* **90**:1327–1335.

⁷⁵ Verstraete, M. M., M. Menenti, and J. Peltoniemi. 2000. *Observing land from space: Science, customers and technology*. Berlin: Springer-Verlag.

⁷⁶ Jensen, J. R. 2007. *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective*. Boston, MA: Pearson Prentice Hall.

⁷⁷ Chuvieco, E. 2008. *Earth observation of global change: The role of satellite remote sensing in monitoring the global environment*. Berlin: Springer-Verlag.

POLYSCAPE.

2.3.1. InVEST

Integrated Valuation of Environmental Services And Tradeoffs (InVEST) es una familia de herramientas diseñada por el Proyecto Capital Natural que permite el mapeo de los servicios ecosistémicos. Está diseñado para proporcionar información para decisiones sobre el manejo de los recursos naturales y provee una efectiva herramienta para evaluar el intercambio entre servicios ecosistémicos estimando la cantidad y el valor de los servicios ecosistémicos que son proporcionados en el paisaje actual o bajo futuros escenarios.

Los modelos de InVEST son espacialmente explícitos, usando mapas como recurso de información y produciendo mapas como productos. InVEST proporciona resultados biofísicos (toneladas de carbón almacenado) o en términos económicos (valor neto presente del carbón capturado).

InVEST proporciona algunos mapas de servicios ecosistémicos. Estos son (1) tierra y agua— biodiversidad, carbón, fuerza hidráulica, agua purificada, reservorio de sedimentación, manejo de producción de madera, polinización; y (2) océanos y costas— energía de olas, vulnerabilidad costera, acuicultura marina, calidad estética, análisis de sobrelape (pesquería de recreación, evaluación de riesgo de hábitat). Las diferentes herramientas se ejecutan como una extensión de ArcMap y esta disponibles del sitio web del Proyecto Capital Natural (<http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html>). Existe un foro en donde los usuarios pueden comunicarse e intercambiar experiencias⁷⁸.

2.3.2. ARIES

Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES). Es una tecnología en base-web desarrollada por varias instituciones (incluyendo la Universidad de Vermont) que proporciona una evaluación y valoración rápida de los servicios ecosistémicos. Esto lo provee una plataforma modelando inteligencia compuesta de modelos de servicios ecosistémicos de composición compleja de una colección de modelos específicos por el usuario.

Esto puede mapear las localizaciones y cantidad del potencial de provisión de los servicios ecosistémicos (recursos), los beneficios humanos (usuarios), y cualquier característica biofísica que puede reducir el flujo de servicios (reducción). Porque muchos modelos escritos en el lenguaje de ARIES están basados en una probabilidad, aproximación Bayesiana, están disponibles para explícitamente proporcionar la incertidumbre sobre las entradas y salidas y son capaces de operar con pocos datos, condiciones donde determinados modelos no pueden funcionar.

En la versión liberada 1.0 beta, los mapas de los servicios ecosistémicos están disponibles siete áreas del mundo incluyendo los siguientes servicios ecosistémicos: suministro de agua,

⁷⁸ Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., and Griffin, R. 2013. InVEST 2.5.4 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford.

pesquería de subsistencia, carbón, regulación de flujo y sedimentación, protección costera, estética, y recreación. Toda la información está disponible en el sitio web del proyecto⁷⁹.

2.3.3. POLYSCAPE

Nuevas herramientas emergentes POLYSCAPE es un sistema de información geográfica (SIG) diseñado en un marco para explorar espacialmente sinergias explícitas e intercambio entre servicios ecosistémicos para soportar el manejo del paisaje. POLYSCAPE actualmente incluye algoritmos para explorar los impactos de cambios en la cubierta de la tierra o riesgo del flujo, conectividad de hábitat, erosión y distribución de sedimento asociado a los receptores, captura de carbono y productividad agrícola.

3. Objetivo.

Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca.

3.1. Objetivo particular.

El objetivo del presente documento es elaborar un protocolo para la evaluación de los servicios ecosistémicos clave de la Mixteca con la aplicación del Sistema de Información Geográfica.

4. Área de estudio

La región de la Mixteca se encuentra al Oeste del estado de Oaxaca y colinda al Oeste con el límite del estado de Guerrero y al norte con el estado de Puebla, con la Región de la Cañada al Este, al Sureste con Los Valles Centrales y al Sur con la Sierra Sur. Se ubica entre las coordenadas extremas de 16° 35' 11.928" N y 18° 17' 49.390" N de Latitud Norte y 96° 57' 58.692" W y 98° 30' 0.810" W de Longitud Oeste (Figura 1).

El área de intervención del proyecto ocupa una superficie de 1'714,097 hectáreas y se encuentra localizada en la Región Mixteca con siete distritos: Silacayoapam, Huajuapán, Coixtlahuacán, Juxtlahuaca, Teposcula, Nochitlán y Tlaxiaco; y parte de la región Sierra Sur. Con 155 municipios de la Región Mixteca y 5 de la Región Sierra Sur⁸⁰ y un total de 2,364

⁷⁹ <http://ariesonline.org>.

⁸⁰ INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión 5.0A. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

localidades⁸¹. Con base en los datos del Censo Nacional de Población 2010⁸², la Región Mixteca, cuenta con una población de 522,252 habitantes, donde la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, es la población que cuenta con el mayor número de habitantes con 69,839.

La región de La Mixteca se caracteriza por ser un territorio de gran diversidad de flora y fauna dado por sus condiciones geográficas que abarcan ecosistemas áridos, montañosos y pequeños valles donde también existen diversos grupos étnicos (Feria-Pérez 2010⁸³).

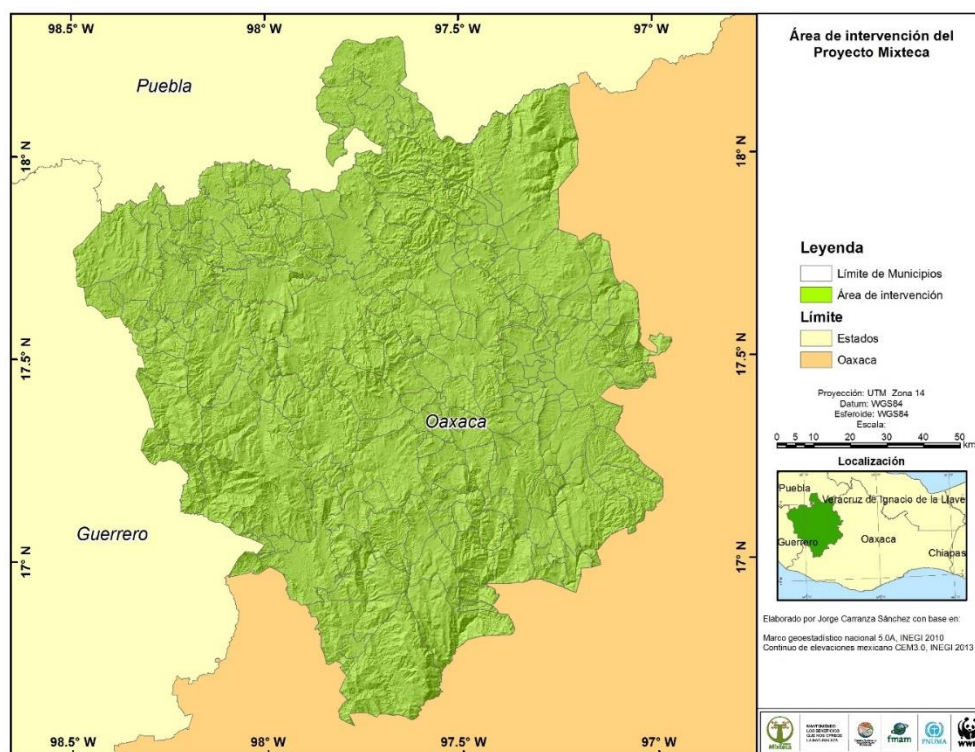


Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

⁸¹Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

⁸²INEGI 2010. Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

⁸³Feria-Pérez, C. R. 2010. El paisaje de la mixteca: el espacio abierto en la vida cotidiana de Santa Cruz Nundaco, Oaxaca. Tesis que presenta para obtener el título de Arquitecto Paisajista. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arquitectura.

4. Método.

Para el desarrollo del proyecto, la intención es poder monitorear los servicios ecosistémicos para lo cual se tomó la decisión de utilizar uno de los modelos de simulación. En este caso fue el modelo InVEST, seleccionado por los administradores del Proyecto GEF-Mixteca. Para lo cual en primera instancia fueron ejecutados los módulos de: Retención de suelos, Biodiversidad (Calidad de hábitat) y Captura de carbono, los resultados de estos módulos se presentan como parte de los resultados de esta consultoría. Los tres modelos antes mencionados se ejecutaron en la versión 2.5.4 a través de la caja de herramientas del programa ArcMap.

Con la intención de poder medir los servicios ecosistémicos a través de InVEST se desarrolla el presente documento a fin de indicar el método para arreglar los datos que alimentan el modelo y contar con la repetición a través del tiempo y que pueda ser comparada. Sin embargo es importante considerar que si bien los datos de las variables o grupos de variables que se requieren para la ejecución de los módulos de InVEST requieren de datos biofísicos. Por lo anterior hay que tener en cuenta que variación en la fuente de datos biofísicos, puede ocasionar cambios considerables en los resultados obtenidos. Ya que los datos requeridos para los módulos de InVEST pueden ser obtenidos de diferentes fuentes y a diferentes escalas que van de local, regional o mundial.

Ya que los datos requeridos para la ejecución de los módulos, algunos son datos de campo obtenidos de manera directa de las diferentes fuentes de información y otros a través de inferencias y pocos fueron obtenidos a través del conocimiento de algunos expertos en el tema en el desarrollo de talleres realizados específicamente para este fin. En los tres casos se requiere la cubierta de uso del suelo y vegetación, misma que en un inicio fue utilizada la versión del INEGI a una escala 1:250,000, sin embargo al contar con la cobertura actualizada al 2010, con las imágenes de satélite SPOT a una escala 1:50,000 fue sustituido a fin de lograr mejores resultados.

4.1. Módulo Retención de suelos.

La erosión y la sedimentación son procesos naturales que contribuyen a la salud de los ecosistemas, pero en demasía pueden tener consecuencias severas. La erosión excesiva puede reducir la productividad agrícola, favorecer el aumento de inundaciones y el transporte de contaminantes, amenaza a puentes, vías de ferrocarriles y ejerce presión sobre las infraestructuras. La erosión puede dejar sedimentos, los cuales generan tensión en las infraestructuras de agua, tales como depósitos y sistemas de control, incrementando el costo del tratamiento de agua. La sedimentación es un problema particular para las presas, que son diseñadas para retener el sedimento conforme el agua es liberada. El retiro regular de sedimentos puede evitar algunos de estos problemas pero esto implica altos costos de mantenimiento.

La magnitud de transporte de sedimento en una cuenca está determinada por algunos factores: la variación natural en las propiedades del suelo, patrones de precipitación, y la longitud de la pendiente que crea patrones de erosión y sedimentación. La vegetación

mantiene el suelo en el lugar y captura el sedimento que se mueve por la tierra. Sin embargo, cambios en las prácticas de manejo de la tierra pueden alterar la capacidad de retención de sedimento por la remoción importante de la vegetación.

INVEST estima la capacidad, a nivel de parcela, para retener sedimentos utilizando datos sobre la geomorfología, el clima, la vegetación y las prácticas de manejo. Las estimaciones son combinadas con datos del costo del retiro de sedimentos, el diseño de las presas y una tasa de descuento para calcular el costo evitado por el retiro de los sedimentos.

El modelo de Retención de Sedimento provee al usuario una herramienta para calcular la media anual de la pérdida de suelo de cada parcela, determinando la cantidad de aquel suelo que puede llegar a un punto particular de interés, estimando la capacidad de cada parcela para retener el sedimento, y evaluando el costo generado por remover el sedimento acumulado sobre una base anual. Un factor determinante de la capacidad de retención de suelo es el empleo de la cubierta de uso del suelo y vegetación. Para identificar el potencial de la parcela para la pérdida de suelo y el transporte de sedimento, el modelo de INVEST utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Universal (USLE por sus siglas en inglés) (Wischmeier y Smith 1978⁸⁴) a la escala de pixel, que integra la información sobre los patrones de la cubierta de uso del suelo y vegetación y las propiedades de suelo, así como un modelo digital de elevación, la precipitación y datos del clima.

El modelo está basado en la USLE, y representa los cuatro factores primarios en la ecuación (precipitación, erosividad de la lluvia, erosionabilidad del suelo, y la longitud de la pendiente). Esta parte del modelo representa dos relaciones clave: las áreas donde la intensidad de precipitación es alta, en donde hay una alta posibilidad de que las partículas de suelo se separen y sean transportadas corriente abajo; y también las áreas donde el suelo tiene una alta proporción de arena la erosionabilidad del suelo es alta, esto quiere decir que las partículas de suelo fácilmente son separadas del paquete de suelo y transportadas corriente abajo.

Para correr el modelo básico se requieren por lo menos de 16 variables, de las cuales algunas de estas variables han sido agrupadas en factores como: erosividad y erosionabilidad. Otras variables se agrupan en tablas donde los diferentes tipos de vegetación pueden adoptar algunos valores, como el factor de manejo o bien el factor de prácticas de manejo hasta el valor de retención de sedimentos para cada tipo de vegetación. De esta forma las 16 variables son agrupadas en 7 tipos de datos necesarios para la ejecución del modelo. En la Tabla 1 y la Figura 2, se puede apreciar el número de variables y los tipos de agrupación.

A continuación se describen los datos necesarios para ejecutar el módulo:

Tabla 1. Variables identificadas para el módulo de Retención de suelos.

Datos	Variable
Datos de campo	
Factor de erosividad	<i>precipitación media/año</i>
	<i>isoerosividad región V</i>

⁸⁴Wischmeier, W.H. & Smith, D. 1978, *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA-ARS Agriculture Handbook, Washington DC.

Factor de erosionabilidad	(limo (%) + arena muy fina (%))(100- arcilla (%))
	% de materia orgánica
	código de la estructura:
	código de permeabilidad del perfil:
Tabla biofísica	cubierta y factor de manejo
	factor de prácticas de manejo del uso del suelo y vegetación.
	valor de retención de sedimento de cada clase de uso del suelo y vegetación
Tabla del límite del sedimento	tiempo de vida de la presa
	volumen del agua debajo de la turbina
	calidad del agua anual
Datos sensores remotos	
MDE	m.s.n.m
Uso del suelo y vegetación	tipos
Hidrología	límite cuencas
	límite subcuencas
Modelo	
InVEST	Módulo: Retención de sedimentos

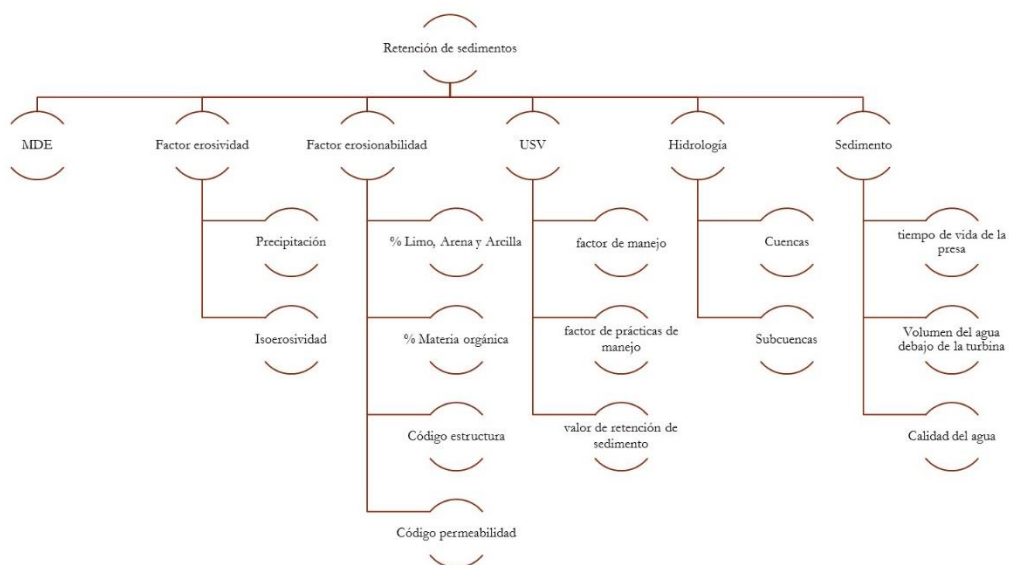


Figura 2. Diagrama de variables identificadas para el módulo de retención de suelos.

Los datos que se presentan a continuación fueron arreglados a fin de ejecutar el módulo de InVEST, los datos de las variables fueron obtenidos de diferentes fuentes, por lo anterior algún cambio en la fuente de datos y/o la escala entre otros, puede ocasionar variaciones en los resultados. También es importante hacer notar la falta de datos para algunas variables por lo que al contar con los datos reales se puede presentar variación en los resultados.

4.1.1. Modelo digital de elevación.

El modelo digital de elevación (MDE) se puede obtener del Continuo de Elevaciones

Mexicano del INEGI⁸⁵. Para el estado de Oaxaca con una resolución de 90 m/pixel, la altitud que se presenta en la Región Mixteca se encuentra en un promedio de 1,921 m.s.n.m. con un valor mínimo de 355 m.s.n.m. mientras que el valor máximo se registra una altitud de 3,366 m.s.n.m.. Este rango de elevaciones que se presenta en la región produce que se registre una pendiente promedio de 32.30% con valores mínimos que van de 0% en las zonas más llanas a un máximo de 332.16% en las zonas más escarpadas.

La selección de la resolución del pixel puede ser de 15, 30, 60, 90 y 120 m está en función del tamaño del área de interés. Lo anterior debido al tamaño de los archivos, ya que a mayor resolución mayor el tamaño del archivo a procesar. Para el caso del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, el módulo acepto la resolución de 90 m/pixel. Sin embargo es conveniente utilizar la misma resolución en las diferentes cuantificaciones a fin de no generar una variación en los datos.

4.1.2. Índice de erosividad por lluvia

Esta variable depende de la intensidad y duración de la lluvia en el área de interés. A una mayor intensidad y duración de la lluvia de tormenta, se tiene una mayor erosividad potencial. La erosividad es la capacidad potencial que tienen las gotas de agua de lluvia para causar erosión. Existen muchas formas de determinarla, una de ellas es a través del índice EI₃₀, el cual fue propuesto por Wischmeier and Smith (1965)⁸⁶. Se define como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) por la intensidad máxima en 30 minutos (I₃₀). Se enfoca en el desprendimiento de partículas de suelo por erosión laminar (Figuroa et al., 1991)⁸⁷.

FAO

El factor lluvia y escurrimiento, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), más un factor para escurrimiento por derretimiento de nieve o aplicación de agua. El EI para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I). La siguiente ecuación es ampliamente utilizada para calcular el índice R⁸⁸

Fórmula 1.

$$R = E * I_{30} = (210 + 89 * \log_{10} I_{30}) * I_{30}$$

*E: energía cinética de lluvia expresada en unidades métricas MJ * m/ha/cm de lluvia.*

I₃₀: máxima intensidad de lluvia en 30 minutos expresada en cm/hr.

Este factor es muy difícil de calcular. Además se necesitan muchos datos que normalmente no están disponibles. Sólo trabajan con esta ecuación los especialistas que utilizan casi siempre datos de estaciones pluviométricas propias. Sin embargo en caso de que no se cuente con estos datos, existen métodos y ecuaciones para ayudar a generarlo utilizando datos climáticos.

⁸⁵INEGI 2014. Continuo de elevaciones mexicano 3.0 /CEM 3.0)

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx>

⁸⁶ Wischmeier, W. H. and Smith D.D. (1965). "Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning". U.S. Department of Agriculture Handbook, No. 537.

⁸⁷ Figuroa S. B., Amante A., Cortés H. G., Pimentel J., Osuna E.S., Rodríguez J. M., Morales J. F. (1991). "Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión". Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados (CREZAS). México.

⁸⁸ <http://www.fao.org/docrep/t1765e/t1765e0e.htm>

En México, Cortés (1991)⁸⁹, a través del análisis de 53 estaciones meteorológicas determinó un mapa de isoerosividad con el cual formó 14 regiones delimitadas por la erosividad de la lluvia. La región Mixteca se localiza en la región número V, cuyos valores son:

Fórmula 2.

$$R = 3.4880 * P - 0.00088 * P^2$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia [MJ.mm / (ha.hr)]

P = Precipitación media anual (mm)

El factor R se calcula al considerar que la variable P de la ecuación, es el valor de la precipitación media anual para cada una de las estaciones que cuenten con datos. Los datos de precipitación media anual, se pueden obtener de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional⁹⁰ de la Comisión Nacional de Agua. O bien si se cuentan con otros datos en donde se haya registrado el valor de precipitación para el área de interés.

4.1.3. Erosionabilidad del suelo

El factor K es conocido como la erosionabilidad del suelo, donde la textura es el factor principal que afecta a K, pero también contribuyen el perfil del suelo, la materia orgánica y la permeabilidad. Y es medido en una parcela de referencia de 22.12 m de largo sobre una pendiente de 9%, parcela en la dirección de la pendiente y no habiendo recibido ninguna materia orgánica durante tres años. Los valores de 0 - 0.6 son razonables, mientras que los valores altos se emplean en los casos críticos.

La siguiente ecuación puede ser utilizada para calcular K (Wischmeier and Smith 1978⁹¹):

Fórmula 3.

$$K = 27.66 * m^{1.14} * 10^{-8} * (12 - a) + (0.0043 * (b - 2)) + (0.0033 * (c - 3))$$

Donde:

K = Factor de erosionabilidad del suelo (t*ha/MJ*mm)

m = (limo (%) + arena muy fina (%))(100- arcilla (%))

Fórmula 6

a = % de materia orgánica

b = Código de la estructura:

- (1) muy estructurado oparticulas,
- (2) bastante estructurado,
- (3) poco estructurado,
- (4) sólido

c = Código de permeabilidad del perfil:

- (1) rápido,
- (2) moderado a rápido,
- (3) moderado,
- (4) moderado a lento,

⁸⁹ Cortés T. (1991). "Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados". Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, pp 168, México.

⁹⁰<https://maps.google.com/maps?f=q&source=embed&hl=es&geocode=&q=http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz&sl=51.289954,0.48126&ssp=1.277966,2.458191&ie=UTF8&t=f&ecp=24.80805605,-101.74817558,3614699.55,-2.041,0.424,0&ll=25.048525,-101.757635&spn=31.280665,56.162109&z=4>

⁹¹Idem 86.

- (5) lento,
- (6) muy lento.

Los datos de las variables de la fórmula para obtener el factor **K** se pueden obtener de los perfiles de suelos del país, elaborado por el INEGI en el 2013⁹². Que cuenta con la base de datos con los valores específicos para sustituir cada una de las variables descritas en la fórmula. También pueden ser utilizados datos de levantamiento de campo realizados en el área de interés y que cuenten con los valores de las variables que se requieren en la fórmula.

4.1.4. Uso del suelo y vegetación (LULC)

Los datos de uso del suelo y vegetación se pueden obtener del INEGI a una escala 1:250,000 o 1:1'000,000⁹³. También se puede utilizar datos disponibles que se encuentren a una escala mayor. Al inicio de proyecto, se utilizaron los datos de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 serie V del INEGI con los cuales se ejecutó el módulo obtenido los datos específicos para las unidades de cuenca y subcuenca definidas. Posteriormente fueron utilizados los datos de uso del suelo y vegetación corresponde a la clasificación de las imágenes de satélite SPOT para el año 2010 a una escala 1:50,000, elaborada como parte de este mismo proyecto (OO66)⁹⁴, se presentan 24 tipos de uso del suelo y vegetación. Cabe hacer notar que los datos del resto de las variables se mantuvieron sin cambios.

Por ejemplo para la cuenca del río Mixteco la cantidad de sedimentos exportados es de:

USV INEGI serie V, escala 1:250,000 -----18'836,300 Ha-----aprox. 27.96 ton/ha/año
Clasificación imágenes SPOT 1:50,000 ---- 6'221,460 Ha-----aprox. 9.23 ton/ha/año
Fernández⁹⁵, 2012 a través del método SWAT obtiene un valor----- aprox. 17.04 ton/ha/año

4.1.5. Cuencas hidrológicas.

Los límites de las subcuencas pueden ser obtenidas del INEGI en lo que corresponde a la Red Hidrográfica versión 2.0 escala 1:50,000⁹⁶. El área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, al estar delimitada por fronteras administrativas, no tiene una correspondencia con los límites naturales como es el caso de los límites de las cuencas hidrográficas. Por lo anterior en el área se encuentran una serie de cuencas que corresponden a: río Acatlan, río Salado, río Tlapaneco, río Mixteco, el río Quiotepec, río Coycoyan, río San Miguel, río Yolatepec y el río Sordo. De estas las más significativas son las del río Mixteco y el río Sordo por la extensión que ocupan en la región.

⁹²INEGI, 2013 Perfiles de suelos, Serie II Continuo Nacional.

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&cupc=702825266707&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=3608&pg=0&ct=205020000>

⁹³ <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/>

⁹⁴ Carranza, S.J. 2014. Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca. Convenio OO66 WWF.

⁹⁵ Fernandez, R.D.S. 2012. Priorización Hidrológica de las Principales Asociaciones Suelo-Vegetación Presentes en la Cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca. Convenio OM30 WWF.

⁹⁶INEGI, 2014. Red Hidrográfica escla 1:50,000 2.0

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx

4.1.6. Subcuencas.

De la misma forma que los límites de las cuencas, las subcuencas pueden ser obtenidas del INEGI en lo que corresponde a la Red Hidrográfica versión 2.0 escala 1:50,000⁹⁷. O bien se pueden obtener a partir del modelo digital de elevación (MDE).

4.1.7. Tabla biofísica.

Los valores utilizados fueron obtenidos de Martínez (2005)⁹⁸ con base en la tabla de Valores de C que se pueden utilizar para estimar pérdidas de suelo y los Valores de P utilizados para diferentes prácticas y obras de conservación del suelo y del agua. Sin embargo no se cuenta con valores sobre la cantidad de sedimento retenido para cada uno de los tipos de uso del suelo y vegetación, se parte de inferencias de que los bosques primarios son los que cuentan con mayor capacidad de retención y se les asigna el valor máximo de 100% mientras que aquellas áreas con prácticas agrícolas son menos capaces de retener sedimentos por lo que se les asigna el un valor de 25%. Este es un grupo de variables que se requiere contar con datos de campo que permitan asignar valores reales.

4.1.8. Tabla Tabla del límite del sedimento.

De la misma forma que la tabla biofísica no se cuenta con datos para asignar a cada una de las cuencas analizadas. Como primer punto los valores son asignados considerando la presencia de presas, que para el área de interés solo se presenta la presa Yosocuta.

El valor de **dr_deadvol**: Volumen del agua debajo de la turbina. Esto es una cantidad de agua dimensionada desde el diseño de la presa y determinada por un umbral, debajo del cual el agua no está disponible para ningún uso y está diseñado para almacenar el sedimento sin dificultar la turbina y las funciones de la hidroeléctrica. Se usa para calcular el servicio en términos biofísicos y valorar la retención para dragado. Es un valor dado en metros cúbicos. Por no conocer el valor real se consideró utilizar el del modelo original.

El valor de **dr_time**: Periodo de tiempo correspondiente a la permanencia del tiempo de vida de la presa o el periodo de tiempo sobre el cual el uso del suelo puede permanecer relativamente constante. Para la sedimentación de la presa, si se utiliza un mapa de uso del suelo y vegetación del 2000 y la presa de interés fue diseñada en 1950 para un tiempo de vida de 100 años, el periodo de tiempo utilizado en la tabla puede ser 50. La presa Yosocuta, se terminó de construir en 1969 por lo que tiene un tiempo de vida de 45 años, por lo anterior se considera el valor de 50.

4.2. Módulo Biodiversidad: *Calidad del hábitat*.

La biodiversidad es fundamental para el adecuado funcionamiento de los ecosistemas. La

⁹⁷INEGI, 2014. Red Hidrográfica escla 1:50,000 2.0

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx

⁹⁸Martínez, M. M. 2005. Estimación de la Erosión del Suelo. SAGARPA-INCA Rural-Colegio de Posgraduados.

biodiversidad se refiere a la variedad de seres vivos que existen en la tierra y es producto del proceso continuo de evolución que ocurre desde hace millones de años. Esta biodiversidad es la responsable de los procesos de los ecosistemas e incluye la variedad de las distintas especies de plantas y animales, la variedad de razas de estas especies, así como la variedad de los distintos tipos de ecosistemas (Sarukhán *et al.*, 2009⁹⁹).

El principal objetivo de la conservación es la protección de la biodiversidad, incluyendo la gama de genes, especies, poblaciones, hábitat y ecosistemas en un área de interés. Mientras que algunos consideran que la biodiversidad es un servicio ambiental, en este modelo se trata como un atributo independiente de los sistemas naturales, con su propio valor. Los manejadores de los recursos naturales, instituciones y organizaciones de conservación, han incrementado el interés para entender cómo y dónde la biodiversidad y los servicios ambientales se alinean en el espacio y cómo las acciones de manejo afectan a ambos.

Las razones para modelar la biodiversidad con los servicios ambientales son simples pero de mucho peso; y permiten comparar los patrones espaciales de la biodiversidad y de los servicios ambientales, e identificar áreas donde la conservación puede beneficiar a los sistemas naturales y a la economía humana, así como áreas donde estos objetivos no se encuentren alineados. Además permite analizar el balance entre la biodiversidad y los servicios ambientales a través de diferentes escenarios de cambio en el uso del suelo. Los patrones de uso del suelo/cubierta que generan la mayor producción de servicios ambientales pueden no siempre permitir la mayor conservación de la biodiversidad (Nelson *et al.* 2008¹⁰⁰).

El modelo de biodiversidad InVEST, combina información de uso del suelo/cubierta y amenazas a la biodiversidad para producir mapas de Calidad del Hábitat y Rareza. Utiliza siete tipos de datos de entrada, cinco de ellos son necesarios y los otros opcionales. Los datos requeridos incluyen:

- 1.- Mapas de Uso del Suelo y Vegetación,
- 2.- La sensibilidad de los tipos de hábitat a cada amenaza,
- 3.- Datos espaciales de la distribución e intensidad de cada amenaza y
- 4.- La ubicación de las áreas protegidas.

Al parecer el modelo requiere de 3 variables, las amenazas, la idoneidad de los tipos de hábitat para cada una de las especies o los grupos funcionales y las áreas protegidas, sin embargo estas pueden incrementarse de manera variable en función a la cantidad de amenazas identificadas y los tipos de uso del suelo y vegetación identificados. Para este caso fueron identificadas 5 tipos de amenazas de las cuales cuentan con 2 valores: *la distancia y la intensidad*. Mientras que la idoneidad se presenta para cada tipo de uso del suelo y vegetación para este caso se cuenta con 24 tipos, por lo anterior se presenta un total de 34

⁹⁹ *Idem 2.*

¹⁰⁰Nelson, E., S. Polasky, D. J. Lewis, A. J. Plantinga, E. Lonsdorf, D. White, D. Bael & J. J. Lawler. 2008. Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **105**: 9471-9476.

variables utilizadas para la definición de la mejor calidad del hábitat para cada una de las especies o grupos seleccionados (Tabla 2, Figura 3).

Tabla 2. Variables identificadas para el módulo de biodiversidad.

Datos	Variable	
Datos de campo		
Amenazas	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Distancia</i> <i>Intensidad</i>
	<i>Pastizal</i>	<i>Distancia</i> <i>Intensidad</i>
	<i>Agricultura de temporal</i>	<i>Distancia</i> <i>Intensidad</i>
	<i>Vía pavimentada</i>	<i>Distancia</i> <i>Intensidad</i>
	<i>Vía terracería</i>	<i>Distancia</i> <i>Intensidad</i>
ANP	<i>Ubicación de ANP</i>	<i>Valor acceso</i>
Datos sensores remotos		
Uso del suelo y vegetación	<i>Tipos 24</i>	<i>Idoneidad</i>
Modelo		
InVEST	Módulo: Biodiversidad: Calidad del hábitat.	

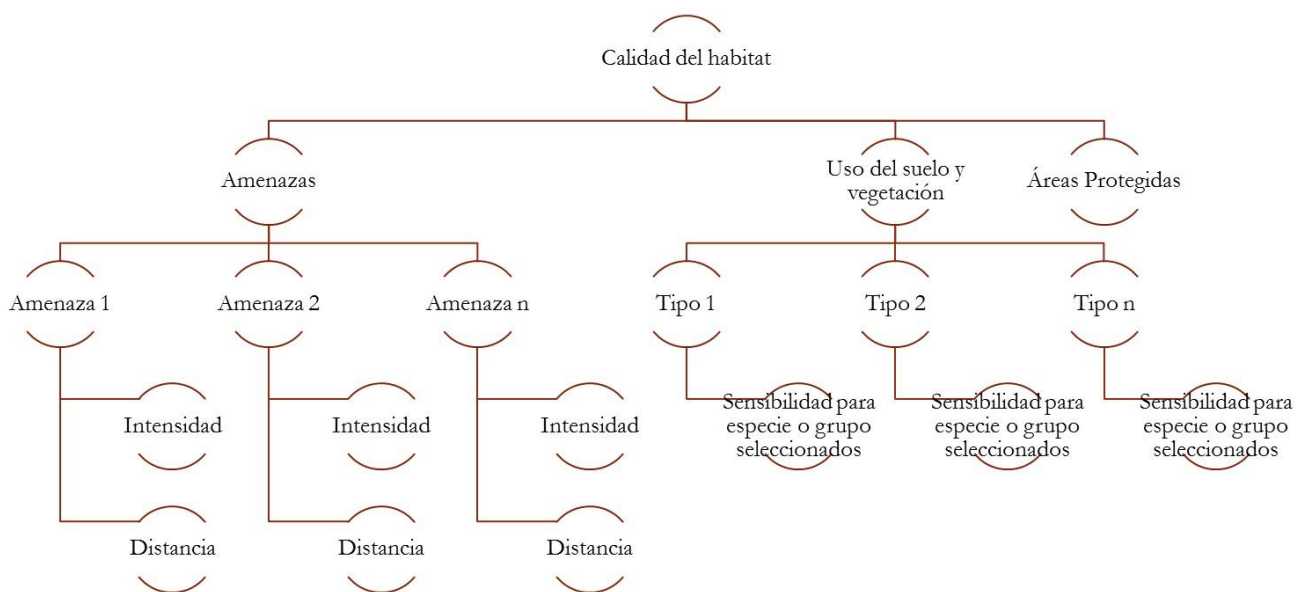


Figura 3. Diagrama de variables identificadas para el módulo de biodiversidad.

4.2.1. Mapas de Uso del Suelo y Vegetación

Los datos de uso del suelo y vegetación se pueden obtener del INEGI a una escala 1:250,000 o 1:1'000,000¹⁰¹. Al inicio de proyecto, se utilizaron los datos de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 de la serie I y V del INEGI. En caso de utilizar datos de INEGI a escala 1:250,000, es importante realizar una homologación de clases, debido que cada una de las series del INEGI cuenta con diferente número de clases.

También se puede utilizar datos disponibles que se encuentren a una escala mayor, en este caso se utilizaron los datos de uso del suelo y vegetación corresponde a la clasificación de las imágenes de satélite del año 1979 para la línea base y del año 2010 para la cobertura actual (Carranza 2014)¹⁰² a una escala 1:50,000, elaborada como parte de este mismo proyecto (OO66), se presentan 24 tipos de uso del suelo y vegetación.

4.2.2. La sensibilidad de los tipos de hábitat a cada amenaza,

Para la determinación de las especies y/o grupos funcionales claves se realizaron tres talleres, los dos primeros se realizaron el 24 y 31 de enero del 2014, enfocados a fauna. Mientras que el tercero se realizó para analizar la situación de la flora y se desarrolló el día 11 de marzo del 2014.

Para el desarrollo de los talleres de fauna se utilizó como base los datos obtenido del trabajo de Chagoya, V. 2011¹⁰³. Se clasificaron las especies con base en algunos criterios como NOM059, lista de la UICN, lista de CITES, si son endémicas para México, Oaxaca y la Región. También se consideraron otros criterios como son: indicadoras, carismáticas emblemáticas y sombrilla, así como su importancia económica y cultural entre otros.

Como resultado de los talleres de fauna se obtuvieron las especies y grupos funcionales que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Especies y grupos funcionales obtenidos en los talleres de expertos.

Núm.	Especies	Grupos
1		Rapaces diurnas
2	<i>Ortalis poliocephala</i>	
3	<i>Trogon mexicanus</i>	
4		Salamandras
5	<i>Hyla</i> sp	
6	<i>Iguana</i> sp	
7		Felinos
8	<i>Abronia mixteca</i>	
9		Murciélagos

Una vez determinados las especies y los grupos funcionales, se utilizaron los tipos de uso del

¹⁰¹ *Idem* 93.

¹⁰² *Idem* 94.

¹⁰³Chagoya, L.V. 2011, Biodiversidad de fauna de la región mixteca, Word Wildlife Fund-México, Convenio OL93. México D.F.

suelo y vegetación, donde a través del conocimiento de los expertos se determinó la idoneidad del hábitat para cada una de las especies y los grupos seleccionados. Es importante hacer notar que si bien el conocimiento de los especialistas es muy valioso, no deja de ser un valor basado en aproximaciones, lo que puede causar errores al momento de hacer las repeticiones.

En este sentido se debe de afinar los valores de idoneidad con base en datos de campo, otra cosa importante puede ser que el mismo grupo de expertos realice las adecuaciones a los valores, debido a que otro grupo de expertos puede llegar a tener mayor interés o conocimiento en el grupo de especies y grupos seleccionados, así como en los valores de idoneidad, lo que ocasionara que los resultados se modifiquen en función a los criterios utilizados para asignar los valores.

4.2.3. Datos espaciales de la distribución e intensidad de cada amenaza.

Las amenazas identificadas se presentan en la Tabla 4, estableciendo la distancia de impacto para cada amenaza.

Tabla 4. Amenazas identificadas.

AMENAZA	THREAT	MAX DIST	WEIGHT	DECAY
Asentamientos Humanos	AH	10.0	1.0	0
Pastizal	PAS	2.0	0.5	0
Agricultura de Temporal	AGR	5.0	0.8	0
Vía Pavimentado	VIAP	4.0	0.3	0
Vía Terracería	VIAT	2.0	0.3	0

Como no se cuentan con valores de campo, se establecen aproximaciones con base en criterios de impacto, en este sentido se considera que los asentamientos humanos es la amenaza que puede llegar a tener un mayor impacto, por lo que se le asigna el valor más alto, posteriormente se considera que la actividades agrícolas causan un fuerte impacto por lo que se asigna la siguiente categoría después de los asentamientos humanos.

De la misma forma la distancia que puede llegar afectar la amenaza, puede tener valores diferentes en términos de la distancia, así mismo se debe determinar el valor conforme a la lejanía a la amenaza, ya que entre más cerca mayor es la amenaza.

4.2.4. Áreas Naturales Protegidas

Identificar las áreas protegidas al interior del polígono de la Región Mixteca identificando cuatro áreas protegidas de carácter federal¹⁰⁴, así como una porción del área de carácter estatal que en su mayoría se sobrelapa con la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

¹⁰⁴CONANP, 2014 http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/

La identificación de la ANP, es uno de los valores que puede no tener problemas ni variaciones debido a que son sitios fijos delimitados a través de cuadros de construcción.

4.3. Módulo Captura de carbono.

Los ecosistemas regulan el clima en la tierra al incrementar o disminuir los gases de efecto invernadero (GHG), tales como el CO₂ de la atmósfera. De hecho, bosques, pastizales, pantanos y otros ecosistemas terrestres en conjunto, almacenan mucho más carbono que el que almacena la atmósfera (Lal, 2002)¹⁰⁵. Al almacenar este carbono en la madera, otras biomásas y en el suelo, los ecosistemas mantienen el CO₂ fuera de la atmósfera, donde contribuiría al cambio climático. Más allá de solo almacenar el carbono, muchos ecosistemas también continúan acumulándolo en las plantas y en el suelo conforme pasa el tiempo, y por tanto, capturando carbono adicional cada año.

Al perturbar los ecosistemas con fuego, enfermedades o bien la conversión de la vegetación, puede liberar grandes cantidades de CO₂. Durante el último siglo, la concentración de dióxido de carbono (CO₂) se ha incrementado en la atmósfera de 280 a 367 partes por millón (IPCC, 2001)¹⁰⁶. Es importante para México derivar estimaciones más exactas de las emisiones de los procesos de cambio de uso del suelo, ya que este constituye la segunda fuente más grande de emisión de CO₂ (IPCC, 2001)¹⁰⁷, después las emisiones de los combustibles fósiles (Ordóñez y Masera, 2001)¹⁰⁸. Lo anterior debido a que las áreas forestales están cambiando rápidamente a zonas agrícolas, ganaderas, y a otros tipos de vegetación implementadas por el hombre a áreas degradadas (Lambin, 1994)¹⁰⁹.

Evaluar las emisiones de carbono derivadas de la deforestación y la degradación forestal permitirá estimar el carbono almacenado en el bosque y clases no forestales. Los estudios deberían tratar de incluir tanto las reservas de carbono por encima y por debajo del suelo utilizando métodos de muestreo integrados (IPCC, 1996)¹¹⁰. Actualmente pocos estudios integrales de este tipo están disponibles en los países en desarrollo y sólo uno está disponible en las regiones montañosas de México (de Jong *et al.* 1999¹¹¹; Jaramillo *et al.*

¹⁰⁵ Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304:1623-1627.

¹⁰⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. *Climate Change 2001. The Synthesis Report*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 397 p.

¹⁰⁷ *Idem* 106.

¹⁰⁸ Ordóñez, A., Masera, O., 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7 (1), 3-12.

¹⁰⁹ Lambin, E.F., 1994. Modelling deforestation processes: a review *Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites*, TREES Series B, Research report No. 1. Office of the European Commission, Directorate- General XIII. Luxemburg. 113 pp.

¹¹⁰ *Idem* 106.

¹¹¹ de Jong, B.H.J., Cairns, M.A., Haggerty, P.K., Ramírez-Marcial, N., Ochoa- Gaona, S., Mendoza-Vega, J., González Espinosa, M., March-Mifsut, I., 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in the central highlands of Chiapas, México. *Environ. Manage.* 23 (3), 373-1285.

2003¹¹²; Figueroa Navarro et al. 2005¹¹³).

El módulo de captura de carbono, prácticamente requiere de dos datos fundamentales, la cobertura de uso del suelo y vegetación en sus diferentes tipos, misma que puede ser obtenido del análisis de imágenes de satélite y los datos de las reservas de carbono, en cuatro clases: aérea, raíces, materia muerta y suelo. Al mismo tiempo requiere de datos en diferentes periodos de tiempo, que pueden ser obtenidos de los análisis de cambio de uso del suelo.

Si se consideran los datos de uso del suelo y vegetación obtenida del análisis de las imágenes de satélite SPOT solo para los tipos de vegetación se obtiene un total de 19 clases de las cuales se requieren los datos de las 4 reservas de carbono en total se requieren de 76 variables (Tabla 5, Figura 4).

Tabla 5. Variables identificadas para el módulo de captura de carbono.

Datos	Variable
Datos de campo	
Reserva de carbono en tipos de USV	<i>Aéreo</i>
	<i>Raíces</i>
	<i>Superficial</i>
	<i>Suelo</i>
Datos sensores remotos	
Uso del suelo y vegetación	<i>Tipos 19</i>
	<i>Fecha inicial</i>
	<i>Fecha final</i>
	<i>Proyección a futuro</i>
Modelo	
InVEST	Módulo: Captura de carbono

¹¹² Jaramillo, V.J., Boone, J., Rentería-Rodríguez, L., Cummings, D.L., Ellingson, L., 2003. Biomasa, carbon, and nitrogen pool in Mexican Tropical Dry Forest landscapes. *Ecosystems* 6, 609–629.

¹¹³ Figueroa Navarro, C., Etchevers Barra, J.D., Velázquez Martínez, A., Acosta- Mireles, Y.M., 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamérica* 23, 57–64.

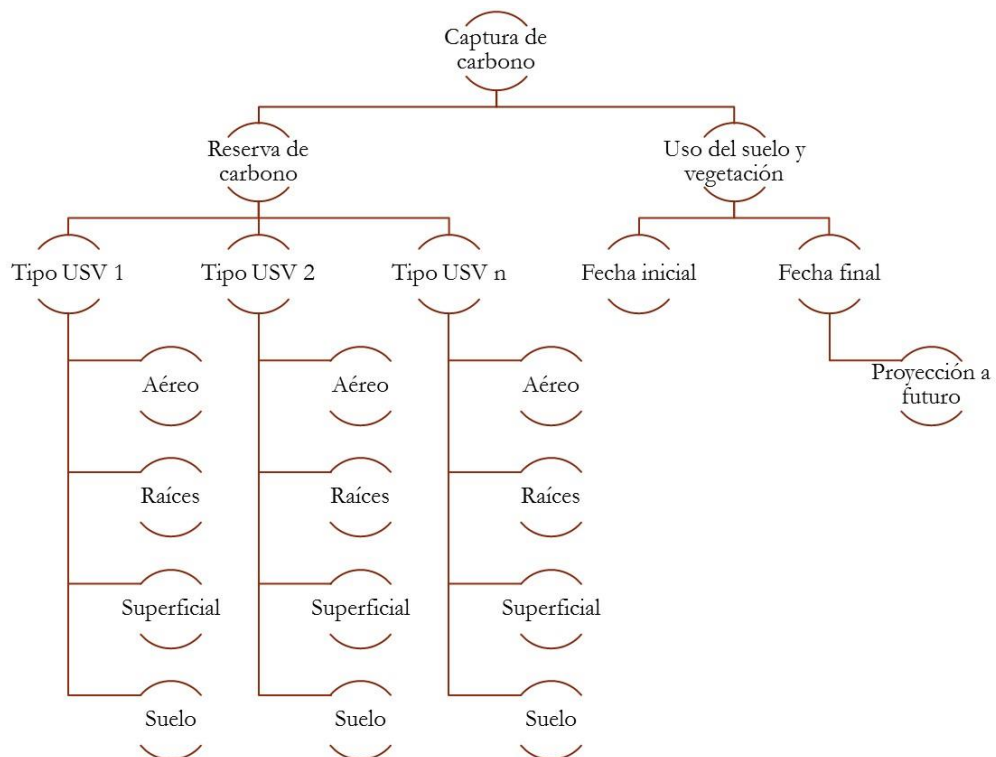


Figura 4. Diagrama de variables identificadas para el módulo de captura de carbono.

4.3.1. Mapas de Uso del Suelo y Vegetación

Para el primer caso la cobertura de uso del suelo y vegetación, de la misma manera que para los dos módulos anteriores, los datos de uso del suelo y vegetación se pueden obtener del INEGI a una escala 1:250,000 o 1:1'000,000¹¹⁴. Al inicio de proyecto, se utilizaron los datos de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 de la serie I y V del INEGI. En caso de utilizar datos de INEGI a escala 1:250,000, es importante realizar una homologación de clases, debido que cada una de las series del INEGI cuenta con diferente número de clases.

También se puede utilizar datos disponibles que se encuentren a una escala mayor, en este caso se utilizaron los datos de uso del suelo y vegetación corresponde a la clasificación de las imágenes de satélite del año 1979 para la línea base y del año 2010 para la cobertura actual (Carranza 2014)¹¹⁵ a una escala 1:50,000, elaborada como parte de este mismo proyecto (OO66), se presentan 24 tipos de uso del suelo y vegetación.

4.3.1.1. Proyección a futuro.

Una proyección en un tiempo futuro, mismo que no forma parte de módulo de InVEST y que el usuario debe considerar que modelo utilizar para obtener las proyecciones a futuro. En el caso del módulo de InVEST de este mismo proyecto, fue seleccionado DINAMICA EGO, como modelo para estimar los escenarios a futuro, este ha sido, desarrollado por Britaldo *et al*, 2009¹¹⁶ del Centro de Sensoramiento Remoto de la Universidad Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG) de Brazil.

Los modelos de simulación pueden ser vistos como un dispositivo heurístico útil para realizar la evaluación de resultados ante una variedad de escenarios, con diferentes marcos de referencia, socioeconómicos, políticos, y ambientales. Una clase especial entre ellos, modelos espacialmente explícitos simulan la dinámica de un sistema ambiental, reproduciendo el modo en que el modelo espacial se desarrolla, proyectar las consecuencias probables ecológicas y socioeconómicas de la dinámica del sistema. En este contexto fue que se desarrolló el Proyecto de Dinámica. Cuyo objetivo fue desarrollar instrumentos y métodos para ser aplicados a una variedad de los estudios de dinámica de paisaje y el modelado ambiental y diseminar libremente esta nueva tecnología a estudiantes e investigadores interesados en su empleo.

De un modelo de simulación espacialmente explícito de dinámica de paisaje, el programa Dinámica desarrollo Dinámica EGO, ahora en su versión actual 2.4. DINAMICA EGO. El término EGO hace referencia al concepto de Environment for Geoprocessing Objects (Entorno para Objetos de Geo-procesamiento). DINAMICA es una herramienta de modelación con posibilidades excepcionales para el diseño de modelos que van, desde los espaciales estáticos hasta complejos modelos dinámicos, los cuales pueden involucrar iteraciones anidadas, retroalimentaciones dinámicas, aproximaciones multi-regionales,

¹¹⁴ *Idem* 93.

¹¹⁵ *Idem* 94.

¹¹⁶ Britaldo S. Soares Filho, Hermann O. Rodrigues, William L. Costa. 2009. Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG).Brazil

manipulación y combinación algebraica de datos en distintos formatos, tales como mapas, tablas, matrices, y constantes, y procesos de decisión para bifurcar y juntar flujos de ejecución, y una serie de complejos algoritmos para el análisis y simulación de fenómenos espacio-temporales (Britaldo *et al.*, 2009¹¹⁷).

El entorno del software, escrito en C++ y Java, contiene una serie de algoritmos llamados **functors**, cada uno de los cuales, ejecuta una operación específica. Cuenta con algoritmos especialmente diseñados para simulaciones espaciales, incluyendo funciones de transición, calibración, y validación de métodos.

Estos functors están secuenciados para establecer un flujo de datos en forma gráfica. Mediante la interfase de Dinámica EGO, es posible crear modelos sólo con arrastrar y conectar functors a través de sus puertos, los cuales representan conectores hacia distintos tipos de datos, tales como mapas, tablas, matrices, expresiones matemáticas, y constantes.

Los modelos pueden ser diseñados como diagramas y su ejecución sigue una cadena de flujo de datos. Esta amigable interface permite el diseño de modelos desde simples a modelos espaciales muy complejos que son almacenados en un lenguaje script en formato XML o en el lenguaje de programación EGO. Dinámica EGO favorece la simplicidad, flexibilidad, y buen performance, optimizando velocidad y los recursos de la computadora, tales como la memoria virtual y el procesamiento paralelo. La mayoría de sus algoritmos están diseñados para aprovechar la arquitectura dual, o de mayor rango, del procesador.

Dinámica el EGO ha sido aplicado a numerosos estudios medioambientales, incluyendo el modelado de deforestación en un área local del Amazonas en base a amplias escalas¹¹⁸, uso del suelo y cambio de cubierta del Bosque Atlántico¹¹⁹ (4) y del bosque seco tropical de México¹²⁰, dinámica urbana¹²¹, explotación forestal en el Amazonas¹²², y el riesgo de incendio forestal¹²³. Además, el uso de Dinámica EGO fue central para ayudar a desarrollar estudios pionero de REDD, tal como el costo y beneficio para reducir emisiones de carbón de la deforestación y la degradación forestal en Amazonas brasileñas¹²⁴, el papel de áreas protegidas en reducir emisiones de carbón en Amazonas brasileñas, los co-beneficios de

¹¹⁷ *Idem* 75.

¹¹⁸ Soares-Filho B. S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Voll, E.; Cerqueira, G.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*, London, v. **440**, p. 520-523, 2006.

¹¹⁹ Teixeira, A. M.; Soares-Filho, B. S.; Freitas, S.; Metzger, J. P. W. Modeling Landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 257, 1219–1230, 2009.

¹²⁰ Cuevas S G, Mas J-F Land use scenarios: a communication tool with local Communities. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag, 2008.

¹²¹ Godoy, M. M. G. & Soares-Filho, B. S. Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighbourhood, Belo Horizonte city, Brazil. In: Paegelow M. & Camacho Olmedo M.T., Ed. *Modelling Environmental Dynamics*, Springer-Verlag.

¹²² Merry, F.; Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D.; Aamacher, G.; Rodrigues, H. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. *Environmental Management*, EUA, 44 (3): 395-407.2009.

¹²³ Soares-Filho B. S.; Silvestrini, R.; Nepstad, D.; Brando, P.; Rodrigues, H.O.; Alencar, A.; Coe, M.; Locks, C.; Lima, L.; Hissa, L.B.V. et al. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. *Landscape Ecology*. Volume 27, Number 4 (2012), 585-598.

¹²⁴ Nepstad, D.; Soares-Filho, B. S.; Merry, F.; Moutinho, P.; Rodrigues, H.; Bowman, M.; Schwartzman, S.; Almeida, O.; Rivero, S. The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. A report for Bali COP-13.

REDD en la cabecera Xingu¹²⁵, una propuesta para terminar con la deforestación en el Amazonas brasileñas¹²⁶, y como REDD+ podría aumentar la producción de nuez brasileña en Madre de Dios, Peru¹²⁷, entre otros.

Cuenta con un modelo para construcción de simulación del cambio de uso del suelo y cobertura (Land Use Change and Land Cover – LUCC). El desarrollo de estos modelos espacio-temporales, en los que el estado o atributo de una cierta ubicación geográfica, o celda, cambia a través del tiempo como respuesta a una serie de causas o drivers, es un requisito de extrema importancia para el modelamiento ambiental y, por lo tanto, ofrece una gama de posibilidades para la representación de fenómenos dinámicos.

En este sentido es importante definir el empleo de los modelos de simulación ya que el empleo de diferentes modelos, puede ocasionar cambios en las proyecciones y a la vez cambios en los resultados de las reservas de carbono.

4.3.3. Reserva se carbono.

La situación se complica en el segundo punto: las reserva de carbono. Primero porque no existen datos disponibles para la región, lo que ocasiona que se deban utilizar datos de otros sitios. En segundo término, los datos publicados de las reserva de carbono, para los diferentes tipos de vegetación presentan variaciones muy grandes como se muestra en la siguiente Tabla 6.

En este sentido, se recomienda antes de monitorear las reservas de carbono, es necesario contar con datos de base para los diferentes tipos de vegetación para las cuatro reservas. Para lo cual es importante determinar el método para la obtención de datos, en el mismo sentido existen numerosos trabajos que han sido aplicados, sin embargo es recomendable ajustar la toma de datos a lo establecido por la CONAFOR a fin de poder comparar los resultados con otros sitios similares CONAFOR 2012 ¹²⁸; CONAFOR, 2011¹²⁹.

Tabla 6. Datos comparativos de reservas de carbono.

	Valores mínimos reportados	Valores máximos reportados	Referencias consultadas	
	t C/Ha-1	t C/Ha-1	Min	Max
Agricultura	5	9	4	A
B coníferas	36.8	133.4	8	B
B. coníferas-latifoliadas	13	157	9	C

¹²⁵ Stickler, C.M.; D.C. Nepstad; Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Merry, F.; Bowman, M.S.; Walker, W.S.; Kelldofer, J.M.; Almeida, O.T. The opportunity costs of reducing carbon emissions in an Amazonian agroindustrial region: the Xingu River headwaters. A paper prepared for and presented at the 2008 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, February 22-23, 2008, Berlin, Germany.

¹²⁶ Nepstad, D.; Soares-Filho, B.S.; Merry, F.; Lima, A.; Moutinho, P.; Carter, J.; Bowman, M., Cattaneo, A.; Rodrigues, H., Schwartzman, S.; Mcgrath, D.; Stickler, C.; Lubowski, P. P.; Rivero, S.; Alencar, A.; Almeida, O.; Stella, O. The End of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Science* 326 (5958) 1350-1351. 2009

¹²⁷ Nunes F.; Soares-Filho B. S.; Giudice; R. Rodrigues H. O.; Bowman M. S.; Silvestrini. R; Mendoza, E. Economic benefits of forest conservation: assessing the potential rents from Brazil nut concessions in Madre de Dios, Peru, to channel REDD+ investments. *Environmental Conservation*, 39 (3): 2012.

¹²⁸ CONAFOR, 2012. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Re-muestreo 2012. Comisión Nacional Forestal SEMARNAT.

¹²⁹ CONAFOR, 2011. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal SEMARNAT.

B. de Abies	26.7	169.7	8 D
B. de Encino	20.1	205	10 E
B. de Pino	44	147	16 F
B. Fragmentado	9.9	87.5	6 G
B. Latifoliadas	13	144.8	8 H
B. Mesófilo	20	220	6 I
Matorrales	6	30	3 J
Pastizales	0.2	18	5 L
Plantaciones	5	120	8 M

Referencias.

A: (De-Jong et al. 1999¹³⁰, Maser et al. 2001¹³¹, Rangel 2004¹³², Ordoñez et al. 2008¹³³);

B: (Dixon and García 1992¹³⁴, Cairns et al. 1995¹³⁵, Maser et al. 1997¹³⁶, Maser et al. 2001, Ordoñez et al. 2001¹³⁷, Etchevers et al. 2006¹³⁸, Mendoza-Ponce 2008¹³⁹, Rojas-García 2008¹⁴⁰);

C: (De-Jong et al. 1999, INE 2000, De-Jong et al. 2001¹⁴¹, Ordoñez et al. 2001, Peña del Valle 2003¹⁴², Almeida-Leñero et al. 2007¹⁴³, Ordoñez et al. 2008, Rojas-García 2008, Jiménez-Pérez et al. 2010¹⁴⁴);

D: (Cairns et al. 2000¹⁴⁵, Peña del Valle 2003, Zamora-Collazo 2003¹⁴⁶, Nava 2006¹⁴⁷, Almeida-Leñero et al. 2007¹⁴⁸, Mendoza-Ponce 2008, Ordoñez et al. 2008, Rojas-García 2008);

¹³⁰ De Jong B., Cairns M., Haggerty P., Ramírez-Marcial N., Ochoa-Gaona S., Mendoza-Vega J., González-Espinoza M., March-Mifsut I. 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in central Highlands of Chiapas, Mexico. *Environmental Management*. 23(3):373-385.

¹³¹ Maser O.R., A.D. Ceron, y J. Antonio Ordoñez, 2001. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change*, 6: 291-312.

¹³² Rangel, M.B. 2004. Evaluación de la captura de carbono en sistemas agrícolas en producción, abandonados y reforestados de áreas afectadas por ceniza Volcánica Del Parícutín, Michoacán, México. Tesis Maestría, Facultad Dd Biología, UMSNH.

¹³³ Ordoñez, JAB, BHJ De Jong, F García-Oliva, FL Aviña, JV Pérez, G Guerrero, R Martínez, O Maser. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico *Forest Ecology and Management* 255 (7), 2074-2084

¹³⁴ Dixon, R. y García, M. 1992. Rates of Deforestation in Los Tuxtlas a Neotropical Area in Southeast, México. 1992. *Conservation Biology* 6(1): 84-93.

¹³⁵ Cairns, M.A., Kolchuniga, T.P., Turner, D.P., Winjum, J.K., 1995. The contribution of forest land use to total national carbon flux: case studies in the former Soviet Union, United States, Mexico and Brazil. EPA/600/R-95/044. U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, OR. 212 pp.

¹³⁶ Maser O.R., Ordoñez M.J., y Dirzo R., 1997. *Climatic Change* 35, 265-295.

¹³⁷ Ordoñez, J.A., Bernardus, H.J. de Jong, O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosque* 7(2) 2001:27-47.

¹³⁸ Etchevers, J.D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo, M. Martínez. Influence of land use on carbon sequestration and erosion in Mexico, a review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany), 2006, 26 (1), pp.21-28

¹³⁹ Mendoza-Ponce, A. V. 2008. Estimación de biomasa aérea y almacenamiento de carbono en paisajes de bosques templados en Cofre de Perote, Veracruz. Tesis Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

¹⁴⁰ Rojas-García, F. 2008 consideraciones para el balance de carbono: evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche, Tesis Maestría Ciencias Biológicas, UNAM.

¹⁴¹ De Jong B.H.J. 2001. Uncertainties in estimating the potential for carbon mitigation of forest management. *Forest Ecology and Management*. 154(1-2): 85-104.

¹⁴² Peña del Valle, A.E. 2003. captura de carbono: un estudio en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. 2003. Tesis Maestría, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.

¹⁴³ Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, Mj Ordoñez, J. Jujnovsky. 2007. servicios ecosistemicos en la cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal, México, *Gaceta Ecológica* 84-85:53-64.

¹⁴⁴ Jiménez-Pérez, J., Aguirre, O., Treviño, E. 2010. capacidad de captura de carbono en ecosistemas mixtos en el estado de Tamaulipas. Facultad De Ciencias Forestales. UANL.

¹⁴⁵ Cairns, M. A., P. K. Haggerty, R. Alvarez, B. H. J. De Jong, and I.Olmsted 2000. Tropical Mexico's Recent Land-Use Change: A Region's Contribution To The Global Carbon Cycle. *Ecological Applications* 10:1426-1441

¹⁴⁶ Zamora-Collazo, J.C. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa Aérea en el bosque de pino del ejido “la majada” municipio de Peribán de Ramos, Michoacán. Tesis Licenciatura, UMSNH.

¹⁴⁷ Nava, L.M.Z. 2006. carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterio de restauración, en el bosque de Abies religiosa de la cuenca del Río Magdalena. D.F. Tesis Maestría. Posgrado En Ciencias Biológicas, UNAM.

¹⁴⁸ *Idem* 131.

E: (Masera 1995¹⁴⁹, Masera et al. 1997, Acosta et al. 2001¹⁵⁰, Ordoñez et al. 2001, Etchevers et al. 2002¹⁵¹, Zamora-Collazo 2003, Etchevers et al. 2006, Ordoñez et al. 2008, Rojas-García 2008, Martínez Vera and Quintana Sagarnaga 2010¹⁵²);
F: (De-Jong et al. 1995¹⁵³, Masera 1995, Masera et al. 1997, De-Jong et al. 1999, Cairns et al. 2000, De-Jong et al. 2001, Ordoñez et al. 2001, Terradas 2001¹⁵⁴, Peña del Valle 2003, Zamora-Collazo 2003, Almeida-Leñero et al. 2007, Díaz et al. 2007¹⁵⁵, Pimenta-de-la-Torre et al. 2007¹⁵⁶, Mendoza-Ponce 2008, Rojas-García 2008, Aguirre-Salgado et al. 2009¹⁵⁷);
G: (De-Jong et al. 1999, Cairns et al. 2000, Masera et al. 2001, Etchevers et al. 2002¹⁵⁸, Etchevers et al. 2006, Ordoñez et al. 2008);
H: (Cairns et al. 1995, Masera et al. 1997, De-Jong et al. 2001, Masera et al. 2001, Zamora-Collazo 2003, Etchevers et al. 2006, Almeida-Leñero et al. 2007, Rojas-García 2008);
I: (De-Jong et al. 1999, Cairns et al. 2000, Acosta et al. 2001, Terradas 2001, Etchevers et al. 2002, Jiménez-Pérez et al. 2010);
J: (Cairns et al. 2000, De-Jong et al. 2001, Navar et al. 2002¹⁵⁹);
K: (Cairns et al. 2000, Peña del Valle 2003, Vigil 2010¹⁶⁰);
L: (De-Jong et al. 1999, De-Jong et al. 2001, Masera et al. 2001, Etchevers et al. 2006, Ordoñez et al. 2008);
M: (AMBIO, Cairns et al. 2000, Arteaga 2001¹⁶¹, Rangel 2004, Etchevers et al. 2006, Pacheco et al. 2007¹⁶², Ordoñez et al. 2008, Roncal-García et al. 2008¹⁶³);
N: (Masera et al. 1997, Huges et al. 2000¹⁶⁴, De-Jong et al. 2001, Terradas 2001);
O: (Castellanos et al. 1991¹⁶⁵, Masera et al. 1997, De-Jong et al. 2001, Terradas 2001, Estrada 2005¹⁶⁶, Jiménez-Pérez et al. 2010).

¹⁴⁹ Masera O.R. 1995. en Jardón J.J. (ed.) Energía y Medio Ambiente, Plaza y Valdes Ed., México D.F., 157-178.

¹⁵⁰ Acosta M., Etchevers J.D., Monreal C., Quednow K., Hidalgo C. (2001) Un método para la medición del Co en los compartimientos

subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México, in: Memoria del Simposio Internacional sobre "Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Nov. 2001, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile (CD ROM).

¹⁵¹ Etchevers B.J.D. (2002) Metodología para la medición de la captura de carbono, Proyecto Manejo Sostenible de Laderas, Cuarta reunión del Comité Técnico de Coordinación y Seguimiento, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (CD-ROM).

¹⁵² Martínez-Vera, D. y Quintana-Sagarnaga, S.B. 2010. Determinación del contenido de carbono en *Quercus microphylla* y dos unidades de suelo en el predio Las Cruces, Texcoco, Estado de México. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo.

¹⁵³ De Jong, B., Montoya G., Nelson K., Soto L., Taylor J., Tipper R. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia*. 20(6):409-416.

¹⁵⁴ Terradas, J. Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. 2001. Ediciones Omega. Barcelona.

¹⁵⁵ Díaz F. R., M. Acosta, F. Carrilo, E. Buendía, E. Flores, J. Etchevers. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula*, schl. et cham. *Madera y Bosques*, 13(001): 25-34.

¹⁵⁶ Pimenta-De-La-Torre, D.J., G. Domínguez, O. Aguirre, F.J. Hernández, J. Jiménez. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* blanco, en Pueblo Nuevo Durango. *Madera y Bosques*, 13(001): 35-46.

¹⁵⁷ Aguirre-Salgado, C. A., J. R. Valdez-Lazalde, G. Ángeles-Pérez, H. M. De Los Santos-Posadas, R. Haapanen, A.I. Aguirre-Salado. 2009. Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de pino patula en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 43:209-220.

¹⁵⁸ Etchevers J., M. Acosta, C. Monreal, K. Quednow y Jiménez, L. 2002. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales del 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia – Chile.

¹⁵⁹ Navar, J., Mendez, E. y Dale, V. 2002. Estimation stand biomass in the tamaulipan thronscrub of northeastern Mexico. *Annals of forest science*. 59(8): 813-821.

¹⁶⁰ Vigil, N. N. 2010. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Cupressus lindley klotzsch ex endil.* en el campo forestal experimental "Las Cruces", Texcoco, México. Tesis licenciatura Universidad Autónoma Chapingo.

¹⁶¹ Arteaga, M.B. 2001. evaluación dasométrica de una plantación de pino en Perote Veracruz, Mexico. *Foresta Veracruzana*, 5(1): 27-32.

¹⁶² Pacheco, E. F.C, Aldrete, A., G.A, Fierros, Cetina, V. M., Gómez, A. y Vaquera, H. 2007. almacenamiento de carbno en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus Greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(003):251:254.

¹⁶³ Roncal-García, S., Soto-Pinto, L., Castellanos-Albores, J., Ramírez-Marcial, N., y de Jong, B. H. J. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33, 200–206.

¹⁶⁴ Hughes, R.F., J.B. Kauffman, V. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical región of Mexico. *Ecological Applications*. 10:515-527.

¹⁶⁵ Castellanos, J., M. Maass, J. Kummerow. 1991. Root biomass of dry deciduous tropical forest in México. 1991. *Plant and Soil*, 131:225-228.

¹⁶⁶ Estrada, S. A.L. 2005. Almacén y flujos de carbono en ecosistemas forestales del estado de Morelos, México. 2005. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

5. Conclusiones.

El estudio de los servicios ecosistémicos es inherentemente complejo y representa un reto enorme. Su comprensión requiere del entendimiento tanto de la complejidad inherente de los sistemas ecológicos, así como de los sociales y su interacción. El entendimiento de los servicios ecosistémicos es indispensable para poder transferirlos hacia la sociedad de tal forma que tengan consecuencias en la toma de decisiones y en la generación de políticas que aseguren su mantenimiento.

El monitoreo de los servicios ecosistémicos utilizando modelos como InVEST permitirá obtener la cuantificación y conocer la distribución de los servicios ecosistémicos. Sin embargo, el análisis de los servicios ecosistémicos es complicado en el sentido que requiere de una gran cantidad de variables. Es importante considerar si los modelos son adecuados para áreas extensas como el caso del área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca, o bien sea conveniente dividir en áreas específicas a través de un criterio funcional tratando de reducir el número de variables.

Aunque los módulos de InVEST proporcionan datos de los diferentes servicios ecosistémicos, permitiendo a los usuarios ejecutar los módulos sin que cuente con experiencia en los Sistemas de Información Geográfica. Sin embargo, la situación se puede complicar cuando se tiene que arreglar los datos en los formatos y características en que debe de presentarse los archivos para la ejecución de los módulos de InVEST. Para lo cual los usuarios no solo deben de contar con conocimientos de Sistemas de Información Geográfica, sino contar con algún conocimiento o tener el apoyo del área de sistemas para la preparación de algunos archivos.

Los modelos como InVEST son una herramienta para el conocimiento y monitoreo de los servicios ecosistémicos, sin embargo los modelos deben ser alimentados con datos de campo y/o información obtenida a través de los sensores remotos. La cantidad y calidad de la información de base permitirán obtener un mejor conocimiento de los servicios ecosistémicos. Contar con los estudios diagnósticos para cada uno de los servicios ecosistémicos de interés y contar con los datos biofísicos completos evita hacer inferencias y sobre todo evita el uso de datos de otros sitios. La carencia de datos, representa un problema, para el monitoreo de los servicios ecosistémicos, aunque en los diferentes módulos de InVEST, hay datos que pueden ser opcionales, los datos requeridos se deben presentar de alguna forma, lo que obliga primero a contar con los datos correspondientes al área de interés. Aunque en algunos casos se pueden hacer generalizaciones o utilizar datos de otros sitios, con la consecuencia de que los resultados no corresponden al área de interés, lo que puede producir e interpretar falsos resultados.

6. Referencias.

- Acosta M., Etchevers J.D., Monreal C., Quednow K., Hidalgo C. (2001) Un método para la medición del Co en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México, in: Memoria del Simposio Internacional sobre "Medición de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Nov. 2001, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile (CD ROM).
- Aguirre-Salgado, C. A., J. R. Valdez-Lazalde, G. Ángeles-Pérez, H. M. De Los Santos-Posadas, R. Haapanen, A.I. Aguirre-Salado. 2009. Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de pino patula en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 43:209-220.
- Almeida-Leñero, L. Nava, M., Ramos, A., Espinosa, M., Ordoñez, M. y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal. *Gaceta Ecológica número especial 84-85 (2007):53-64*. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Arteaga, M.B. 2001. Evaluación dasométrica de una plantación de pino en Perote Veracruz, Mexico. *Foresta Veracruzana*, 5(1): 27-32.
- Ayanu, Y. Z., C. Conrad, T. Nauss, M. Wegmann, and T. Koellner. 2012. Quantifying and mapping ecosystem services supplies and demands: A review of remote sensing applications. *Environmental Science and Technology* 46:8529–8541.
- Balvanera, P., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, et al. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* 291:2047.
- Balvanera, P. y Cotler, H. 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica número especial 84-85 (2007) 8-15* Instituto Nacional de Ecología, México.
- Bian, Z., and Q. Lu. 2013. Ecological effects analysis of land use change in coal mining area based on ecosystem service valuing: A case study in Jiawang. *Environmental Earth Sciences* 68:1619–1630.
- Britaldo S. Soares Filho, Hermann O. Rodrigues, William L. Costa. 2009. Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG).Brazil
- Burkhard, B., F. Kroll, S. Nedkov, and F. Müller. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators* 21:17–29.
- Cairns, M.A., Kolchuniga, T.P., Turner, D.P., Winjum, J.K., 1995. The contribution of forest land use to total national carbon flux: case studies in the former Soviet Union, United States, Mexico and Brazil. EPA/600/R-95/044. U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, OR. 212 pp.
- Cairns, M. A., P. K. Haggerty, R. Alvarez, B. H. J. De Jong, and I.Olmsted 2000. Tropical Mexico's Recent Land-Use Change: A Region's Contribution To The Global Carbon Cycle. *Ecological Applications* 10:1426–1441
- Caride, C., G. Piñeiro, and J. M. Paruelo. 2012. How does agricultural management modify ecosystem services in the Argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. *Agriculture Ecosystems and Environment* 154:23–33.

Carranza, S.J. 2014. Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca. Convenio OO66 WWF.

Castellanos, J., M. Maass, J. Kummerow. 1991. Root biomass of dry deciduous tropical forest in México. 1991. *Plant and Soil*, **131**:225-228.

Castro-Martínez, A.J., M. García-Llorente, B. Martín-López, I. Palomo y I. Iniesta-Arandia. 2013. Multidimensional Approaches in Ecosystem Services Assessment. In Alcaraz-Segura, D., C.M. Di Bella, J.V. Straschnoy. *Earth Observation of Ecosystem Services*. CRC Press, noviembre 2013.

CONAFOR, 2012. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Re-muestreo 2012. Comisión Nacional Forestal SEMARNAT.

CONAFOR, 2011. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal SEMARNAT.

CONANP, 2014 http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/

Cortés T. (1991). “Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados”. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, pp 168, México.

Crossman, N. D., B. Burkhard, and S. Nedkov. 2012. Quantifying and mapping ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* **8**:1-4.

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **387**:253-260.

Chagoya, L.V. 2011, Biodiversidad de fauna de la región mixteca, Word Wildlife Fund-México, Convenio OL93. México D.F.

Chan, K. M. A., M. R. Shaw, D. R. Cameron, E. C. Underwood, and G. C. Daily. 2006. Conservation planning for ES. *PLoS Biology* **4**:2138-2152.

Chuvieco, E. 2008. *Earth observation of global change: The role of satellite remote sensing in monitoring the global environment*. Berlin: Springer-Verlag.

Daily, G. C., and P. Matson. 2008. Ecosystem services: From theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **105**:9455-9456.

De Jong, B., Montoya G., Nelson K., Soto L., Taylor J., Tipper R. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia*. 20(6):409-416.

De Jong B., Cairns M., Haggerty P., Ramírez-Marcial N., Ochoa-Gaona S., Mendoza-Vega J., González-Espinoza M., March-Mifsut I. 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in central Highlands of Chiapas, Mexico. *Environmental Management*. 23(3):373-385.

De Jong B.H.J. 2001. Uncertainties in estimating the potential for carbon mitigation of forest

management. *Forest Ecology and Management*. 154(1-2): 85-104.

De-Yong, Y., P. Yao-Zhong, W. Yan-Yan, L. Xin, L. Jing, and L. Zhong-Hua. 2005. Valuation of ecosystem services for Huzhou City, Zhejiang Province from 2001 to 2003 by remote sensing data. *Journal of Forestry Research* 16:223–227.

Díaz F. R., M. Acosta, F. Carrilo, E. Buendía, E. Flores, J. Etchevers. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula*, schl. et cham. *Madera y Bosques*, 13(001): 25-34.

Dixon, R. y García, M. 1992. Rates of Deforestation in Los Tuxtlas a Neotropical Area in Southeast, México. 1992. *Conservation Biology* 6(1): 84-93.

Du, Z., Y. Shen, J. Wang, and W. Cheng. 2009. Land-use change and its ecological responses: A pilot study of typical agro-pastoral region in the Heihe River, northwest China. *Environmental Geology* 58:1549–1556.

Duan, J., Y. Li, and J. Huang. 2013. An assessment of conservation effects in Shilin Karst of South China Karst. *Environmental Earth Sciences* 68:821–832.

Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

Estoque, R. C., and Y. Murayama. 2012. Examining the potential impact of land use/cover changes on the ecosystem services of Baguio City, the Philippines: A scenario-based analysis. *Applied Geography* 35:316–326.

Estrada, S. A.L. 2005. Almacén y flujos de carbono en ecosistemas forestales del estado de Morelos, México. 2005. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

Etchevers B.J.D. (2002) Metodología para la medición de la captura de carbono, Proyecto Manejo Sostenible de Laderas, Cuarta reunión del Comité Técnico de Coordinación y Seguimiento, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (CD-ROM).

Etchevers J., M. Acosta, C. Monreal, K. Quednow y Jiménez, L. 2002. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales del 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia – Chile.

Etchevers, J.D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo, M. Martínez. Influence of land use on carbon sequestration and erosion in Mexico, a review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany), 2006, 26 (1), pp.21-28

FAO. 2011. *Situación de los bosques del mundo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Feld, C. K., J. P. Sousa, P. M. da Silva, and T. P. Dawson. 2010. Indicators for biodiversity and ecosystem services: Towards an improved framework for ecosystems assessment. *Biodiversity and Conservation* 19:2895–2919.

Feng, X., B. Fu, X. Yang, and Y. Lü. 2010. Remote sensing of ecosystem services: An opportunity for spatially explicit assessment. *Chinese Geographical Science* 20:522–535.

- Feria-Pérez, C. R. 2010. El paisaje de la mixteca: el espacio abierto en la vida cotidiana de Santa Cruz Nundaco, Oaxaca. Tesis que presenta para obtener el título de Arquitecto Paisajista. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arquitectura.
- Fernandez, R.D.S. 2012. Priorización Hidrológica de las Principales Asociaciones Suelo-Vegetación Presentes en la Cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca. Convenio OM30 WWF.
- Figueroa S. B., Amante A., Cortés H. G., Pimentel J., Osuna E.S., Rodríguez J. M., Morales J. F. (1991). “Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión”. Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados (CREZAS). México.
- Figueroa Navarro, C., Etchevers Barra, J.D., Velázquez Martínez, A., Acosta- Mireles, Y.M., 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamérica* 23, 57–64.
- Forsius, M., S. Anttila, L. Arvola, et al. 2013. Impacts and adaptation options of climate change on ecosystem services in Finland: A model based study. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5:26–40.
- Frazier, A. E., C. S. Renschler, and S. B. Miles. 2012. Evaluating post-disaster ecosystem resilience using MODIS GPP data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21:43–52.
- Galan, C., P. Balvanera y F. Catellarini. 2012. *Políticas públicas hacia la sustentabilidad: integrando la visión ecosistémica*. CONABIO, México.
- GEO BON ES (Group on Earth Observations. Biodiversity Observation Network. Ecosystem Services Working Group). 2013. Available from: http://www.earthobservations.org/geobon_wgs.shtml (accessed April 4, 2013).
- Hao, F., X. Lai, W. Ouyang, Y. Xu, X. Wei, and K. Song. 2012. Effects of land use changes on the ecosystem service values of a reclamation farm in northeast China. *Environmental Management* 50:888–899.
- Hu, H., W. Liu, and M. Cao. 2008. Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglun, Xishuangbanna, southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment* 146:147–156.
- Huang, Q., D. D. Li, and H. B. Zhang. 2009. Effects of land use and land cover change on ecosystem service values in oasis region of northwest China. *Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering* 7384. doi:10.1117/12.834897.
- Huang, X., Y. Chen, J. Ma, and X. Hao. 2011. Research of the sustainable development of Tarim River based on ecosystem service function. *Procedia Environmental Sciences* 10:239–246.
- Hughes, R.F., J.B. Kauffman, V. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Applications*. 10:515-527.
<http://ariesonline.org>.

<https://maps.google.com/maps?f=q&source=embed&hl=es&geocode=&q=http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz&sl=51.289954,0.48126&sspn=1.277966,2.458191&ie=UTF8&t=f&ecpose=24.80805605,-101.74817558,3614699.55,-2.041,0.424,0&ll=25.048525,-101.757635&spn=31.280665,56.162109&z=4>

<http://www.fao.org/docrep/t1765e/t1765eoe.htm>

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/>

INEGI 2010. Censo de población y vivienda.

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión

5.0A.http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

INEGI, 2013 Perfiles de suelos, Serie II Continuo Nacional.

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825266707&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=3608&pg=0&ct=205020000>

INEGI 2014. Continuo de elevaciones mexicano 3.0 /CEM 3.0)

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx>

INEGI, 2014. Red Hidrográfica escla 1:50,000 2.0

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx

INEGI, 2014. Red Hidrográfica escla 1:50,000 2.0

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx

Información de La Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (consultado en CDI [en línea] http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=758&Itemid=68)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Land-use change and forestry. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Chapter 5).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. Climate Change 2001. The Synthesis Report. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 397 p.

IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). 2013. IPBES Draft Work Programme 2014–2018. Available from: <http://www.ipbes.net> (accessed April 4, 2013).

Ivits, E., M. Cherlet, G. Tóth, et al. 2012. Combining satellite derived phenology with climate data for climate change impact assessment. *Global and Planetary Change* **88–89**:85–97.

Jaramillo, V.J., Boone, J., Rentería-Rodríguez, L., Cummings, D.L., Ellingson, L., 2003. Biomasa, carbon, and nitrogen pool in Mexican Tropical Dry Forest landscapes. *Ecosystems* **6**, 609–629.

Jensen, J. R. 2007. *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective*. Boston, MA: Pearson Prentice Hall.

- Jiménez-Pérez, J., Aguirre, O., Treviño, E. 2010. capacidad de captura de carbono en ecosistemas mixtos en el estado de Tamaulipas. Facultad De Ciencias Forestales. UANL.
- Jin, Y., J. F. Huang, and D. L. Peng. 2009. A new quantitative model of ecological compensation based on ecosystem capital in Zhejiang Province, China. *Journal of Zhejiang University: Science B* **10**:301–305.
- Konarska, K. M., P. C. Sutton, and M. Castellon. 2002. Evaluating scale dependence of ecosystem service valuation: A comparison of NOAA-AVHRR and Landsat TM datasets. *Ecological Economics* **41**:491–507.
- Kreuter, U. P., H. G. Harris, M. D. Matlock, and R. E. Lacey. 2001. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics* **39**:333–346.
- Krishnaswamy, J., K. S. Bawa, K. N. Ganeshiah, and M. C. Kiran. 2009. Quantifying and mapping biodiversity and ecosystem services: Utility of a multi-season NDVI based Mahalanobis distance surrogate. *Remote Sensing of Environment* **113**:857–867.
- Kroll, F., F. Müller, D. Haase, and N. Fohrer. 2012. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. *Land Use Policy* **29**:521–535.
- Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* **304**:1623-1627.
- Lambin, E.F., 1994. Modelling deforestation processes: a review Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites, TREES Series B, Research report No. 1. Office of the European Commission, Directorate- General XIII. Luxemburg. 113 pp.
- Lane, C. R., and E. D’Amico. 2010. Calculating the ecosystem service of water storage in isolated wetlands using LIDAR in north central Florida, USA. *Wetlands* **30**:967–977.
- Li, R. Q., M. Dong, J. Y. Cui, L. L. Zhang, Q. G. Cui, and W. M. He. 2007. Quantification of the impact of land-use changes on ecosystem services: A case study in Pingbian County, China. *Environmental Monitoring and Assessment* **128**:503–510.
- Li, W. J., S. H. Zhang, and H. M. Wang. 2011. Ecosystem services evaluation based on geographic information system and remote sensing technology: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology* **22**:3358–3364.
- Li, P., L. Jiang, Z. Feng, and X. Yu. 2012. Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services: An overview. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica* **32**:5219–5229.
- Liu, J., T. Dietz, S. R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A. N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C. L. Redman, S. H. Shneider y W. W. Taylor. 2007. Complexity of Coupled Human and Natural System. *Science* **317**: 1,513-516.
- Liu, J., J. Gao, and Y. Nie. 2009. Measurement and dynamic changes of ecosystem services value for the Tibetan Plateau based on remote sensing techniques. *Geography and Geo-Information Science* **3**:022.
- Liu, Y., J. Li, and H. Zhang. 2012. An ecosystem service valuation of land use change in Taiyuan City, China. *Ecological Modelling* **225**:127–132.

MA (Millenium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Current states and trends*. Washington, DC: World Resources Institute.

Malmstrom, C. M., H. S. Butterfield, C. Barber, et al. 2009. Using remote sensing to evaluate the influence of grassland restoration activities on ecosystem forage provisioning services. *Restoration Ecology* **17**:526–538.

Menzel, S., and J. Teng. 2010. Ecosystem services as a stakeholder-driven concept for conservation science. *Conservation Biology* **3**:907–909.

Martínez-Harms, M. J., and P. Balvanera. 2012. Methods for mapping ecosystem service supply: A review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* **8**:17–25.

Martínez, M. M. 2005. Estimación de la Erosión del Suelo. SAGARPA-INCA Rural-Colegio de Posgraduados.

Martínez-Vera, D. y Quintana-Sagarnaga, S.B. 2010. Determinación del contenido de carbono en *Quercus microphylla* y dos unidades de suelo en el predio Las Cruces, Texcoco, Estado de México. Tesis Licenciatura, Universidad Autonoma Chapingo.

Masera O.R. 1995. en Jardón J.J. (ed.) *Energía y Medio Ambiente*, Plaza y Valdes Ed., México D.F., 157-178.

Masera O.R., Ordoñez M.J., y Dirzo R., 1997. *Climatic Change* **35**, 265-295.

Masera, O., Martínez, R.D., Hernández, T., Guzmán y, A., Ordóñez, A., 2000. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1994–1996. Parte 6: Cambio en el uso del suelo y bosques. Laboratorio de Bioenergía del Departamento de Ecología de los Recursos Naturales del Instituto de Ecología de de la UNAM, Campus Morelia-INE, SEMARNAT, México, D.F, p. 44.

Masera O.R., A.D. Ceron, y J. Antonio Ordóñez, 2001. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change*, **6**: 291-312.

McMichael, A. J., D. Campbell-Lendrum, C. F. Corvalan, et al. 2003. *Climate change and human health: Risks and responses*. Geneva: World Health Organization.

McPherson, E. G., J. R. Simpson, Q. Xiao, and C. Wu. 2011. Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment. *Landscape and Urban Planning* **99**:40–50.

Mendoza-Ponce, A. V. 2008. Estimación de biomasa aérea y almacenamiento de carbono en paisajes de bosques templados en Cofre de Perote, Veracruz. Tesis Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

McNally, C. G., E. Uchida, and A. J. Gold. 2011. The effect of a protected area on the tradeoffs between short-run and long-run benefits from mangrove ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **108**:13945–13950.

Naidoo, R., and T. H. Ricketts. 2006. Mapping the economic costs and benefits of conservation. *PLoS Biology* **11**:360.

Nava, L.M.Z. 2006. carbono almacenado como servicio ecosistemico y criterio de

restauración, en el bosque de Abies religiosa de la cuenca del Río Magdalena. D.F. Tesis Maestría. Posgrado En Ciencias Biológicas, UNAM.

Navar, J., Mendez, E. y Dale, V. 2002. Estimation stand biomass in the tamaulipan thronscrub of northeastern Mexico. *Annals of forest science*. 59(8): 813-821.

Nelson, E., S. Polasky, D. J. Lewis, A. J. Plantinga, E. Lonsdorf, D. White, D. Bael & J. J. Lawler. 2008. Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **105**: 9471-9476.

Newton, A. C., R. A. Hill, C. Echeverría, et al. 2009. Remote sensing and the future of landscape ecology. *Progress in Physical Geography* **33**:528-546.

Oki, T., E. M. Blyth, E. H. Berbery, and D. Alcaraz-Segura. 2013. Land cover and land use changes and their impacts on hydroclimate, ecosystems and society. In *Climate science for serving society: Research, modeling and prediction priorities*, eds. G. R. Asrar and J. W. Hurrell, 185-203. Dordrecht, The Netherlands: Springer Science and Business Media.

Ordóñez, A., Maser, O., 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* **7** (1), 3-12.

Ordoñez, J.A., Bernardus, H.J. de Jong, O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosque* **7**(2) 2001:27-47.

Ordóñez, JAB, BJJ De Jong, F García-Oliva, FL Aviña, JV Pérez, G Guerrero, R Martínez, O Maser. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico *Forest Ecology and Management* **255** (7), 2074-2084

Pacheco, E. F.C, Aldrete, A., G.A, Fierros, Cetina, V. M., Gómez, A. y Vaquera, H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de Pinus Greggii Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, **30**(003):251:254.

Palomo, I., B. Martín-López, M. Potschin, R. Haines-Young, and C. Montes. 2012. National parks, buffer zones and surrounding landscape: Mapping ecosystem services flows. *Ecosystem Services Journal* **4**:104-116.

Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., and Griffin, R. 2013. InVEST 2.5.4 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford.

Peña del Valle, A.E. 2003. Captura de carbono: un estudio en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. 2003. Tesis Maestría, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.

Pimienta-De-La-Torre, D.J, G. Domínguez, O. Aguirre, F.J. Hernández, J. Jiménez. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de Pinus cooperi blanco, en Pueblo Nuevo Durango. *Madera y Bosques*, **13**(001): 35-46.

- Politi, E., M. E. J. Cutler, and J. S. Rowan. 2012. Using the NOAA advanced very high resolution radiometer to characterise temporal and spatial trends in water temperature of large European lakes. *Remote Sensing of Environment* **126**:1–11.
- Porfirio, L. L., W. Steffen, D. J. Barrett, and S. L. Berry. 2010. The net ecosystem carbon exchange of human-modified environments in the Australian capital region. *Regional Environmental Change* **10**:1–12.
- Rangel, M.B. 2004. Evaluación de la captura de carbno en sistemas agrícolas en producción, abandonados y reforestados de áreas afectadas por ceniza Volcánica Del Parícutín, Michoacán, México. Tesis Maestría, Facultad de Biología, UMSNH.
- Rocchini, D., N. Balkenhol, G. A. Carter, et al. 2010. Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: Recent advances and open challenges. *Ecological Informatics* **5**:318–329.
- Rojas-García, F. 2008 consideraciones para el balance de carbono: evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche, Tesis Maestría Ciencias Biológicas, UNAM.
- Roncal-García, S., Soto-Pinto, L., Castellanos-Albores, J., Ramírez-Marcial, N., y de Jong, B. H. J. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, **33**, 200–206.
- Sarukhán, J., et al. 2009. *Capital natural de México*. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Shi, Y., R. S. Wang, J. L. Huang, and W. R. Yang. 2012. An analysis of the spatial and temporal changes in Chinese terrestrial ecosystem service functions. *Chinese Science Bulletin* **57**:2120–2131.
- Tallis, H., H. Mooney, S. Andelman, et al. 2012. A global system for monitoring ecosystem service change. *BioScience* **62**:977–986.
- Tenhunen, J., R. Geyer, S. Adiku, et al. 2009. Influences of changing land use and CO₂ concentration on ecosystem and landscape level carbon and water balances in mountainous terrain of the Stubai Valley, Austria. *Global and Planetary Change* **67**:29–43.
- Terradas, J. Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. 2001. Ediciones Omega. Barcelona.
- Turner, D. P., W. D. Ritts, Z. Yang, et al. 2011. Decadal trends in net ecosystem production and net ecosystem carbon balance for a regional socioecological system. *Forest Ecology and Management* **262**:1318–1325.
- Verburg, P. H., J. van de Steeg, A. Veldkamp, and L. Willemen. 2009. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management* **90**:1327–1335.

- Verburg, P., S. van Asselen, E. van der Zanden, and E. Stehfest. 2013. The representation of landscapes in global scale assessments of environmental change. *Landscape Ecology* **28**(6):1067–1080.
- Verstraete, M. M., M. Menenti, and J. Peltoniemi. 2000. *Observing land from space: Science, customers and technology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Vigil, N. N. 2010. Estimación de biomasa y contenido de carbono en Cupresus lindley klotzsch ex endil. en el campo forestal experimental "Las Cruces", Texcoco, México. Tesis licenciatura Universidad Autónoma Chapingo.
- Volante, J. N., D. Alcaraz-Segura, M. J. Mosciaro, E. F. Viglizzo, and J. M. Paruelo. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **154**:12–22.
- Wang, Z., B. Zhang, S. Zhang, et al. 2006. Changes of land use and of ecosystem service values in Sanjiang Plain, northeast China. *Environmental Monitoring and Assessment* **112**:69–91.
- Wang, C., P. D. Van Meer, M. Peng, W. Douven, R. Hessel, and C. Dang. 2009. Ecosystem services assessment of two watersheds of Lancang River in Yunnan, China with a decision tree approach. *Ambio* **38**:47–54.
- Wischmeier, W. H. and Smith D.D. (1965). "Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning". U.S. Department of Agriculture Handbook, No. 537.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D. 1978, *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA-ARS Agriculture Handbook, Washington DC.
- Woodcock, B. A., J. Redhead, A. J. Vanbergen, et al. 2010. Impact of habitat type and landscape structure on biomass, species richness and functional diversity of ground beetles. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **139**:181–186.
- Zhao, B., U. Kreuter, B. Li, Z. Ma, J. Chen, and N. Nakagoshi. 2004. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China. *Land Use Policy* **21**:139–148.
- Zhao, X., and P. Tong. 2013. Ecosystem services valuation based on land use change in a typical waterfront town, Poyang Lake basin, China. *Applied Mechanics and Materials* **295**:722–725.
- Zamora-Collazo, J.C. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa Aérea en el bosque de pino del ejido "la majada" municipio de Peribán de Ramos, Michoacán. Tesis Licenciatura, UMSNH.

ANEXO VII

Informe Final

Definir áreas con potencial para el establecimiento de corredores biológicos priorizando la conectividad de ecosistemas con buenas condiciones de cobertura vegetal.

Elaboración:

Jorge Carranza Sánchez
Karla Argelia Ocegüera Salazar

Contenido

Resumen Ejecutivo.....	1
1. Introducción.....	2
1.1. Recopilación de ejemplos de corredores biológicos establecidos en México.....	5
1.1.1. Corredor Biológico Chichinautzin (CoBio Chichinautzin).....	6
1.1.2. Corredor Sian Ka'an – Calakmul	8
1.1.3. Corredor Biológico Mesoamericano	8
1.1.4. Sistema Arrecifal Mesoamericano	10
1.1.5. Corredor Ecológico Sierra Madre Oriental (CESMO)	10
1.1.6. Corredor Biocultural Centro Occidente.....	12
1.2. Análisis de la información generada por otras consultorías en relación al establecimiento de corredores biológicos.....	12
2. Marco Conceptual	15
2.1. Efectos positivos y negativos sobre la creación de Corredores Biológicos.....	15
2.2. Diseño del corredor biológico.	16
2.2.1. Variables para el diseño de corredor biológico.....	19
2.2.2. Qué conectar	20
2.3. Detalles específicos en el diseño de los corredores	21
2.3.1. Características de los corredores:	21
3. Justificación	22
4. Metas	22
5. Objetivo General.....	23
5.1. Objetivo específico:	23
6. Área de estudio.	23
7. Método.....	25
7.1. Análisis multicriterio de las áreas de interés.	25
7.1.1. Módulo I. Preparación de capas y selección de especies.	26
7.1.2. Módulo II. Modelo de disponibilidad del hábitat.....	28
7.1.3. Módulo III. Diseño del Corredor	29
8. Resultados	30
8.1. Generación de insumos	30
8.2. Ponderación de las variables en el análisis multicriterio.....	34
8.2.1. Género <i>Abronia</i>	35
8.2.2. Familia <i>Felinos</i>	36
8.2.3. Murciélagos Nectarívoros	37
8.2.4. Salamandras.....	38
8.2.5. Venado	39
8.3. Modelos.....	41
8.3.1. Género <i>Abronia</i>	41
8.3.2. <i>Felinos</i>	43
8.3.3. <i>Murciélagos Nectarívoros</i>	46
8.3.4. <i>Salamandra</i>	48
8.3.5. <i>Venado</i>	50
8.4. Integración información de análisis multicriterio.	52
9. Discusión.....	56
10. Conclusiones	60
11. Literatura Citada	61

Anexo I. Literatura consultada para la ponderación de variables utilizadas en el modelo Corridor Design.	67
Anexo II. Municipios que integran cada uno de los Corredores Estructurales propuestos en la Región Mixteca.	70

Índice de cuadros.

Cuadro 1. Especies y grupos seleccionados para la propuesta de diseño del Corredor Biológico.	32
Cuadro 2. Ponderación de variables para el Género <i>Abronia</i> .	35
Cuadro 3. Ponderación de variables para la Familia de Felinos.	36
Cuadro 4. Ponderación de variables para los Murciélagos Nectarívoros.	37
Cuadro 5. Ponderación de variables para las Salamandras.	38
Cuadro 6. Ponderación de variables para Venado.	39
Cuadro 7. Superficie (Ha) conformada por tipo de corredor propuesto.	53
Cuadro 8. Municipios de la Región Mixteca que integran las conexiones en los corredores propuestos.	54
Cuadro 9. Regiones Hidrológicas, cuencas y subcuencas en la Región Mixteca Oaxaca.	56

Índice de Figuras.

Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.	24
Figura 2. Uso del Suelo y Vegetación año 2010 en la Región Mixteca.	30
Figura 3. Distancia euclidiana a las vías de comunicación en la Región Mixteca.	31
Figura 4. Índice de Posición Topográfica en la Región Mixteca.	32
Figura 5. Ubicación de los registros de fauna en la zona de estudio.	34
Figura 6. Disponibilidad del hábitat para el Género <i>Abronia</i> a partir del <i>Corridor Design</i> .	42
Figura 7. Parches potenciales para el establecimiento del Género <i>Abronia</i> .	43
Figura 8. Mapa modelo Corredor Biológico para el Género <i>Abronia</i> .	43
Figura 9. Disponibilidad del hábitat para los Felinos a partir del <i>Corridor Design</i> .	44
Figura 10. Parches potenciales para el establecimiento de los Felinos.	45
Figura 11. Mapa modelo Corredor Biológico para los Felinos.	45
Figura 12. Disponibilidad del hábitat para los Murciélagos Nectarívoros a partir del <i>Corridor Design</i> .	46
Figura 13. Parches potenciales para el establecimiento de los Murciélagos Nectarívoros.	47
Figura 14. Mapa modelo Corredor Biológico para los Murciélagos Nectarívoros.	48
Figura 15. Disponibilidad del hábitat para las Salamandras a partir del <i>Corridor Design</i> .	48
Figura 16. Parches potenciales para el establecimiento de las Salamandras.	49
Figura 17. Mapa modelo Corredor Biológico para las Salamandras.	49
Figura 18. Disponibilidad del hábitat para el Venado cola blanca a partir del <i>Corridor Design</i> .	50
Figura 19. Parches potenciales para el establecimiento del Venado cola blanca.	51
Figura 20. Mapa modelo Corredor Biológico para el Venado.	52
Figura 21. Corredores Biológicos propuestos para la Región Mixteca a partir del análisis multicriterio de cinco grupos de fauna clave para el mantenimiento de los ecosistemas.	53
Figura 22. Principales ríos que se encuentran en la Región Mixteca Oaxaqueña.	55
Figura 23. Subcuencas de la Región Mixteca Oaxaqueña.	56

Resumen Ejecutivo.

Actualmente se han generado importantes cambios en la distribución y configuración espacial de los hábitats naturales, por lo que la cantidad y calidad del hábitat disponible para los grupos de flora y fauna es cada vez más restringida, lo anterior debido principalmente a los cambios en los ecosistemas por la práctica de actividades antropogénicas, así como a perturbaciones naturales.

Por lo que una de las alternativas que se están llevando a cabo para fomentar y conservar hasta donde sea posible un continuo de vegetación así como todos los procesos del ecosistema que ahí ocurren es la creación de Corredores Biológicos. En el presente trabajo se tuvo como objetivo específico el definir áreas con potencial para el establecimiento de corredores biológicos priorizando la conectividad de ecosistemas en la Región de la Mixteca Oaxaqueña.

El método empleado fue a partir de las herramientas de Sistemas de Información Geográfica implementadas en el Módulo del *Corridor Design*, el cual funge como una herramienta clave en el diseño de Corredores Biológicos ya que es bastante amigable y se obtienen resultados robustos. En dicho módulo se puede modelar a partir de registros de fauna y una serie de variables, dentro de un análisis multicriterio, la disponibilidad del hábitat, generar un mapa de parches potenciales para el establecimiento de las especies y por último determinar las mejores zonas para la creación de los Corredores.

Se determinaron a partir de una reunión de expertos los grupos y especies de fauna que tienen prioridades de conservación dentro del área de análisis, los cuales fueron especies del Género *Abronia*, las especies de la Familia de los Felinos, los Murciélagos Nectarívoros, las Salamandras y el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*). Para cada grupo y especie se realizó la modelación de los corredores biológicos, con los cuales el tipo de vegetación recurrente dentro de los cinco grupos de estudio fueron los Bosques de Encino, Bosque de Pino, Bosque de Encino-Pino, Bosque de Pino-Encino y la Selva Baja Caducifolia todos con vegetación primaria y vegetación secundaria.

Finalmente se realizó un análisis en el cual se determinaron los solapamientos y similitud en los tipos de vegetación y se determinaron Corredores Biológicos estructurales de Bosque (incluye Bosques de Encino, Bosque de Pino, Bosque de Encino-Pino, Bosque de Pino-Encino primario y con vegetación secundaria), Selvas (Selva Baja Caducifolia primaria y secundaria) y los pequeños parches de Bosque Mesófilo de Montaña con vegetación secundaria.

Los SIG se han convertido en una herramienta importante en el análisis espacial de las últimas décadas en los estudios para modelar fenómenos causados en la naturaleza, ya sea de manera natural o por actividades humanas. Estos sistemas de análisis espacial ofrecen información considerable para los tomadores de decisiones, ya que actualmente son importantes herramientas de conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

1. Introducción.

México es considerado un país megadiverso debido en gran medida a su privilegiada ubicación geográfica entre la región Neártica y Neotropical. El territorio nacional cuenta con un inventario biológico extenso que lo ubica entre los dos países con mayor número de ecosistemas y entre los cinco con mayor diversidad de especies en el mundo, representando el 12% de la biota mundial concentrado mayormente en el trópico húmedo (Mas *et al.* 1996¹, PNUMA 2005², CONABIO 2009b³, IUCN 2011⁴).

Sin embargo, a pesar de contar con una gran diversidad de ecosistemas, estos sistemas están continuamente siendo sujetos a una presión tal que ocasiona procesos de cambio y transformación del hábitat. Se ha documentado que una de las principales causas por la que gran parte del paisaje natural de México está siendo transformado a un ritmo alarmante, es debido a las actividades antrópicas, para satisfacer necesidades básicas de alimentación y vivienda (Bocco *et al.* 2001⁵); las cuales a su vez tienen efectos en cascada como la degradación, la pérdida de biodiversidad (especies y hábitats silvestres), así como la creación de una serie de fragmentos de hábitat dentro del paisaje (Santos y Tellería 2006⁶, Bennet y Saunders 2010⁷, Krauss *et al.* 2010⁸).

La pérdida de ecosistemas debido a los procesos de cambio de uso del suelo y fragmentación ha generado importantes cambios en la distribución y configuración espacial de los hábitats nativos, de tal manera que la cantidad y calidad de hábitat disponible en las comunidades naturales de flora y fauna cada vez es más restringida, ya que los ambientes cada día se encuentran más fragmentados (Lander *et al.* 2010⁹).

¹ Mas, J.F., V. Sorani, R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. Investigaciones Geográficas 5: 43-57. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

² PNUMA. 2005. Grupo de países megadiversos afines. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Para consulta: <http://www.pnuma.org/deramb/GroupofLikeMindedMegadiverseCountries.php>

³ CONABIO. 2009b. Biodiversidad Mexicana. Reporte País: Riquezas Naturales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.

⁴ IUCN. 2011. Las áreas protegidas de América Latina, situación actual y perspectivas para el futuro. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, España.

⁵ Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Boletín del Instituto de Geografía 44: 18-38.

⁶ Santos, T. y J. L. Tellería. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. Ecosistemas 2:3-12.

⁷ Bennett, A. F. and D. A. Saunders. 2010. Habitat fragmentation and landscape change. Pp. 88-106. In Navjot S. Sodhi y Paul E. Ehrlich (Eds.). Conservation Biology for all. Oxford University Press. New York, USA.

⁸ Krauss, J., R. Bommarco, M. Guardiola, R. K. Heikkinen, A. Helm, M. Kuussaari, R. Lindborg, E. Öckinger, M. Pärtel, J. Pino, J. Pöyry, K. M. Raatikainen, A. Sang, C. Stefanescu, T. Teder, M. Zobel and I. Steffan-Dewenter. 2010. Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels. Ecology Letters 13: 597-605.

⁹ Lander, A. T., D.H. Boshier and S. A. Harris. 2010. Fragmented but not isolated: Contribution of single trees, small patches and long distance pollen flow to genetic connectivity for *Gomortega keule*, an endangered Chilean tree. Biological Conservation 143(11): 2583-

La fragmentación del hábitat afecta numerosos procesos ecológicos a través de múltiples escalas espaciales y temporales siendo la causa de significativas amenazas al mantenimiento de la biodiversidad (Saunders *et al.* 1991¹⁰, Janzen 1994¹¹, Young *et al.* 1996¹², Morgan 1999¹³, Trejo y Dirzo 2000¹⁴, Bond 2003¹⁵). Específicamente se describe como la reducción de un área continua de vegetación, la cual produce una serie de parches de vegetación remanente (Saunders *et al.* 1991¹⁶) lo que crea una discontinuidad, tanto en los recursos como en las condiciones ambientales (Fahrig 2003¹⁷).

Al crearse un fragmento de hábitat se modifican una serie de procesos tanto a nivel del paisaje como del ecosistema. Uno de los efectos a nivel paisaje al haber modificación del hábitat es la presencia de árboles aislados que persisten en matrices de vegetación degradadas, mismas que en algún momento formaron parte de un paisaje continuo (Lander *et al.* 2010¹⁸). Hay estudios que han documentado que estos árboles aislados son elementos clave dentro de los ecosistemas, ya que actúan como puentes en el intercambio genético entre los diferentes fragmentos de vegetación (Hoebee *et al.* 2007¹⁹; Lander *et al.* 2010²⁰). A pesar de su baja densidad, los árboles aislados poseen un importante papel en el sostenimiento de diferentes procesos ecológicos, como el mantenimiento de hábitat para la biota silvestre, protección contra la erosión y la desertificación, y además de su relevancia en la producción de semillas para el restablecimiento de la vegetación (Fisher *et al.* 2010²¹).

A nivel ecosistémico, la creación de poblaciones pequeñas puede afectar negativamente las interacciones bióticas desestabilizando el ecosistema (Rathcke y Jules 1993²², Steffan-Dwenter y Tschardtke 1999²³). Al causar una reducción en el tamaño poblacional, la fragmentación puede provocar que las especies que se encuentran en bajas densidades sean vulnerables a la extinción como resultado de eventos estocásticos (al azar) (Zuidema *et al.*

2590.

¹⁰ Saunders, D. A., R. J. Hobbs and C. R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A Review. *Conservation Biology* 5: 18-32.

¹¹ Janzen, D. H. 1994. Priorities in tropical biology. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 365-367.

¹² Young, A., T. Boyle and T. Brown. 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 413-418.

¹³ Morgan, J. W. 1999. Effects of population size on seed production and germinability in an endangered, fragmented grassland plant. *Conservation Biology* 13: 266-273.

¹⁴ Trejo, I. and R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological and Conservation* 94: 133-142.

¹⁵ Bond, M. 2003. Principles of Wildlife Corridor Design. Report for Center for Biological Diversity. Casterline, M., E. Fregaus, E. Fujioka, L. Hagan, C. Mangiardi, M. Riley, H. Tiwari. Wildlife Corridor Design and Implementation in South Ventura County, California. Master of Environmental Science and Management.

¹⁶ *Ídem* 10.

¹⁷ Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34: 487-515.

¹⁸ Lander, A. T, D.H. Boshier and S. A. Harris. 2010. Fragmented but not isolated: Contribution of single trees, small patches and long distance pollen flow to genetic connectivity for *Gomortega keule*, an endangered Chilean tree. *Biological Conservation* 143(11): 2583-2590.

¹⁹ Hoebee, S.E, U. Arnold, C. Düggelein, F. Gugerli, S. Brodbeck, P. Rotach and R. Holderegger 2007. Mating patterns and contemporary gene flow by pollen in a large continuous and a small isolated population of the scattered forest tree *Sorbus torminalis*. *Heredity* 99: 47-55.

²⁰ *Ídem* 18.

²¹ Fisher, J, J. Stott and B.S. Law. 2010. The disproportionate value of scattered trees. *Biological Conservation* 143: 1564-1567.

²² Rathcke, B. J., and E. S. Jules. 1993. Habitat fragmentation and plant pollinator interactions. *Current Science* 65: 273-277.

²³ Steffan-Dwenter, I. y T. Tschardtke. 1999. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia*, 121: 432-440.

1996²⁴; Alves *et al.* 2013²⁵), de tal forma que los animales que mueven el material genético (polen y/o semillas) entre fragmentos aislados de vegetación contribuyen a reducir los efectos negativos provocados por la fragmentación. Por ejemplo, en varios estudios se ha documentado la importancia de los murciélagos como uno de los polinizadores más móviles en hábitats fragmentados (Law y Lean 1999²⁶, Law *et al.* 1999²⁷) ya que son relativamente tolerantes a los procesos de fragmentación (Estrada y Coates-Estrada 2002²⁸), y promueven el exocruzamiento entre los árboles (Stoner *et al.* 2008²⁹).

De manera general, la fragmentación provoca un incremento de los bordes en los paisajes, una disminución en la polinización y dispersión de semillas, pérdida de la diversidad genética y modificación de los patrones de flujo génico. Las poblaciones de especies sensibles a los procesos de fragmentación, además de verse afectadas por la reducción del hábitat, deben afrontar la dificultad de atravesar espacios transformados para buscar los recursos (Gurrutxaga-San Vicente y Lozano-Valencia 2008³⁰).

Una forma de proteger la biodiversidad y contrarrestar los efectos adversos de la fragmentación es mediante la creación de corredores biológicos (también llamados de vida silvestre, de hábitat, verdes) y/o las piedras de paso (*stepping stones*) (Rosenberg *et al.* 1997³¹, Baum *et al.* 2004³²) con la finalidad de conectar parches de vegetación, especies y ecosistemas que permitan una continuidad en los procesos biológicos que se habían visto afectados (Anderson y Jenkins 2006³³), así como el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que proveen los ecosistemas.

Los corredores pueden ser definidos como grandes avenidas embebidas en una matriz que conecta dos o más bloques de hábitat a través de las cuales los animales pueden viajar, las plantas se pueden propagar, el intercambio genético puede ocurrir, las poblaciones pueden moverse en respuesta de cambios ambientales y desastres naturales y las especies amenazadas pueden desplazarse o colonizar otras áreas (Beier y Noss 1998³⁴, R. Walker y

²⁴ Zuidema, P. A., J. A. Sawyer and W. Dijkman. 1996. Forest fragmentation and biodiversity: the case for intermediate-sized conservation areas. *Environmental Conservation* 23: 290-297.

²⁵ Alves, F. P., D. Boscolo and B. F. Viana. 2013. What do we know about the effects of landscape changes of plant-pollinator interaction networks?. *Ecological Indicators* 31: 35-40.

²⁶ Law, B. S. and M. Lean. 1999. Common blossom bats (*Sycomycteris australis*) as pollinators in fragmented Australian tropical rainforest. *Biological and Conservation* 91: 201-212.

²⁷ Law, B. S., J. Anderson and M. Chidel. 1999. Bat communities in a fragmented forest landscape on the south-west slopes of New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 88: 333-345.

²⁸ Estrada, A. and R. Coates-Estrada. 2002. Bats in continuous forest, forest fragments and in an agricultural mosaic habitat island at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation* 103: 237-245.

²⁹ Stoner, K. E., J. A. Lobo, M. Quesada, E. J. Fuchs, Y. Herrerías-Diego, M. A. Munguía-Rosas, K. A. Ocegüera-Salazar, C. Palacios-Guevara y V. Rosas-Guerrero. 2008. Efecto de la perturbación del bosque en la tasa de visita de murciélagos polinizadores y sus consecuencias en el éxito reproductivo y el sistema de apareamiento en árboles de la familia Bombacaceae. Pp. 351-372. En: Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Celia A. Harvey y Joel C. Sáenz (Eds.). Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica.

³⁰ Gurrutxaga-San Vicente, M. y P. J. Lozano-Valencia. 2008. Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿Solucionan la problemática de la fragmentación de hábitats? *Observatorio Medioambiental* 11:171-183.

³¹ Rosenberg, D. K., B. R. Noon and E. C. Meslow. 1997. Biological corridors: form, function and efficacy. *BioScience* 47: 677-687.

³² Baum, K. A.; K. J. Haynes, F. P. Dilleuth and J. T. Cronin. 2004. The matrix enhances the effectiveness of corridors and stepping stones. *Ecology* 85(10): 2671-2676.

³³ Anderson, A. B. and C. J. Jenkins. 2006. Applying Nature's Design. Corridors as a Strategy for Biodiversity Conservation. Columbia University Press. 243pp.

³⁴ Beier, P. and R. F. Noss. 1998. Do habitat corridors provide connectivity?. *Conservation Biology* 12: 1241-1252.

Craighead 1997 en Hilty *et al.* 2006³⁵). Mientras que las piedras de paso pueden ser definidas como una serie de pequeños parches conectados que de otro modo serían parches aislados. Estos pequeños parches junto con el diseño de corredores, pueden ser las estrategias más apropiadas para promover el movimiento entre parches cuando el hábitat continuo se ha perdido (Baum *et al.* 2004³⁶).

Además de moverse a través de los corredores y las piedras de paso, los organismos también pueden dispersarse a través de la matriz incluso si la matriz del hábitat es no apta para la supervivencia y la reproducción (Haynes y Cronin 2003 en Baum *et al.* 2004³⁷). La efectividad de los corredores y las piedras de paso dependen también de la matriz circundante del hábitat, ya que pueden llegar a influenciar el comportamiento del animal para moverse y para cruzar el fragmento (parche) (Schtickzelle y Baguette 2003 en Baum *et al.* 2004³⁸).

Los corredores biológicos representan una serie de ventajas en términos demográficos y genéticos mediante el mantenimiento de la conectividad del hábitat. El aumento en el intercambio de individuos entre poblaciones puede incrementar la persistencia de las poblaciones a nivel local y regional. Al aumentar las tasas de inmigración, los corredores pueden favorecer el incremento de la abundancia y la riqueza de especies en los parches que conectan, reduciendo la probabilidad de extinción local y permitiendo la recolonización de parches de hábitat favorable donde la especie ha desaparecido (Muench 2006³⁹).

1.1. Recopilación de ejemplos de corredores biológicos establecidos en México.

En México no existe mucha información sobre la creación y existencia de corredores biológicos, a pesar del acelerado incremento en las tasas de cambio y uso del suelo a través del tiempo, así como la creación de una serie de parches en el paisaje debido a la fragmentación del hábitat. En realidad, son pocos los estudios que se han publicado y están para consulta pública, la mayoría de la información disponible de corredores son propuestas de creación de los cuales muy pocos pueden ser consultados.

Es evidente la carencia de información y de estudios relevantes con los cuales se puedan diseñar programas de conservación en áreas donde se haya perdido la conectividad del paisaje. En los siguientes apartados se expondrán los estudios de corredores biológicos que se conocen en México los cuales se encuentran en diferentes fases de desarrollo, es decir, algunos ya están implementados (el caso del Corredor Biológico Chichinautzin, Corredor Biológico Mesoamericano), otros ya fueron concluidos los estudios (Corredor Calakmul-Sian Ka'an) y otros se encuentran en etapas iniciales o en desarrollo (Corredor Biocultural Centro Occidente, Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental).

³⁵ Hilty, J. A., W. Z. Lidicker Jr. and A. Merenlender. 2006. Corridor Ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation. Island Press, USA.

³⁶ *Ídem* 32.

³⁷ *Ídem* 32.

³⁸ *Ídem* 32.

³⁹ Muench, S.C. E. 2006. Corredores de vegetación y conectividad de hábitat para el tapir (*Tapirus bairdii*) en la Selva Lacandona, Chiapas. Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

1.1.1. Corredor Biológico Chichinautzin (CoBio Chichinautzin)

El corredor se encuentra ubicado en la sierra norte del estado de Morelos, en la región sur del Distrito Federal y al sureste del Estado de México. Fue decretado como Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) el 30 de noviembre de 1988 bajo la presidencia de Miguel de la Madrid, época en la cual se considerará prioritario establecer medidas preventivas que regularan el aprovechamiento integral y racional de los recursos naturales (DOF 1988⁴⁰). La categoría designada para CoBio Chichinautzin según la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (LGEEPA 2014⁴¹) indica que las APFF “se constituirán de conformidad con las disposiciones de esta Ley, de la Ley General de Vida Silvestre, la Ley de Pesca y demás aplicables, en los lugares que contienen los hábitat de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres. En dichas áreas podrá permitirse la realización de actividades relacionadas con la preservación, repoblación, propagación, aclimatación, refugio, investigación y aprovechamiento sustentable de las especies mencionadas, así como las relativas a educación y difusión en la materia”.

Se creó con el objeto de “conservar su belleza natural, regular el crecimiento urbano y la presión demográfica..., así como proteger sus cuencas hidrográficas y la planeación ordenada de las actividades productivas...”. Su creación fue una participación conjunta de los gobiernos del Estado de Morelos y de los Municipios de Huitzilac, Cuernavaca, Tepoztlán, Jiutepec, Tlalnepantla, Yautepec, Tlayacapan y Totolapan, así como de universidades como la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y la Autónoma de Morelos (UAEM). Estos realizaron estudios e investigaciones sobre el área geográfica que comprende el sistema volcánico transversal, particularmente en la vertiente que se vincula a la depresión del Balsas y se ubica en el norte del Estado de Morelos.

A partir de dichos estudios se determinó que debido a su ubicación geográfica el área es considerada una zona importante de recarga de acuíferos, que presenta una alta diversidad de flora y asociaciones vegetales, y en cuanto a la fauna mencionan que se encuentran especies endémicas (20 especies de aves y una especie de mamífero de interés mundial- *Romerolagus diazi* comúnmente conocido como Teporingo) (DOF 1988⁴²).

Por lo anterior, se determinó la necesidad de administrar el uso sustentable de los recursos de la región, por lo cual la mejor alternativa para cumplir con esos objetivos fue la creación de un Corredor Biológico que formara parte de las ANP de carácter federal (actualmente son 176 áreas) y que integrara en su diseño a los Parques Nacionales (PN) Lagunas de Zempoala y El Tepozteco (decretados en 1947 y 1937 respectivamente), conformado con tres zonas núcleo (Chalchihuites, Chichinautzin-Quiahuistepec y Las Mariposas) administradas por SEMARNAT (DOF 1988⁴³).

El corredor biológico está conformado por una superficie decretada de 37, 302.40625 Ha bajo

⁴⁰ Diario Oficial de la Federación (DOF). 1988. Decreto por el que se declara el área de protección de la Flora y Fauna silvestres, ubicada en los municipios de Huitzilac, Cuernavaca, Tepoztlán, Jiutepec, Tlalnepantla, Yautepec, Tlayacapan y Totolapan Morelos.

⁴¹ LGEEPA. 2014. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Última reforma publicada DOF el 16 de enero del 2014. Para consulta: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>

⁴² Ídem 40.

⁴³ Ídem 40.

protección (DOF 1988⁴⁴). Se encuentra ubicado en la Sierra Norte del Estado de Morelos, se creó con la finalidad de establecer un corredor biológico que integrara a los PN Lagunas (4,790 Ha) de Zempoala y El Tepozteco (24,000 Ha); de esta forma la superficie total que protege el corredor es de 66, 092 Ha (http://www.parkswatch.org/parkprofiles/pdf/chbc_spa.pdf). Sin embargo, a diferencia de los PN cuyos objetivos se centraban fundamentalmente en la creación de áreas de recreo para la protección de suelos y bosques y la conservación del patrimonio natural y cultural de la región, los objetivos que dieron origen al Corredor Biológico Chichinautzin son de una mayor amplitud y precisión (Paz-Salinas 2005⁴⁵).

En el año 2000 CoBio Chichinautzin retoma la atención gubernamental que había sido olvidada desde la creación del decreto, ya que se incorpora al Sistema Nacional de Áreas Protegidas y con ello, se reactivan las labores de conservación con los objetivos de conservar y generar un desarrollo sustentable. Después de la creación del decreto, poco se conoce acerca de su importancia y efectividad para proteger la biodiversidad, ya que a pesar que la administración del área protegida está trabajando, la zona ha sido frecuentemente afectada por la tala clandestina, extracción de tierra, incendios forestales, desmontes con fines agrícolas, pastoreo incontrolado, cacería furtiva, extracción de plantas y desmesurado crecimiento urbano (Arellano 2011⁴⁶).

De no tomar acciones inmediatas existe un alto riesgo de que el ANP fracase en sus objetivos de protección de la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos que brinda. El CoBio se crea con la intención de mantener la continuidad de los ecosistemas que se encuentran entre el PN Lagunas de Zempoala y el PN el Tepozteco y se concibe como un corredor por establecer la continuidad entre estos parque nacionales.

En general la CONANP ha establecido una estrategia para crear un concepto de corredores a través del establecimiento de ANP, por ejemplo Sian Ka'an-Uaymil-Arrecifes de Sian Ka'an, Monarca-Valle de Bravo-Nevado de Toluca, Maderas del Carmen-Ocampo-Cañón de Santa Elena, entre otros.

En este mismo sentido la CONANP con el apoyo de la GIZ se encuentra desarrollando el estudio técnico justificativo para el establecimiento de una nueva ANP en lo que ha sido denominado el Corredor Biológico del Bosque Mesófilo de Montaña (CBBMM) que abarca municipios de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. El CBBMM surgió como una propuesta de creación de un ANP ya que en México este tipo de vegetación es considerado enormemente amenazado debido a su riqueza biológica. La CONABIO incluyó buena parte del área que se propone en el estudio dentro de las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) con el nombre de “Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental”.

⁴⁴ *Ídem* 40.

⁴⁵ Paz-Salinas, M.F. 2005. La participación en el manejo de áreas naturales protegidas. Actores e intereses en conflicto en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos. UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Morelos, México.

⁴⁶ Arellano, L. J. G. 2011. Corredores biológicos y reconfiguración territorial en América Latina: los casos de Chichinautzin, México y San Juan-La Selva, Costa Rica. Tesis para optar el título de Licenciada de Estudios Latinoamericanos. Colegio de Estudios Latinoamericanos, UNAM. México, D.F.

1.1.2. Corredor Sian Ka'an – Calakmul

Desde 1994 la asociación civil “Amigos de Sian Ka'an A.C.” realizó estudios técnicos para el establecimiento del Corredor Calakmul-Sian Ka'an que, a su vez, se integra como un componente del Corredor Biológico Mesoamericano. El corredor conecta dos de las Reservas de la Biosfera (RB) más importantes del trópico mexicano, abarcando tres municipios de Quintana Roo (Tulum, Felipe Carrillo Puerto y José María Morelos) y uno en Campeche (Calakmul). Además comprende cuatro áreas focales: Carrillo Puerto y el área sur de José María Morelos en Quintana Roo, y La Montaña y Zoh-Laguna – Xpuhil en Campeche. Actualmente este corredor es una de las 18 áreas prioritarias en las que trabaja la Alianza WWF-Fundación Carlos Slim, que junto con el gobierno federal, los gobiernos estatales y municipales, comunidades locales, líderes conservacionistas y organizaciones ambientalistas nacionales/internacionales, apoya desde el 2009 una Estrategia de Conservación de la Biodiversidad y el Desarrollo Sustentable de México.

El área es uno de los sumideros de carbono más importantes, es un área clave de presencia de aves y mamíferos en peligro de extinción. El corredor también alberga importantes zonas arqueológicas mayas, la mayoría de ellas aún sin explorar, en realidad, no hay mucha información de este corredor aún. El corredor, sin ser un ANP, representa un área importante para la conservación de la diversidad genética y biológica.

1.1.3. Corredor Biológico Mesoamericano

El Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) es una iniciativa de cooperación entre siete países centroamericanos (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá) y México donde está presente en los estados del sureste de la República Mexicana (Campeche, Chiapas, Quintana Roo y Yucatán), con la finalidad de llevar a cabo de forma coordinada, un conjunto de actividades dirigidas a la conservación de la diversidad biológica y la promoción del desarrollo humano sostenible en sus territorios (CCAD-PNUD/GEF 2002⁴⁷).

Inicialmente se llamó “Paseo Pantera” y tenía como objetivo mantener el hábitat del jaguar. También tenía como objetivo la protección de áreas importantes de conservación que se encuentran en los límites de los países, como es el caso de la Gran Selva Maya en Guatemala y la reserva de la Biósfera de Calakmul. El proyecto pretendía mantener el corredor en Centroamérica y cada país establecería estrategias de conservación, ya sea con el establecimiento de ANP o bien con estrategias de corredores, como es el caso.

La implementación del proyecto considera cuatro componentes: 1) Diseño y monitoreo participativo de los corredores con la definición, por parte de las comunidades, de los planes de conservación y uso sustentable de la biodiversidad; 2) Integración de los criterios de conservación de los corredores en los planes de desarrollo federales, estatales y municipales; 3) Fomento y apoyo a las prácticas del uso sustentable de la biodiversidad, y 4) Coordinación

⁴⁷ CCAD-PNUD/GEF. 2002. Proyecto para la consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano: Una plataforma para el desarrollo sostenible regional. Serie técnica. Oficina Regional de Coordinación, Managua Nicaragua.

y gestión de las acciones comprendidas en el proyecto (Eccardi 2003⁴⁸, CONABIO 2008⁴⁹).

En México, el proyecto del CBM fue aprobado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environment Facility-GEF por sus siglas en inglés) a través del Banco Mundial como agencia de implementación del GEF el día 30 de noviembre del 2000 y entró en efectividad el 30 de enero del 2002. El proyecto es administrado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) e involucra a todos los sectores de la sociedad: gobiernos (federal, estatal y municipal); ONG's, organizaciones sociales e iniciativa privada así como instituciones académicas.

En el territorio nacional se han implementado cinco corredores: dos en el estado de Chiapas (el primer corredor conecta tres ANP: El Triunfo, La Sepultura y Selva El Ocote; mientras que el segundo corredor conecta la Selva El Ocote con la Selva Lacandona); y tres en la península de Yucatán (dos de los cuales unen las RB Calakmul y las RB Sian Ka'an; y el restante - el corredor de la costa norte de Yucatán- que a su vez une a Celestún y a Ría Lagartos) (Eccardi 2003⁵⁰). Actualmente, el CBM trabaja en siete corredores: 1. Selva Maya Zoque (Norte de Chiapas), 2. Sierra Madre del Sur (Sur de Chiapas), 3. Calakmul - Sian Ka'an (Campeche - Quintana Roo), 4. Costa Norte de Yucatán (Yucatán), 5. Pantanos de Centla - Cañón del Usumacinta (Tabasco y Chiapas), 6. Sierra de Tabasco y 7) Humedales Costeros - Sierra de Huimanguillo (estos dos últimos en Tabasco) (Boletín de Prensa CONABIO 2011⁵¹).

El diseño de los corredores involucraba conectar varias ANP, proponiendo de esta forma un sistema de nodos y conectores. Los nodos estarían constituidos por una o varias ANP que conformarían una unidad funcional bajo el régimen de protección legal, enlazadas mediante "conectores biológicos". El término "conector" se utilizó para designar varias estrategias de manejo, que se aplicarían en el espacio comprendido entre los nodos y que incluían: Hábitats de tránsito y respaldos altitudinales que mantuvieran las rutas migratorias de las especies; corredores riparios que provean de hábitat y/o permitan la migración de especies; regiones bajo manejo forestal sustentable y los agroecosistemas que provean el hábitat a las especies; unidades de administración de recursos naturales bajo manejo fragmentado que requieran de coordinación administrativa para su manejo; y ampliaciones de ANP existentes o la creación de nuevas ANP (CCAD-PNUD/GEF 2002⁵²).

El CBM tiene una extensión de 768,990 km², en donde existen más de 60 tipos de vegetación y 30 ecoregiones, contiene entre el 8% de la biodiversidad del planeta, además de un alto grado de endemismo. La diversidad de flora es elevada: la flora de Norteamérica y de Sudamérica se encuentran y se traslapan en esta región, y a ellas se suman los taxones endémicos desarrollados localmente (Eccardi 2003⁵³).

La idea de conformar territorialmente corredores que vinculen las ANP contempla a cada

⁴⁸ Eccardi, F. 2003. El Corredor Biológico Mesoamericano México. *Biodiversitas* 47:4-7.

⁴⁹ CONABIO. 2008. *Capital Natural de México*, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.

⁵⁰ Ídem 48.

⁵¹ Boletín de Prensa. 2011. Corredor Biológico Mesoamericano México, su nueva figura jurídica se integra al nuevo portal de la CONABIO. CONABIO, No. 76. México D.F.

⁵² Ídem 47.

⁵³ Ídem 48.

corredor como un espacio donde la conservación de la biodiversidad y la valoración de sus servicios ambientales son la mayor prioridad y la alternativa para influir en el bienestar social. Es decir, este instrumento debe al mismo tiempo favorecer la conectividad biológica y elevar las condiciones de vida de la población: su orientación principal es la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad para tratar de evitar el cambio de uso del suelo que amenazan las ANP (CONABIO 2008⁵⁴).

Durante los años que ha operado, el Corredor Biológico Mesoamericano ha logrado que se le reconozca como un espacio plural y oportuno que fortalece la apropiación social de la biodiversidad. Tiene representatividad local, estatal y federal, lo que le permite ser un referente para el uso y manejo de la biodiversidad (CONABIO 2008⁵⁵). Sin embargo, hay que retomar esfuerzos para tratar de aminorar las presiones a las que está sometido el corredor, tales como conflictos de tenencia de la tierra, cambios de uso del suelo, incendios forestales, ganadería extensiva, prácticas agrícolas con tecnologías inadecuadas, entre otros.

1.1.4. Sistema Arrecifal Mesoamericano

En el gobierno del presidente Ernesto Cedillo, se creó una iniciativa que tenía la intención de funcionar como un “corredor” y se conoce como el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), en donde se establecerían acciones de 4 países en una carta de entendimiento en lo que se llamó la Cumbre de Tulum, ya que en este sitio se realizó la reunión para la firma del documento. En donde los países establecerían estrategias para la conservación del SAM.

El Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) es un ecosistema extenso y complejo, con alta biodiversidad, que se extiende entre los países de Belice, Guatemala, Honduras y México. El Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), se extiende desde el noreste de la Península de Yucatán en México, continuando por Belice y Guatemala hasta las Islas de la Bahía en Honduras. Es la segunda barrera arrecifal más larga del mundo. Tiene aproximadamente 1,000 km de largo. Aproximadamente 1 millón de personas de múltiples orígenes sociales y étnicos se benefician de estos valiosos recursos a través de actividades relacionadas con la pesca, el turismo y el desarrollo costero, entre otras. Dichas actividades continúan aumentando en la región, poniendo diversos niveles de presión en los ecosistemas naturales en el SAM, que incluyen: arrecifes de coral y sus ecosistemas asociados.

El objetivo del SAM es el de mejorar la protección de los vulnerables y únicos ecosistemas marinos que comprenden el SAM, y apoyar a los países de México, Belice, Guatemala y Honduras para que refuercen y coordinen políticas nacionales, reglamentos y acuerdos institucionales para la conservación y uso sostenible de este recurso público global.

1.1.5. Corredor Ecológico Sierra Madre Oriental (CESMO)

El CESMO surge a partir de que la CONANP buscaba incorporar el componente de cambio climático en las políticas y acciones de las ANP en México tratándose de enfocar en la

⁵⁴ *Ídem* 49.

⁵⁵ *Ídem* 49.

implementación de medidas orientadas a la conservación y al uso sustentable de los ecosistemas que se enmarcan en el territorio de las ANP. Por lo tanto, mediante el Programa de Adaptación al Cambio Climático del Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental (PACC-CESMO), se buscaba encaminar las acciones hacia la conservación de los recursos naturales, los ecosistemas y especies prioritarias, así como a mejorar las condiciones de vida de las comunidades humanas presentes en las ANP.

El corredor cuenta con aproximadamente 2 millones y medio de hectáreas en los estados de Hidalgo, Querétaro, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz. El diseño del corredor incluye tres ANP federales y un proyecto de decreto para nuevas áreas: Reserva de la Biósfera Sierra del Abra Tanchipa (SLP), Región Prioritaria para la Conservación Xilitla (SLP), Área de Protección de Recursos Naturales Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (Puebla) y, el proyecto Corredor Biológico del Bosque Mesófilo de Montaña en Hidalgo, Veracruz y Puebla (CONANP-GIZ 2013⁵⁶).

Por su altitud (100-2700 msnm) y tipos de clima (desde los cálidos húmedos, hasta los templados secos), el CESMO posee altos niveles de diversidad, riqueza y endemismos de especies vegetales y animales; así como una gran riqueza cultural. Se menciona que el área cuenta con ecosistemas prioritarios como la selva baja caducifolia, el bosque templado y el bosque mesófilo de montaña, que además de proteger las cuencas hidrográficas de las montañas, es hábitat de un sin número de especies de animales y plantas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción. Dichos ecosistemas proporcionan servicios ambientales que generan beneficios a las comunidades. Dentro de estos servicios se destacan el suministro de alimentos, forraje y productos forestales, la provisión de agua dulce apta para consumo, el almacenamiento de CO₂ y la provisión de espacios para la recreación.

Debido a los procesos de fragmentación y pérdida de conectividad, los actores que llevaron a cabo el estudio consideraron una serie de índices y métricas del paisaje que permitieron cuantificar los patrones en el paisaje, vinculados con procesos ecológicos. Para el diseño del corredor hicieron un análisis de conectividad ecológica (mediante el uso de un Índice Integral de Conectividad- IIC para cinco tipos de vegetación: bosque mesófilo de montaña, bosque templado, selva baja caducifolia, selva mediana y alta, y matorrales), y un índice de fragmentación de forma que toda la región fue clasificada de acuerdo a una escala de tendencia baja, media, alta y muy alta.

Algunos de sus resultados, expuestos en el documento, mencionan que para el caso del Bosque Mesófilo de Montaña, la mayor conectividad parece estar en la zona sur del corredor (en el estado de Puebla y el sur del estado de Hidalgo); para los bosques templados encontraron una conectividad más alta en la zona centro (sur del estado de SLP y norte del estado de Hidalgo); mismo caso para las selvas medianas y altas; mientras que para la vegetación de matorral, la mayor conectividad se encontraba en el centro-norte del polígono propuesto. Mencionan que sus resultados confirman la relevancia del análisis de paisaje para

⁵⁶ CONANP-GIZ. 2013. Programa de Adaptación al Cambio Climático-Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. México D.F.

establecer las medidas de adaptación y mitigación que permitan incrementar de resiliencia en zonas específicas (CONANP-GIZ 2013⁵⁷).

1.1.6. Corredor Biocultural Centro Occidente

Esta propuesta de corredor surgió a partir de los festejos de la Semana Nacional por la Conservación en el año 2012. En esa ocasión, la CONANP firmó un acuerdo para el diseño de dicho corredor con el objetivo de la conservación y preservación de la riqueza cultural de la región.

El corredor involucraría esfuerzos y actores de los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, San Luis Potosí y Zacatecas. Dichos estados se comprometieron a realizar acciones para la conservación, manejo sustentable y educación ambiental de los ecosistemas en sus respectivos estados. Este proyecto es muy reciente y se espera que continúe el desarrollo del mismo.

1.2. Análisis de la información generada por otras consultorías en relación al establecimiento de corredores biológicos.

De acuerdo a la revisión de información disponible por otras consultorías en cuanto al diseño de corredores biológicos, se puede mencionar que no existen trabajos disponibles para consulta. El único trabajo que propuso el diseño de un corredor biológico fue el realizado por la CONABIO en el 2009a⁵⁸. En este reporte proponen la ampliación del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) hacia los estados de Oaxaca, Tabasco y Veracruz.

En dicho informe técnico resaltan la importancia de la conectividad entre fragmentos o parches de vegetación aislada debido a procesos de fragmentación, así como el papel que juegan las Áreas Naturales Protegidas (ANP) para la protección de la biodiversidad. Mencionan que la creación de ANP no garantiza la conectividad entre fragmentos y mucho menos la conexión de los procesos ecosistémicos, por lo cual proponen una metodología para la creación de corredores biológicos que permitan la conectividad entre ANP o sitios de importancia biológica. En su estudio proponen ampliar el CBM, ya que mencionan que los estados que proponen para incluir en el Corredor albergan una gran riqueza biótica y forman parte del área de distribución de las especies neotropicales.

Sus objetivos fueron identificar los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad, definiendo la prioridad para la conservación de los municipios que contengan dichos sitios prioritarios, así como los sitios que contengan vegetación primaria y secundaria remanente y la riqueza de especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010⁵⁹.

Dividieron sus métodos en 2 fases: Como primer paso identificaron los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre utilizando algoritmos de optimización los cuales

⁵⁷ *Ídem* 56.

⁵⁸ CONABIO. 2009a. Ampliación del Corredor Biológico Mesoamericano - México, en los estados de Tabasco, Oaxaca y Veracruz. Informe técnico interno. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

⁵⁹ Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT. 2010. Protección Ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. DOF 30/12/2010.

generan mapas de riqueza de especies. Por lo que compilaron mapas de distribución potencial de vertebrados terrestres y plantas enlistados en la NOM 059-SEMARNAT-2001⁶⁰, que se distribuyen en el estado de Tabasco, Oaxaca y Veracruz. Emplearon el programa ConsNet cuyo objetivo es la identificación de sitios prioritarios de conservación, y como insumos usaron los mapas de distribución potencial, la información de Uso del Suelo y Vegetación, y las ANP.

Priorizaron metas para determinar en base al cruce de capas de información (mapas de distribución potencial, capa USV y de las ANP) los sitios que tuvieron mejor representación del número de especies en un mayor número de área, estos acuerdos los tomaron en una reunión de expertos.

Como segunda fase realizaron una priorización de los municipios con base en la sumatoria de los porcentajes de: superficie ocupada por los sitios identificados como prioritarios para la conservación; superficie de vegetación primaria y secundaria remanente y riqueza de especies de angiospermas, anfibios, reptiles, aves y mamíferos enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001⁶¹, lo anterior para identificar las zonas con mayor prioridad de conservación que podrían formar parte del corredor biológico en los tres estados. Para corroborar las capas generadas de sitios prioritarios de conservación, se apoyaron en la información que ha generado la CONABIO, tal es el caso de la capa del Análisis de Vacíos y Omisiones.

Para cada estado identificaron la superficie total de los sitios identificados como prioritarios. El análisis realizado para cada uno de los estados mostró que alrededor del 30% de la superficie de cada uno de los estados fue identificada como prioritaria para la conservación. Específicamente para el estado de Oaxaca, identificaron dos corredores que atraviesan el estado de oriente a poniente, por la vertiente del norte llegando al límite con el estado de Puebla y otra por la del sur hasta el límite con Guerrero. Mencionan que la trayectoria del corredor atraviesa seis de las ocho ANP existentes para el estado.

En cuanto a la selección de municipios se observa que una gran proporción de ellos cuenta con sitios prioritarios de conservación. A partir de ellos, realizaron otra selección de aquellos que permiten maximizar la conservación de un mayor número de elementos de la biodiversidad, con lo cual de los 570 municipios que conforma el estado, y de los 345 que encontraron con sitios prioritarios, seleccionaron sólo 135 municipios. Los municipios se seleccionaron, además de sus valores altos de priorización, por favorecer la conectividad entre las AP y el CBM de los estados del sureste.

Concluyen que alrededor de 30% de la superficie de los estados de Tabasco, Oaxaca y Veracruz fue identificado como prioritario para la conservación en este análisis. En ellos se concentra una alta riqueza de especies y se cumplen las metas de conservación definidas para cada una de ellas, considerando que se trata en su mayoría de especies prioritarias a nivel nacional. En cuanto a su método mencionan que permiten tener resultados robustos y

⁶⁰ Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo de 2002, 1-56.

⁶¹ *Idem* 60.

confiables ya que incluyen diferentes grupos taxonómicos.

2. Marco Conceptual

2.1. Efectos positivos y negativos sobre la creación de Corredores Biológicos

Existe una polémica sobre los corredores y su falta de evidencia en cuanto a su efectividad. En algunos artículos enlistan los efectos positivos y negativos de los corredores biológicos (Hobbs 1992 en Beier y Noss 1998⁶², CCAD-PNUD/GEF 2002⁶³, Gurrutxaga-San Vicente y Lozano-Valencia 2008⁶⁴), entre los que se encuentran:

Efectos positivos

- a) Facilitan los desplazamientos de la fauna a través de paisajes transformados.
- b) Benefician a gran diversidad de especies, por ejemplo especies migratorias o multi-hábitat.
- c) Disminuyen el aislamiento de las poblaciones locales.
- d) Aumentan las tasas de inmigración de individuos de especies sensibles a la fragmentación en los fragmentos de hábitat.
- e) Favorecen el intercambio y variabilidad genética inter-poblacional, al tiempo que previenen fenómenos de endogamia y deriva genética.
- f) Aumentan los tamaños poblacionales de especies y pueden llegar a disminuir las tasas de extinción.
- g) Permiten la recolonización de hábitats y el restablecimiento de poblaciones tras episodios de extinción local.
- h) Favorecen el mantenimiento de mayor riqueza y diversidad de especies nativas en los fragmentos de hábitat.
- i) Proveen hábitat, refugio y otros recursos a varias especies silvestres.
- j) Aumentan o mantienen estable la riqueza y diversidad de especies.
- k) Enriquecen la matriz territorial.
- l) Proveen una heterogeneidad de hábitats para especies que requieren una variedad de hábitats para su ciclo de vida.

Sin embargo, también han documentado algunos posibles *efectos negativos* en la creación de Corredores Biológicos tales como:

- a) Los Corredores Biológicos sirven de conducto para los movimientos de especies oportunistas, taxones introducidos por el hombre, introducción de enfermedades, parásitos y plagas, facilitando su propagación a través del paisaje y su acceso a los fragmentos de hábitat. Esto incrementa la competencia interespecífica y la incidencia de perturbaciones

⁶² Beier, P. and R. F. Noss. 1998. Do habitat corridors provide connectivity?. *Conservation Biology* 12: 1241-1252.

⁶³ CCAD-PNUD/GEF. 2002. Proyecto para la consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano: Una plataforma para el desarrollo sostenible regional. Serie técnica. Oficina Regional de Coordinación, Managua Nicaragua.

⁶⁴ Gurrutxaga-San Vicente, M. y P. J. Lozano-Valencia. 2008. Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿Solucionan la problemática de la fragmentación de hábitats?. *Observatorio Medioambiental* 11:171-183.

sobre el hábitat procedentes del exterior.

- b) Facilitan la propagación de incendios y otras perturbaciones como las plagas entre diferentes fragmentos de hábitat.
- c) Dotan de hábitat, refugio o alimentación a especies perjudiciales.
- d) Si el corredor es frecuentado por depredadores procedentes de la matriz o asociados a hábitats de borde, las especies sensibles que potencialmente se desplazan por él pueden ver incrementada su exposición a los mismos y por tanto sus tasas de mortalidad verse, de la misma manera, aumentadas por depredación.
- e) Aumentan la tasa de cacería de las especies que los utilicen, ya que tienden a seguir rutas relativamente fijas.

2.2. Diseño del corredor biológico.

Como se ha mencionado anteriormente, los corredores biológicos tienen entre sus funciones, como una de sus finalidades, incrementar la conectividad en paisajes perturbados (Rosenberg *et al.* 1997⁶⁵). El pensar en Corredor Biológico inmediatamente lo asociamos como la conexión de dos parches de vegetación en el paisaje, sin embargo, al tener esto en mente no tomamos en cuenta todos los factores que pueden estar influyendo en la supervivencia de las especies de fauna que habitan esos parches y si las condiciones que ahí persisten son las adecuadas para la conservación y prevalencia de esas especies. Por lo cual, las definiciones de corredores biológicos involucran dos tipos de **conectividad** del paisaje:

- a) *Conectividad Estructural*: se refiere a las relaciones físicas entre los elementos del paisaje. Se centra en atributos del paisaje como el arreglo espacial de los elementos o la existencia de parches unidos del mismo tipo de vegetación. No requiere referencia del movimiento de organismos.
- b) *Conectividad Funcional*: se refiere al grado al cual el paisaje facilita o impide el movimiento de los organismos. Es una medida de la habilidad de los organismos para moverse entre parches de vegetación a través del paisaje.

Distinguir entre conectividad estructural y funcional es importante a causa de que la conectividad estructural NO implica conectividad funcional, el paisaje no necesita estar conectado estructuralmente para estar conectado funcionalmente. Al hablar de poblaciones animales la importancia de los corredores radica en que permite su movimiento entre los parches que son conectados. Nosotros en esta sección de la propuesta nos estaremos enfocando en la CONECTIVIDAD FUNCIONAL a partir de los datos generados de la capa de USV trabajada por Carranza en el 2014⁶⁶ y los datos de fauna proporcionados por el Proyecto GEF-Mixteca.

⁶⁵ Rosenberg, D. K., B. R. Noon and E. C. Meslow. 1997. Biological corridors: form, function and efficacy. *BioScience* 47: 677-687.

⁶⁶ Carranza, S. J. 2014. Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca. Convenio OO66 WWF.

El diseño del corredor es altamente específico a los requerimientos de las especies, hábitats, ecosistemas y procesos ecológicos que ocurran en el área de interés y se esperaría incorporar la mayor área de hábitat natural tan intacto como sea posible (Hilty *et al.* 2006⁶⁷). La estrategia del diseño del corredor depende enormemente de la integridad del paisaje en que se encuentran los posibles corredores (Anderson y Jenkins 2006⁶⁸). Como componentes clave y dentro de los objetivos del diseño se encuentran el determinar la escala, la selección de especies (Anderson y Jenkins 2006⁶⁹, Hilty *et al.* 2006⁷⁰), y también la selección de variables biológicas que pudieran tener una fuerte influencia en los procesos ecosistémicos, todo lo anterior para incluir la información en un modelo y procesar los datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Al referirse a la escala temporal, se puede hacer mención a la época del año en que los corredores facilitarían el movimiento de las especies, ya que pueden estar enfocados en los movimientos estacionales como las migraciones (Hilty *et al.* 2006⁷¹).

El diseño de la mayoría de los corredores ha sido a través de las especies clave, sombrilla, bandera, indicadoras etc., así como en determinar su hábitat, dispersión, comportamiento, necesidades físicas, calidad general del hábitat, continuidad y dimensiones de los corredores (Bennett 2003⁷², Hilty *et al.* 2006⁷³). Los investigadores frecuentemente usan la distribución y requerimientos del hábitat de las especies clave o sombrilla para determinar el tamaño y configuración de los corredores biológicos.

A continuación se dará una breve descripción de cada tipo de especies usadas en el diseño de un corredor (Beier, Majka y Jenness 2007⁷⁴):

Clave: Una especie clave tiene un extraño y único impacto en el ecosistema. La remoción de ésta especie puede interrumpir los procesos del ecosistema y posiblemente desencadenar la extinción de otras especies en la comunidad. Por ejemplo, los grandes carnívoros son frecuentemente especies clave porque su comportamiento alimentario regula las poblaciones de otras especies.

Bandera: Una especie bandera es un animal carismático de interés público por razones económicas o sociales, que ayuda a la atracción del público para apoyar a la conservación. Por ejemplo los pandas gigantes y el jaguar, entre otros.

Sombrilla: Son aquellas especies que requieran hábitats y recursos que se sobrelapan con otras especies de tal manera que su conservación podría resultar en la conservación de otras especies. Este tipo de especies usualmente tienen requerimientos de áreas grandes, de hábitat e historias de vida bien definidas.

⁶⁷ Hilty, J. A., W. Z. Lidicker Jr. and A. Merenlender. 2006. Corridor Ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation. Island Press, USA

⁶⁸ Anderson, A. B. and C. J. Jenkins. 2006. Applying Nature's Design. Corridors as a Strategy for Biodiversity Conservation. Columbia University Press. 243pp.

⁶⁹ *Ídem* 67.

⁷⁰ *Ídem* 66.

⁷¹ *Ídem* 66.

⁷² Bennett, A. 2003. Linkages in the landscape. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN Forest Conservation Programme. Conserving Forest Ecosystems Series No. 1.

⁷³ *Ídem* 66.

⁷⁴ Beier, P. D. Majka and J. Jenness. 2007. Conceptual steps for designing wildlife corridors. Arizona, USA. Disponible en: <http://corridordesign.org/dl/docs/ConceptualStepsForDesigningCorridors.pdf>

Indicadoras: Son aquellas cuyo estatus es usado como una medida aproximada de las condiciones del ecosistema.

Especies vulnerables: Son aquellas que se encuentran en la lista de especies amenazadas o en peligro.

Especies generalistas vs especies especialistas: Las especies generalistas son aquellas que usan varios tipos de hábitat o que tienen dietas relativamente amplias. Mientras que las especies especialistas pueden estar limitadas para usar diferentes recursos, por ejemplo la disponibilidad de hábitats o atravesar largas distancias. Las especies generalistas probablemente necesitan corredores estrechos, mientras que las especialistas pueden necesitar corredores más anchos o grandes parches de piedras de paso con hábitat nativo para mantener las condiciones de hábitat que favorezcan su supervivencia (Hilty *et al.* 2006⁷⁵).

Especies con dispersión limitada: Especies que tengan movimientos cortos o restringidos de dispersión en el hábitat.

Especies sensibles a las barreras u obstáculos: Las especies que no fácilmente pueden atravesar barreras u obstáculos que pudiera encontrarse en el camino al atravesar un corredor.

Especies endémicas: Son aquellas especies que tiene su rango de distribución restringida y que solamente puede ser encontradas en sitios específicos.

El diseño de un corredor destinado a servir a las especies específicas, como las anteriormente descritas, requiere conocimiento básico de su ecología, historias de vida y papel ecológico, comportamiento alimentario, requerimientos del hábitat, patrones de uso del espacio, y de organización social entre otras. Por ejemplo, la probabilidad de que un animal encuentre un corredor depende de la distancia que este podría viajar para encontrar el corredor, así como de su movilidad y comportamiento exploratorio (Anderson y Jenkins 2006⁷⁶).

Por otro lado, otros factores que se deben de tomar en cuenta para el diseño de los corredores son las dimensiones (ancho y largo) del corredor, la conectividad y calidad del hábitat. El ancho y largo de un corredor determina cuánto del interior del corredor está expuesto a las perturbaciones o a los efectos de borde a partir de la matriz circundante. Puede contener más hábitat y puede proveer a las especies sensibles a la perturbación una matriz circundante “segura”.

En general, se podría esperar que el efecto de borde pueda ser más severo cuando el corredor y la matriz del hábitat difieran enormemente. Se ha encontrado que los corredores anchos generalmente soportan más especies y por lo tanto soportan mejor la integridad de la comunidad, mientras que los corredores muy largos podrían no contener algunas especies debido a que se incrementa la distancia a partir de la zona núcleo del hábitat (Hilty *et al.* 2006⁷⁷). De tal forma que el ancho del corredor depende también del largo del mismo, ya que hay que tomar en cuenta la distancia que los animales pueden gastar atravesando, así como la cantidad de recursos que ellos podrían necesitar al momento de atravesar los corredores y de esta forma mantener la conectividad.

⁷⁵ *Ídem* 66.

⁷⁶ *Ídem* 67.

⁷⁷ *Ídem* 66.

La *conectividad*, como lo mencionamos anteriormente se refiere al grado en la cual las especies o las poblaciones pueden moverse entre elementos del paisaje en un mosaico de tipos de hábitat. Los corredores pueden abarcar áreas de vegetación naturales o alteradas y proveen conectividad, lo que permite la propagación de la biota entre uno o más fragmentos del hábitat (Hilty *et al.* 2006⁷⁸). Mientras que la calidad del hábitat dentro de un corredor biológico puede determinar si las especies de interés pueden usar el corredor. Algunas especies pueden llegar a no usar los corredores debido a la baja calidad del hábitat (Hilty *et al.* 2006⁷⁹). La *calidad del hábitat* refleja cómo el corredor puede llegar a aproximarse al hábitat original y está fuertemente relacionado a la conectividad, donde se esperaría maximizar los niveles de diversidad en especies nativas y minimizar la intrusión de especies exóticas por el efecto de borde.

También se ha documentado que las características del paisaje influyen fuertemente el diseño de los corredores ya que ellos proveen indicios para localizar corredores apropiados. Los ríos y arroyos son un componente fundamental de los corredores biológicos porque tienden a concentrar la biodiversidad y sirven como avenidas para el movimiento de organismos (Hilty *et al.* 2006⁸⁰).

Hasta el momento hemos mencionado la importancia de la conservación de la biodiversidad (flora y fauna) en los parches que fueron formados gracias a la fragmentación, y qué especies son importantes para el diseño de los corredores, sin embargo, también hay que tomar en cuenta la importancia de los elementos del paisaje en hábitats muy modificados, que se encuentran también en la matriz, y que pueden mejorar la conectividad tales como la vegetación al lado de la carreteras, cercas y caminos verdes entre muchos otros.

2.2.1. Variables para el diseño de corredor biológico

Las variables más utilizadas para llevar a cabo los modelos para el diseño del corredor biológico son: cubierta de uso del suelo y vegetación, variables topográficas, distancia a cuerpos de agua (arroyos, ríos etc.), y perturbación humana (por ejemplo cercanía a asentamientos humanos y de actividades antrópicas).

Cubiertas de usos del suelo y vegetación

Las cubiertas del suelo son frecuentemente los insumos más usados e importantes en los modelos de Corredores Biológicos. La importancia de la cobertura de los usos del suelo está relacionada con los recursos disponibles en los hábitats tales como alimento, agua, techo, protección, entre otros.

Entre las variables topográficas están:

*Elevación- (Modelo Digital de Elevación-MDE) es un determinante de la cobertura de la tierra. Esta variable afecta el ambiente termal de un animal, la cantidad y forma de la precipitación (lluvia, nieve). En la literatura mencionan que ciertas especies ocurren a ciertos rangos de elevación. El MDE también se basa en una serie de variables incluyendo aspecto, pendiente, posición topográfica.

⁷⁸ *Ídem* 66.

⁷⁹ *Ídem* 66.

⁸⁰ *Ídem* 66.

*Aspecto: El aspecto es un factor determinante de la radiación solar y consecuentemente temperatura, humedad del suelo y vegetación. Pocos modelos de hábitat usan el aspecto, porque pocos estudios sugieren que esta variable tenga algún tipo de relación con la disponibilidad del hábitat para los animales.

*Pendiente y Posición topográfica: Esta variable está correlacionada con la humedad, calor, cubierta y vegetación. Esto también es relevante para el costo del movimiento. En algunos artículos se ha reportado que los animales pueden estar asociados a fondos de cañones, piedras de paso u otras posiciones topográficas.

Distancia a cuerpos de agua: Esta variable está correlacionada con la disponibilidad del recurso agua, que implica que ciertas especies se encuentran asociadas fuertemente a la presencia de cuerpos de agua.

Perturbación humana: Muchos modelos de hábitat contienen factores relacionados con la perturbación humana; relacionados con la distancia a las carreteras o la distancia a los caminos. Idealmente para el diseño del corredor deben evitarse las carreteras, la presencia de barreras, zonas urbanas, luces etc.

2.2.2. Qué conectar

El análisis del área para el diseño del corredor involucra bloques de hábitat que van a ser conectados así como una matriz circundante donde las áreas de vida silvestre están en riesgo (Beier, Majka y Jenness 2007⁸¹).

De manera general se mencionan algunos pasos para evaluar y diseñar un corredor biológico:

- 1.- Identificar las áreas del hábitat para el diseño del corredor.
- 2.- Seleccionar varias especies clave para el diseño del corredor (por ejemplo especies sombrilla, clave etc.), las especies seleccionadas pueden cubrir un rango de asociaciones de hábitat.
- 3.- Evaluar las necesidades relevantes de cada especie (por ejemplo, identificar los movimientos y patrones de dispersión de las especies seleccionadas, incluyendo migraciones estacionales).
- 4.- Para cada corredor potencial, evaluar cómo el área podría alojar el movimiento para cada especie clave.
- 5.- Es importante tomar las capas de cubierta de uso del suelo y vegetación, variables topográficas, distancia a cuerpos de agua (arroyos) y perturbación humana; así como los datos de las especies en el SIG para poder entonces modelar el Corredor Biológico. Una parte clave para combinar múltiples factores de hábitat en un modelo de Corredores es la ponderación de cada variable la cual debe reflejar su importancia relativa, pero eso se tratará a detalle en el método.

⁸¹ Beier, P. D. Majka and J. Jenness. 2007. Conceptual steps for designing wildlife corridors. Arizona, USA. Disponible en: <http://corridor-design.org/dl/docs/ConceptualStepsForDesigningCorridors.pdf>

2.3 Detalles específicos en el diseño de los corredores

2.3.1. Características de los corredores:

- El corredor debería ser lo más ancho y largo posible, el ancho puede variar por tipo de hábitat o especie clave.
- Mantener el mayor espacio natural posible junto a las alcantarillas para ser usadas como paso entre fragmentos.
- Maximizar los usos del suelo adyacente al corredor para reducir el impacto humano del corredor (esto sería como una franja de borde).
- No permitir viviendas u otros impactos para proteger el corredor.
- Desarrollar restricciones estrictas de luz. Las luces pueden estar hacia abajo y hacia afuera de los corredores para que no obstruyan e interrumpan el paso de los individuos a través del corredor.

3. Justificación

El estado de Oaxaca es considerado uno de los territorios más diversos de México, esto se debe a su amplia gama de climas, abundante biodiversidad, riqueza cultural y de ecosistemas, así como sus características biofísicas, lo que hace que sea uno de los estados con mayor complejidad al interior de su territorio. Se ha documentado que es el segundo estado con mayor diversidad de mamíferos terrestres en el país, siendo que 20% de las especies son endémicas para el estado y más del 30% se encuentran en alguna categoría de protección especial.

Como se mencionó, los corredores biológicos son importantes porque ellos pueden ser una herramienta para mantener las poblaciones viables de biota en los paisajes fragmentados para mejorar la conectividad, ya que la carencia de ésta puede causar la extinción local resultante de la fragmentación del hábitat (Rosenberg *et al.* 1997⁸²). Por lo tanto, ayudan a reducir o moderar algunos de los efectos adversos de la fragmentación del hábitat al facilitar la dispersión de los individuos entre parches de hábitat y promoviendo el intercambio génico entre las poblaciones.

Por lo anterior, debido a la poca existencia y representación de áreas que promuevan la conservación de la biodiversidad en el estado, así como el constante cambio en las coberturas de uso del suelo y vegetación causadas por presiones antropogénicas -o bien por procesos naturales- lo que lleva a la formación de una serie de fragmentos de hábitat de la vegetación original, causando de igual forma un rompimiento de los procesos ecológicos dentro del ecosistema; en el presente documento se propone el diseño de corredores biológicos en la región de la Mixteca Oaxaqueña con lo cual se conserve la biodiversidad biológica del estado.

4. Metas

No.	Objetivo específico	Producto (s)
	Definir áreas con potencial para el establecimiento de corredores biológicos priorizando la conectividad de ecosistemas.	
	Actividades 4	
4.1.	Recopilación de ejemplos de corredores biológicos establecidos en México.	Ejemplos corredores biológicos en México.
4.2.	Análisis de la información generada por otras consultorías en relación al establecimiento de corredores biológicos.	Datos propuestas de otras consultorías.

⁸² Rosenberg, D. K., B. R. Noon and E. C. Meslow. 1997. Biological corridors: form, function and efficacy. *BioScience* 47: 677-687.

4.3.	Análisis multicriterios de las áreas de interés.	Datos de análisis multicriterio.
4.4.	Integración de la información de otras consultorías y análisis multicriterio.	Datos integrados: Archivos digitales en formato vectorial y raster de la definición de corredores biológicos en la Mixteca integrando las propuestas elaboradas por otros consultores.
4.5.	Informe final que integre las áreas con potencial para corredores biológicos.	Documento de informe final en formato Word y PDF.

5. Objetivo General

Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca Oaxaqueña.

5.1. Objetivo específico:

Definir áreas con potencial para el establecimiento de corredores biológicos priorizando la conectividad de ecosistemas en la Región de la Mixteca Oaxaqueña.

6. Área de estudio.

La región de la Mixteca se encuentra al Oeste del estado de Oaxaca y colinda al Oeste con el límite del estado de Guerrero y al norte con el estado de Puebla, con la Región de la Cañada al Este, al Sureste con Los Valles Centrales y al Sur con la Sierra Sur. Se ubica entre las coordenadas extremas de 16° 35' 11.928" N y 18° 17' 49.390" N de Latitud Norte y 96° 57' 58.692" W y 98° 30' 0.810" W de Longitud Oeste (Figura 1).

El área de intervención del proyecto ocupa una superficie de 1'714,096 hectáreas y se encuentra localizada en la Región Mixteca con siete distritos: Silacayoapam, Huajuapam, Coixtlahuacan, Juxtlahuaca, Teposcula, Nochitlan y Tlaxiaco; y parte de la región Sierra Sur. Con 155 municipios de la Región Mixteca y 5 de la Región Sierra Sur⁸³ y un total de 2,364 localidades⁸⁴. Con base en los datos del Censo Nacional de Población 2010⁸⁵, la región mixteca, cuenta con una población de 522,252 habitantes, donde la Heroica Ciudad de Huajuapam de León, es la población que cuenta con el mayor número de habitantes con 69,839. La región de La Mixteca se caracteriza por ser un territorio de gran diversidad de flora y fauna dado por sus condiciones geográficas que abarcan ecosistemas áridos, montañosos y pequeños valles donde también existen diversos grupos étnicos (Feria-Pérez 2010⁸⁶).

⁸³INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión 5.0A.

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

⁸⁴Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

⁸⁵INEGI 2010. Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

⁸⁶ Feria-Pérez, C. R. 2010. El paisaje de la mixteca: el espacio abierto en la vida cotidiana de Santa Cruz Nundaco, Oaxaca. Tesis que

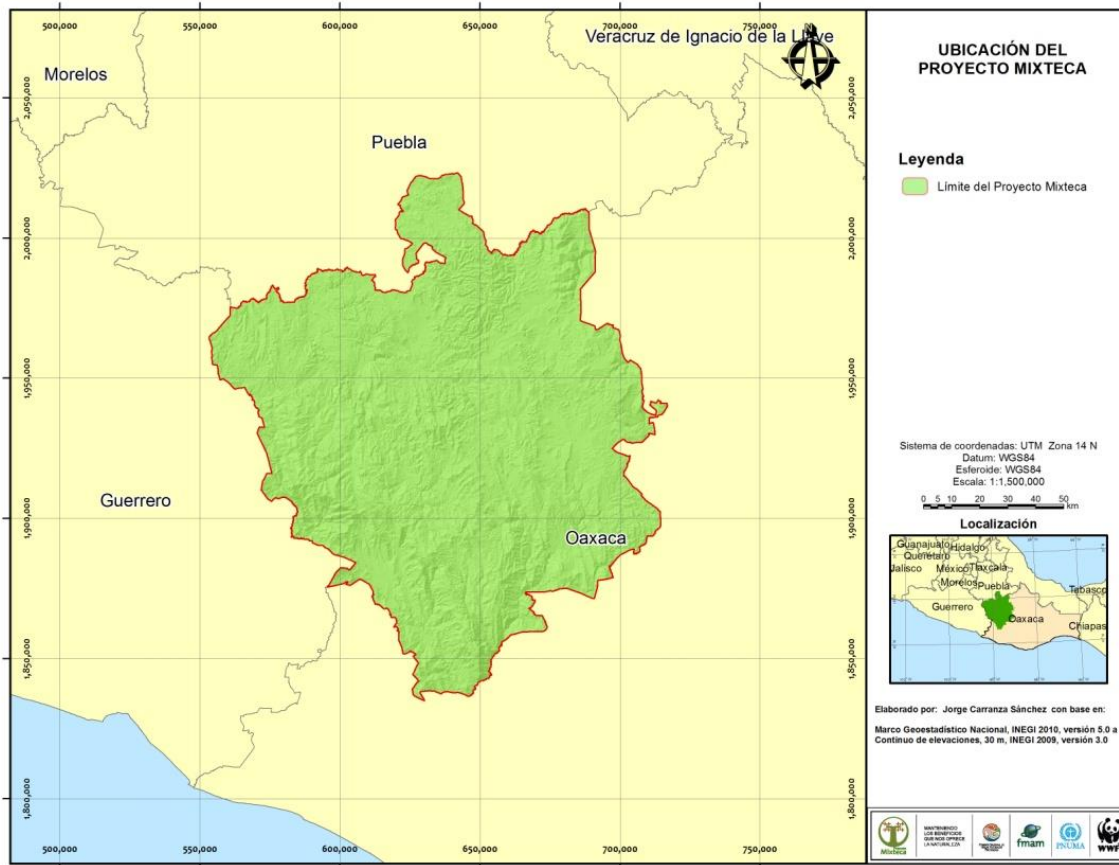


Figura 1. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

7. Método.

El concepto del modelaje de conectividad del hábitat ha sido propuesto como una herramienta de planeación del paisaje para evitar los efectos negativos del aislamiento del hábitat (Dixon, 2012⁸⁷). Por lo tanto, en base a los supuestos anteriormente descritos para el diseño de un corredor biológico, y de esta manera mejorar la conectividad entre los hábitats resultantes de procesos de fragmentación, en el presente estudio se propone llevar a cabo el diseño de uno o varios corredores biológicos en la Región Mixteca, Oaxaca, con la ayuda de herramientas de análisis multicriterio geoespacial del *Corridor Design*⁸⁸. Este modelo diseña corredores biológicos sólo para una especie, por lo que si se requiere trabajar con varias especies es necesario realizar el mismo procedimiento para cada especie.

Las herramientas del *Corridor Design* fueron desarrolladas por investigadores, técnicos y estudiantes de la Escuela de Estudios Forestales de la Universidad del Norte de Arizona. El módulo contiene una serie de herramientas de ArcGIS para diseñar y evaluar corredores, las cuales están disponibles para instalarse de manera gratuita en la página de corridordesign.org.

Estas herramientas generan una serie de información tal como: a) Listado de las distancias más grandes entre los parches de hábitat, b) se muestran datos de la estrechez y longitud de los cuellos de botella en los corredores, c) distribuciones de frecuencia de la calidad del hábitat para las especies, así como d) estadística descriptiva de las capas en formato raster; entre otras, por mencionar sólo algunos ejemplos de la información que se puede obtener con ese módulo.

El *Corridor Design* divide las herramientas en **tres módulos** los cuales también tienen sub-módulos. El primer módulo es para la preparación de las capas y la selección las especies focales (en el cual se trabajan capas de información adicional del área de estudio, se pide la creación de un índice de posición topográfica, entre otros), el segundo módulo es para modelar el hábitat (en este apartado se crea el modelo de disponibilidad del hábitat y se realiza un mapa de parches), y por último en el tercer módulo se diseña el corredor.

A continuación se describirá el método en cada etapa de los módulos.

7.1 Análisis multicriterio de las áreas de interés.

La evaluación multicriterio es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones (Barredo, 1996)⁸⁹. El análisis multicriterio permite operar de forma aislada y también conjuntamente con las más diversas variables, espacialmente consideradas. Esta forma de manejo de la información geográfica, permite el análisis multicriterio, dada la posibilidad de combinar y valorar simultáneamente los criterios (las bases para la toma de decisión) con sus factores (los aspectos que los fortalecen o los debilitan) a través del manejo de sus atributos

⁸⁷ Dixon, A. 2012. Modeling Ecological Connectivity in a Protected Area network in Southeast Tanzania. A thesis presented to the Department of Humanities and Social Sciences in candidacy for degree of Master of Science. Northwest Missouri State University.

⁸⁸ www.corridordesign.org

⁸⁹ Barredo C., J. I. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio.

(las variables) dentro de determinadas reglas de decisión y valoración (Barredo, 1996 en Ocaña-Ocaña y Galacho-Jiménez, 2002⁹⁰).

El propósito de la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio dentro del SIG es alcanzar, por este procedimiento, una valoración sobre la capacidad del territorio en relación con ciertas funciones o actividades, que se seleccionan como objetivos concretos de la evaluación. Por lo anterior, para llevar este tipo de análisis fue necesario recopilar los insumos necesarios. En los próximos apartados se explicarán los pasos del método que se realizaron.

7.1.1. Módulo I. Preparación de capas y selección de especies.

En este módulo se preparan las capas que determinan la distribución de las especies y por lo tanto pueden influir en la construcción de los corredores biológicos o de vida silvestre. Por lo tanto, las capas seleccionadas fueron: Modelo Digital de Elevación (DEM), Uso del Suelo y Vegetación (USV)⁹¹, Vías de Comunicación para obtener la distancia a las carreteras, Pendiente a través del MDE (INEGI, 2010⁹²).

Se ha mencionado que la selección de especies que van a representar las necesidades básicas del área donde se planea establecer el corredor (especies focales), es un paso crítico para el modelaje de los corredores biológicos. La información disponible para estas especies focales son variables importantes en el diseño del corredor, ya que son usadas como indicadores de los requerimientos básicos de supervivencia y representan factores importantes para el mantenimiento de las condiciones saludables del ecosistema (Lambeck, 1997⁹³).

En este contexto, para la región Mixteca se cuenta con los datos de distribución de fauna que fueron reportados en el Convenio OL93 de la WWF (Chagoya, 2011⁹⁴). En este conjunto de datos se tienen registros históricos de especies en la Región Mixteca, las cuales fueron organizados en base al estatus de riesgo, relevancia biológica, así como a la importancia económica y cultural de esas especies para la región Mixteca. El estatus de riesgo de las especies relevantes fue en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-059⁹⁵, a la lista roja de especies amenazadas⁹⁶ de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) y a la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES)⁹⁷. La selección de las especies de acuerdo a su relevancia biológica se refiere a lo reportado como endemismo, a si es especie indicadora, sombrilla, carismática y emblemática.

⁹⁰ Ocaña-Ocaña, C. y F. B. Galacho-Jiménez. 2002. Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio, al análisis de las capacidades del territorio en relación a las funciones turísticas. IV Congreso Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. TuritEco.

⁹¹ *Idem* 65.

⁹² INEGI. 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión 5.0A. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

⁹³ Lambeck, R. 1997. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology* 11: 849- 856.

⁹⁴ Chagoya, V. 2011. Biodiversidad de fauna de la región mixteca. World Wildlife Fund México. México, D.F.

⁹⁵ Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT. 2010. Protección Ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. DOF 30/12/2010.

⁹⁶ IUCN, Lista roja de Especies Amenazadas. <http://www.iucnredlist.org>

⁹⁷ CITES (Convención Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna). <http://www.cites.org>

Los grupos de especies elegidas para el diseño de los corredores biológicos fueron seleccionadas a partir de talleres de expertos que involucró actores clave en la región, los cuales consideraron a especies endémicas o grupos de importancia ecológica relevante para ser considerados dentro del diseño del corredor biológico. Dos talleres realizados el 24 y 31 de enero del 2014, enfocados a fauna. Las especies y grupos elegidos fueron: *Abronia mixteca*, la familia de los Felinos, los Murciélagos nectarívoros, las Salamandras y el Venado cola blanca.

Los registros de las especies indican la “calidad del hábitat” por lo cual al momento de espacializar estos registros mediante los SIG, se asume que el lugar donde estos registros tienen una frecuencia mayor, será el tipo de hábitat de esas especies. Una gran proporción de los registros de especies de fauna se encuentran muy cerca de las carreteras, pero es importante mencionar que a pesar de esto, tienen variables ambientales del paisaje asociadas a su coordenada espacial, es decir, se encuentran a cierta altitud, pendiente y tipo de vegetación, entre otras variables.

Por lo tanto, para cada uno de los grupos de especies seleccionados, se calculó la pendiente, altitud, distancia a cuerpos de agua y carreteras, así como se le asignó el tipo de USV en el que fue registrado. En base a lo anterior, para relacionar los elementos del paisaje con los puntos de los registros de los grupos de especies seleccionados de la Región Mixteca, se “cruzarán” esta información con las capas de USV, altitud, pendiente, distancia a cuerpos de agua y a carreteras, esto con la finalidad de asignar a cada registro de las especies elegidas el atributo correspondiente y así construir una tabla que por cada ubicación (registro) se cuente con los diferentes elementos del paisaje o variables asociadas a él. La capa de USV se recategorizó en 24 clases para realizar los primeros análisis, mientras que las pendientes se estimaron con base en el DEM, cada análisis fue realizado en ArcMap 10.1. Cada capa constituye una co-variable a evaluar, las cuales se categorizarán como capas naturales (USV, altitud, pendiente, distancia a cuerpos de agua) y como capa de perturbación que pueden afectar la presencia de la especie (distancia a carreteras). Las variables mencionadas anteriormente se han reportado como condicionantes de la presencia y sobrevivencia de las especies a nivel general.

Como resultado de este cruce de información espacial, se obtendrá una capa en formato *shape* con las variables naturales y de perturbación y los registros de las especies relevantes (seleccionadas), en las cuales éstas fueron reportadas. Con lo anterior, se tendrá una primera aproximación de la distribución y condición de las especies focales elegidas en la región y a partir de esta información se determinará la ponderación para cada variable.

Crear un raster de la posición topográfica.

Además de lo anterior, el modelo necesita como insumo para posteriores análisis un raster de la zona de estudio que indique la posición topográfica. Esta parte del modelo se basa en el Índice de Posición Topográfica (TPI por sus siglas en inglés) que es la diferencia entre la elevación de cada píxel y la elevación media de los píxeles circundantes/vecinos. El TPI se calcula a partir de un DEM para producir una nueva trama de valores de TPI.

El producto resultante es un raster que divide el DEM del área de estudio en:

- 1.- Cañones
- 2.- Pendientes planas
- 3.- Pendientes empinadas
- 4.- Crestas de lomas

Este raster, posteriormente servirá de insumo para el Módulo II.

7.1.2. Módulo II. Modelo de disponibilidad del hábitat.

Este tipo de modelos permite evaluar la calidad del hábitat de las especies dentro del área de estudio. La premisa del modelo asume que “*un animal prefiere moverse a través de áreas que proveen alimento, agua, cubierta/protección y oportunidades de reproducción...*”; por lo tanto, una buena disponibilidad del hábitat provee un buen sitio para habitar, así como un bajo “costo” o “resistencia” -definido como la dificultad de movimiento de las especies a través del paisaje.

En este apartado se crea un modelo de disponibilidad del hábitat para el grupo de especies elegidas, así como un mapa de parches a partir del modelo de disponibilidad del hábitat. El modelo, dentro del módulo de *Corridor Design*, necesita como insumos las variables que consideramos podrían influir en la disponibilidad de hábitat para una especie (se pueden incluir en el modelo hasta seis factores) y la ponderación de dichos factores que influyen en la disponibilidad del hábitat. Una vez teniendo para cada grupo de especies su ubicación espacial y los datos de los atributos asignados a cada registro, es necesario que previamente a la ejecución del modelo de disponibilidad de hábitat, por cada grupo de especies, se le asigne una ponderación a las variables de manera general, y a su vez una ponderación a las clases dentro de cada variable.

7.1.2.1. Ponderación de las variables

Para asignarles la ponderación general a cada uno de los factores se emplearon **técnicas de autocorrelación espacial** mediante el Índice Univariado de Moran empleando el software GeoDA. El índice relaciona el comportamiento de las variables mencionadas con la ubicación de los registros de los grupos de especies y de esta manera ver que tanta correlación existe entre cada una de las variables y así asignarle los pesos generales los cuales deben sumar un 100%.

Cada variable está compuesta de categorías, las cuales también fueron ponderadas en base a las **estadísticas descriptivas** de cada variable (valores extremos, media y cuartiles) mediante el software Deducer-R, y considerando una revisión bibliográfica sobre los requerimientos de la especie dentro de cada variable. Posteriormente cuando se cuente con las ponderaciones de cada variable y dentro de cada categoría, así como el raster de posición topográfica generado anteriormente, se corre el análisis del modelado de la disponibilidad del hábitat. El producto resultante es un raster de disponibilidad del hábitat en el que se conjugan todos los factores asignados para determinar las áreas no viables y viables de la zona de estudio para la(s) especie(s) elegida(s). El raster generado será utilizado como insumo para el Módulo III. Se ha mencionado en la literatura que si la disponibilidad del hábitat es alta, entonces el costo del movimiento podría ser bajo, y por lo tanto si la disponibilidad del hábitat es baja, el

costo del movimiento para las especies es alta (Dixon, 2012⁹⁸).

7.1.2.2. Modelar parches de hábitat

Dentro del módulo de disponibilidad del hábitat se incluye la modelación de los parches. Esta herramienta es útil para definir los puntos de inicio y fin de los corredores, así como los parches (o llamados también piedras de paso) dentro de la matriz que serán incluidos en el diseño del corredor. Se define un parche de hábitat como un grupo de píxeles que presentan ciertas características para soportar diversos procesos de la historia de vida de las especies.

Después que se ha creado el modelo de disponibilidad del hábitat para la especie seleccionada, posteriormente ese *raster* se usa de insumo para calcular el mapa de parches potenciales de hábitat.

7.1.3. Módulo III. Diseño del Corredor

Para ir de un mapa de disponibilidad del hábitat a generar un mapa de corredores, el modelo necesita procesar varios puntos, entre los que se encuentran: cómo convertir la disponibilidad de hábitat en variables de costo/resistencia, definir el término del corredor (fin del corredor), definir la relación entre el costo por movilidad de las especies vs distancia para desplazarse, así como determinar el ancho del corredor. Estas variables pueden ser obtenidas a través del tercer módulo de *Corridor Design*.

En este módulo se utilizan como insumos en el diseño del corredor el modelo de disponibilidad de hábitat, y los parches que se quieran conectar. Para lo cual del mapa de parches se pueden elegir cuáles parches conectar. El producto final es un *raster* con los corredores biológicos que conectan dos parches, en donde se obtienen 11 umbrales de ancho para el corredor, el cual sirve para determinar el ideal de conectividad (10%) y el mínimo (0.1%) a partir del mapa de disponibilidad del hábitat y los parches.

Los modelos son comúnmente usados para identificar las tierras que podrían mantener la habilidad de los animales de vida silvestre a moverse entre bloques de vida silvestre a través de una matriz. Hay muchas aplicaciones software que ofrecen diseñar corredores de vida silvestre, sin embargo, las herramientas proporcionadas por el módulo de *Corridor Design* proporcionan una alternativa eficiente y amigable para el diseño de los corredores biológicos, ya que los insumos que se necesitan para alimentar este modelo son relativamente sencillos de conseguir y procesar, el punto clave del uso de este modelo son las ponderaciones para las especies a las cuales se va a diseñar el corredor biológico.

⁹⁸ Ídem 87

8. Resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, en las próximas páginas se expondrán por módulo los resultados del *Corridor Design*. El primer módulo se refiere a la preparación de las capas y obtener información de las especies focales. Para integrar la información y preparar los insumos para el modelo, se contaron con las capas de Modelo Digital de Elevación (DEM), Uso del Suelo y Vegetación (USV), Vías de Comunicación, Pendiente, Distancia a carreteras.

8.1. Generación de insumos

La capa de USV 2010 fue trabajada como parte del objetivo específico uno para evaluar la tasa de transformación y cambio dentro del Proyecto GEF-Mixteca, en dicho análisis se establecieron 24 categorías (Figura 2); por otro lado, se determinaron las pendientes y altitudes a través del DEM, así como la distancia a las carreteras mediante la Distancia Euclidiana de la capa de vías que se encuentran en la Mixteca. La distancia euclidiana calcula en línea recta la distancia desde el centro de la celda de origen hasta el centro de cada una de las celdas vecinas (Figura 3).

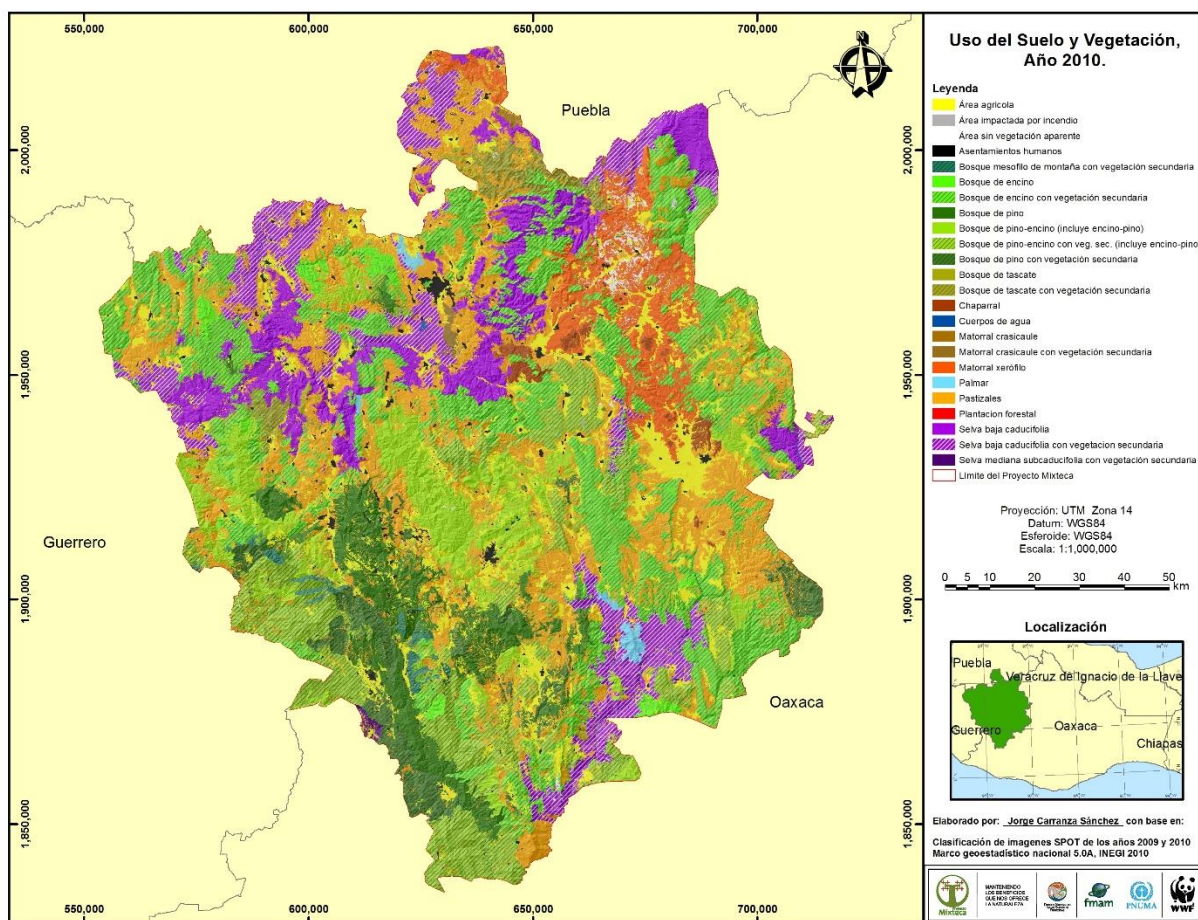


Figura 2. Uso del Suelo y Vegetación año 2010 en la Región Mixteca.

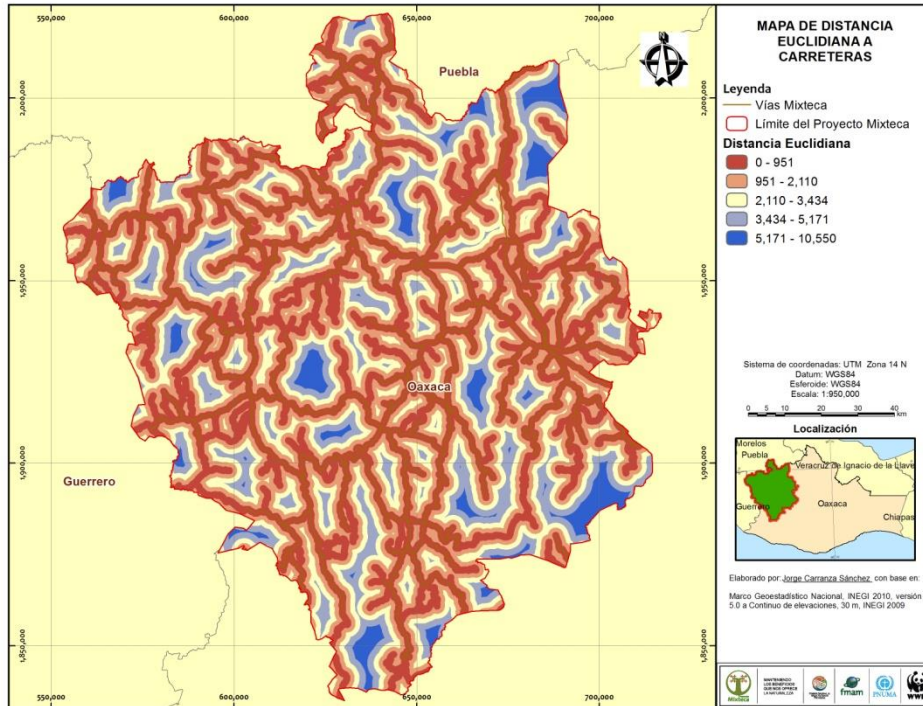


Figura 3. Distancia euclidiana a las vías de comunicación en la Región Mixteca.

De las capas consideradas como insumos generales para el modelo, se generó un mapa de posición topográfica a partir del DEM. El modelo realiza este mapa a través del **Índice de Posición Topográfica (TPI)**, que es la diferencia entre la elevación de cada píxel y la elevación media de los píxeles circundantes/vecinos. El TPI se calcula a partir de un DEM para producir una nueva trama de los valores de TPI, con lo cual se generan cuatro clases de condiciones topográficas para la zona de estudio (cañones, pendientes planas, pendientes empinadas y

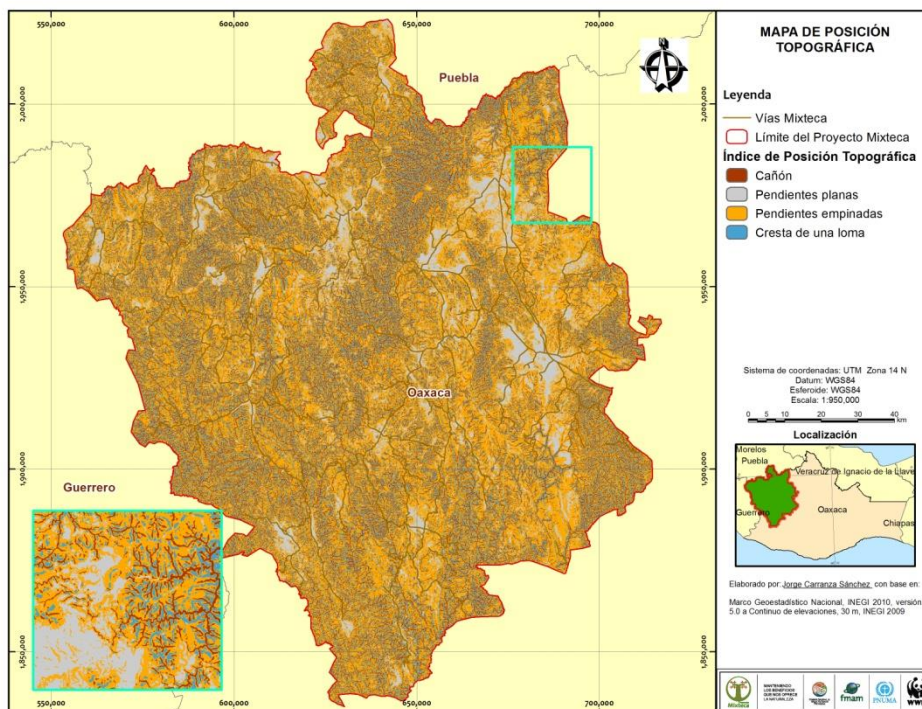


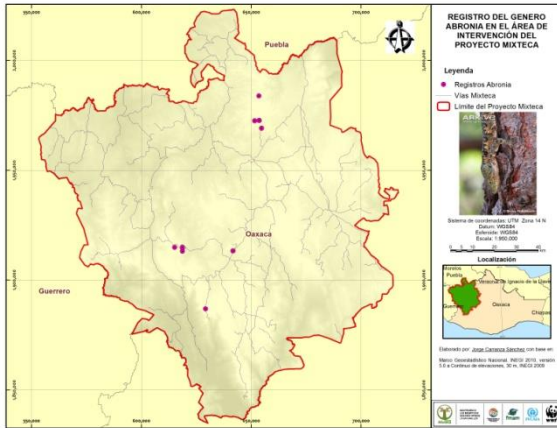
Figura 4. Índice de Posición Topográfica en la Región Mixteca.

Los datos de las decisiones del Proyecto GEF-Mixteca pueden observarse en el Cuadro 1. El número de registros para cada especie varía enormemente, siendo el venado (*Odocoileus virginianus*) la especie de estudio que más registros presenta con 219, seguido de las Salamandras con 82, los murciélagos nectarívoros con 52, la familia de los felinos con 52 y por último el género *Abronia* con 18 registros. En la Figura 5 puede observarse la ubicación de los registros de las especies seleccionadas, los cuales en su mayoría se encuentran cerca de las carreteras.

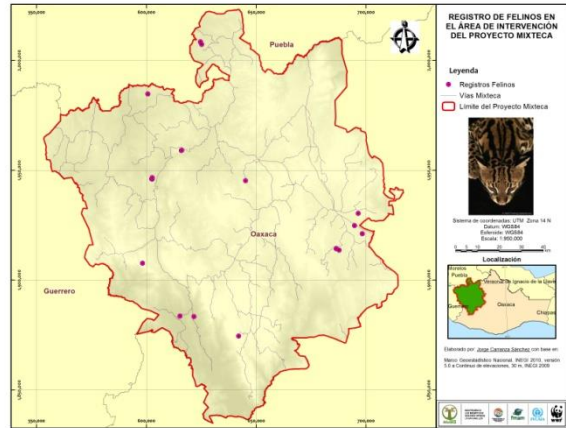
Cuadro 1. Especies y grupos seleccionados para la propuesta de diseño del Corredor Biológico.

Clase	Orden	Familia	Nombre científico	No. Registros para la Mixteca
Amphibia	Caudata	Plethodontidae	<i>Bolitoglossa riletti</i>	82
			<i>Pseudoeurycea amuzga</i>	
			<i>P. belli</i>	
			<i>P. cephalica</i>	
			<i>P. maxima</i>	
			<i>P. tlaxicoensis</i>	
			<i>Thorius pulmonaris</i>	
Mammalia	Artiodactyla	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	219
	Carnivora	Felidae	<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	26
			<i>Leopardus pardalis</i>	
			<i>L. wiedii</i>	
			<i>Lynx rufus</i>	
			<i>Puma concolor</i>	
	Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Anoura geoffroyi</i>	52
			<i>Choeronycteris mexicana</i>	
			<i>G. leachii</i>	
			<i>G. morenoi</i>	
			<i>G. commissarisi</i>	
			<i>G. soricina</i>	
			<i>Leptonycteris curasoae</i>	
<i>L. nivalis</i>				
Reptilia	Squamata	Anguidae	<i>Abronia mixteca</i>	18
			<i>A. oaxaca</i>	

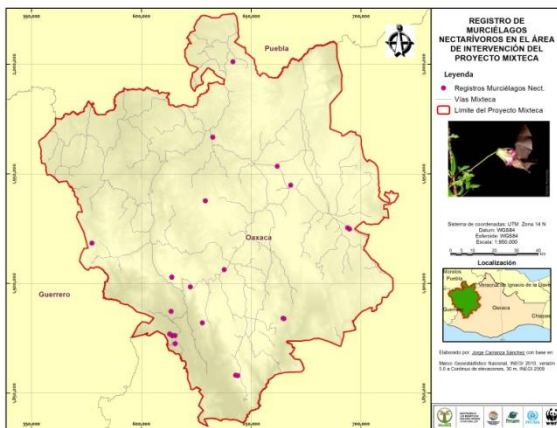
ABRONIA



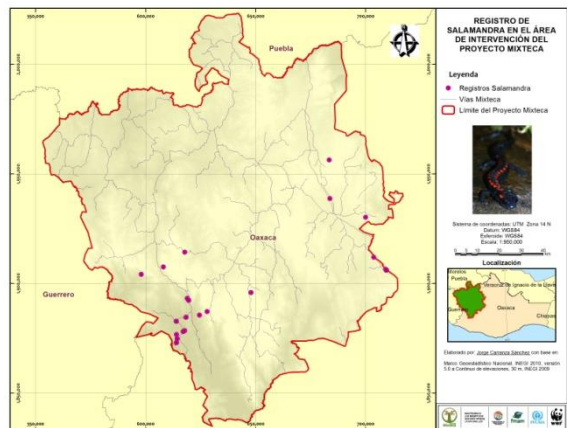
FELINOS



MURCIÉLAGOS NECTARÍVOROS



SALAMANDRA



VENADO

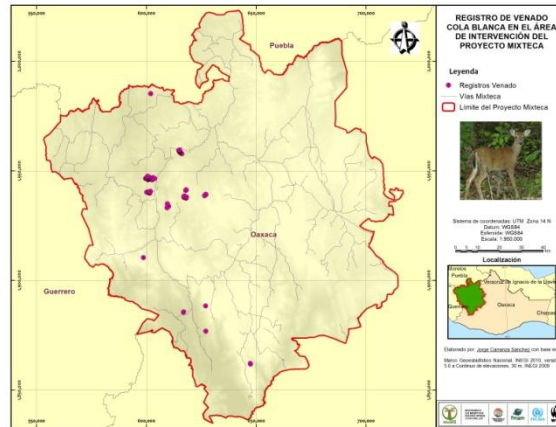


Figura 5. Ubicación de los registros de fauna en la zona de estudio.

Al tener la información de estas capas se procedió a cruzar para cada grupo y especies seleccionadas (Abronia, Felinos, Salamandras, Murciélagos Nectarívoros y Venado) que características están asociadas a cada grupo. Es decir, para cada uno de los puntos de registro se determinó a qué altitud, pendiente, distancia a carreteras y USV se encontraban, todo lo anterior se realizó mediante las herramientas del módulo Spatial Analyst del ArcGIS 10.1.

Posteriormente, para asignarle la ponderación a cada uno de los grupos y especies seleccionadas, se realizó una revisión bibliográfica sobre los requerimientos de la fauna para cada uno de los factores (USV, Elevación, Posición Topográfica y Distancia a Carreteras), en los cuales se extraía información de qué tipo de preferencia tienen, es decir, qué tipo de hábitat, altitud, pendiente, ámbito hogareño, así como tamaño mínimo poblacional y reproductivo en los cuales son frecuentemente encontrados y en cuáles circunstancias es difícil ser encontrados (Anexo I). Con esta información se emplearon técnicas de **autocorrelación espacial** mediante el Índice Univariado de Moran para la asignación de ponderación de cada uno de los factores de manera general. El índice relaciona el comportamiento de las variables mencionadas con la ubicación de los registros de las especies y/o grupos de fauna seleccionados y de esta manera ver que tanta correlación existe entre cada una de las variables. Por otro lado, para asignarle el rango a las categorías que componen cada factor se emplearon como criterios de autocorrelación, media y cuartiles.

8.2. Ponderación de las variables en el análisis multicriterio

Para cada grupo y especie se determinaron los pesos de cada variable que forman parte del diseño de corredores. El modelo de disponibilidad del hábitat requiere de la inclusión de al menos cuatro variables, en todos los procesos siguientes fueron incluidas el USV, la Altitud, Pendiente y Distancia a Carreteras.

La información para la ponderación fue en base a una revisión bibliográfica mostrada en el Anexo I, así como de la opinión de expertos especialmente en el Uso del Suelo y Vegetación.

De acuerdo al análisis de correlación se ordenó en orden de importancia y de acuerdo a esto se determinó la ponderación general, la cual el total debe dar un total de 100. Es importante mencionar que la Distancia a carreteras a pesar de haber obtenido un índice de correlación alto, se puso con la ponderación más baja debido a que la mayoría de los registros se presentaron cerca de las carreteras.

A continuación se dividirán por grupos de análisis dichas ponderaciones de las variables:

8.2.1. Género Abronia

Ponderación de variables de manera general

Cuadro 2. Ponderación de variables para el Género Abronia.

Variables	Índice de Moran	Orden de importancia	ID	USV	PESOS
			1	Área sin Vegetación Aparente	0
			2	Bosque de Encino	90
			3	Bosque de Encino_vs	80
			4	Bosque de Pino	70
Altitud	0.0305256		5	Bosque de Pino_vs	60
Pendiente	0.0912281		6	Bosque de Pino-Encino (incluye encino)	90
Distancia a Carreteras	0.162531		7	Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino)	80
Uso del suelo y Vegetación	0.368691		8	Bosque de Tascate	20
			9	Bosque de Tascate_vs	10
			10	Bosque Mesófilo de Montaña_vs	60
			11	Chaparral	0
			12	Matorral Crasicaule	0
			13	Matorral Crasicaule_vs	0
			14	Matorral xerófilo	0
			15	Palmar	0
			16	Plantación Forestal	0
			17	Selva Baja Caducifolia	0
			18	Selva Baja Caducifolia_vs	0
			19	Selva Mediana Subcaducifolia_vs	0
			20	Área Agrícola	0
			21	Asentamientos Humanos	0
			22	Área Impactada por Incendio	0
			23	Cuerpos de Agua	0
			24	Pastizales	0

Ponderación de las clases dentro de cada variable:

Altitud	RANGOS	PESOS
1	0 2094	50
2	2095 2228	80
3	2229 2521.3	100
4	2522 2649	90
5	2650 2878	60
6	2879 3107	50
7	3108 3336	30

Distancia a carreteras	RANGOS		PESOS
1	0	59	10
2	60	458.91	30
3	459	894.45	60
4	895	12240	80
5	12240	15506	90
6	15507	18773	100
7	18774	22040	100

Topografía	PESOS
1	28
2	75
3	44
4	62

8.2.2. Familia Felinos

Ponderación de variables de manera general:

Cuadro 3. Ponderación de variables para la Familia de Felinos.

Variables	Índice de Moran	Orden de importancia en la correlación	Ponderación General
Altitud	0.0657894	4	20
Pendiente	0.312585	2	30
Distancia a Carreteras	0.0965908	3	10
Uso del suelo y Vegetación	0.176834	1	40

Ponderación de las clases dentro de cada variable:

Altitud	RANGOS		PESOS
1	0	726	30
2	727	1590	50
3	1591	1703	60
4	1704	2014	70
5	2015	2592	90
6	2593	2840	90
7	2841	3088	100

ID	USV	PESOS
1	Área sin Vegetación Aparente	10
2	Bosque de Encino	80
3	Bosque de Encino_vs	70
4	Bosque de Pino	80
5	Bosque de Pino_vs	70
6	Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	80
7	Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	70

Distancia a carreteras	RANGOS		PESOS
1	0	29	5
2	30	1150.57	10
3	1151	1824.575	20
4	1825	2278.62	40
5	2279	6627.76	70
6	6628	11765.173	90
7	11766	16902.587	100
8	16903	22040	100

8.2.3. Murciélagos Nectarívoros

Ponderación General

Topografía	PESOS
1	80
2	30
3	70
4	50

Cuadro 4. Ponderación de variables para los Murciélagos Nectarívoros.

Variables	Índice de Moran	Orden de importancia en la correlación	Ponderación General
Altitud	0.682999	2	20
Pendiente	0.147302	3	10
Distancia a Carreteras	0.28872	4	10
Uso del suelo y Vegetación	0.851977	1	60

Ponderación de las clases dentro de cada variable:

ID	USV	PESOS
1	Área sin Vegetación Aparente	0
2	Bosque de Encino	100
3	Bosque de Encino_vs	100
4	Bosque de Pino	33
5	Bosque de Pino_vs	33
6	Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	60
7	Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	60
8	Bosque de Pino-Encino_vs (incluye encino-pino)	100

Altitud	RANGOS		PESOS
1	0	775	80
2	776	1607.25	90
3	1608	2175	100
4	2176	2817	90
5	2818	2990	60
6	2991	3163	50

Topografía	PESOS
1	70
2	50
3	60
4	30

8.2.4. Salamandras

Ponderación General

Cuadro 5. Ponderación de variables para las Salamandras.

Variables	Índice de Moran	Orden de importancia en la correlación	Ponderación General
Altitud	0.927032	1	40
Pendiente	0.59256	3	20
Distancia a Carreteras	0.146236	4	5
Uso del suelo y Vegetación	0.794624	2	35

Ponderación de las clases dentro de cada variable:

Altitud	RANGOS		PESOS
1	0	713	40
2	714	806.75	70
3	807	892	80
4	893	2170.75	90
5	2171	2925	100
6	2926	3062	80
7	3063	3199	60

ID	USV	PESOS
1	Área sin Vegetación Aparente	0
2	Bosque de Encino	70
3	Bosque de Encino_vs	60
4	Bosque de Pino	100
5	Bosque de Pino_vs	90
6	Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)	100
7	Bosque de Pino-Encino (excluye encino-pino)	80

Topografía	PESOS
1	80
2	30
3	70
4	10

8.2.5. Venado

Ponderación General

Cuadro 6. Ponderación de variables para Venado.

Variables	Índice de Moran	Orden de importancia en la correlación	Ponderación General
Altitud	0.710631	2	30
Pendiente	0.703664	3	15
Distancia a Carreteras	0.933556	4	5
Uso del suelo y Vegetación	0.980599	1	50

Ponderación de las clases dentro de cada variable:

Altitud	RANGOS		PESOS
1	0	861	10
2	862	1563	20
3	1564	1837	40
4	1838	2043	60
5	2044	2736	100

ID	USV	PESOS
1	Área sin Vegetación Aparente	0
2	Bosque de Encino	80
3	Bosque de Encino_vs	80
4	Bosque de Pino	100
5	Bosque de Pino_vs	100

Pendiente	RANGOS		PESOS
1	0	3.7	10
2	3.84367	10.6427	50
3	10.7	19.3708	90
4	19.4	24.2369	100
5	24.3	42.3754	40
6	42.4	52.665303	30
7	52.7	62.955206	20
8	63	73.24511	10

8.3. Modelos

Esta sección corresponde a los resultados del Módulo del Mapa de Disponibilidad del Hábitat y del Diseño del Corredor para cada grupo y/o especie a partir de las herramientas del *Corridor Design*. A partir de las ponderaciones anteriores para cada grupo o especie de análisis se generó un mapa que indica la disponibilidad del hábitat para esa especie generada en base a la capa de USV, a la Altitud, la Pendiente y topografía, y la distancia a las carreteras. De acuerdo a las ponderaciones se genera un raster con las mejores condiciones para la permanencia de las especies.

Posteriormente, después que se creó el modelo de disponibilidad del hábitat para la especie seleccionada, ese *raster* se usó como insumo para calcular un mapa de parches potenciales de hábitat y a partir de este último se seleccionaron los parches a conectar para formar el Corredor Biológico.

En el siguiente apartado se presentarán para grupo o especie los mapas antes mencionados:

8.3.1. Género *Abronia*

En la Figura 6 se puede observar que la mayor disponibilidad de hábitat de *Abronia* en el área de estudio de la Región Mixteca, se localiza en la zona central del polígono en la cual se encuentran áreas de Bosque de Pino-Encino (BPE) y BPE con vegetación secundaria (BPEvs) (ambos incluyen Bosque de Encino-Pino) y en menor importancia de disponibilidad son las áreas de la zona norte del polígono.

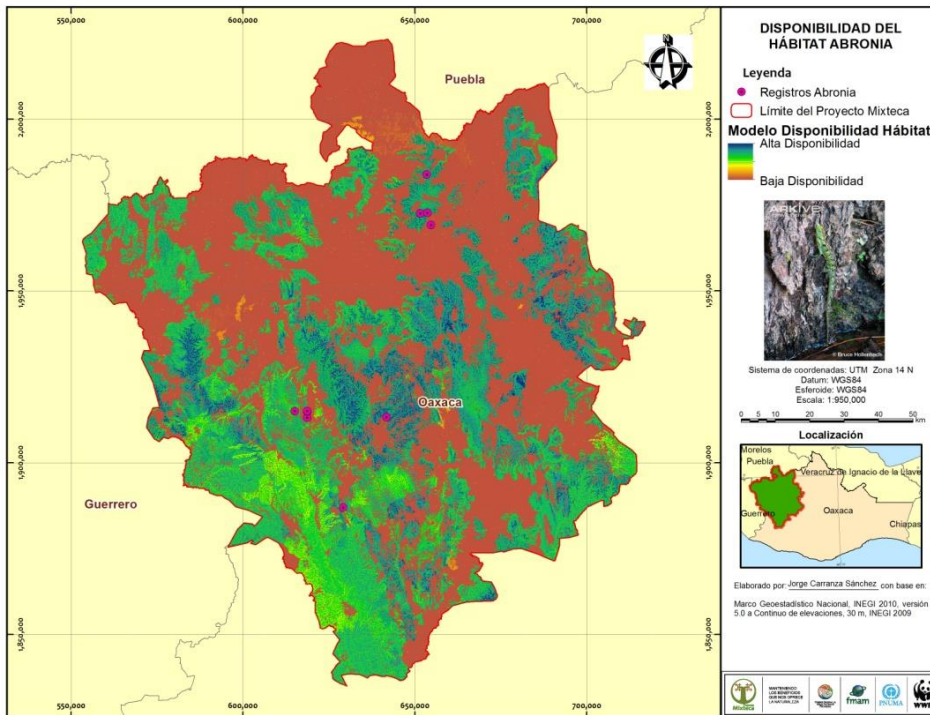


Figura 6. Disponibilidad del hábitat para el Género *Abronia* a partir del *Corridor Design*.

Del mapa de disponibilidad del hábitat de *Abronia*, se generó un mapa de parches de hábitat a partir de datos bibliográficos de tamaño mínimo de parche poblacional y reproductivo (en caso que existieran estos datos). El raster determina aquellos parches que son potencialmente determinados para el establecimiento poblacional o aquellos con fines reproductivos. En la Figura 7 se puede observar que el modelo determinó la mayor parte de parches poblacionales (azul) en la zona centro y sur del polígono.

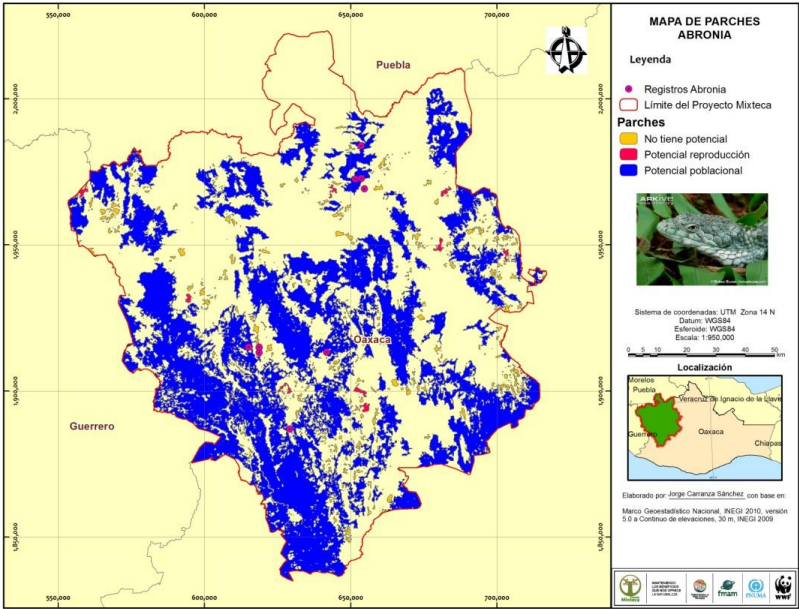


Figura 7. Parches potenciales para el establecimiento del Género Abronia.

Posteriormente se seleccionaron aquellos parches que fueron elegidos potencialmente para el establecimiento poblacional, y a partir de ahí se generó un mapa con los parches seleccionados para determinar los corredores biológicos para Abronia (Figura 8).

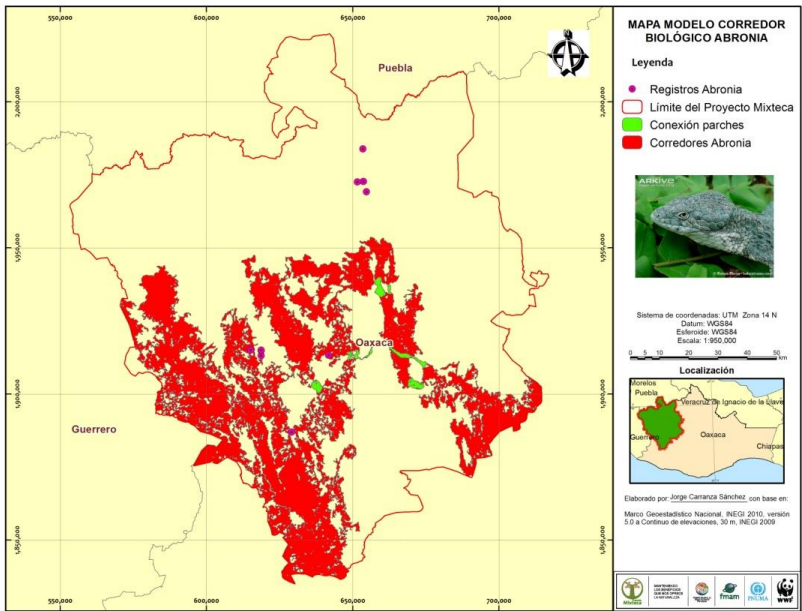


Figura 8. Mapa modelo Corredor Biológico para el Género Abronia.

8.3.2 Felinos

En cuanto a la Familia de los Felinos la disponibilidad del hábitat más apropiado para este grupo son las zonas en azul que se encuentran distribuidas en prácticamente todo el

polígono y que corresponden a áreas que presentan Selva Baja Caducifolia, zonas de BPE y BPEvs, BE y en menor proporción Bosque de Pino (Figura 9).

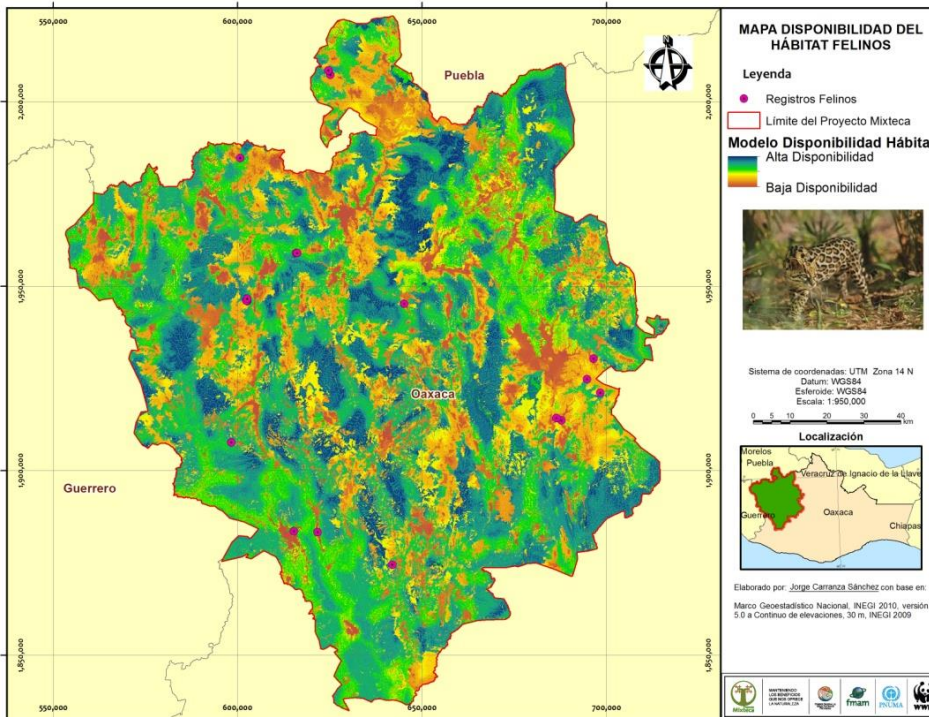


Figura 9. Disponibilidad del hábitat para los Felinos a partir del Corridor Design.

En cuanto al diseño del corredor biológico para la familia de los Felinos, como el grupo tiene amplia distribución y requerimientos muy variados para su establecimiento al momento de realizar el modelo de creación de los parches el resultado fue que casi todo el polígono tiene potencial para la población (azul), mientras que solamente algunos parches en amarillo no tienen potencial para los integrantes de la Familia en la región Mixteca Oaxaqueña (Figura 10).

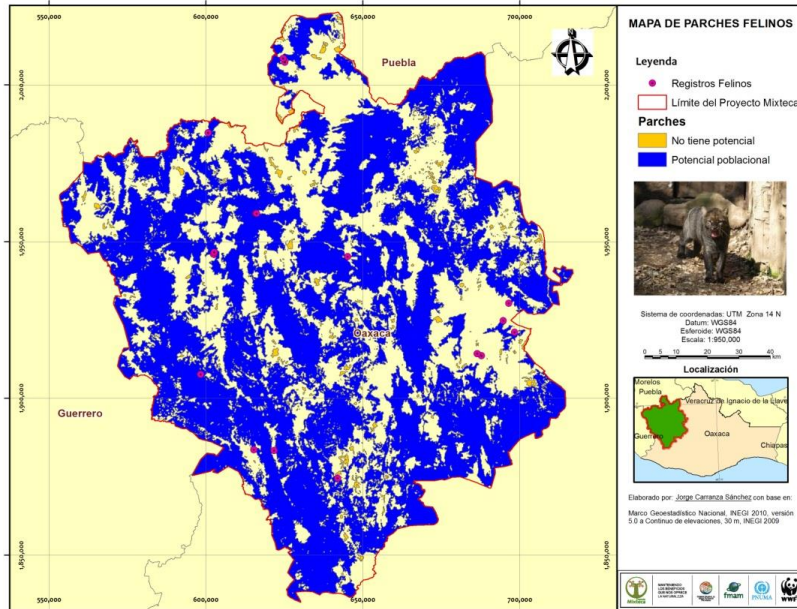


Figura 10. Parches potenciales para el establecimiento de los Felinos.

Este raster prácticamente indica las zonas potenciales para el establecimiento de la población de los Felinos y que pueden ser considerados como Corredores (Figura 11).

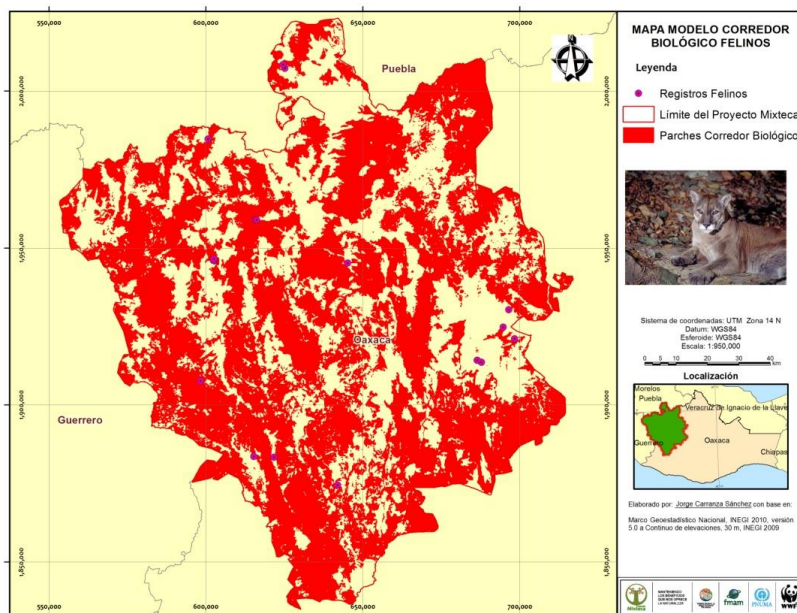


Figura 11. Mapa modelo Corredor Biológico para los Felinos.

8.3.3 Murciélagos Nectarívoros

El modelo de disponibilidad del hábitat del *Corridor Design* arroja para los murciélagos nectarívoros que la zona norte del polígono y algunas regiones de la zona noreste son las más aptas para la permanencia y reproducción de los quirópteros. Dichas áreas principalmente están compuestas de SBC y BPEVs (Figura 12). Los murciélagos nectarívoros dependen enormemente de las especies plantas que se encuentren floreciendo, ya que se alimentan de polen o néctar siendo algunas especies generalistas y otras especialistas.

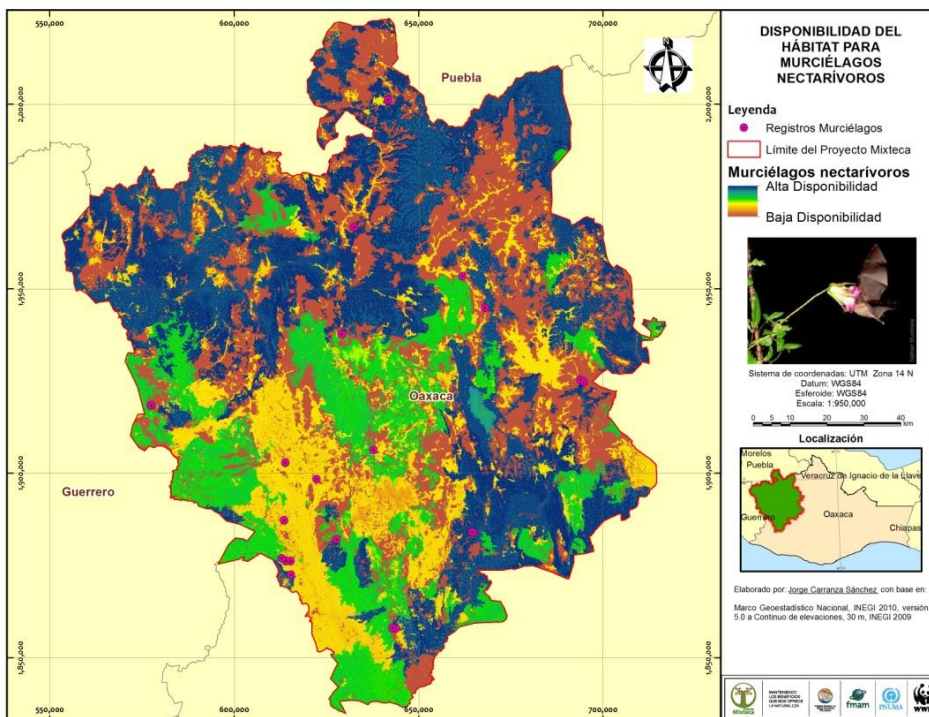


Figura 12. Disponibilidad del hábitat para los Murciélagos Nectarívoros a partir del *Corridor Design*.

Este mapa de disponibilidad del hábitat fue incluido como insumo para generar el mapa de parches para los murciélagos nectarívoros. Como puede observarse en la Figura 13, la mayor parte del polígono de la región Mixteca tiene potencial para el establecimiento de la población indicado en azul. Por lo que se seleccionaron los parches más grandes y se incluyó en el Modelo del diseño del corredor, lo cual puede observarse en la Figura 14.

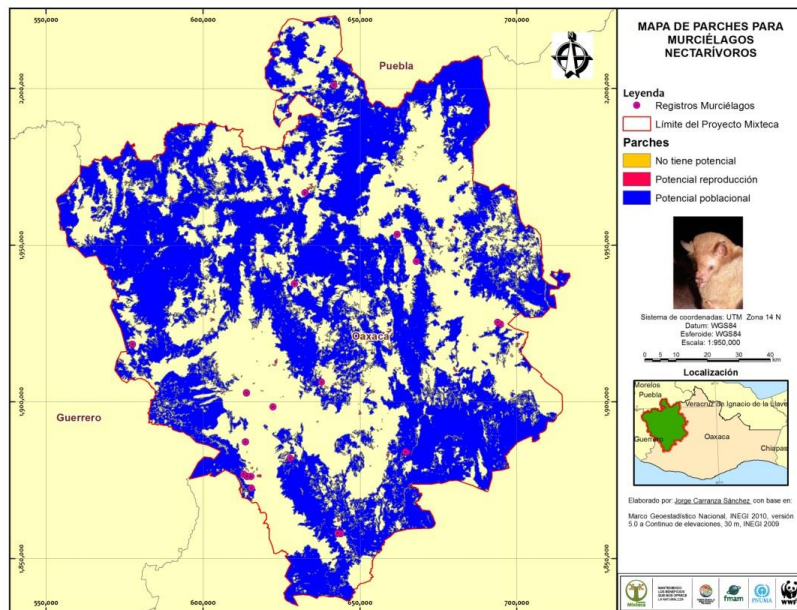


Figura 13. Parches potenciales para el establecimiento de los Murciélagos Nectarívoros.

El modelo de Corredor Biológico de acuerdo a los parches seleccionados arroja un pequeño corredor conectando los dos parches en la zona oeste del polígono (en verde).

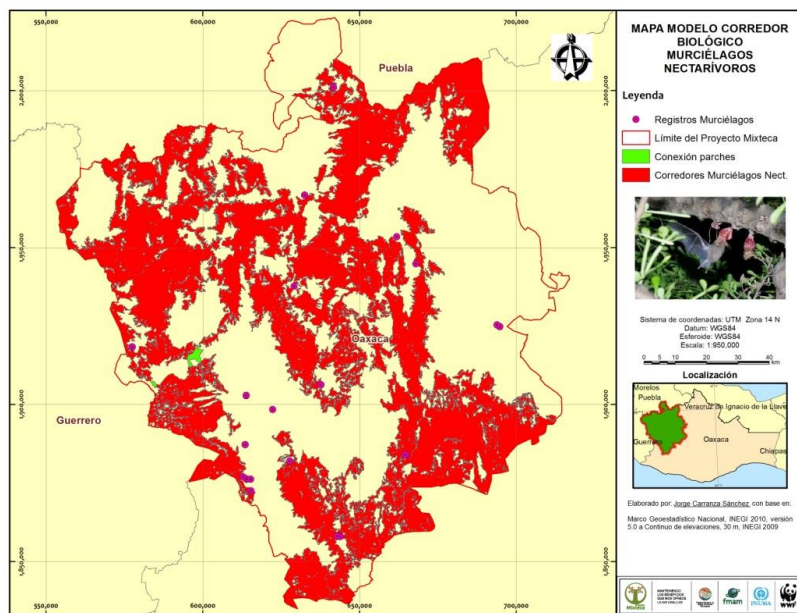


Figura 14. Mapa modelo Corredor Biológico para los Murciélagos Nectarívoros.

8.3.4 Salamandra

Las salamandras son en general especies poco documentadas, específicamente para Oaxaca se ha mencionado que es un estado rico en especies de salamandras, sin embargo son pobremente conocidas (Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén, 2005⁹⁹). La Figura 15 muestra que la disponibilidad más alta de este grupo de especies se encuentra en la zona centro y sur del polígono del área de estudio, principalmente compuesto por BPE, BPEVs y BP.

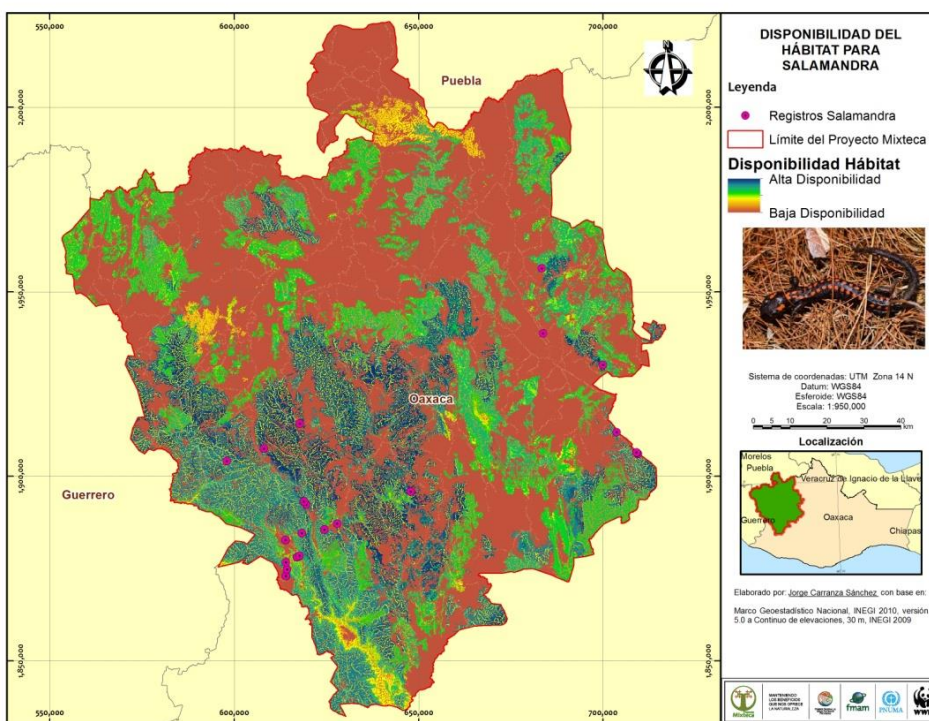


Figura 15. Disponibilidad del hábitat para las Salamandras a partir del Corridor Design.

En cuanto al mapa de parches generado en el Módulo de Corridor Design para Salamandra muestra una serie de parches pequeños distribuidos en todo el polígono y uno más grande que principalmente se encuentra en zonas con Bosque de Pino-Encino y Bosque de Pino ambos con vegetación secundaria (Figura 16).

⁹⁹ Canseco-Márquez, L. and G. Gutiérrez-Mayén. 2005. New species of Pseudoeurycea (Caudata: Plethodontidae) from the Mountains of Mixteca Region of Oaxaca, Mexico. Journal of Herpetology 39: 181-185.

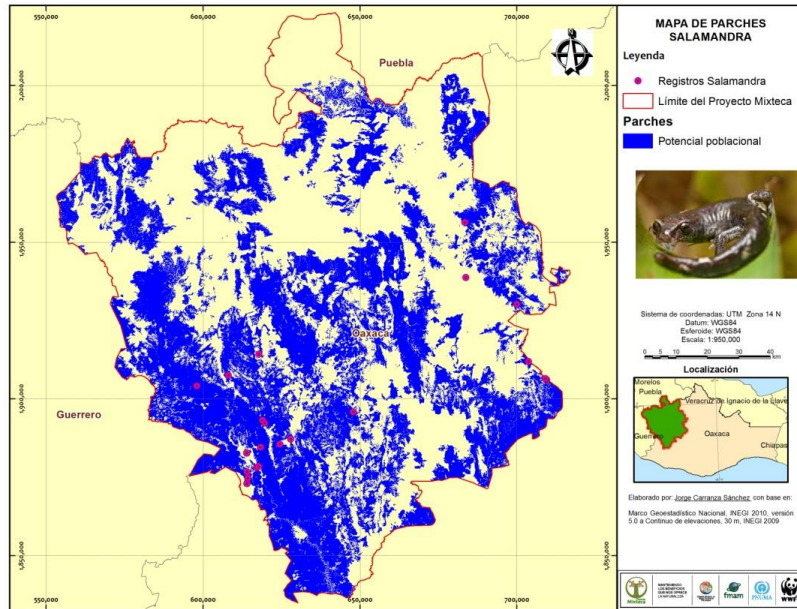


Figura 16. Parches potenciales para el establecimiento de las Salamandras.

Con respecto al mapa final donde se proponen los corredores biológicos, el modelo calcula la distancia mínima de costo de los animales al atravesar los parches, también lo calcula en base a todas las variables de topografía, altitud y requerimientos de dicho grupo. Por lo tanto en la Figura 17 en verde se proponen los corredores biológicos para conectar los parches con las mejores condiciones para el establecimiento de las Salamandras.

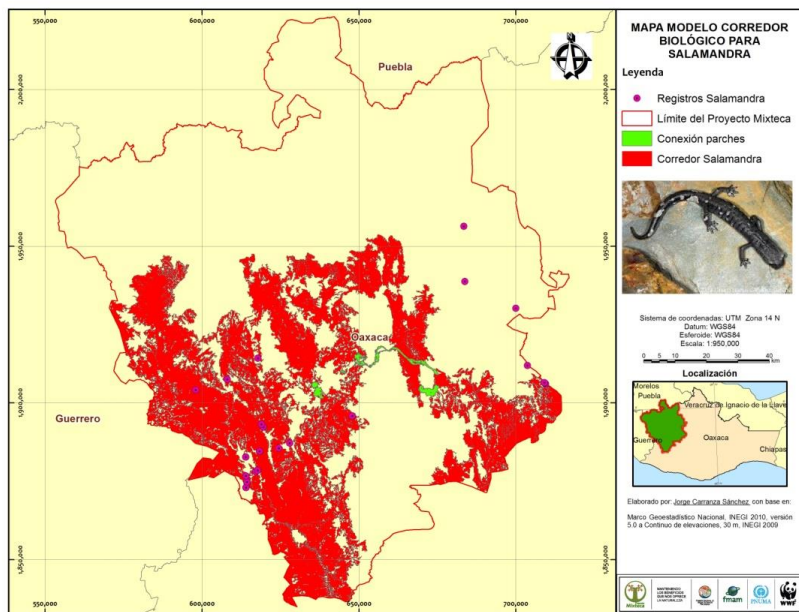


Figura 17. Mapa modelo Corredor Biológico para las Salamandras.

8.3.5 Venado

La disponibilidad del hábitat para el venado cola blanca prácticamente se encuentra en varias regiones del polígono, en dichas áreas prevalece el BPE, BPEVs, poco BP y SBC (Figura 18).

El mapa de parches del venado cola blanca indica que la gran mayoría de los zonas en azul tienen potencial poblacional, con parches pequeños aptos para la eventos reproductivos y algunos parches en amarillo muestran que no son óptimos para el establecimiento de la especie (Figura 19).

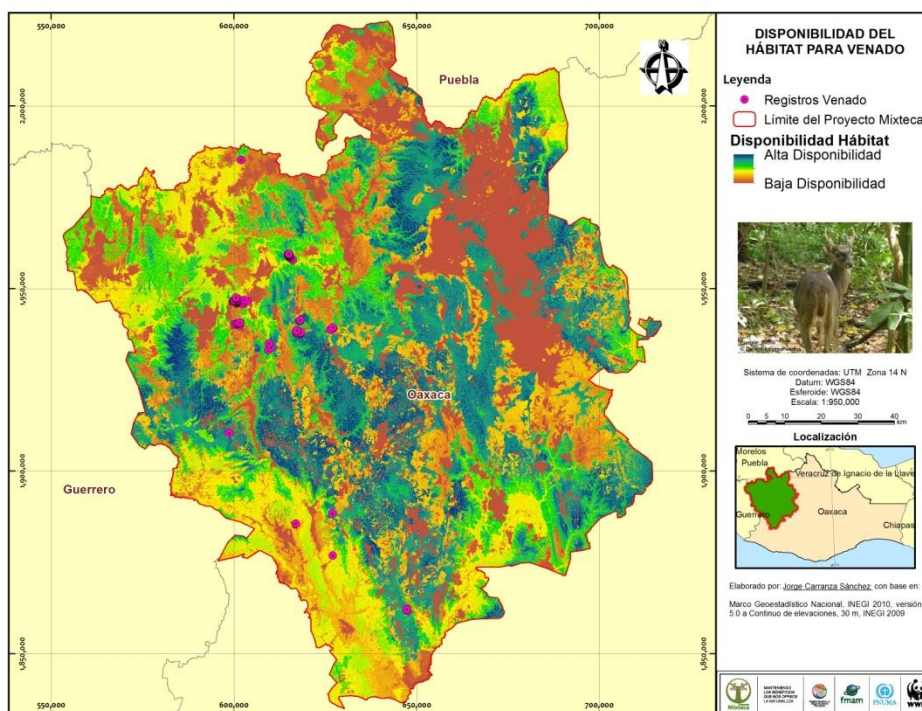


Figura 18. Disponibilidad del hábitat para el Venado cola blanca a partir del *Corridor Design*.

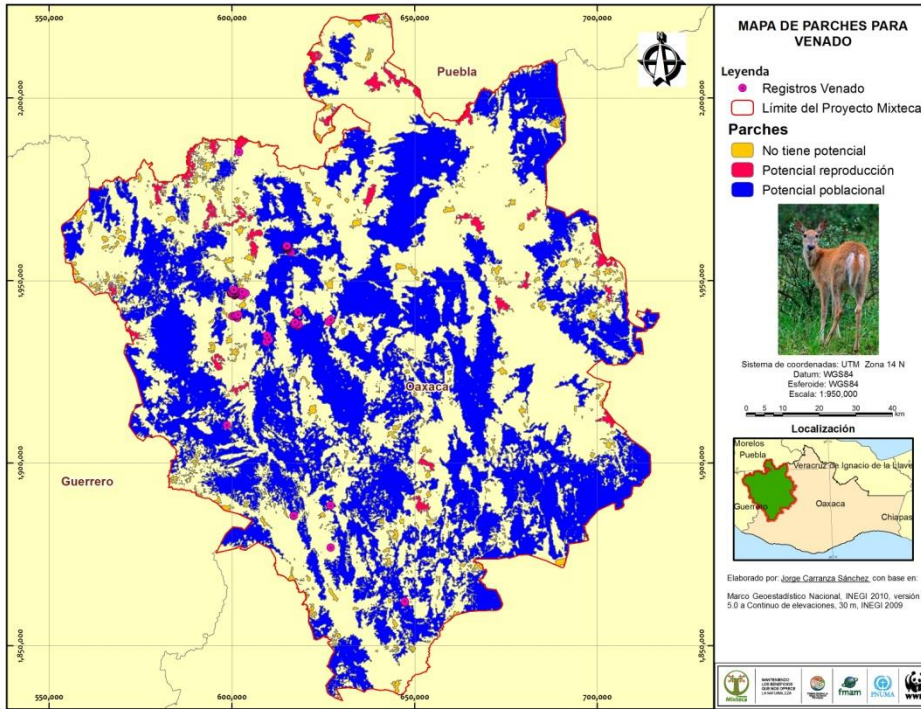


Figura 19. Parches potenciales para el establecimiento del Venado cola blanca.

El resultado final propuesto por el modelo *Corridor Design* establece una serie de corredores (en color verde) para conectar los parches seleccionados (Figura 20).

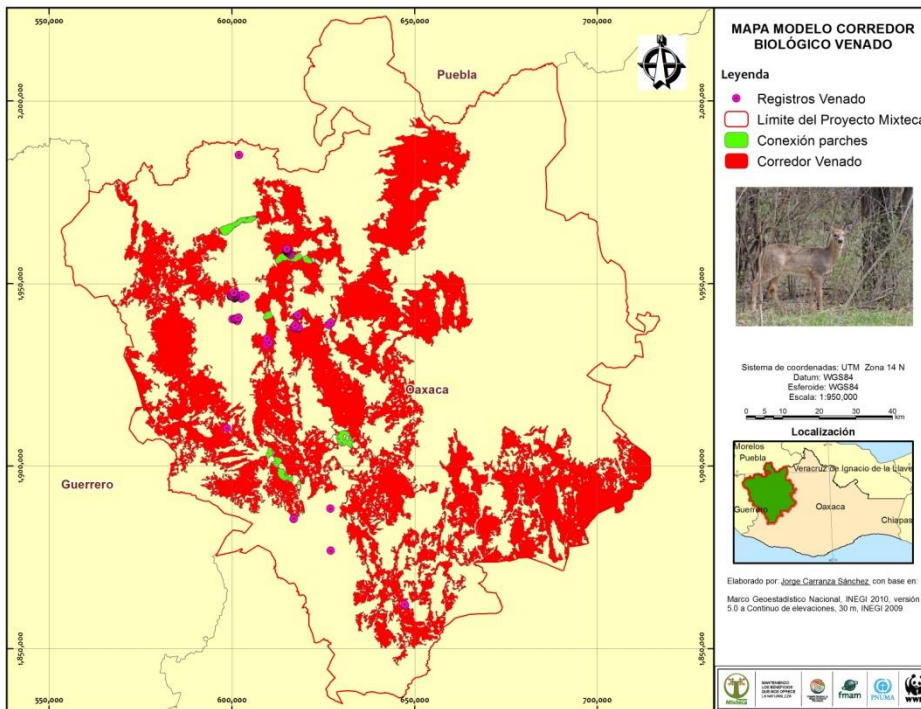


Figura 20. Mapa modelo Corredor Biológico para el Venado.

8.4 INTEGRACIÓN INFORMACIÓN DE ANÁLISIS MULTICRITERIO.

De acuerdo a los datos generados por cada grupo/especie para proponer los Corredores Biológicos se realizó un análisis para determinar las áreas de superposición o correspondencia, y a partir de ahí se determinaron tres grupos de vegetación en los cuales todas las especies del estudio comparten. Los grupos de vegetación fueron: Bosque (incluye Bosque de Encino, Bosque de Pino, Bosque de Pino-Encino y Encino-Pino, todos dentro de la categoría primario y con vegetación secundaria –vs-), Selva (Selva Baja Caducifolia primaria y con vs) y Bosque Mesófilo de Montaña con vs (Figura 21).

Se puede observar que las especies seleccionadas en este estudio comparten tres ecosistemas clave para la región Mixteca, por lo que es importante conservar o mantener la salud de estos sistemas para poder sostener a éstas y otras especies que se presentan en el área de estudio. Las conexiones entre cada sistema indicadas en color rojo, muestran una propuesta de continuidad de vegetación y condiciones para el establecimiento poblacional y reproductivo de dichos organismos para la Región Mixteca Oaxaqueña.

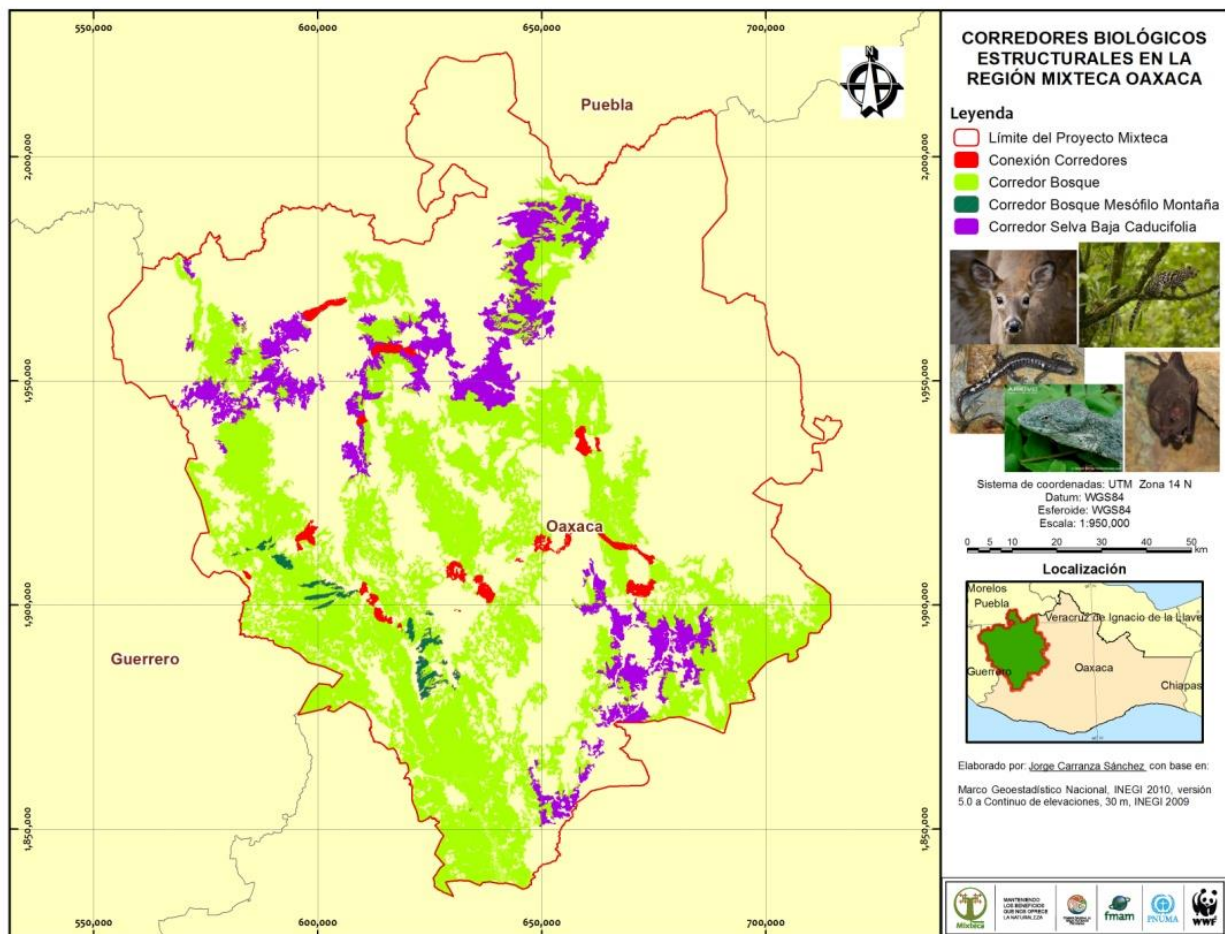


Figura 21. Corredores Biológicos propuestos para la Región Mixteca a partir del análisis multicriterio de cinco grupos de fauna clave para el mantenimiento de los ecosistemas.

Del total de superficie reportada para la Región Mixteca (1'714,096 Ha), se determinó que el Corredor denominado “Bosque” representa el 45% de la superficie total, mientras que el corredor “Selva Baja Caducifolia” conforma un 15%, y por último el corredor llamado “Bosque Mesófilo de Montaña” cuenta con cerca del 0.6% de la superficie total. El porcentaje de los corredores estructurales propuestos para la Región Mixteca Oaxaqueña es de un 60%, el restante está incluido en el resto de categorías de USV tanto forestales como no forestales (Cuadro 7).

Cuadro 7. Superficie (Ha) conformada por tipo de corredor propuesto.

CATEGORÍAS USV	TIPO	HA POR USV	%	TIPO CORREDOR	TOTAL POR CORREDOR (HA)	% DE CORREDORES ESTRUCTURALES REGIÓN MIXTECA OAXACA
Área Agrícola	NO FORESTAL	151,325.546351	9			
Área Impactada por Incendio	NO FORESTAL	143.109629	0			
Área sin Vegetación Aparente	FORESTAL	8,029.963367	0			
Asentamientos Humanos	NO FORESTAL	17,840.024587	1			
Bosque de Encino	FORESTAL	17,725.671129	1	Bosque	776,180.557138	45.2822
Bosque de Encino_vs	FORESTAL	323,152.824716	19			
Bosque de Pino	FORESTAL	95,028.010356	6			
Bosque de Pino_vs	FORESTAL	52,801.520417	3			
Bosque de Pino-Encino (incluye Encino-Pino)	FORESTAL	119,857.428476	7			
Bosque de Pino-Encino_vs (incluye Encino-Pino)	FORESTAL	167,615.102043	10			
Bosque de Tascate	FORESTAL	5,063.613656	0			
Bosque de Tascate_vs	FORESTAL	22,107.503835	1			
Bosque Mesófilo de Montaña_vs	FORESTAL	9,443.766209	1	Bosque Mesófilo de Montaña	9,443.766209	0.5509
Chaparral	FORESTAL	11,656.620141	1			
Cuerpos de Agua	NO FORESTAL	3,834.177691	0			
Matorral Crasicaule	FORESTAL	1,303.544669	0			
Matorral Crasicaule_vs	FORESTAL	2,294.284161	0			
Matorral Xerófilo	FORESTAL	84,134.252211	5			
Palmar	FORESTAL	6,772.213962	0			
Pastizales	NO FORESTAL	363,258.823114	21			
Plantación Forestal	FORESTAL	211.256669	0			
Selva Baja Caducifolia	FORESTAL	119,562.436626	7	Selva Baja Caducifolia	248,943.189834	14.5233
Selva Baja Caducifolia_vs	FORESTAL	129,380.753208	8			
Selva Mediana Subcaducifolia_vs	FORESTAL	1,554.278232	0			
Total general		1,714,096.725454	100			60.3564

En cuanto a los municipios que abarcan cada corredor propuesto, se tiene que por la gran superficie que representa el corredor estructural denominado “Bosque” están incluidos 110 municipios de acuerdo al MGN 2010 del INEGI, el corredor Selva Baja Caducifolia integra a 60 municipios, mientras que el Corredor Bosque Mesófilo de Montaña incluye solamente nueve municipios (Anexo II). Los municipios que integran las conexiones de los corredores estructurales propuestos en total son 26, los cuales se pueden consultar en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Municipios de la Región Mixteca que integran las conexiones en los corredores propuestos.

Municipios en la Región Mixteca que integran las conexiones entre los corredores estructurales propuestos.			
1	Coicoyán de las Flores	14	San Miguel Achiutla
2	Heroica Ciudad de Tlaxiaco	15	San Pedro y San Pablo Teposcolula
3	Magdalena Peñasco	16	San Sebastián Tecomaxtlahuaca
4	Mariscal de Juárez	17	San Simón Zahuatlán
5	Putla Villa de Guerrero	18	Santa Catarina Tayata
6	San Agustín Atenango	19	Santa Cruz Nundaco
7	San Bartolomé Yucuañe	20	Santa María del Rosario
8	San Cristóbal Amoltepec	21	Santiago Juxtlahuaca
9	San Juan Achiutla	22	Santiago Tilantongo
10	San Juan Diuxi	23	Santo Domingo Tonalá
11	San Juan Mixtepec -Dto. 08 -	24	Santo Tomás Ocotepec
12	San Marcos Arteaga	25	Santos Reyes Yucuná
13	San Martín Zacatepec	26	Tezoatlán de Segura y Luna

Por otro lado, se puede observar que los tres corredores estructurales propuestos se encuentran espacialmente favorecidos con la presencia de fuentes importantes de agua, con lo cual las especies que existan, coexistan o se trasladen entre los corredores cuentan con reservorios de agua. En el corredor Bosque se encuentran los ríos Alcozauco, Chiquito, Huajapan, Nochixtlán, Penoles, Salado, Tamazulapa y Zapote. En el corredor Bosque Mesófilo de Montaña no se encontraron cuerpos de agua; mientras que en el corredor denominado Selva Baja Caducifolia están los ríos Alcozauco, Chiquito, Huajapan, Nochixtlán, Salado y Tamazulapa (Figura 22).

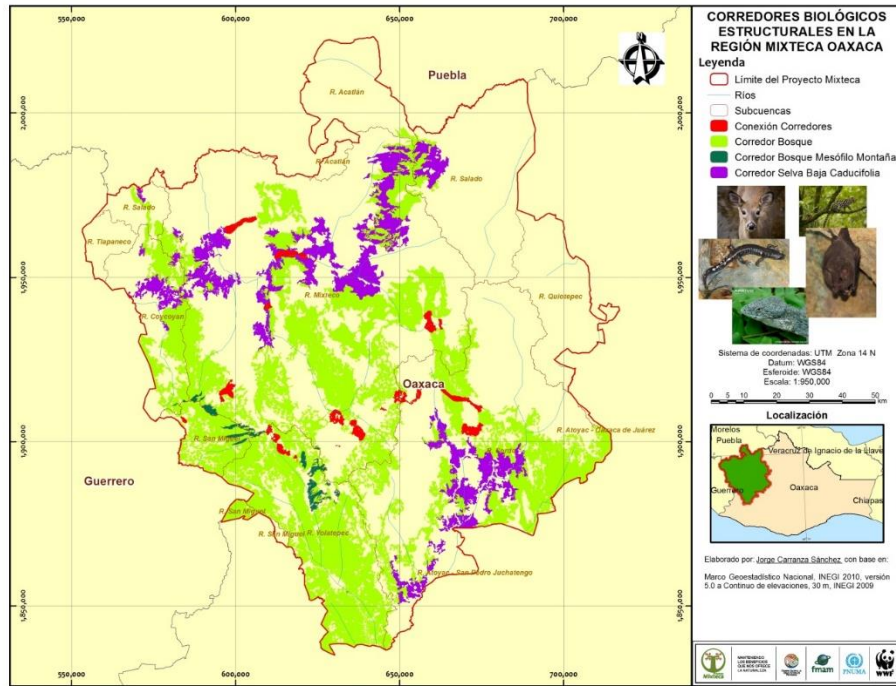


Figura 22. Principales ríos que se encuentran en la Región Mixteca Oaxaqueña.

Por último, en la región se encuentran cuatro grandes cuencas las cuales integran a su vez nueve subcuencas (Cuadro 9). Dentro de la propuesta de creación de los corredores biológicos hay dos subcuencas que abarcan gran parte de superficie propuesta, las cuales son la Subcuenca de R. Mixteco y la Subcuenca R. Sordo (Figura 23).

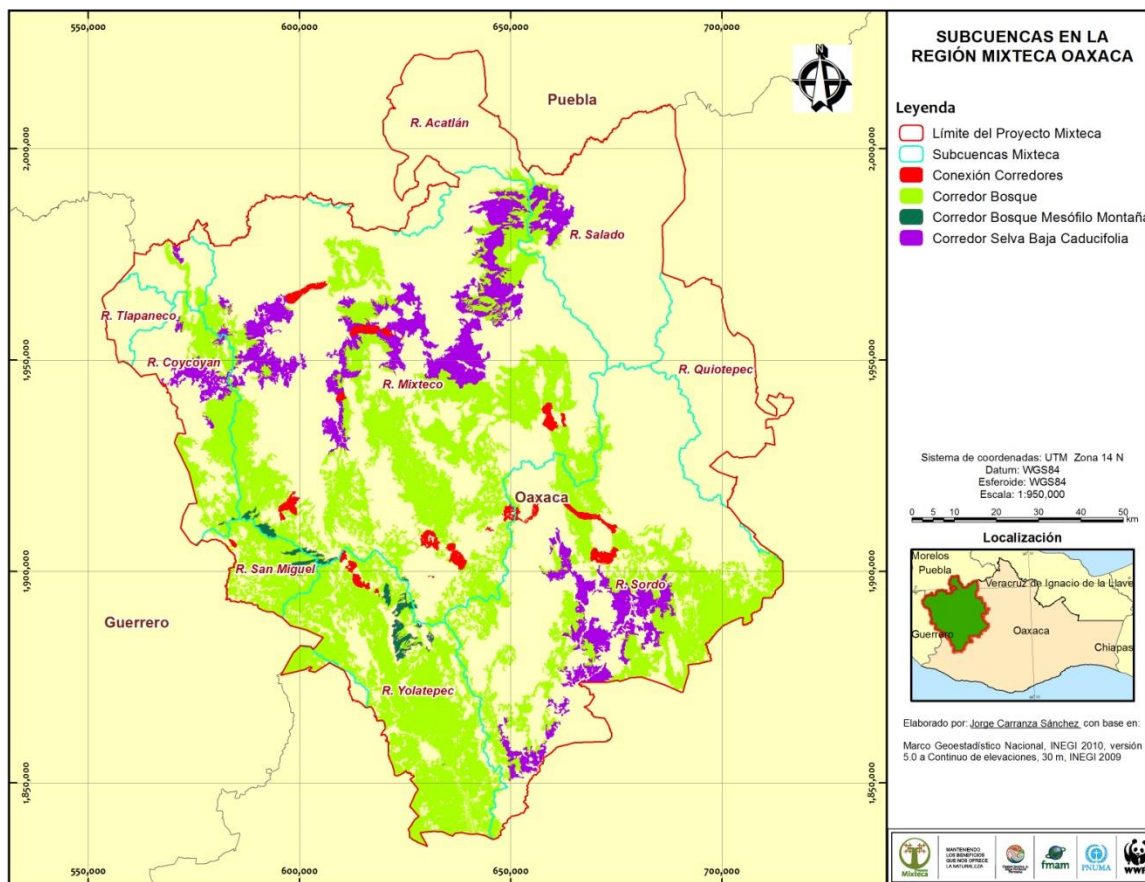


Figura 23. Subcuencas de la Región Mixteca Oaxaqueña.

Cuadro 9. Regiones Hidrológicas, cuencas y subcuencas en la Región Mixteca Oaxaca.

Región Hidrológica	CUENCA	SUBCUENCA
BALSAS	R. ATOYAC	R. Acatlán
BALSAS	R. ATOYAC	R. Mixteco
COSTA CHICA - RÍO VERDE	R. ATOYAC	R. Sordo
COSTA CHICA - RÍO VERDE	R. ATOYAC	R. Yolatepec
COSTA CHICA - RÍO VERDE	R. OMETEPEC O GRANDE	R. San Miguel
PAPALOAPAN	R. PAPALOAPAN	R. Quiotepec
PAPALOAPAN	R. PAPALOAPAN	R. Salado
BALSAS	R. TLAPANECO	R. Coycoyan
BALSAS	R. TLAPANECO	R. Salado
BALSAS	R. TLAPANECO	R. Tlapaneco

9. Discusión

El diseño de corredores es una de las estrategias que se están llevando a cabo para conservar

la conectividad en aquellos paisajes que están sufriendo un incremento en las actividades humanas. En el presente trabajo, se desarrolló una metodología que incluye diferentes técnicas complementadas con las herramientas de SIG integradas en el Módulo del *Corridor Design* (www.corridordesign.org), con la finalidad de poder determinar una serie de Corredores Biológicos para cinco grupos de fauna clave para la Región Mixteca en Oaxaca. Se empleó el *Corridor Design* ya que es un módulo compuesto con herramientas bastante amigables, en el cual paso a paso va indicando al usuario los insumos a ingresar al modelo. El modelo es aplicable para trabajar con una especie a la vez, pero su fortaleza consta en la serie de variables que combina para obtener los mejores resultados al proponer el diseño de la conexión entre parches.

En el diseño de esta propuesta se integraron métodos de estadística espacial y autocorrelación espacial, para evaluar la relación que existe entre los datos de presencia de fauna y los diferentes elementos del paisaje o covariables, para de esa manera determinar cuáles se relacionan con la presencia de la especie, asumiendo que forman parte clave dentro su historia de vida. La autocorrelación espacial, así como las estadísticas descriptivas sirvieron de gran apoyo para fortalecer la determinación de las ponderaciones generales así como la asignación de los rangos de análisis para cada una de las clases dentro de cada variable.

El módulo realiza un mapa de viabilidad de hábitat para la especie, construido a partir de valores de autocorrelación y las capas de las covariables, lo cual permite reconocer cuáles son las zonas que usa o que podría estar usando el grupo o especie en la región. Para todas las especies y grupos en cuestión se considera que la estimación de la disponibilidad del hábitat es la más cercana dependiendo de los requerimientos de la fauna seleccionada para esta propuesta.

Cada una de las especies y grupos de fauna seleccionadas tienen requerimientos bastante amplios y diferentes, por lo que de acuerdo a los modelos de corredor biológico generados para cada especie pueden compartir áreas o parches para conectar. Como se mencionó anteriormente, la generación de los mapas de parches para cada grupo de análisis muestran parches de gran tamaño que potencialmente son para el establecimiento y sobrevivencia de la población.

En la literatura se menciona que el tamaño del parche dentro de una matriz de hábitat, funciona como un predictor clave de la diversidad de especies. De acuerdo con la teoría de biogeografía de islas de MacArthur y Wilson en 1967¹⁰⁰, existe una relación directa entre el área de un parche y el número de especies presentes en él. Un parche de mayor tamaño también sostiene tamaños poblacionales mayores de cada especie, por lo que estas especies enfrentan un menor riesgo de extinción (Ditt 2002 en Muench, 2006¹⁰¹). Por lo tanto se tiene que un parche grande tiene mayores posibilidades de actuar como una fuente de individuos que estén poco a poco colonizando otros parches, por lo que un corredor conectado a dicho parche tendrá mayores probabilidades de ser utilizado y contribuirá más a la persistencia de la población regional. Entre mayor sea el área de los parches conectados por un corredor

¹⁰⁰ MacArthur, R. H. y E. O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

¹⁰¹ *Ídem* 39.

particular mayor será la contribución del corredor a la supervivencia de la biota regional, al mantener una red más grande de hábitat continuo, lo que es un objetivo deseable para la conservación de la diversidad biológica (Gurd *et al.* 2001 en Muench, 2006¹⁰²).

En lo que respecta a la creación de los corredores, las herramientas del *Corridor Desing* producen un mapa en el cual se muestran una serie de corredores con diferentes anchos, con lo cual se pueden visualizar y obtener varias rutas. El modelo elige las mejores condiciones pensando en los requerimientos de cada especie o grupo para trazar las rutas de conexión entre parches, lo anterior a través del análisis de costo-distancia. El análisis básicamente identifica las áreas con la resistencia o el costo más bajo para que la especie focal atraviese los bloques o parches de vegetación donde el costo o resistencia es una combinación ponderada de varios factores.

El método presenta sus limitaciones como todos los modelos desarrollados predictivos, ya que solamente se puede trabajar con una especie de fauna a la vez, se deben de tener un buen registro de las especies de estudio caso contrario la creación de los modelos será en base a los datos ingresados, entre más datos mejores resultados. En el caso del módulo de los mapas de parches y se puede llegar a sobreestimar la generación de los mapas de parches debido a la carencia de datos de tamaños de parches mínimo para el establecimiento poblacional o para actividades de reproducción. No de todas las especies o grupos de fauna existe este tipo de información por lo que es necesario que se tome en cuenta para correr el modelo en otras especies.

Sin embargo, pese a las limitaciones del modelo, se pueden tener aproximaciones acertadas a las condiciones de presencia, disponibilidad del hábitat de acuerdo a las condiciones actuales de las zonas de estudio, y modelar rutas alternas que podrían seguir las especies o grupos de análisis para atravesar los parches de vegetación. En este modelo se incluyeron las principales variables que se consideran elementos básicos para la sobrevivencia o el establecimiento de las especies tales como el alimento, protección –cubierta- y reproducción.

Es importante mencionar que conectar zonas de forma inadecuada incrementa el riesgo de exposición a depredadores, favorece la aparición y permanencia de especies invasoras y plagas y pueden conducir a un hábitat donde no se garanticen las condiciones suficientes para la supervivencia de las especies.

Los SIG se han convertido en una herramienta importante en el análisis espacial de las últimas décadas en los estudios para modelar fenómenos causados en la naturaleza ya sea de manera natural o por actividades humanas. El concepto de modelaje ha sido propuesto como una herramienta de planeación del paisaje para evitar los efectos negativos del aislamiento espacial causado por la fragmentación (Dixon, 2012¹⁰³).

Estos sistemas de análisis espacial ofrecen información considerable para los tomadores de decisiones, ya que actualmente son importantes herramientas de conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Los corredores biológicos se deben convertir en los

¹⁰² *Ídem* 39.

¹⁰³ *Ídem* 87.

instrumentos de gestión que promuevan y faciliten la coordinación entre las diferentes instituciones relacionadas con el medio ambiente para avanzar hacia el desarrollo sostenible y hacer efectiva la conectividad biológica entre los ecosistemas naturales (COBIORED, 2009 en Arias Montes, 2012¹⁰⁴).

¹⁰⁴ Arias, M. M. E. 2012. Los Corredores biológicos como instrumento de política ambiental para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible. Tesina para obtener el título de Bióloga. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

10. Conclusiones

- ✓ El método elaborado en este trabajo permite la identificación de corredores biológicos adaptados a las necesidades de una especie en particular, a partir de un mínimo de insumos cartográficos.
- ✓ Se propuso la creación de corredores biológicos para especies de la Región Mixteca del Género *Abronia*, de la Familia Felidae, los Murciélagos Nectarívoros, las Salamandras y el venado cola blanca *Odocoileus virginianus* a partir de información biológica básica de la especie focal, referente a sus preferencias de hábitat, requerimientos espaciales y hábitos de movimiento.
- ✓ Se contaron con pocos registros de fauna y en específico de las especies clave seleccionadas, las cuales básicamente estaban ubicadas cerca de las carreteras lo cual de entrada ya indicaba un sesgo en los análisis.
- ✓ Se usaron las herramientas proporcionadas por el Módulo *Corridor Design* el cual mostró tener fortalezas y debilidades en la generación de productos.
- ✓ La calidad y cantidad de los insumos para proporcionar al modelo son un factor clave en la generación de resultados.
- ✓ El empleo de técnicas de SIG para la propuesta de creación y diseño de corredores biológicos es considerada una herramienta útil por los tomadores de decisiones en los planes de conservación de diversas áreas en el mundo.
- ✓ Hay diferentes propuestas de conectividad: la estructural y funcional, la primera se refiere al diseño y estructura de la vegetación como tal y la funcional es a nivel ecosistema en el cual interactúan una serie de organismos de flora y fauna para mantener el sistema sano.
- ✓ Las especies del Género *Abronia*, de la Familia Felidae, los Murciélagos Nectarívoros, las especies de Salamandras y el venado cola blanca comparten tres tipos de vegetación de acuerdo al análisis de los Corredores Biológicos, los cuales fueron Bosques (Encino, Pino, Encino-Pino, Pino-Encino tanto primario como con vegetación secundaria), Selva (Selva Baja Caducifolia primaria y con vegetación secundaria) y Bosque Mesófilo de Montaña con vegetación secundaria.

11. Literatura Citada

Alves, F. P., D. Boscolo and B. F. Viana. 2013. What do we know about the effects of landscape changes of plant-pollinator interaction networks?. *Ecological Indicators* 31: 35-40.

Anderson, A. B. and C. J. Jenkins. 2006. *Applying Nature's Design. Corridors as a Strategy for Biodiversity Conservation*. Columbia University Press. 243pp.

Arellano, L. J. G. 2011. *Corredores biológicos y reconfiguración territorial en América Latina: los casos de Chichinautzin, México y San Juan-La Selva, Costa Rica*. Tesis para optar el título de Licenciada de Estudios Latinoamericanos. Colegio de Estudios Latinoamericanos, UNAM. México, D.F.

Arias, M. M. E. 2012. *Los Corredores biológicos como instrumento de política ambiental para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible*. Tesina para obtener el título de Bióloga. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Baum, K. A.; K. J. Haynes, F. P. Dilleuth and J. T. Cronin. 2004. The matrix enhances the effectiveness of corridors and stepping stones. *Ecology* 85: 2671-2676.

Beier, P. and R. F. Noss. 1998. Do habitat corridors provide connectivity?. *Conservation Biology* 12: 1241-1252.

Beier, P. D. Majka and J. Jenness. 2007. *Conceptual steps for designing wildlife corridors*. Arizona, USA. Disponible en:
<http://corridordesign.org/dl/docs/ConceptualStepsForDesigningCorridors.pdf>

Bennett, A. 2003. *Linkages in the landscape. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. IUCN Forest Conservation Programme. *Conserving Forest Ecosystems Series* No. 1.

Bennett, A. F. and D. A. Saunders. 2010. *Habitat fragmentation and landscape change*. Pp. 88-106. In Navjot S. Sodhi y Paul E. Ehrlich (Eds.). *Conservation Biology for all*. Oxford University Press. New York, USA.

Bocco, G., M. Mendoza y O. Maserá. 2001. *La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación*. *Boletín del Instituto de Geografía* 44: 18-38.

Boletín de Prensa. 2011. *Corredor Biológico Mesoamericano México, su nueva figura jurídica se integra al nuevo portal de la CONABIO*. CONABIO, No. 76. México D.F.

Bond, M. 2003. *Principles of Wildlife Corridor Design*. Report for Center for Biological

Diversity.

Casterline, M., E. Fregaus, E. Fujioka, L. Hagan, C. Mangiardi, M. Riley, H. Tiwari. Wildlife Corridor Design and Implementation in South Ventura County, California. Master of Environmental Science and Management.

CCAD-PNUD/GEF. 2002. Proyecto para la consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano: Una plataforma para el desarrollo sostenible regional. Serie técnica. Oficina Regional de Coordinación, Managua Nicaragua.

CONABIO. 2008. Capital Natural de México, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.

CONABIO. 2009a. Ampliación del Corredor Biológico Mesoamericano - México, en los estados de Tabasco, Oaxaca y Veracruz. Informe técnico interno. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. 2009b. Biodiversidad Mexicana. Reporte País: Riquezas Naturales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.

CONANP-GIZ. 2013. Programa de Adaptación al Cambio Climático-Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. México D.F.

Chagoya, V. 2011. Biodiversidad de fauna de la región mixteca. World Wildlife Fund México. México, D.F.

Convención Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna (CITES).
<http://www.cites.org>

Diario Oficial de la Federación (DOF). 1988. Decreto por el que se declara el área de protección de la Flora y Fauna silvestres, ubicada en los municipios de Huitzilac, Cuernavaca, Tepoztlán, Jiutepec, Tlalnepantla, Yautepec, Tlayacapan y Totolapan Morelos.

Dixon, A. 2012. Modeling Ecological Connectivity in a Protected Area network in Southeast Tanzania. A thesis presented to the Department of Humanities and Social Sciences in candidacy for degree of Master of Science. Northwest Missouri State University.

Eccardi, F. 2003. El Corredor Biológico Mesoamericano México. *Biodiversitas* 47:4-7.

Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

Estrada, A. and R. Coates-Estrada. 2002. Bats in continuous forest, forest fragments and in

an agricultural mosaic habitat island at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation* 103: 237-245.

Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34: 487-515.

Feria-Pérez, C. R. 2010. El paisaje de la mixteca: el espacio abierto en la vida cotidiana de Santa Cruz Nundaco, Oaxaca. Tesis que presenta para obtener el título de Arquitecto Paisajista. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arquitectura.

Fisher, J, J. Stott and B.S. Law. 2010. The disproportionate value of scattered trees. *Biological Conservation* 143: 1564-1567.

Gurrutxaga-San Vicente, M. y P. J. Lozano-Valencia. 2008. Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿Solucionan la problemática de la fragmentación de hábitats?. *Observatorio Medioambiental* 11:171-183.

Hilty, J. A., W. Z. Lidicker Jr. and A. Merenlender. 2006. *Corridor Ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation*. Island Press, USA.

Hoebee, S.E, U. Arnold, C. Düggelin, F. Gugerli, S. Brodbeck, P. Rotach and R. Holderegger 2007. Mating patterns and contemporary gene flow by pollen in a large continuous and a small isolated population of the scattered forest tree *Sorbus torminalis*. *Heredity* 99: 47-55.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión 5.0A.

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo de población y vivienda.

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

IUCN, Lista roja de Especies Amenazadas. <http://www.iucnredlist.org>

IUCN. 2011. Las áreas protegidas de América Latina, situación actual y perspectivas para el futuro. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, España.

Janzen, D. H. 1994. Priorities in tropical biology. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 365-367.

Krauss, J., R. Bommarco, M. Guardiola, R. K. Heikkinen, A. Helm, M. Kuussaari, R. Lindborg, E. Öckinger, M. Pärtel, J. Pino, J. Pöyry, K. M. Raatikainen, A. Sang, C. Stefanescu, T. Teder, M. Zobel and I. Steffan-Dewenter. 2010. Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels. *Ecology Letters* 13: 597-605.

- Lambeck, R. 1997. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology* 11: 849- 856.
- Lander, A. T, D.H. Boshier and S. A. Harris. 2010. Fragmented but not isolated: Contribution of single trees, small patches and long distance pollen flow to genetic connectivity for *Gomortega keule*, an endangered Chilean tree. *Biological Conservation* 143(11): 2583-2590.
- Law, B. S. and M. Lean. 1999. Common blossom bats (*Syconycteris australis*) as pollinators in fragmented Australian tropical rainforest. *Biological Conservation* 91: 201-212.
- Law, B. S., J. Anderson and M. Chidel. 1999. Bat communities in a fragmented forest landscape on the south-west slopes of New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 88: 333-345.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). 2014.. Última reforma publicada DOF el 16 de enero del 2014. Para consulta: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>
- McArthur, R. H. y E. O. Wilson. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Mas, J.F., V. Sorani, R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 5: 43-57. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Morgan, J. W. 1999. Effects of population size on seed production and germinability in an endangered, fragmented grassland plant. *Conservation Biology* 13: 266-273.
- Muench, S.C. E. 2006. Corredores de vegetación y conectividad de hábitat para el tapir (*Tapirus bairdii*) en la Selva Lacandona, Chiapas. Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT. 2010. Protección Ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. DOF 30/12/2010.
- Ocaña-Ocaña, C. y F. B. Galacho-Jiménez. 2002. Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio, al análisis de las capacidades del territorio en relación a las funciones turísticas. IV Congreso Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. TutiTec.
- Paz-Salinas, M.F. 2005. La participación en el manejo de áreas naturales protegidas. Actores e intereses en conflicto en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos. UNAM, Centro

Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Morelos, México.

PNUMA. 2005. Grupo de países megadiversos afines. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Para consulta:

<http://www.pnuma.org/deramb/GroupofLikeMindedMegadiverseCountries.php>

Rathcke, B. J., and E. S. Jules. 1993. Habitat fragmentation and plant pollinator interactions. *Current Science* 65: 273-277.

Rosenberg, D. K., B. R. Noon and E. C. Meslow. 1997. Biological corridors: form, function and efficacy. *BioScience* 47: 677-687.

Santos, T. y J. L. Tellería. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas* 2:3-12.

Saunders, D. A., R. J. Hobbs and C. R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A Review. *Conservation Biology* 5: 18-32.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo de 2002, 1-56.

Steffan-Dwenter, I. y T. Tschardt. 1999. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia*, 121: 432-440.

Stoner, K. E, J. A. Lobo, M. Quesada, E. J. Fuchs, Y. Herreras-Diego, M. A. Munguía-Rosas, K. A. Ocegüera-Salazar, C. Palacios-Guevara y V. Rosas-Guerrero. 2008. Efecto de la perturbación del bosque en la tasa de visita de murciélagos polinizadores y sus consecuencias en el éxito reproductivo y el sistema de apareamiento en árboles de la familia Bombacaceae. Pp. 351-372. En: Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Celia A. Harvey y Joel C. Sáenz (Eds.). Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica.

Trejo, I. and R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological and Conservation* 94: 133-142.

Young, A., T. Boyle and T. Brown. 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 413-418.

Zuidema, P. A., J. A. Sawyer and W. Dijkman. 1996. Forest fragmentation and biodiversity: the case for intermediate-sized conservation areas. *Environmental Conservation* 23: 290-297.

Anexo I. Literatura consultada para la ponderación de variables utilizadas en el modelo Corridor Design.

ESPECIE/GRUPO	ALTITUDES (msnm)	TIPOS DE VEGETACIÓN QUE PREFIEREN	OBSERVACIONES	Literatura citada
ABRONIA				
<i>Abronia mixteca</i>	2200-2640	SBC, BMM, BP, Past., Zonas agrícolas	Busca bromelias de BE. HABITA EN CLIMAS TEMPLADOS HUMEDOS	Martín-Regalado et al. 2012 Maciel-Mata, C. 2013 Ficha técnica <i>Abronia mixteca</i> Ruiz, et al. 2012
	2420	BE		
	2134-2400	BE, BPE	DISTRIBUCIÓN LIMITADA. BUSCAN BROMELIAS Y MUSGOS DE BE	
	2134-2400	BPE		
	2570-2640			
<i>Abronia oaxacae</i>	2100-3170	BMM, BP, BPE, Zonas agrícolas	Busca bromelias de BPE, BP	
	2100-2700	BPE	AMBAS ESPECIES DE ABRONIA SE ENCUENTRAN LIMITADAS AL BPE	
ESPECIE/GRUPO	ALTITUDES (msnm)	TIPOS DE VEGETACIÓN QUE PREFIEREN	OBSERVACIONES	Literatura citada
FELINOS				
<i>Puma concolor</i>		Bosques de Coníferas (BP, BPE), BE	LOS BP PRINCIPALMENTE SE DAN A ALTITUDES DE 1500-3000msnm	Salazar-Gómez, 2008 Zarza-Villanueva, H. 2006, Ficha técnica <i>Heipailurus yagouarondi</i> , 2006 Zarza-Villanueva, H. 2006. Ficha técnica <i>Leopardus pardalis</i> Zarza-Villanueva, H. 2006. Ficha técnica <i>Leopardus wiedii</i> Aranda, 2002 Zarza-Villanueva, H. 2006. Ficha técnica de <i>Panthera onca</i>
	0-4000	Todos los hábitats	Usa zonas cercanas a cuerpos de agua. Es raro encontrarlo en zonas de selva húmeda. Los pumas usan fragmentos conservados.	
	2300-2900 rara vez reportados arriba de los 3300	Bosques de Coníferas (BP, BPE), Selva tropical, matorral		
	0-5000	BP, Selvas tropicales		
	0-5800	Bosques de coníferas, selva tropical, zonas de matorral		
	2385-2525		Reportado en Oaxaca	
<i>Heipailurus yagouarondi</i>		Regiones tropicales Bosque tropical perennifolio, subcaducifolio, caducifolio, manglares,		
	0-3200	Matorral Xerófilo, Btsubcacufolio, Btperennifolio, BTC, BMM, Bosque tropical espinoso, bordes de Bosques tropicales húmedos	Presenta una preferencia a los ambientes con una densa cobertura arbustiva y arbórea	
		Bosque tropical espinoso, bosque de niebla (BMM)	Puede vivir en espacios abiertos, es raro que habite en lugares fríos, es más común que habite en zonas tropicales	
		Manglar, BMM, Matorral Xerófilo. Btperennifolio, subcaducifolio y caducifolio	Es adaptable para vivir en áreas transformadas	
		Abundante en zonas tropicales	No penetra selvas pero suele habitar las orillas donde se encuentran estas	
<i>Leopardus pardalis</i>		Regiones tropicales Bosque tropical		

(ocelote)		perennifolio, subcaducifolio, caducifolio, manglares,		
	0-1200	Btsubcaducifolio, Btperennifolio, Btcaducifolio, BMM, Bosques tropicales húmedos, Bosques deciduos, Bosques de galería	Prefiere vegetación densa y abundante como los bosques de galería. Aunque también se adapta a ambientes con VS pero que tengan cobertura densa.	
		Selva tropical, BTC, BMM, BE, Btperennifolio, subcaducifolio, caducifolio y manglares. También habita en BMM, Bepinoso, Matorral Xerófilo	Principalmente habita ambientes tropicales y subtropicales; en parches de esta vegetación	
<i>L. wiedii</i> (tigrillo)		Regiones tropicales Bosque tropical perennifolio, subcaducifolio, caducifolio, manglares	Está fuertemente asociado a bosques primarios	
	0-2000	Bosque tropical perennifolio, caducifolio, Btsubcaducifolio, Btperennifolio, BTC, BMM		
		Btperennifolio, subperennifolio, caducifolio, manglar, BMM	Menos tolerante a hábitas alterados que el ocelote. Tiene una gama de habitat más restringido ya que vive asociado únicamente a coberturas nativas. Aunque también puede encontrarse en zonas de vegetación secundaria.	
	2740			
<i>Lynx rufus</i>		Zonas templadas: BP, BE, Bosque Oyamel (Abies religiosa; Este tipo de bosque se desarrolla a altitudes de 2500-3500); Matorral Xerófilo		
	0-3600	BP, BE, BPE, SBC		
		BP, BPE, Oyamel, Encino, Matorral Xerófilo	No hay registro de ésta especie en zonas tropicales.	
	0-3657 0-4000	Bosque de coníferas, bosques caducifolios		
ESPECIE/GRUPO	ALTITUDES (msnm)	TIPOS DE VEGETACIÓN QUE PREFIEREN	OBSERVACIONES	Literatura citada
MURCIÉLAGOS NECTARÍVOROS				
<i>Anoura geoffroyi</i>	400-2500	Btperennifolio, Btropical		García-López, J.M. 1999 García-Grajales y Buenrostro Silva, 2012 Gómez-Nísino, 2006. Ficha técnica Leptonycteris curasoae. Gómez-Nísino, 2006. Ficha técnica Leptonycteris nivalis.
	1200-2600			
	1335-2735	BP, BPE, Chaparral, SBC		
	1335-2735	BP, BPE, BE, SBC, Chaparral		
<i>Choeronycteris mexicana</i>	1240	BTC, Selva alta o mediana subperennifolia o subcaducifolia, BP, BE		
	500	Matorral Xerófilo, BTC, Bosque espinoso, Bosque de coníferas, BPE		

	300-2400			Palacios-Romo, 2011
	1800-2195	BEP, Chaparral		
<i>Glossophaga comissarisi</i>	Menos de 2000	Hábitats tropicales, subtropicales. Bosque espinoso, BPE		
<i>G. leachii</i>	0-2380 o a 1800	BTC, BP		
	2120	BEP		
<i>G. soricina</i>	0-2600	SBC, Smsubducifolias, matorrales espinosos, cardones y tetecheras.		
	1800	Chaparral		
<i>Leptoncyteris curasoeae</i>	Menos de 1800	BTC y subtropicales secos. Matorrales xerófilos		
	0-2600. Menos 800msnm	Matorral desértico, chaparral, SBC, BPE, Bepinoso, BTC, BMM		
	1800	Chaparral		
<i>L. nivalis</i>	1000-2200 hasta 3500	Zona transición de BTC y BPE. Matorrales xerófilos	Puede llegar a atravesar zonas frías	
		Zonas templadas a tropicales. Áreas de transición de BPE y BTC; también en la zona de transición de BPE y de coníferas en las zonas con BTC.		
	1000-2200 700-3780	Chaparral, BTC, Bosque coníferas, BPE		
ESPECIE/GRUPO	ALTITUDES (msnm)	TIPOS DE VEGETACIÓN QUE PREFIEREN	OBSERVACIONES	Literatura citada
SALAMANDRAS				
<i>Pseudoeurycea</i>	Más de 1200, 1700, 2000	BPE	GENERALMENTE ENCONTRADOS DE 1500 A 2900 Y EN BE, BPE	Canseco-Martínez, 2003 Casas-Andreu et al. 1996 Pérez-Ramos y Saldaña de la Riva, 2003
<i>P. belli</i>	1700	BMM, Bosque coníferas, BE, Matorral Xerófilo		
	600-3300	Bosque coníferas, BE, BP		
	1700-2600	BP, BPE		
	2500-3000			
<i>P. cephalica</i>	1560-5500	Bosque coníferas, BE, BP		
<i>Bolitoglossa riletii</i>	500-1500			
	700-1030			
	500-1500			
	1000			
<i>Thorius sp.</i>	1140-3450	BPE		
	1500-2500	BPE		
	2600-2800			
VENADO				
<i>Odocoileus virginianus</i>	2700-3200	Bosque de Coníferas	Pendientes de 15-20 grados	Flores-Armillas et al. 2013 Piña-Covarrubias, 2010
	2600-2800	BPE	Pendientes de 15-31 grados	
	2200-2300			

2400	BEP	Pendientes de 25 grados
2200-3200	BP	Pendientes de 7.56 a 30.24%; 38 a 44°

Anexo II. Municipios que integran cada uno de los Corredores Estructurales propuestos en la Región Mixteca.

Corredor Estructural	Municipios (MGN INEGI, 2010)	No. de municipios
Bosque	Asunción Cuyotepeji, Asunción Nochixtlán, Calihualá, Chalcatongo de Hidalgo, Coicoyán de las Flores, Concepción Buenavista, Constanza del Rosario, Guadalupe de Ramírez, Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Heroica Ciudad de Tlaxiaco, Magdalena Jaltepec, Magdalena Peñasco, Magdalena Yodocono de Porfirio Díaz, Mariscala de Juárez, Putla Villa de Guerrero, San Agustín Atenango, San Agustín Tlacotepec, San Andrés Cabecera Nueva, San Andrés Dinicuiti, San Andrés Lagunas, San Andrés Nuxiño, San Antonino Monte Verde, San Antonio Sinicahua, San Bartolo Soyaltepec, San Bartolomé Yucuañe, San Cristóbal Amoltepec, San Esteban Atlatlahuca, San Francisco Teopan, San Francisco Tlapancingo, San Jerónimo Silacayoapilla, San Juan Achiutla, San Juan Bautista Suchitepec, San Juan Bautista Tlachichilco, San Juan Cieneguilla, San Juan Diuxi, San Juan Ihualtepec, San Juan Mixtepec -Dto. 08 -, San Juan Numí, San Juan Tamazola, San Juan Teita, San Juan Teposcolula, San Lorenzo Victoria, San Marcos Arteaga, San Martín Huamelúlpam, San Martín Itunyoso, San Martín Peras, San Mateo Peñasco, San Mateo Sindihui, San Miguel Achiutla, San Miguel Ahuehuetitlán, San Miguel Amatitlán, San Miguel el Grande, San Miguel Piedras, San Miguel Tlacotepec, San Pablo Tijaltepec, San Pedro Mártir Yucuxaco, San Pedro Nopala, San Pedro Teozacoalco, San Pedro Tidaá, San Pedro Topiltepec, San Pedro y San Pablo Teposcolula, San Pedro Yucunama, San Sebastián Nicananduta, San Sebastián Tecomaxtlahuaca, San Simón Zahuatlán, San Vicente Nuñú, Santa Catarina Tayata, Santa Catarina Yosonotú, Santa Catarina Zapoquila, Santa Cruz de Bravo, Santa Cruz Itundujia, Santa Cruz Nundaco, Santa Cruz Tacahua, Santa Cruz Tayata, Santa Lucía Monteverde, Santa María Camotlán, Santa María del Rosario, Santa María Nduayaco, Santa María Tataltepec, Santa María Yolotepec, Santa María Yosoyúa, Santa María Yucuhiti, Santiago Ayuquillilla, Santiago del Río, Santiago Huajolotitlán, Santiago Ihuitlán Plumas, Santiago Ihuitlán Plumas, Santiago Juxtlahuaca, Santiago Nejapilla, Santiago Nundiche, Santiago Nuyoó, Santiago	110

	Tamazola, Santiago Tilantongo, Santiago Yolomécatl, Santiago Yosondúa, Santiago Yucuyachi, Santo Domingo Ixcatlán, Santo Domingo Nuxaá, Santo Domingo Tonalá, Santo Domingo Yanhuitlán, Santo Tomás Ocotepec, Santos Reyes Tepejillo, Santos Reyes Yucuná, Silacayoápam, Tezoatlán de Segura y Luna, Tlacotepec Plumas, Villa de Chilapa de Díaz, Villa de Tamazulápam del Progreso, Villa Tejúpam de la Unión, Yutanduchi de Guerrero, Zapotitlán Lagunas.	
Bosque Mesófilo de Montaña	Coicoyán de las Flores, Putla Villa de Guerrero, San Martín Peras, San Sebastián Tecomaxtlahuaca, Santa Cruz Itundujia, Santa María Yucuhiti, Santiago Juxtlahuaca, Santiago Nuyoó, Santo Tomás Ocotepec.	9
Selva Baja Caducifolia	Asunción Cuyotepeji, Calihualá, Chalcatongo de Hidalgo, Concepción Buenavista, Guadalupe de Ramírez, Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Ixpantepec Nieves, Magdalena Jaltepec, Magdalena Peñasco, Mariscala de Juárez, San Agustín Atenango, San Agustín Tlacotepec, San Andrés Dinicuiti, San Bartolomé Yucuañe, San Francisco Teopan, San Francisco Tlapancingo, San Jerónimo Silacayoapilla, San Jorge Nuchita, San Juan Bautista Suchitepec, San Juan Bautista Tlachichilco, San Juan Cieneguilla, San Juan Tamazola, San Juan Teita, San Lorenzo Victoria, San Marcos Arteaga, San Mateo Peñasco, San Mateo Sindihui, San Miguel Ahuehuetitlán, San Miguel Tlacotepec, San Nicolás Hidalgo, San Pablo Tijaltepec, San Pedro Nopala, San Pedro Teozacoalco, Santa Catarina Zapocuila, Santa Cruz de Bravo, Santa Cruz Itundujia, Santa Cruz Tacahua, Santa María Camotlán, Santa María Tataltepec, Santa María Yolotepec, Santiago Cacaloxtepec, Santiago Huajolotitlán, Santiago Ihuitlán Plumas, Santiago Tamazola, Santiago Tilantongo, Santiago Yosondúa, Santiago Yucuyachi, Santo Domingo Ixcatlán, Santo Domingo Tonalá, Santo Domingo Yodohino, Santos Reyes Tepejillo, Santos Reyes Yucuná, Silacayoápam, Teotongo, Tezoatlán de Segura y Luna, Tlacotepec Plumas, Villa de Chilapa de Díaz, Villa de Tamazulápam del Progreso, Yutanduchi de Guerrero, Zapotitlán Lagunas.	60

ANEXO VIII.

Informe de final que integre las propuestas

Elaborar una propuesta para un sistema de soporte para la toma de decisiones con modelado de escenarios de servicios ecosistémicos clave para el Proyecto GEF-Mixteca.

Elaboración:

Jorge Carranza Sánchez
Wenceslao Rivero Vértiz
Maritza Valle Villanueva

Contenido.

Contenido.	ii
Índice de figuras	iii
Índice de tablas	iii
Acrónimos y siglas.....	iv
Resumen Ejecutivo	1
1. Introducción.....	4
2. Justificación.....	8
3. Alcance y limitaciones del sistema.....	9
4. Marco Teórico.....	10
4.1. Soporte a las decisiones	10
4.2. Evaluación de los SIG en la web como herramienta SSD	12
4.3. Análisis de las herramientas de Sistemas de Soporte a las decisiones (SSD)	13
5. Objetivo General.....	18
5.1. Objetivo específico	18
6. Área de estudio.....	18
7. Método.....	20
7.1. Pasos del método	20
7.2. Análisis de los usuarios de las herramientas	20
7.3. Taller de SSD	22
8. Propuesta de herramienta de SSD para el Proyecto GEF-Mixteca.....	24
8.1. Ámbito y objetivo del sistema	24
8.2. Funcionalidad y capacidades del sistema	24
8.3. Implementación modular y por incrementos	26
8.3.1. Implementación modular	26
8.3.2. Implementación por incrementos	33
8.4. Arquitectura hardware-software adecuada a los requerimientos del sistema	35
8.5. Interfaz de usuario amigable, fácil de usar por todo tipo de usuarios del sistema	37
8.6. Subsistema de administración de base de datos	39
8.7. Subsistema de interacción con otros sistemas ya existentes	42
8.8. Ayuda en línea para los usuarios del sistema	43
9. Conclusiones.....	45
10. Literatura Citada.....	46
Anexo 1. RUP (Rational Unified Process).....	48
Anexo 2. Encuesta de usuarios.....	58
Glosario.....	75

Índice de figuras.

Figura 1. Proceso de toma de decisiones	11
Figura 2. Patrón MVC (Model-View-Controller).....	14
Figura 3. Componentes de los SSD.....	16
Figura 4. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca	19
Figura 5. Diagrama de componentes funcionales	25
Figura 6. Diagrama general de funcionalidad del sistema	26
Figura 7. Componente funcional de aprovisionamiento.....	27
Figura 8. Componente funcional de servicios esenciales	28
Figura 9. Función de Retención de suelo	29
Figura 10. Función de Captura de carbono	31
Figura 11. Esquema Cliente Servidor del Sistema de Soporte a las Decisiones	34
Figura 12. Interfaz de usuario por S.E.....	37
Figura 13. Vista sugerida para la consulta general.....	38
Figura 14. Vista sugerida para la consulta inteligente	38
Figura 15. Vista sugerida para la consulta histórica	39
Figura 16. Acceso restringido a base de datos.....	41
Figura 17. Interfaz con acceso al mantenimiento del sistema	42
Figura 18. Interacción con otros sistemas.....	43
Figura 19. Ayuda en ventanas flotantes	44
Figura 20. Ayuda en línea	44
Figura 21. Disciplinas, fases e iteraciones del RUP.....	49
Figura 22. Los casos de uso integran el trabajo	50
Figura 23. Una iteración RUP	50
Figura 24. Ciclo de vida.....	51
Figura 25. Fases del RUP	52
Figura 26. Recursos utilizados en las fases del RUP en el tiempo	54
Figura 27. Ciclo evolutivo en la elaboración de software basado en el RUP	54

Índice de tablas.

Tabla 1. Comparación entre MapServer, GeoServer y ArcServer	36
Tabla 2. Esfuerzo-horario en las fases del RUP	53

Acrónimos y siglas.

AI.- Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial).

API.- Application Programming Interface (Interfaz de Programa de Aplicación).

CIT.- Carnegie Institute of Technology (Instituto de Tecnología de Carnegie)

DBMS.- Database Management System (Sistema Manejador de Bases de Datos).

DSS.- Decisión Support System(Sistema de Soporte a las Decisiones).

EJB.- Enterprise Java Beans (Java Beans para Empresas)

ETL.- Extraction Transformation and Load (Extracción, Transformación y Carga).

GUI.- Graphical User Interface (Interfaz Gráfica de Usuario).

GIS.- Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica).

GML.- Geography Markup Language (Lenguaje de Mercado de Geografía).

KML.- Keyhole Markup Language (Lenguaje de Mercado de Keyhole®).

MIT.- Massachusetts Institute of Technology (Instituto Politécnico de Massachusetts)

OLAP.- Online Analytical Processing (Procesamiento Analítico en Línea).

OSS.- Open Source Software (Software de Código Abierto).

RUP.- Rational Unified Process (Proceso Unificado de Rational).

SIG.- Sistema de Información Geográfica.

SSD.- Sistema de Soporte a las Decisiones.

UML.- Unified Modeling Language (Lenguaje de Modelado Unificado).

WFS.- Web Featured Service (Servicio de Red de Características geográficas).

WMS.- Web Map Service (Servicio Servidor de Mapas).

Resumen Ejecutivo.

Este documento tiene por objeto proponer una solución software inicial de un Sistema de Soporte a las Decisiones a la medida en el ámbito de los servicios ecosistémicos para el Proyecto GEF-Mixteca, en función de los datos preliminares recolectados por parte de los usuarios potenciales del mismo. El documento integra las tareas desarrolladas mencionadas en el calendario de actividades:

-Análisis de las herramientas de Sistemas de Soporte a las Decisiones (SSD). Comprende el proceso de toma de decisiones y su subdivisión en distintas etapas: inteligencia, diseño, elección e implementación. Por otra parte las decisiones se pueden clasificar en tres tipos, la cuales son estructuradas, semi-estructuradas y no estructuradas. Los sistemas de soporte a las decisiones se definen como sistemas interactivos complejos basados en computadoras destinados a ayudar a quienes toman las decisiones utilizando datos y modelos con el objeto de identificar, resolver problemas y ayudar a quienes toman decisiones. Sus características principales son: que incorporan datos y modelos basados en inteligencia artificial, tecnologías de las telecomunicaciones y redes de cómputo; están diseñados para ayudar a quienes toman decisiones en el proceso de toma de decisiones semi-estructuradas y no estructuradas; proporcionan criterios de dirección, son un apoyo y no un reemplazo de quienes toman decisiones. La arquitectura de un sistema de soporte a las decisiones está compuesta generalmente por cuatro grandes componentes principales: subsistema de administración de datos, subsistema de administración de modelos, subsistema de interfaz de usuario, y subsistema de administración de base de conocimiento.

-Evaluación de los SIG en la web como herramienta SSD. Un sistema de información geográfica requiere de una plataforma software para mostrar los mapas vectoriales junto con información geoespacial y tabular, y existen varias de estas plataformas disponibles, algunas de ellas son marca registrada y es necesario pagar una licencia anual por su uso y otras son software de código abierto (OSS), por las cuales no se requiere pagar una licencia y además se tiene acceso al código fuente para hacer contribuciones, ya que el autor otorga el derecho a hacerlo. En este documento se presenta una evaluación de algunas plataformas SIG. Las diferencias más significativas que se produjeron entre GeoServer, MapServer y ArcServer y su resultado es que las plataformas de código abierto GeoServer y MapServer son más rápidas que ArcServer por el tamaño de archivos que manejan. Otra alternativa a considerar es Google Maps Engine, que ofrece información a gran escala muy detallada, además de la disponibilidad de toda la gran base de datos que Google ha recabado de todo el mundo, entre ellos los datos del INEGI en México, y otros beneficios, pero la licencia tiene un alto costo, este inconveniente se ha salvado, pues se ha logrado que mediante programación se pueda tener acceso a estas herramientas sin necesidad de tener que pagar la costosa licencia que da acceso a esta plataforma y a sus aplicaciones.

-Análisis de los usuarios de las herramientas. De acuerdo a los resultados de la encuesta efectuada a los usuarios potenciales del sistema de soporte a las decisiones del Proyecto

GEF-Mixteca (Anexo 2), se identificó que los servicios ecosistémicos prioritarios para 30 funcionarios que ocupan puestos de responsabilidad en la administración pública estatal o federal son agua limpia y suficiente, control de la erosión, alimentos derivados de la agricultura y los alimentos derivados de la ganadería en ese orden de prioridad, y señala a los servicios ecosistémicos menos importantes como resina y forraje.

-Propuesta de herramienta de SSD para el Proyecto GEF-Mixteca:

En base a los 11 servicios ecosistémicos identificados para la región que abarca el Proyecto GEF-Mixteca, se han modelado los componentes funcionales del sistema con sus servicios ecosistémicos y cada uno se representa en un caso de uso en lenguaje UML. Se propone una división del sistema en componentes y subsistemas de propósito específico con un enfoque modular y por incrementos, una interfaz de usuario amigable con ayuda en línea que dé acceso a los diferentes subsistemas en los que se propone dividir el sistema: subsistema de componentes ecosistémicos, en donde se incluye la funcionalidad principal del sistema por servicio ecosistémico, con una interfaz al servidor de mapas y otra al manejador de base de datos del proyecto; subsistema de interacción con otros sistemas ya existentes, subsistema de administración de base de datos que permita introducir los datos formateados a la base de datos antes de usar el sistema por primera vez, y este mismo subsistema serviría para dar mantenimiento a la base de datos; y se sugiere la plataforma hardware-software que se podría utilizar para ponerlo en funcionamiento.

El desarrollo del sistema sería por incrementos, pues se iniciaría con un sistema núcleo que incluya poca funcionalidad (que sería detallada conjuntamente entre los interesados en el sistema, los expertos en esa área de servicios ecosistémicos y los diseñadores del sistema hasta lograr un consenso), se liberaría para prueba beta y retroalimentación, y posteriormente se continuaría añadiendo más funcionalidad de manera iterativa, se liberaría para prueba beta y se recibiría nueva retroalimentación, y así sucesivamente; de modo que en cada incremento la complejidad y la inteligencia del sistema crecería.

El sistema de soporte a las decisiones podría operar en una plataforma server Linux-Windows, con manejador para base de datos Postgre SQL, o MySQL u otro DBMS dependiendo de las necesidades; que cuente con ambientes software JSP (Java Servlet Pages) y EJB (Enterprise Java Beans); con ambientes para lenguajes de programación Java, JavaScript y Php.

Un SSD es un sistema muy complejo que exige involucrar a un equipo interdisciplinario de expertos, tanto en el área de los servicios ecosistémicos y el medio ambiente como en el área de las tecnologías de la información para su desarrollo. No se trata de un trabajo trivial, tan sólo la fase inicial de toma de requerimientos de este tipo de sistemas complejos demanda meses de trabajo, mientras que el tiempo para su diseño, implementación y liberación requiere mucho más. Más siempre es posible realizarlo, si se cuenta con los recursos materiales, financieros y humanos para ello.

1. Introducción.

Varios factores afectan de manera negativa la calidad del ambiente, factores como el incremento en el ritmo de la industrialización y urbanización debido al crecimiento acelerado de las poblaciones humanas, que afectan la vida de las especies animales, vegetales y del mismo ser humano. Siempre que se intenta abordar estas cuestiones ambientales y analizar los conflictos resultantes entre intereses económicos, ecológicos, tecnológicos y sociales se enfrentan problemas verdaderamente complejos, ya que los sistemas ambientales son estocásticos, dependientes del tiempo y del espacio y también comprenden interacciones entre diversos procesos biológicos, químicos, físicos, culturales y sociales. Estos procesos pueden no conocerse en su totalidad o bien ser difíciles de representar, lo que causa una gran incertidumbre.

En general se indica que las cuestiones ambientales se deben considerar en términos de sistemas complejos en los que se debe tomar decisiones constantemente. La capacidad de tomar decisiones de calidad en cualquier organización a menudo se basa no sólo en tener una buena información, sino también en ser capaces de utilizar esa información de manera eficaz. Para ayudar a las personas a mejorar la forma en la que toman decisiones, los investigadores en el área de las decisiones emplean una gran variedad de técnicas para apoyar la toma de decisiones humana, que van desde la intuición estadística hasta el análisis cuantitativo de decisiones. Un sistema de apoyo a las decisiones con programas informáticos puede mejorar las habilidades humanas para la resolución de problemas. Es necesario hacer la diferencia entre toma de decisiones por máquinas y la toma de decisiones humana y asociar a los sistemas informáticos de soporte a las decisiones únicamente con la toma de decisiones humana, ya que las máquinas que toman decisiones, tales como circuitos de conmutación, programas de computadora, sistemas autónomos, agentes software, robots, sondas espaciales, etc. en realidad, toman decisiones rutinarias, para monitorear y controlar procesos, y específicamente producen sus resultados en base a la lógica programada en ellos por ser humano.

El soporte a las decisiones es parte del proceso de toma de decisiones. Una decisión se define como la elección de una entre un número de alternativas, y una toma de decisión se refiere a todo el proceso de tomar la decisión, que incluye: evaluar el problema, recopilar y verificar la información, identificar alternativas, anticipar las consecuencias de las decisiones, hacer la elección usando el juicio lógico basada en la información disponible, informar a los demás de la decisión y la base lógica que se haya usado y, evaluar las decisiones. Estas actividades únicamente pueden hacerse mediante la intervención humana.

Los sistemas de soporte a las decisiones (SSD), conocidos también por sus siglas en inglés DSS (Decision Support Systems), son sistemas informáticos que procesan datos con el fin de proporcionar información y soporte al usuario para la toma de decisiones oportunas. Los SSD tienen como objetivo proporcionar la mayor cantidad de información relevante en el menor tiempo posible, con el fin de permitirle al usuario evaluar alternativas para tomar decisiones adecuadas. En la práctica los SSD realizan una función de apoyo, esto implica ayudar a las personas que trabajan solas o en grupo a reunir inteligencia, generar alternativas, efectuar

evaluaciones cuantitativas y comparar alternativas para guiar al usuario hacia la toma de decisiones.

El término "soporte a las decisiones" se usa a menudo en una gran variedad de contextos relacionados a la toma de decisiones. Por ejemplo se menciona en conexión con los grandes depósitos de datos y procesamiento analítico de datos en línea (OLAP por sus siglas en inglés). Otra tendencia es asociar "soporte a las decisiones" con la minería de datos ("Data Mining"), y hay sistemas que explotan estos dos enfoques de manera complementaria para dar soporte a la solución de problemas difíciles en la vida real.

Según Keen (1978)¹, el concepto de apoyo a las decisiones ha evolucionado a partir de dos áreas principales de investigación: los estudios teóricos de la toma de decisiones organizacionales realizado en el CIT(Instituto Carnegie de Tecnología) durante los años 1950 y 1960, y del trabajo técnico en los sistemas informáticos interactivos, principalmente llevado a cabo en el MIT(Instituto Tecnológico de Massachusetts) en la década de 1960.

Los SSD en la década de 1970 fueron descritos como "sistemas basados en computadora para ayudar a la toma de decisiones". A finales de 1970 el movimiento de SSD comenzó a concentrarse en "sistemas interactivos basados en computadoras que ayudan a quienes toman decisiones a utilizar las bases de datos y modelos para resolver problemas mal estructurados". En la década de 1980 los SSD debían proporcionar las herramientas de "usar la tecnología adecuada y disponible para mejorar la eficacia de las actividades empresariales y profesionales", y a finales de esta década, los SSD se enfrentaron a un nuevo reto para el diseño de estaciones de trabajo inteligentes (Henket *al.*1987)². A medida que el cambio de milenio se acercaba, se introdujeron las nuevas aplicaciones analíticas basadas en internet. Y con el advenimiento de las tecnologías de la información, cada vez mejores, los SSD comenzaron a emerger como un componente crítico de la gestión del diseño.

Usando el criterio de la relación con el usuario, Haettenschwiler (1999)³ distingue a los SSD como pasivo, activo, y cooperativo. El **pasivo** modela y presentan los datos, sin intervenir en el proceso de toma de decisiones, no puede publicar sugerencias de decisión explícitas o soluciones. El **activo** lleva el proceso un paso más allá y sugiere o recomienda alternativas de decisión basadas en la información que se le suministra, y publica tales sugerencias de decisión o soluciones. Mientras que un SSD **cooperativo** le permite a quien toma las decisiones modificar, completar, o refinar las sugerencias de decisión proporcionadas por el sistema, antes de incorporarlas al sistema para su validación. El sistema una vez más mejora, completa, y refina las sugerencias de la persona que toma las decisiones y se las regresa para su validación. Entonces el proceso completo comienza otra vez, hasta que una solución consolidada sea generada.

Un sistema de soporte a las decisiones ha sido una de las herramientas más emblemáticas en el área de "Inteligencia empresarial" ya que, entre otras propiedades, permiten resolver gran

¹Keen, P. G. W. (1978). *Decision support systems: an organizational perspective*. Reading, Mass., Addison-Wesley Pub. Co. ISBN 0-201-03667-3

²Henk G. Sol et al. (1987). *Expert systems and artificial intelligence in decision support systems: proceedings of the Second Mini Euro conference, Lunteren, The Netherlands, 17–20 November 1985*. Springer, 1987. ISBN 90-277-2437-7. p.1-2.

³Haettenschwiler, P. (1999). *Neuesamwenderfreundliches Konzept der Entscheidungsunterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft*. Zurich, vdf Hochschulverlag AG: 189-208.

parte de las limitaciones de los programas de gestión. Estas son algunas de sus características principales:

Informes dinámicos, flexibles e interactivos, de manera que el usuario no tenga que ceñirse a los listados predefinidos que se configuraron en el momento de la implantación, y que no siempre responden a sus dudas reales.

No requiere conocimientos técnicos de informática. Un usuario sin conocimientos de informática puede crear nuevos gráficos e informes y navegar entre ellos a través de la interfaz de usuario del sistema. Por tanto, para examinar la información disponible o crear nuevas métricas no es imprescindible buscar auxilio en el departamento de informática.

Rapidez en el tiempo de respuesta, ya que la base de datos subyacente suele ser un gran depósito de datos (Data warehouse) corporativo, con modelos de datos en estrella o copo de nieve. Este tipo de bases de datos están optimizadas para el análisis de grandes volúmenes de información.

Integración entre todos los sistemas/departamentos de la compañía. El proceso de ETL previo a la implantación de un Sistema de Soporte a las Decisiones garantiza la calidad y la integración de los datos entre las diferentes unidades de la empresa, en algunos casos se emplea lo que se llama integridad referencial absoluta.

Cada usuario dispone de información adecuada a su perfil. No se trata de que todo el mundo tenga acceso a toda la información, sino de que tenga acceso a la información que necesita para que su trabajo sea lo más eficiente posible.

Disponibilidad de información histórica. En estos sistemas está a la orden del día comparar los datos actuales con información de otros períodos históricos de la compañía, con el fin de analizar tendencias, fijar la evolución de parámetros de negocio, entre otros.

Sin embargo los SSD no solo han sido utilizados en la inteligencia empresarial, también han sido utilizados en otras áreas, un ejemplo específico es el sistema canadiense nacional del ferrocarril (CN), que prueba su equipo con regularidad y usa un sistema de apoyo a las decisiones; un problema afrontado por cualquier ferrocarril es el desgaste o bien carriles defectuosos, que pueden causar cientos de descarrilamientos por año. Con el apoyo de un SSD, la CN logró disminuir la incidencia de descarrilamientos al mismo tiempo que otras empresas experimentaban un aumento.

Otra área creciente del uso de SSD está en la producción agrícola, que comercializa para el desarrollo sustentable. Por ejemplo, el paquete de DSSAT⁴, desarrollado con el apoyo financiero de USAID durante los años 80 y los años 90, ha permitido la evaluación rápida de varios sistemas de producción agrícola en el mundo entero para facilitar la toma de decisiones en las granjas y al mismo tiempo en niveles de la política. Sin embargo, hay muchas restricciones a la adopción acertada sobre SSD en la agricultura (Stephens y

⁴ Jones, J.W., G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, L.A. Hunt, P.K. Thornton, P.W. Wilkens, D.T. Imamura, W.T. Bowen and U. Singh (1998): Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. in: G.Y. Tsuji et al. (eds): Understanding options for Agricultural production, p. 157 - 177. Kluwer Academic Publishers.

Middleton, 2002)⁵.

Los SSD son también frecuentes en el manejo forestal donde a lo largo del tiempo de planificación se enmarcan requerimientos específicos. Todos los aspectos de manejo forestal, del transporte de tronco, la planificación de cosecha para la sustentabilidad y la protección de ecosistema han sido dirigidos por modernos SSD.

El consenso indica que las cuestiones ambientales se deben considerar en términos de sistemas complejos; pero no todos los sistemas ambientales presentan el mismo nivel de complejidad en términos del grado de incertidumbre y del riesgo asociado a las decisiones, en este sentido se pueden distinguir tres niveles de complejidad (Funtowicz y Ravetz, 1992⁶).

El **primer nivel** de complejidad corresponde a los sistemas simples, con bajo grado de incertidumbre donde el tema en cuestión tiene un alcance limitado, para éstos una perspectiva sencilla y el uso de modelos simples será suficiente para proveer una descripción satisfactoria del sistema. El **segundo nivel** corresponde a sistemas con un nivel de incertidumbre más elevado, donde el uso de modelos simples es insuficiente para dar una descripción satisfactoria, es aquí donde toma más importancia la experiencia adquirida y se vuelve recomendable la necesidad de incluir expertos (personas y sistemas) en la solución de problemas. Finalmente, el **tercer nivel** corresponde a sistemas verdaderamente complejos en donde existe incertidumbre también a nivel ético y epistemológico; donde la incertidumbre no se asocia necesariamente con un mayor número de elementos o bien de relaciones entre elementos en el sistema, y donde las cuestiones en juego reflejan objetivos en conflicto y se considera crucial tomar en cuenta la pluralidad de visiones y perspectivas sobre el tema.

Es en este sentido que cobra importancia el considerar que los sistemas ambientales se caracterizan por interacciones dinámicas que no permiten hacer una división simplista entre fenómenos biogeofísicos y sociales. Gran parte de la teoría sobre ecología se ha desarrollado en sistemas donde el ser humano está ausente o bien en sistemas donde el ser humano se considera como un agente exógeno y una simple alteración perjudicial. Rara vez se consideran las intrincadas formas en las que los seres humanos interactúan con los sistemas ecológicos (Kinzig, *et al.* 2006⁷). Adoptar una perspectiva socioeconómica implica aceptar que todas las decisiones relacionadas a la gestión del medio ambiente se caracterizan por múltiples criterios y objetivos, normalmente en conflicto (Ostrom, 2009⁸). Por lo tanto, la mayoría de los sistemas ambientales que son del segundo y del tercer grado de complejidad, no se pueden abordar únicamente con las herramientas tradicionales y simples modelos; para enfrentar estos grados de complejidad se necesita el apoyo de nuevas herramientas, entre ellas los sistemas de soporte a las decisiones.

Por supuesto que un sistema es tan bueno como el modelo o los datos que sean utilizados; si

⁵Stephens, W. and Middleton, T. (2002). Why has the uptake of Decision Support Systems been so poor? In: Crop-soil simulation models in developing countries. 129-148 (Eds R.B. Matthews and William Stephens). Wallingford: CABI.

⁶Funtowicz S, and Ravetz JR, 1992: "Three Types of Risk Assessment and the Emergence of Post- Normal Science", in Krimsky S, and Golding D (eds), *Social Theories of Risk*, Westport CT, Greenwood. 251-273.

⁷Kinzig A. P., Ryan P., Etienne M., Allison H., Elmqvist T., and Walker B. H. 2006. Resilience and regime shifts: assessing cascading effects. *Ecology and Society* 11(1): 20. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art20/>

⁸Ostrom, E., 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), pp.419–422

el modelo es inexacto o anticuado o basado en productos distintos, las proyecciones de sus resultados pueden no tener valor. De esta manera quienes toman decisiones deben estar conscientes del riesgo de las inexactitudes potenciales de un sistema y entender la lógica subyacente detrás de la salida de un SSD.

El objetivo de usar un buen SSD es obtener la información útil para la consideración humana, más que dejar a la computadora hacer la decisión por sí misma. Una posibilidad consiste en que el sistema simplemente permita al usuario escoger métodos diferentes dentro algún SSD. En este caso el usuario todavía debe suministrar el conocimiento de cuál es el método más apropiado y debe ser capaz de interpretar los resultados.

2. Justificación

Se parte de la consideración de que al inicio del Proyecto GEF-Mixteca se contaba con el 50 por ciento de los datos iniciales disponibles. Sin embargo también se encontraban huecos en esta información inicial que sería recabada durante el primer año de la implementación del proyecto. Para lo cual el documento proyecto presenta el diseño de un plan para coleccionar datos que completen la información inicial. Se considera que los principales aspectos, para los cuales la información adicional es necesaria, son la distribución actual de la biodiversidad biológica y los Servicios Ecosistémicos. Los datos, tanto existentes como los generados bajo el desarrollo del proyecto, serán analizados e interpretados a fin de comprender los planes de manejo de uso del suelo aplicable en las áreas de intervención del proyecto. Datos de referencia sobre la localización, extensión, distribución y el estado de existencia y abandono de las tierras agrícolas también serán generados para el empleo en proyectos de rehabilitación de tierra en áreas de intervención del proyecto.

En este sentido el proyecto requirió soporte técnico para evitar las amenazas que enfrentan la conservación de diversidad biológica en la región Mixteca. Para lograr esto se planteó la intervención expresa para vencer las barreras existentes, incluyendo la cobertura tecnológica crítica y los huecos de la información, diseño de un programa adaptado para evaluar los datos de servicios ecosistémicos, considerando aspectos relevantes para el alivio a la pobreza, programas de agricultura e infraestructura, con asistencia en campo y aplicando pruebas piloto de los programas ajustados en las áreas seleccionadas con un alto valor biológico que incluye corredores no protegidos entre las áreas protegidas.

La razón fundamental es una mejora significativa en la integridad y capacidad de adaptación de los ecosistemas que puede ser alcanzado a través de la implementación de técnicas de manejo basadas en la evaluación de los servicios ecosistémicos, junto con los componentes del proyecto. Al mismo tiempo, el proyecto se esforzará para involucrar la participación de quienes toman las decisiones para lograr el apoyo a la política de conservación, reforestación y regeneración de cubierta vegetal que brinde beneficios a la biodiversidad biológica de los ecosistemas.

En este sentido se plantea integrar la información inicial existente y la generada durante el desarrollo del proyecto en una plataforma web que permita la consulta por parte de quienes toman las decisiones, y que al mismo tiempo pueda dar asistencia para la toma de decisiones

en diferentes niveles de las instituciones. Es por ello que se construye la presente propuesta de un sistema de soporte a las decisiones con un enfoque ecosistémico. De esta forma quienes toman las decisiones no solo tendrían una participación activa durante el desarrollo del Proyecto GEF-Mixteca, sino aun cuando concluya la vida del proyecto. Una plataforma que se siga alimentando por las diferentes instituciones involucradas en el manejo y la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano.

Actualmente el Proyecto GEF-Mixteca cuenta con un Sistema de Información Geográfica (SIG) el cual es un medio de obtención de información amigable y confiable que almacena y presenta mapas vectoriales con información geográfica, espacial y tabular para ser consultados y analizados, el cual es ya un apoyo para quienes toman decisiones. El SIG del Proyecto GEF-Mixteca está realizado sobre la plataforma Map Server, que es de código abierto y se usa para la publicación de los datos espaciales y aplicaciones de mapas interactivos para la web, y es una plataforma versátil que se puede ejecutar sobre los sistemas operativos Windows, Linux y Mac OS X. El SIG del Proyecto GEF-Mixteca está configurado con p.mapper, el cual ofrece una amplia funcionalidad de scripts y múltiples configuraciones para Map Server; configura de manera flexible las funciones, el comportamiento y el diseño y además provee una interfaz de usuario multilingüe y una API para agregar funcionalidad personalizada.

Aunque es una forma de proporcionar información actual para los usuarios y proveer información que apoye sus decisiones, un SIG no le da ningún tratamiento a los datos que almacena, de modo que genere nueva información que presente alternativas de decisión consistentes y le aporte beneficios como un análisis cuantitativo de los datos, proyección de escenarios probables de acuerdo al comportamiento de las variables involucradas, permita un análisis de consecuencias de una manera rápida y objetiva, etc. Y para completar estas funciones se propone este sistema de soporte a las decisiones.

3. Alcance y limitaciones del sistema

El enfoque del sistema es desde el punto de vista de servicios ecosistémicos y se considera únicamente para la región delimitada geográficamente del área de estudio del Proyecto GEF-Mixteca como se muestra en el capítulo área de estudio del presente documento. El universo de datos con los que el sistema trabajará será la información inicial existente con que se cuenta, así como aquella que sea generada durante el desarrollo del proyecto. Los servicios ecosistémicos a considerar serán aquellos que ya han sido identificados en el Proyecto GEF-Mixteca.

Es importante mencionar que para el análisis, construcción y desarrollo del sistema es indispensable contar con la cooperación técnica interdisciplinaria de los expertos en el área de negocio de servicios ecosistémicos y biodiversidad, debido a que el área de conocimiento de los diseñadores de sistemas es el análisis, diseño, implementación y puesta a punto de sistemas software, y no cuentan con el conocimiento de biodiversidad y los servicios ecosistémicos, ni con el conocimiento del área geográfica de interés.

Otra limitación en el diseño del sistema, en cuanto a los datos externos que se pueden

procesar (datos provenientes de otros sistemas), se puede tener en las regulaciones y reglamentos de las instituciones propietarias de datos externos al Proyecto GEF-Mixteca, es decir, que en dependencia a los reglamentos de uso de la información, algunas instituciones podrían no dar acceso a cierta parte de los datos requeridos por el sistema en una comunicación en línea.

Las plataformas hardware y software que pueden alojar el sistema una vez liberado, también pueden ser otro factor que restrinja, y su definición depende de los interesados en el sistema y de los diseñadores del sistema ya que esto podría ser una limitación económica y/o tecnológica para el desarrollo del sistema. El tiempo disponible para la realización del sistema también implica un límite en cuanto a la cantidad de funciones que se integren.

Se propone un sistema software a la medida que dé soporte a las decisiones, modular y robusto que integre los siguientes puntos:

- Diseño de un sistema basado en los servicios ecosistémicos,
- Implementación modular por incrementos,
- Una arquitectura hardware-software adecuada a los requerimientos del sistema con plataformas de rápido acceso para bases de datos, uso en internet, seguridad de acceso para proteger la integridad de la información, etc.,
- Una interfaz de usuario amigable, fácil de usar por todo tipo de usuarios del sistema,
- Un subsistema de alimentación y actualización de datos para el mantenimiento de los datos del sistema,
- Un subsistema de interacción con otros sistemas para obtener y compartir información en línea para los usuarios.
- Instalación y configuración del sistema en sitio y capacitación.

4. Marco Teórico

4.1. Soporte a las decisiones

De acuerdo a Simon (1960)⁹ y posteriormente en su trabajo con Newel (1972)¹⁰, el proceso de toma de decisiones se puede subdividir en distintas etapas. Su modelo originalmente consideró tres etapas que posteriormente complementó a cuatro y que después Turban *et al.* (2005)¹¹, retomaron para enunciar el modelo clásico de toma de decisiones aún vigente (Figura 1), y son las siguientes:

Inteligencia. Trata de la definición del problema y de la identificación del conjunto de datos relacionados con este.

Diseño. Comprende la generación de las soluciones alternativas al problema en cuestión.

⁹Simon, H.A. "The new science of management decision". New York, NY: Harper and Row. 1960.

¹⁰Newell, A., and Simon, H. "Human Problem Solving". Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1972.

¹¹Turban, Aronson y Liang, "Decisions support systems and intelligent systems", 7th. edition, Ed. Prentice Hall, 2005

Elección. Se refiere a la selección de la mejor solución entre las soluciones alternativas utilizando criterios específicos.

Implementación. Es la puesta en marcha de la solución elegida.

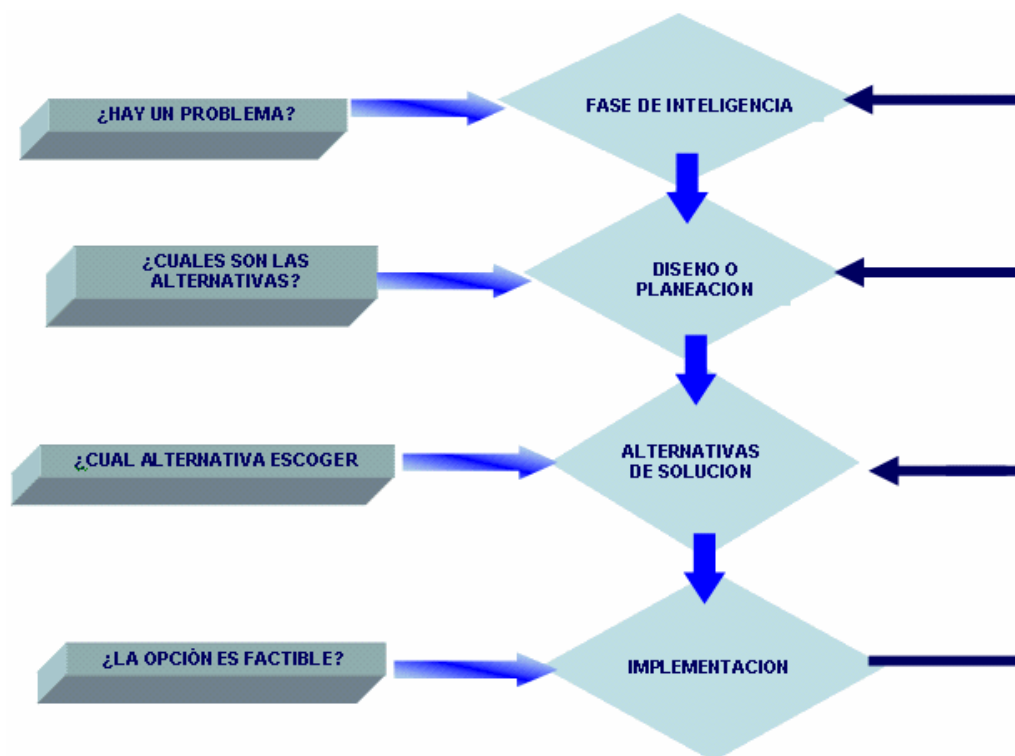


Figura 1. Proceso de toma de decisiones

Las decisiones se pueden clasificar en tres tipos:

Decisiones estructuradas: Son decisiones que se hacen metódicamente, en las que se puede usar un procedimiento bien definido para conseguir el objetivo deseado. En una decisión estructurada los pasos del proceso de toma de decisiones se han estandarizado en procedimientos, objetivos claros, estradas y salidas bien definidas, es decir que ya existe un procedimiento para llegar a la mejor solución. Este tipo de decisiones se toman en el nivel operativo de una organización en donde las decisiones se hacen para procesos repetitivos y bien identificados.

Decisiones semi-estructuradas: En las decisiones semi-estructuradas se puede lograr una estandarización parcial, en algunos pero no en todos los pasos del proceso de toma de decisiones, es decir que se emplean procedimientos estandarizados en combinación con el criterio individual. Para ilustrar este tipo de decisiones se puede considerar la situación de seleccionar la ropa que una persona ha de usar en un día determinado, por supuesto que en primer lugar, esta decisión estará condicionada por el clima pues no se puede usar la misma ropa para un clima caluroso o para un clima frío y lluvioso, pues las personas, por lo general, usan ropa abrigadora para un día frío mientras que para un día caluroso usan, normalmente, ropa ligera y fresca, esta es la causa de que exista ropa de primavera-verano y ropa de otoño-invierno, esta parte de la decisión es estructurada pues las opciones son claras y ya

establecidas, pero la parte de la decisión de seleccionar los colores y estilos de la ropa es algo que queda completamente al criterio de la persona y esta parte de la decisión es no estructurada, y por lo tanto esta decisión, en su conjunto, se denomina semi-estructurada, porque tiene una parte estructurada y otra parte no estructurada.

Decisiones no estructuradas: Son decisiones complejas en las que se tienen identificadas la mayoría de las variables a evaluar aunque no todas, y no hay un procedimiento establecido para llegar a la decisión, son decisiones únicas pues nunca se presentan dos veces de forma idéntica. En las decisiones no estructuradas no se puede tener una estandarización para los pasos del proceso de toma de decisiones debido a la naturaleza de la decisión, aquí la intuición humana, el sentido común y el soporte que se pueda obtener para cada caso específico juegan un rol preponderante.

4.2. Evaluación de los SIG en la web como herramienta SSD

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se están empleando con mayor frecuencia como herramientas para la toma de decisiones en muy diversos ámbitos, en el sector público por ejemplo, se ha aumentado su uso en todos los países. Los SIG proveen un medio efectivo y rápido de difusión de la información a todos los sectores involucrados, son de fácil acceso y control de la información, y son medios para incrementar la eficiencia y la productividad de la institución que los usa.

Los SIG como cualquier sistema de información requieren de varios tipos de recursos, entre ellos: datos, infraestructura de sistemas de cómputo y telecomunicaciones, recursos humanos especializados tanto en el área de geografía, así como en el área de cómputo y sistemas de información, recursos financieros, etc. Estos sistemas tienen un gran potencial como ayuda en el proceso de toma de decisiones así como en la formulación e implementación de políticas públicas y aún la sociedad se beneficia de ellos al contar con un medio de obtención de información amigable, veloz y confiable.

Los SIG dedicados al medio ambiente, en su mayoría se encuentran en el sector público, y es por ello que uno de los objetivos más importantes de estos SIG es lograr objetivos de beneficio social. Evaluar la efectividad de estos sistemas no es fácil, ya que las variables a evaluar en los diferentes SIG del sector público son muy distintas, la evaluación se vuelve dependiente del contexto.

Se han dado múltiples clasificaciones de los SIG, por ejemplo los profesionales en las tecnologías de la información geográfica de IBM¹² y de Gartner Inc.¹³ sugieren clasificarlos en: sistemas no conocidos; sistemas tácticos; sistemas enfocados; sistemas estratégicos y sistemas penetrantes. Más los profesionales de la información geográfica de Geospatial Media and Communications¹⁴ sugieren esta clasificación: Sistemas operantes; sistemas consolidados; sistemas integrales; sistemas optimizados y sistemas innovadores. Otra clasificación muy frecuente se da de acuerdo a su alcance geográfico en: SIG municipales; SIG

¹²IBM New Orchard Road, Armonk, New York 10504 U.S.A. <http://www.ibm.com/ibm/us/en/?lnk=fai-maib-usen>

¹³Gartner Inc. 56 Top Gallant Road Stamford, CT 06902-7700 U.S.A. <http://www.gartner.com/technology/about.jsp>

¹⁴Geospatial Media and Communications Pvt. A-145, Sector - 63 Noida - 201 301, U.P., India
<http://geospatialworld.net/Paper/Opinion/ArticleView.aspx?aid=30590>

regionales; SIG nacionales y SIG mundiales. Otras clasificaciones se dan en base a su área de aplicación, según el nivel de detalle de la información que maneja el sistema, y hay más. Los SIG también se clasifican de acuerdo a su nivel de desarrollo y a su alcance en cuatro etapas de desarrollo: Sistema raíz, sistema intermedio, sistema maduro y sistema integrado.

Otros factores que influyen el tamaño y el alcance de un SIG son las disposiciones institucionales, las políticas de los sistemas de información y de la infraestructura de cómputo y telecomunicaciones, las capacidades técnica, humana y financiera, así como los acuerdos para compartir datos entre las instituciones. Los beneficios de un SIG se incrementan proporcionalmente a su nivel de desarrollo, los beneficios aumentan desde un sistema raíz hasta un sistema maduro a través del tiempo. El beneficio es notorio desde la migración de los mapas manuales y el sistema de catálogos tradicional a un sistema automático basado en sistemas de información y telecomunicaciones.

Los beneficios de adoptar un SIG son múltiples y se reflejan, por el grado de desarrollo del sistema, dentro de tres grandes áreas: comunicación gráfica de la información, disponibilidad mejorada de los datos y acceso más eficiente a la información. Un sistema de información geográfica requiere de una plataforma software para mostrar los mapas vectoriales junto con información geoespacial y tabular, y existen varias de estas plataformas disponibles, algunas de ellas son marca registrada y es necesario pagar una licencia anual por su uso y otras son de software de código abierto (OSS), por las cuales no se requiere pagar una licencia y además se tiene acceso al código fuente para hacer contribuciones, ya que el autor otorga el derecho a hacerlo.

Esta evaluación de los SIG en la web se encuentra descrita más extensamente en el módulo quinto del segundo informe entregado para el Proyecto GEF-Mixteca en el mes de abril del año 2014.

4.3. Análisis de las herramientas de Sistemas de Soporte a las decisiones (SSD)

Las organizaciones se dividen en niveles de acuerdo a sus actividades y responsabilidades y cada uno emplea las tecnologías de la información para automatizar algunas tareas y para asistir las actividades de toma de decisiones, esto son: nivel ejecutivo, nivel táctico y nivel operativo.

Cuando se comenzó a emplear herramientas de las tecnologías de la información en las organizaciones, únicamente se destinaron estas a los niveles táctico y ejecutivo, en donde se toman decisiones de tipo semi-estructuradas y no estructuradas respectivamente; pero actualmente las aplicaciones automáticas han expandido sus límites a todos los niveles de la organización. Estas aplicaciones son de lo más variado de acuerdo al área en donde se aplican pero de forma general se pueden mencionar: sistemas de información global, sistemas de información para un área funcional, aplicaciones de tecnologías de colaboración, sistemas de automatización de oficina, sistemas expertos y por supuesto los sistemas de soporte a las decisiones, entre otras.

Estos sistemas de apoyo proporcionan información y soporte para tomar una decisión y pueden adoptar muchas formas diferentes. En general, se puede decir que un SSD es un

sistema informático utilizado para servir de apoyo, más que para automatizar el proceso de toma de decisiones. La decisión es una elección entre alternativas basadas en estimaciones de los valores de esas alternativas. La principal característica de los SSD es la capacidad de análisis multidimensional que permite profundizar en la información hasta llegar a un alto nivel de detalle, analizar datos desde diferentes perspectivas, realizar proyecciones de información para pronosticar lo que puede ocurrir en el futuro, análisis de tendencias, hacer análisis prospectivos, entre otras. Sin embargo el usuario es el único que toma las decisiones.

Los sistemas de soporte a las decisiones se definen como sistemas interactivos basados en computadoras destinados a ayudar a quienes toman las decisiones utilizando datos y modelos con el objeto de identificar, resolver problemas y ayudar a quienes toman decisiones (Power, 1999¹⁵). Sus características principales son: que incorporan datos y modelos; están diseñados para ayudar a quienes toman decisiones en el proceso de toma de decisiones semi-estructuradas y no estructuradas; proporcionan criterios de dirección, son un apoyo y no un reemplazo de quienes toman decisiones; tienen por objetivo mejorar la efectividad más que la eficiencia de las decisiones.

La arquitectura de un sistema de soporte a las decisiones está compuesta generalmente por tres componentes principales: un modelo, una interfaz de usuario y un controlador. Existen varios patrones de diseño ya existentes que proporcionan beneficios considerables cuando se aplican. Uno de estos es el patrón Modelo-Interfaz de usuario-Controlador (Model-View-Controller) o paradigma MVC, que divide su aplicación en tres componentes interoperables (Figura 2).

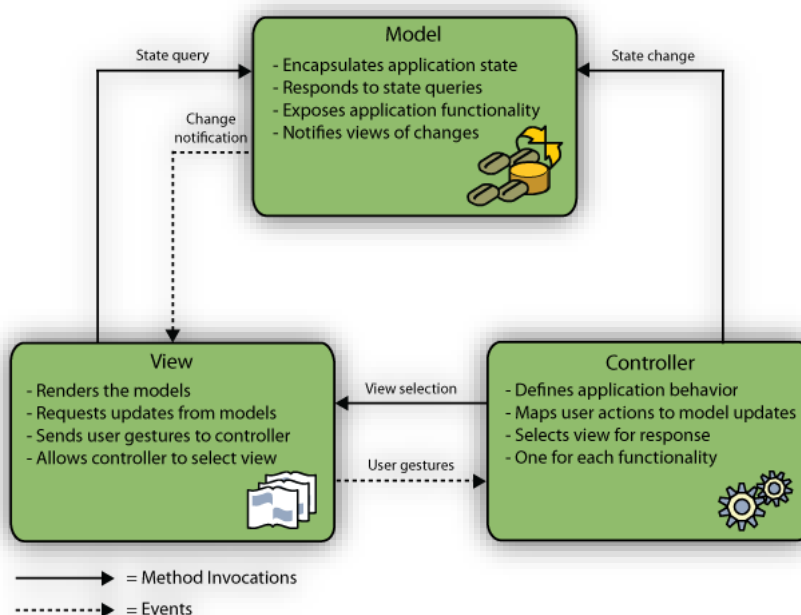


Figura 2. Patrón MVC (Model-View-Controller)

¹⁵Power, D.J. 1999, Decision Support Systems Glossary. <http://DSSResources.COM/glossary/>

Modelo (Model): Representa los datos de la organización y cualquier lógica que rige el acceso y la modificación de los datos. El modelo notifica a la interfaz de usuario cuando mostrar cambios y permite, por medio de esta, obtener y visualizar los resultados del procesamiento de esos datos con la lógica de la organización. También permite al módulo controlador el acceso a la funcionalidad de la aplicación encapsulada en el modelo.

Interfaz de usuario (View): La interfaz muestra las opciones de procesamiento y los resultados de un modelo. Obtiene los datos procesados a través de la lógica del modelo y especifica cómo se debe presentar esa información. La interfaz de usuario también envía los datos del usuario al controlador.

Controlador (Controller): El controlador define el comportamiento de la aplicación. Envía peticiones de usuario y selecciona la interfaz apropiada para presentar los resultados. Interpreta los datos de entrada del usuario y los asigna a las acciones a realizar por el modelo. En una aplicación web, las entradas de usuario son HTTP GET y peticiones POST. Un controlador selecciona la siguiente interfaz que se va a mostrar en base a las interacciones del usuario y el resultado de las operaciones del modelo.

Estos elementos pueden variar dependiendo del criterio de elaboración de cada sistema. Y aunque puede parecer que el análisis de datos es un proceso sencillo, y fácil de conseguir mediante una aplicación informática, no es así: algunas aplicaciones suelen disponer de formatos de informes predefinidos en los que presentan la información de manera estática, pero no permiten profundizar en los datos, navegar entre ellos o manejarlos desde distintas perspectivas. Más algunos SSD incorporan técnicas más elaboradas de inteligencia artificial y sistemas expertos e incluyen tecnologías hardware más sofisticadas como sensores, robots, etc. Todo depende del alcance del sistema en cuestión.

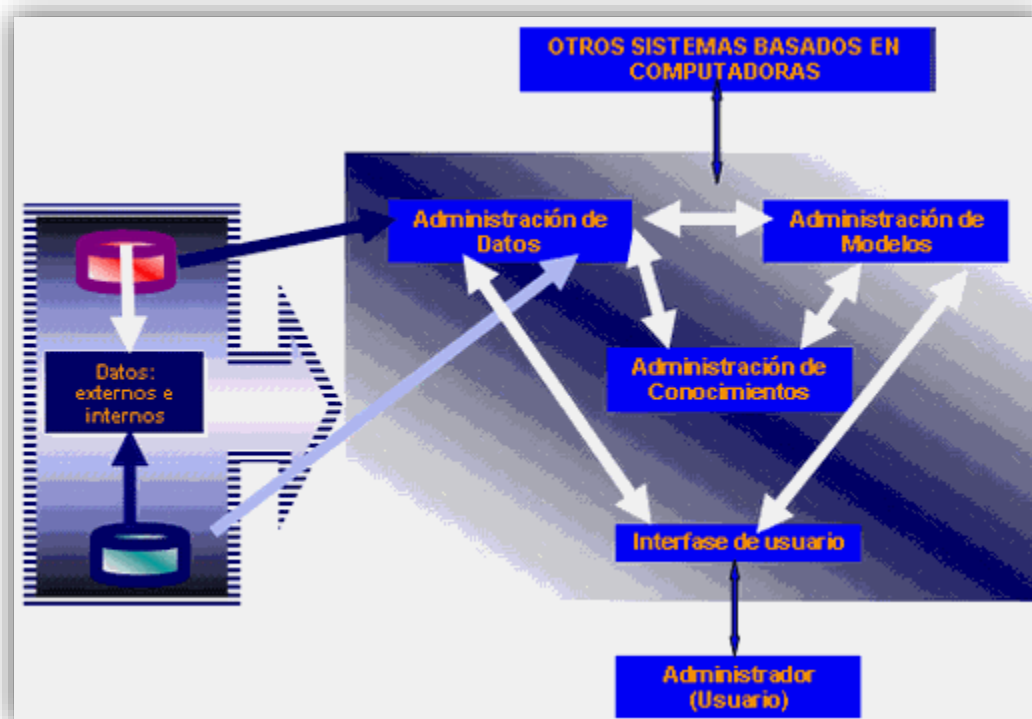


Figura 3. Componentes de los SSD

En la Figura 3 se presentan, de forma general, los componentes y la vista esquemática de los SSD, cada componente se describe a continuación:

El *Subsistema de Administración de Datos* incluye una base de datos que contiene datos relevantes para el tema en cuestión, la cual es controlada por un sistema manejador de bases de datos (DBMS por sus siglas en inglés) que puede interconectarse con un depósito de datos corporativo. Por lo general, los datos se guardan o se consultan a través de un servidor Web.

El *Subsistema de Administración de Modelos* es un paquete software que incluye modelos financieros, estadísticos, científicos y otros modelos cuantitativos. Estos modelos proveen al sistema las capacidades analíticas para resolver problemas de la vida real. En este subsistema es posible construir modelos personalizados a través de un lenguaje de modelado.

El *Subsistema de Interfaz de Usuario* permite la interacción entre la computadora y el que toma las decisiones. El usuario a través de comandos se comunica con el DSS o mediante una interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés) como lo es el navegador Web.

El *Subsistema de Administración de Base de Conocimiento* puede apoyar a cualquiera de los otros subsistemas o servir como un componente independiente. Provee inteligencia para aumentar la propia de quien toma decisiones. El subsistema puede ser interconectado con los depósitos de conocimiento de organizaciones relacionadas al tema.

El término DSS abarca muchos tipos de sistemas de información que apoyan la toma de

decisiones. De acuerdo a Power (1997)¹⁶, estos típicamente incluyen: Sistemas de información de dirección, sistemas de soporte de dirección, sistemas de información geográfica (SIG), procesamiento analítico en línea (OLAP), sistemas de detección de conocimiento, grupos de SSD y algunos tipos de sistemas expertos (Mallach, 1994¹⁷).

Un SSD debe ser amigable para el usuario, de capacidades gráficas potentes y con una interfaz hombre-máquina interactiva que pueda aumentar en gran medida su eficacia. Algunas de las nuevas aplicaciones de SSD usan como interfaz la web. Estos sistemas proporcionan acceso a una gran variedad de fuentes de datos, formatos y tipos, incluyendo los mapas SIG, datos multimedia e información orientada a objetos.

Los modelos se utilizan generalmente para analizar situaciones de toma de decisión. La capacidad de modelado permite la experimentación de diferentes estrategias con diferentes configuraciones. Los SSD apoyan a quienes toman las decisiones (principalmente en las decisiones semi-estructuradas y no estructuradas) mediante el juicio humano y la información procesada por computadoras. También dan soporte en todos los niveles de dirección, que van desde los altos ejecutivos hasta los líderes de grupo. Apoyan a las personas (de diferentes departamentos, niveles organizacionales o diferentes organizaciones) así como a grupos que toman de decisiones en conjunto y que de alguna manera trabajan independientemente. Dan apoyo a las decisiones independientes o secuenciales que se pueden hacer una o varias veces. Dan soporte para diversos procesos y estilos de toma de decisión. Y brindan apoyo en todas las fases del proceso de toma de decisiones.

Quien toma las decisiones debe ser reactivo, capaz de afrontar el cambio de condiciones rápidamente y capaz de adaptar las recomendaciones de los SSD para satisfacer las necesidades de estos cambios. Estos sistemas mejoran la eficacia de la toma de decisiones en lugar de su eficiencia. Cuando se implementan los SSD, la toma de decisiones a menudo toma más tiempo pero las decisiones son mejores. Quien toma las decisiones tiene un control completo sobre todas las etapas del proceso de toma de decisión de tal manera que puede resolver los problemas. Un SSD tiene como objetivo apoyar al que toma las decisiones y no reemplazarlo.

En ocasiones, los usuarios finales son capaces de desarrollar y modificar los sistemas simples por sí mismos, más se pueden construir sistemas más grandes con asistencia de especialistas en sistemas de información. Estrategias de procesamiento analítico en línea (OLAP) y el software de minería de datos (“Data Mining”) junto con depósitos de datos (“Data Warehouses”), permiten construir grandes y complejos SSD. Se pueden emplear como una herramienta independiente por quien toma las decisiones en un solo lugar físico, o bien tenerlo distribuido en toda la organización y en varias organizaciones. También se pueden integrar con otros SSD u otras aplicaciones y pueden ser distribuidos internamente o externamente usando redes o tecnologías web en intranets o internet, respectivamente.

Este análisis de SSD se encuentra ampliamente detallado en el módulo quinto del primer informe entregado para el Proyecto GEF-Mixteca en el mes de diciembre del año 2013.

¹⁶Power, D.J. 1997. What is a DSS? DSSStar 1(3), <http://DSSresources.com/papers/whatisaDSS/>

¹⁷Mallach, E.G. 1994. Understanding Decision Support and Expert Systems. Irwin

5. Objetivo General

Análisis de información espacial y aplicación de herramientas para la determinación de servicios ecosistémicos y toma de decisiones en la Región de la Mixteca Oaxaqueña.

5.1. Objetivo específico

Desarrollar una propuesta para un sistema de soporte para la toma de decisiones con modelado de escenarios de servicios ecosistémicos clave para el Proyecto GEF-Mixteca.

6. Área de estudio

La región de la Mixteca se encuentra al Oeste del estado de Oaxaca y colinda al Oeste con el límite del estado de Guerrero y al norte con el estado de Puebla, con la Región de la Cañada al Este, al Sureste con Los Valles Centrales y al Sur con la Sierra Sur. Se ubica entre las coordenadas extremas de 16° 35' 11.928" N y 18° 17' 49.390" N de Latitud Norte y 96° 57' 58.692" W y 98° 30' 0.810" W de Longitud Oeste (Figura 4).

El área de intervención del proyecto ocupa una superficie de 1'714,104 hectáreas y se encuentra localizada en la Región Mixteca con siete distritos: Silacayoapam, Huajuapam, Coixtlahuacan, Juxtlahuaca, Teposcula, Nochitlan y Tlaxiaco; y parte de la región Sierra Sur. Con 155 municipios de la Región Mixteca y 5 de la Región Sierra Sur¹⁸ y un total de 2,364 localidades¹⁹. Con base en los datos del Censo Nacional de Población 2010²⁰, la Región Mixteca, cuenta con una población de 522,252 habitantes, donde la Heroica Ciudad de Huajuapam de León, es la población que cuenta con el mayor número de habitantes con 69,839.

La región de La Mixteca se caracteriza por ser un territorio de gran diversidad de flora y fauna dado por sus condiciones geográficas que abarcan ecosistemas áridos, montañosos y pequeños valles donde también existen diversos grupos étnicos (Feria-Pérez, 2010²¹).

¹⁸INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión

5.0A.http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

¹⁹Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

²⁰INEGI 2010. Censo de población y vivienda. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

²¹Feria-Pérez, C. R. 2010. El paisaje de la mixteca: el espacio abierto en la vida cotidiana de Santa Cruz Nundaco, Oaxaca. Tesis que presenta para obtener el título de Arquitecto Paisajista. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arquitectura.

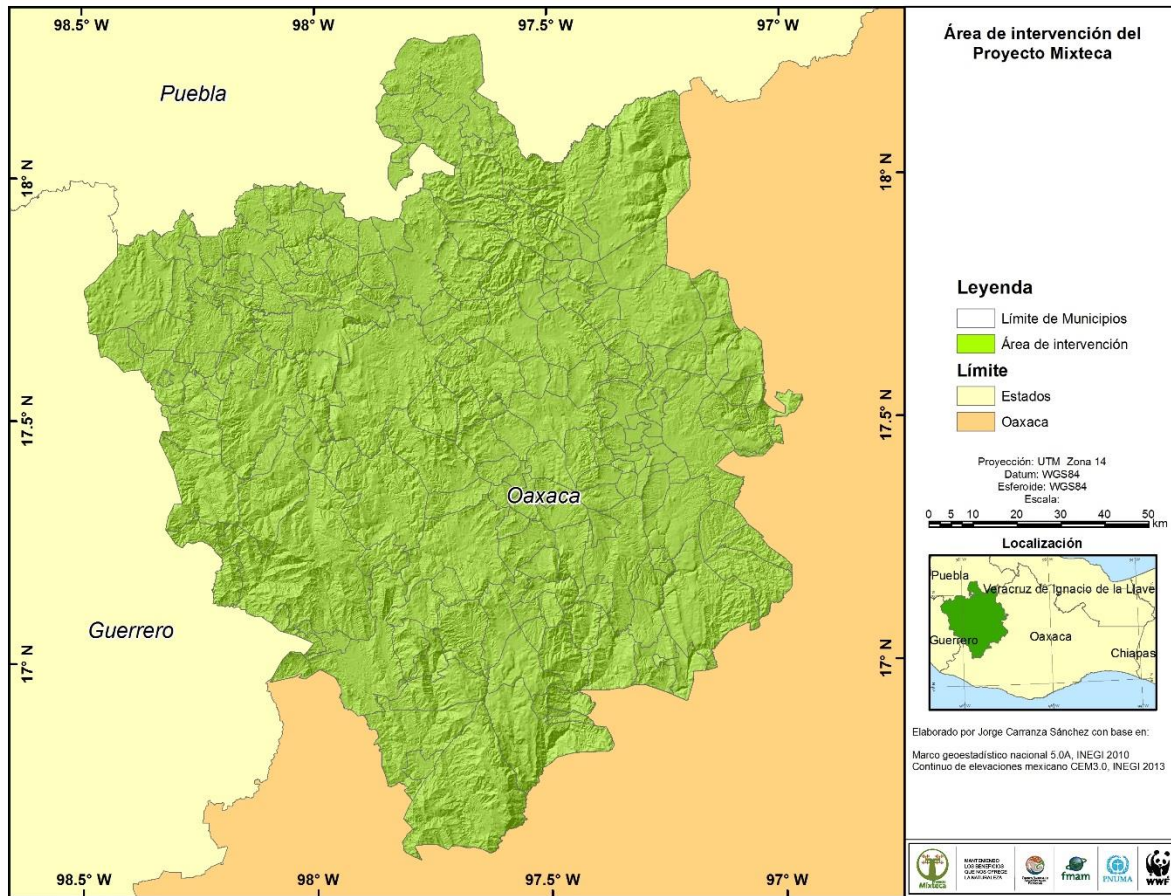


Figura 4. Área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca

7. Método

Como antecedentes a esta propuesta se han realizado investigaciones exhaustivas sobre los SSD, sus características, funciones, de qué manera apoyan a quienes toman las decisiones, la infraestructura que requieren y los recursos que demandan. El resultado de estas investigaciones está registrado brevemente en los apartados Marco teórico y Propuesta del presente documento.

Con el objeto de hacer una propuesta a la medida de las necesidades de los usuarios potenciales del sistema de soporte a las decisiones del Proyecto GEF-Mixteca, se diseñó un cuestionario de usuarios, mismo que se distribuyó en internet a través del sitio de encuestas Survey Monkey,²² y estuvo siendo contestado durante los meses de junio y julio del presente año, desafortunadamente y a pesar de que la invitación a participar en la encuesta fue enviada a más de 100 usuarios potenciales del sistema, únicamente se tuvo la participación de 30 de ellos.

Se realizó además un taller con el propósito de tener mayor claridad en cuanto a las necesidades específicas de los usuarios potenciales del sistema, información que no se había recabado en las encuestas, dicho taller tomó lugar el 14 de agosto del año en curso con la participación de 30 personas aproximadamente, la mayoría representantes de algún puesto de responsabilidad en una institución de gobierno en alguno de sus tres niveles y además algunos pocos representantes de instituciones de investigación, y por supuesto, con la participación de los representantes del Proyecto GEF-Mixteca.

7.1. Pasos del método

Los pasos pertenecen a la fase inicial del método RUP (Anexo 1), y se enuncian a continuación:

- Se definen el ámbito y los objetivos del proyecto
- Se definen las funcionalidades y capacidades del producto
- Se definen los actores con los cuales va a interactuar el sistema, así como la naturaleza de su interacción, lo cual involucra la identificación de los casos de uso
- Se define la interfaz de usuario de modo genérico
- Se define la plataforma hardware-software sobre la cual podría funcionar el producto

7.2. Análisis de los usuarios de las herramientas

De acuerdo a los resultados de la encuesta efectuada a los usuarios potenciales del sistema de soporte a las decisiones del Proyecto GEF-Mixteca (Anexo 2), se identificó que los servicios ecosistémicos prioritarios para 23 funcionarios que ocupan puestos de responsabilidad de dirección o en la administración pública estatal o federal y para 7 encuestados en otros puestos son: agua limpia y suficiente, control de la erosión, alimentos

²²<https://es.surveymonkey.com/>

derivados de la agricultura y los alimentos derivados de la ganadería en ese orden de prioridad, y señala a los servicios ecosistémicos menos importantes como resina y forraje. En la encuesta también se identificó que los formatos en los que los usuarios potenciales acostumbra leer la información son principalmente tablas y mapas vectoriales, estos formatos han sido también tomados en cuenta para el desarrollo de esta propuesta.

Los ecosistemas identificados por los usuarios como los más solicitados en su área de trabajo fueron bosques templados y selvas en igual proporción, seguidos por el bosque mesófilo y las zonas de matorrales. El tipo de información que regularmente consultan los usuarios potenciales del sistema es variada, pero en orden de consulta se encontró que la información geográfica y estadística es la más solicitada, seguida por la información ecológica y socioeconómica, mientras que la información técnica y para investigación institucional tuvo una menor demanda. Los usuarios dijeron usar la información que consultan para argumentar sus propuestas y sustentar proyectos, medir rendimientos, determinar sitios críticos de intervención, evaluar y emitir dictámenes de proyectos, elaborar diagnósticos, conocer el contexto en el que se desarrollan los procesos económicos que demandan las organizaciones, detectar cambios en el uso del suelo, buscar alternativas, orientar acciones, y por supuesto, en la toma de decisiones, también la usan como insumo para el análisis de proyectos de investigación, para analizar la situación actual del territorio y con ello proponer soluciones a situaciones dadas, como instrumento de planeación y en la definición de estrategias, etc.

La información que consultan los usuarios potenciales del sistema es consultada con una frecuencia semanal, sin embargo es más frecuente su consulta cuando se promueven procesos de planeación o de programación de actividades. Y los temas específicos sobre los que se consulta dicha información son manejo forestal, especies forestales, núcleos agrarios, erosión de suelos, captación de agua, escurrimientos, distribución de especies, indicadores de medio ambiente, caudales de agua superficial, volumen de agua subterránea, volúmenes de aprovechamientos de agua, sitios de reforestación, integridad de hábitat, zonas de degradación de bosques y suelos, plantaciones forestales comerciales, impactos ambientales y estado actual de los ecosistemas, padrones de beneficiarios, monto de la inversión, avances en la ejecución, capacidad de uso de las tierras, ubicación de sitios para retener agua para diversos usos en zonas de escasez, distribución de la precipitación, localización de acuíferos, límites de cuencas, subcuencas o microcuencas, topografía, red hídrica, geología, geografía, superficie, rendimientos y precios en medios rurales, actividades agropecuarias y forestales, infraestructura social y productiva, información estadística sobre comportamiento demográfico y de uso del suelo, información socioeconómica, de cultivos, ganadera, investigación y transferencia de tecnología, situación climática, tipos de vegetación, información sobre estadística socioeconómica y las líneas de acción del plan rector estatal, entre otros.

Todos los usuarios manifestaron tener acceso a internet en su lugar de trabajo. Mientras que el 90% de ellos dijeron estar familiarizados con el término SIG, el 83% del total dijeron conocer o usar un SIG. De los que dijeron usar un SIG, el 60% lo consulta en internet (un 50% del total de usuarios), y el 68% consultan un SIG interno a su organización. Sólo un 20% de los usuarios

potenciales del sistema manifestó estar familiarizado con el término SSD, mientras que (2 personas) menos de un 10% dijo conocer un SSD, aunque en realidad parece que más bien lo confunde con un SIG, por los ejemplos dados. Uno de ellos expresó “México en cifras”, el cual es un SIG, mientras que el segundo escribió “los sistemas para toma de decisiones focalizadas y locales”, más no especificó ningún nombre.

7.3. Taller de SSD

Del taller sobre el sistema de soporte a las decisiones del Proyecto GEF-Mixteca, realizado en Oaxaca, se recogió la opinión de los participantes y los requerimientos primarios para esta propuesta. Los participantes expresaron su necesidad de contar con información actualizada y confiable para que ellos puedan realizar sus labores en general y particularmente para la toma de decisiones y para la propuesta y aprobación de políticas públicas, lo cual es el principal objetivo de la propuesta de realización de este sistema basado en el enfoque de servicios ecosistémicos para el área de intervención del Proyecto GEF-Mixteca.

Entre las necesidades que los usuarios potenciales del sistema expresaron se encuentran las siguientes:

- Información actualizada en el sistema
- Información sobre biodiversidad en mapas
- Identificar áreas de servicios ecosistémicos
- Identificar áreas con potencial productivo
- Identificar áreas de producción forestal
- Información sobre cambio de uso de suelo a nivel local
- Identificar áreas con disponibilidad de agua, tanto pluvial como subterránea
- Identificación de áreas de riesgo
- Identificar proyectos exitosos
- Identificación de áreas de erosión
- Identificar áreas de conservación
- Lograr un mapeo de la calidad del agua
- Información sobre conservación de suelos
- Información para la implementación de programas de manejo
- Identificar actividades sociales y económicas
- Lograr conectividad con otros sistemas de información para reusar información

También se identificó que los usuarios potenciales del sistema no están familiarizados con un sistema de soporte a las decisiones, pues muchos de ellos expresaron que un SIG es un SSD, por lo que se concluye que los usuarios aún no tenían la visión sobre lo que es un SSD, misma que adquirieron en el taller.

Los usuarios manifestaron la necesidad de emplear datos oficiales para su trabajo, de acuerdo a las opiniones recogidas en el taller. La mayoría de los usuarios emplea principalmente el SIG de su organización, según lo expresado en la encuesta. De lo anterior se concluye que las necesidades expresadas por los participantes están dirigidas a un sistema de consulta que muestre la información en un SIG. Pero también se percibió que por falta de la visión de lo que es un SSD y de las capacidades y ventajas que este ofrece, los usuarios no sabían que un SIG es una parte de un SSD, que además de proporcionar estas funciones, el SSD también ofrece consulta de información, su procesamiento y presenta alternativas de decisión consistentes, aporta beneficios como un análisis cuantitativo de los datos, proyección de escenarios probables de acuerdo al comportamiento de las variables involucradas, y permite un análisis de consecuencias de una manera rápida y objetiva, etc.

8. Propuesta de herramienta de SSD para el Proyecto GEF-Mixteca

Esta propuesta de sistema de soporte a las decisiones, corresponde a la fase inicial del método RUP (Anexo 1) para el desarrollo de un sistema informático, como se ha explicado en la sección Pasos del método del apartado Método. Cabe aclarar que esta es solo una propuesta y no es definitiva, se ha llevado a cabo con las investigaciones realizadas sobre SSD y SIG en la web y con la información recabada en el taller sobre sistemas de soporte a las decisiones realizado en Oaxaca con fecha del 14 y 15 de agosto del año en curso, y también con los datos de los cuestionarios de usuarios efectuados por internet durante los meses de junio y julio del mismo año, por lo tanto esta es un trabajo preliminar que se irá afinando junto con los interesados en el sistema y los expertos en el área de los servicios ecosistémicos para lograr un producto viable que satisfaga las necesidades de los usuarios potenciales.

8.1. Ámbito y objetivo del sistema

Se propone que el sistema cuente con una interfaz web de usuario que dé acceso a los diferentes subsistemas en los que se propone dividir el sistema: subsistema de componentes ecosistémicos, en donde se incluye la funcionalidad principal del sistema por servicio ecosistémico, con una interfaz al servidor de mapas y otra al manejador de base de datos del proyecto, subsistema de interacción con otros sistemas ya existentes, subsistema de administración de base de datos que permita introducir los datos formateados a la base de datos antes de usar el sistema por primera vez, y este mismo subsistema serviría para dar mantenimiento a la base de datos; y ayuda en línea para los usuarios del sistema.

Objetivo: Integrar la información existente en el área de intervención y la que será generada durante la realización del Proyecto GEF-Mixteca, junto con las estrategias y metodologías empleadas en los servicios ecosistémicos, el conocimiento y la experiencia de los especialistas tanto en biodiversidad como en servicios ecosistémicos y las técnicas de las tecnologías de la información, en una plataforma web que permita el soporte a quienes toman las decisiones en diferentes niveles de las instituciones interesadas en la región, para mantener el equilibrio de la biodiversidad, conservar las áreas naturales y mantener el funcionamiento natural de sus servicios ecosistémicos, así como proveer soporte a las áreas productivas de la región y que sirva como un apoyo en la planeación y el establecimiento de las políticas públicas en la región de intervención del proyecto.

8.2. Funcionalidad y capacidades del sistema

De manera natural se da proponer el sistema en función de la clasificación de los servicios ecosistémicos en los cuatro grupos conocidos: de aprovisionamiento, de regulación, culturales y los servicios esenciales como se muestra en el diagrama de componentes de la Figura 5.

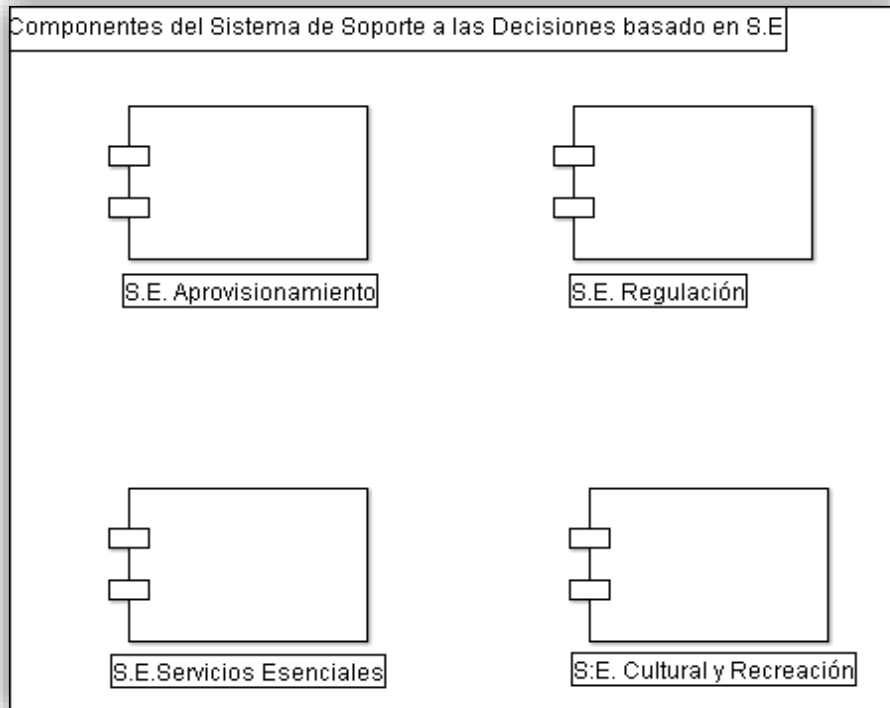


Figura 5. Diagrama de componentes funcionales

En base a los resultados de la encuesta realizada a los usuarios potenciales del sistema llevada a cabo en los meses de junio y julio (ver Anexo 2), y empleando los 11 servicios ecosistémicos identificados para la región que abarca el Proyecto GEF-Mixteca, se han modelado los componentes funcionales con sus servicios ecosistémicos y cada uno se representa en un caso de uso, lo cual se ilustran en una estructura de casos de uso como se muestra en la Figura 6.

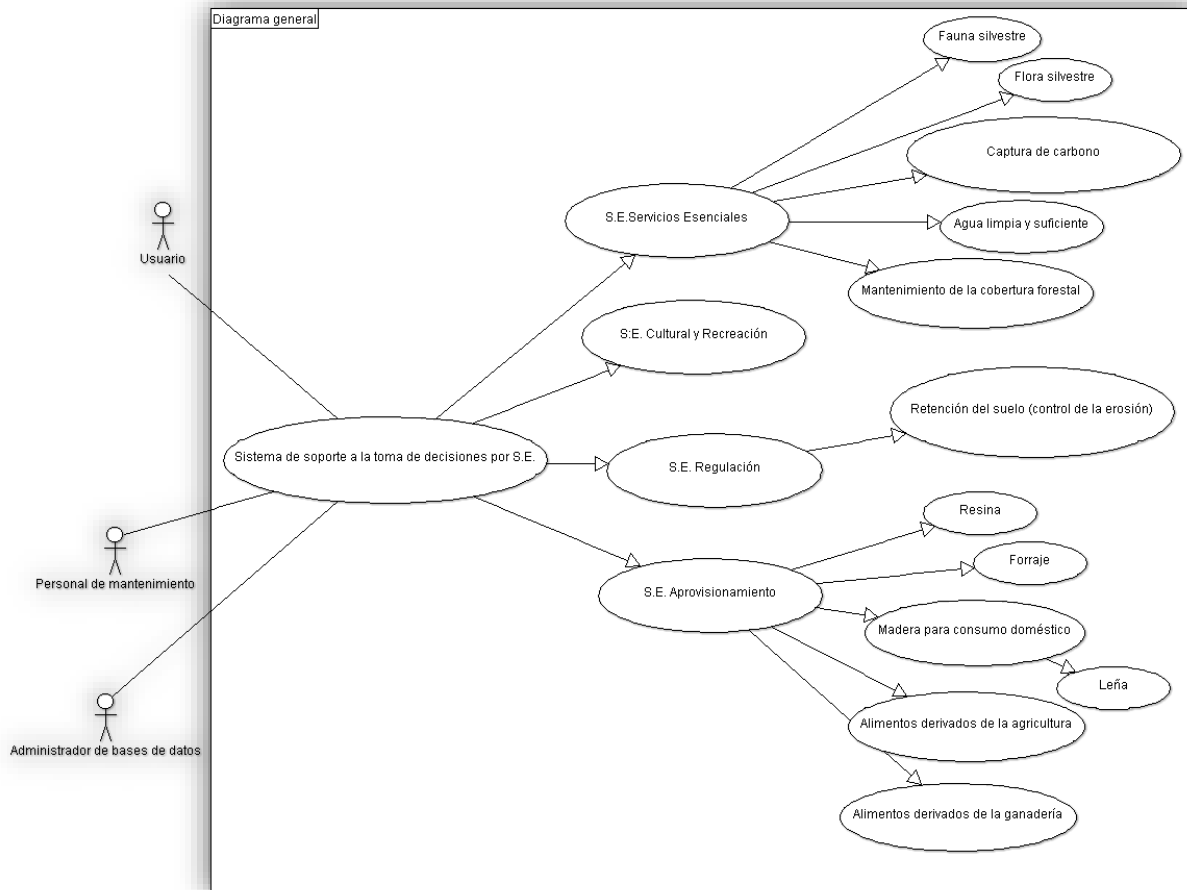


Figura 6. Diagrama general de funcionalidad del sistema

En el caso de uso anterior se indica que los datos de cada uno de los servicios ecosistémicos se procesarían de acuerdo al componente funcional al que corresponden, esto es que los datos pertenecientes a los servicios ecosistémicos del componente de servicios esenciales (flora, fauna, captura de carbono, agua limpia y suficiente y mantenimiento de la cobertura forestal) serían procesados de forma diferente que los del componente de aprovisionamiento (madera para consumo doméstico, resina, forraje, alimentos derivados de la agricultura y alimentos derivados de la ganadería). Y a su vez para cada uno de estos servicios ecosistémicos se definiría su funcionalidad y granularidad de forma conjunta con los expertos en el área de negocio de los servicios ecosistémicos.

8.3. Implementación modular y por incrementos

8.3.1. Implementación modular

Se propone que el desarrollo del sistema sea modular para facilitar el modelado y la detección de errores así como permitir el crecimiento del sistema con otros módulos sin que

esto pusiera en riesgo la estabilidad de los módulos que ya funcionarían. La modularidad se haría en base a las áreas funcionales del sistema, esto es por componente de servicios ecosistémicos y por servicio ecosistémico como se aprecia en la Figura 7 y en la Figura 8, por dar unos ejemplos.

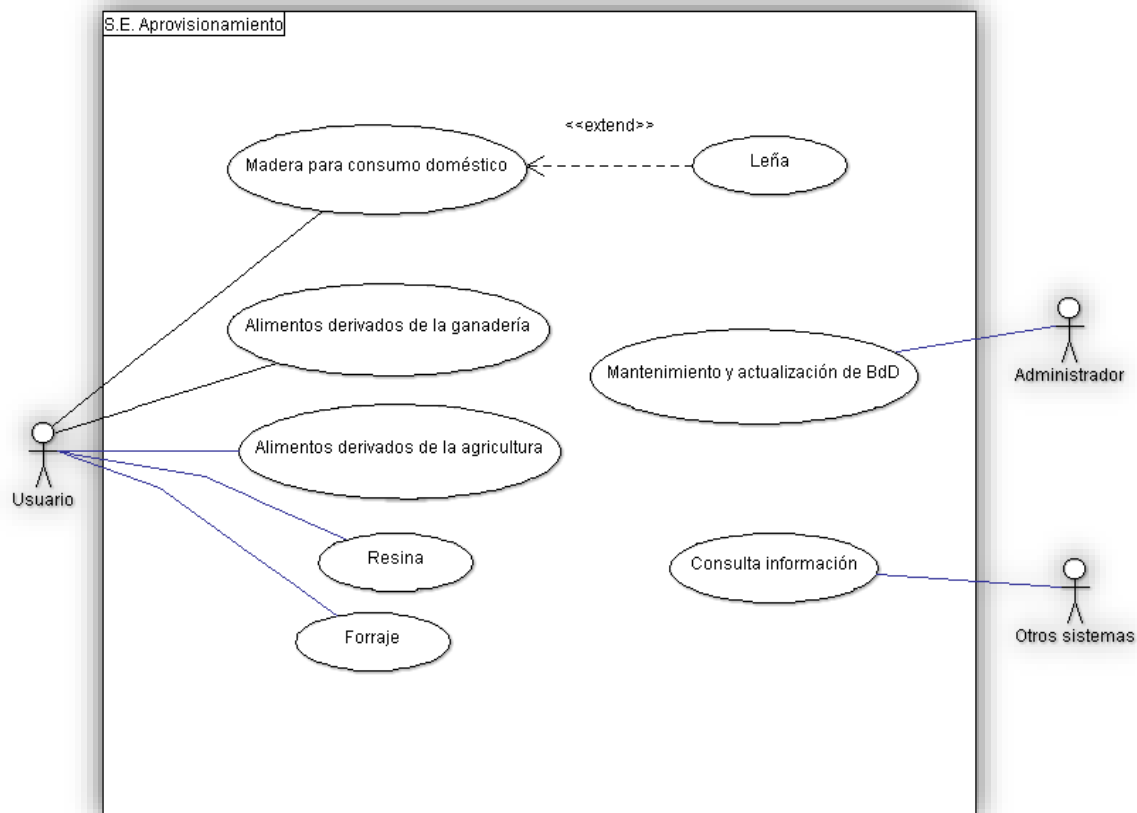


Figura 7. Componente funcional de aprovisionamiento

En la Figura 7, se muestra la granularidad del componente de aprovisionamiento; cada componente se desglosa en los casos de uso de los servicios ecosistémicos de ese grupo, cada caso de uso está representando a otros sub-casos de uso, de acuerdo a su granularidad. Además se presentan dos casos de uso adicionales: el caso de uso de mantenimiento y actualización de la base de datos, la cual se continuaría alimentando por las personas designadas para esta tarea, conforme al pasar del tiempo se generen nuevos datos; y por último el caso de uso de consulta de información externa, el cual es el encargado de gestionar las transacciones de acceso a las bases de datos de otros sistemas y generar la información solicitada por el usuario. Es importante señalar que estos casos de uso serían detallados conjuntamente entre los interesados en el sistema, los expertos en esa área de servicios ecosistémicos y los diseñadores del sistema hasta lograr un consenso.

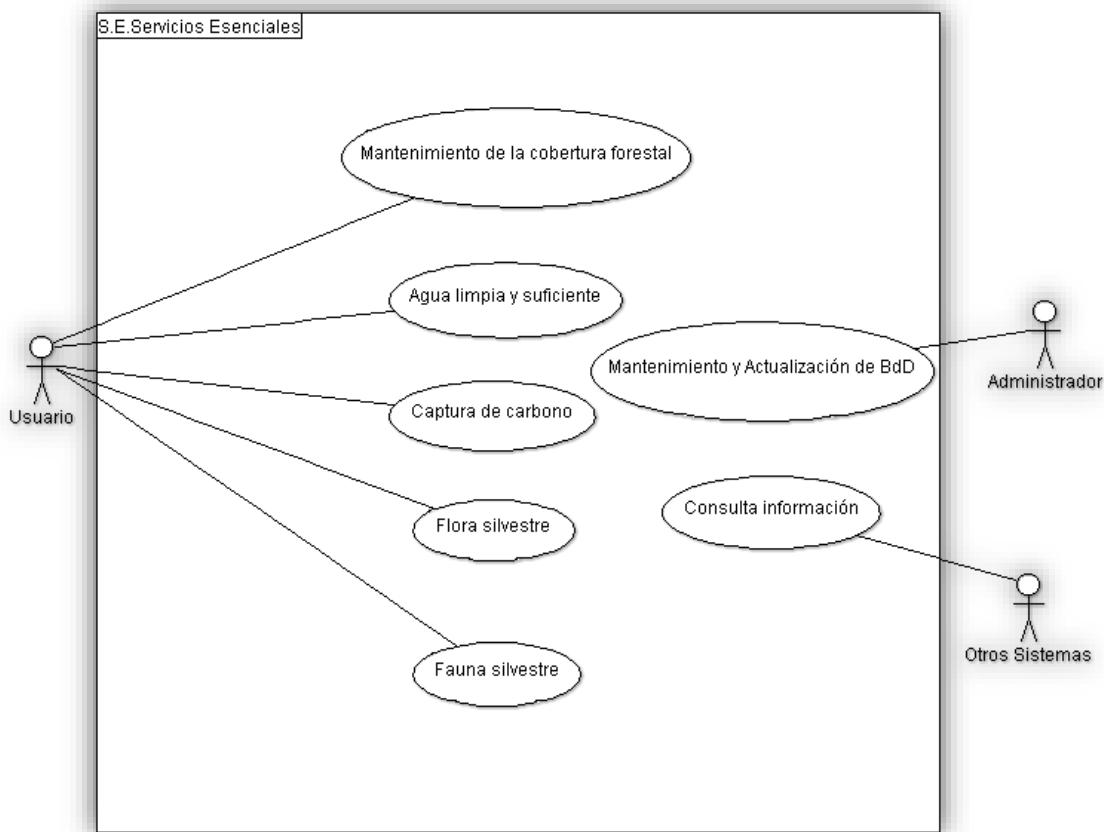


Figura 8. Componente funcional de servicios esenciales

En la Figura 8, se muestra la granularidad del componente de servicios esenciales. Este componente se desglosa en los casos de uso de los servicios ecosistémicos que le corresponden, cada caso de uso se subdividiría o contendría otros casos de uso más específicos, de acuerdo al servicio ecosistémico de que se trate. Además hay dos casos de uso no funcionales: el caso de uso de mantenimiento y actualización de la base de datos y el caso de uso de consulta de información como se explicaron para la figura anterior. Como en los subsistemas anteriores, cada caso de uso sería detallado conjuntamente entre los interesados en el sistema, los expertos en esa área de servicios ecosistémicos y los diseñadores del sistema.

8.3.1.1. Expansión de componentes

Cada componente se subdividiría en módulos y estos a su vez en sub-módulos, hasta que el nivel de detalle fuera suficiente para modelar la complejidad del sistema real en un sistema informático. Obedeciendo a esto se proponen los casos de uso de algunos de los módulos y el resto de los módulos se modelarían de forma semejante.

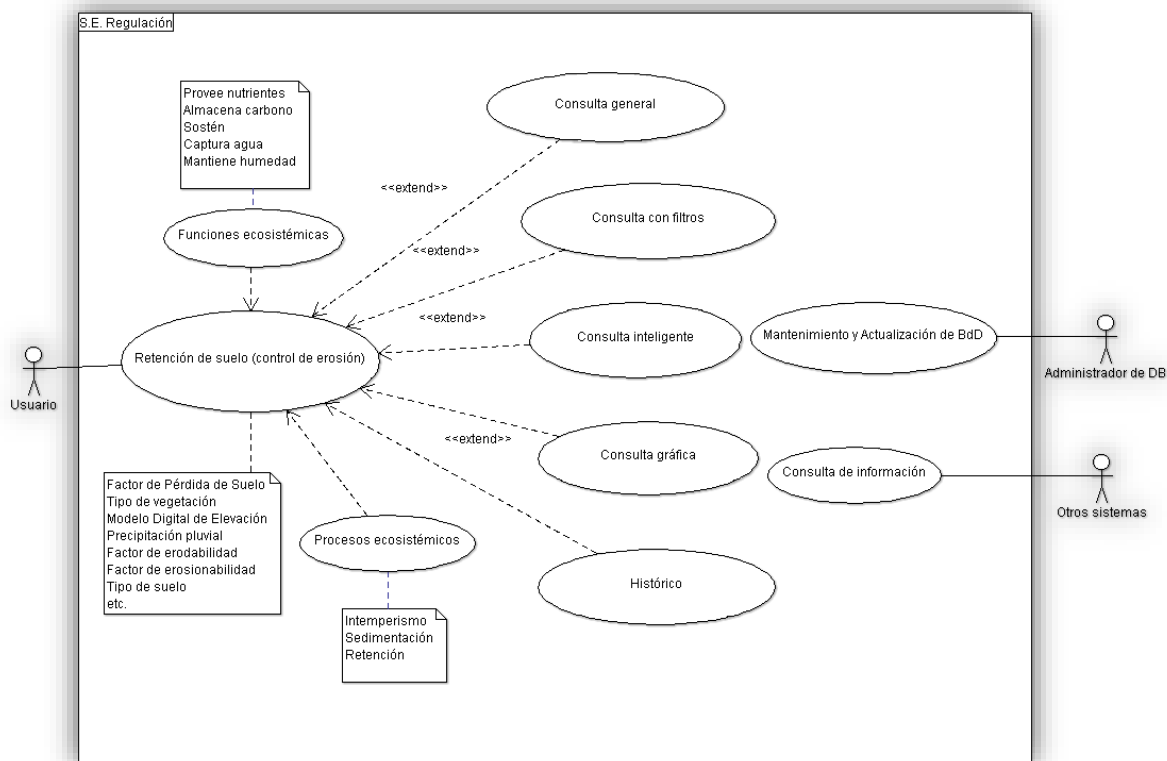


Figura 9. Función de Retención de suelo

En la Figura 9 se ilustra cómo quedaría la granularidad del servicio ecosistémico de retención de suelo (o control de erosión), que englobaría otros casos de uso como los procesos ecosistémicos y las funciones ecosistémicas, así como los casos de uso de los diferentes tipos de consultas, como mostrar los datos relacionados a cierta área geográfica en la consulta general, la consulta con filtros, la consulta inteligente, directamente en los mapas en la consulta gráfica, y si se cuenta con datos de años anteriores, se mostrarían en mapas los cambios que han ocurrido en el tiempo en el caso de uso histórico. Se reitera, que cada caso de uso comprendería otros casos de uso dentro de sí, y que serían detallados en una etapa posterior del sistema de forma conjunta entre los interesados en el sistema, los expertos en esa área de servicios ecosistémicos y los diseñadores del sistema.

Teniendo en cuenta que inicialmente, antes de hacer cualquier consulta, se alimentaría la base de datos del sistema mediante la interfaz propuesta del subsistema de administración de base de datos, se podrían hacer los siguientes tipos de consultas sugeridas.

El caso de uso de **consulta general** se referiría a que el usuario pueda seleccionar una categoría del mapa, y que como resultado se obtendría un reporte de toda la información del servicio ecosistémico de retención de suelo en la región solicitada, información como factor de pérdida de suelo, tipo de vegetación, tipo de suelo, la pendiente del terreno, datos sobre precipitación, factor de erodabilidad, factor de erosionabilidad, etc.

En el caso de uso de **consulta con filtros**, el usuario podría obtener información más específica de acuerdo a su necesidad, y podría condicionar la consulta a ciertos elementos y características que él desee saber de la región, siempre y cuando los datos necesarios se encontraran ya en la base de datos. Por ejemplo: Si se cuenta con presupuesto para reforestar un área, pero aún no se decide dónde invertirlo, la consulta con filtros sería ¿cuáles son las zonas con X superficie, con Y servicio ecosistémico disponible y con Z factor de pérdida de suelo? ¿Cuál es el factor de erosión en el polígono seleccionado? ¿El suelo en el polígono seleccionado tiene buena fertilidad? ¿Es el suelo del polígono seleccionado adecuado para la actividad de la ganadería? ¿Cuáles son las áreas con factor de pérdida de suelo mayor a X factor? ¿Cuáles son las áreas con una fertilidad estimada más alta y con un factor de pérdida de suelo menor a Y factor? Etc. Y el reporte arrojaría las zonas que cumplan con las condiciones especificadas.

Para el caso de uso de **consulta inteligente**, el usuario podría consultar gráficamente, al dibujar un polígono en el área en la que estuviere interesado intervenir de cierta forma, y como resultado obtendría un reporte de los recursos que podrían ser afectados en el área que pretende intervenir.

El caso de uso de **consulta gráfica** se mostraría el mapa de factor de pérdida de suelo y ahí, el usuario podría seleccionar una región para acceder a la información de tasa de pérdida de suelo.

En el caso de uso **histórico** se presentarían gráficamente los cambios que se han registrado a través del tiempo en cuanto al factor de pérdida de suelo, si es que se contara con datos históricos de este tipo, es decir con mapas que contengan datos de cálculo de factor de pérdida de suelo de años anteriores, de esta formase podrían mostrar en forma animada, así como también se podría tener un reporte de la tasa de transformación del hábitat en la región.

En el caso de uso de **mantenimiento y actualización de Bdd**, el administrador de base de datos, por medio de una interfaz de usuario, podría acceder a actualizar (borrar, introducir nuevos datos, modificar datos incorrectos, etc.) los datos y los mantendría al día.

Para el caso de uso de **consulta de información**, el sistema podría conectarse con otros sistemas con el objeto de obtener los datos que requieran los casos de uso y así satisfaría las consultas de los usuarios. Cabe mencionar que aquí se podrían tener restricciones para acceder a los datos de otros sistemas, como se mencionó en la sección de Alcance y limitaciones del sistema.

En la Figura 10, se muestra el caso de uso para el servicio ecosistémico de captura de carbono, aquí también se tendrían los casos de uso tanto de procesos y funciones ecosistémicas así como de consultas de diferentes tipos, mismas que serían detalladas en una etapa posterior del sistema junto con los interesados en el sistema, los expertos en el área de servicios ecosistémicos y los diseñadores del sistema hasta lograr un consenso.

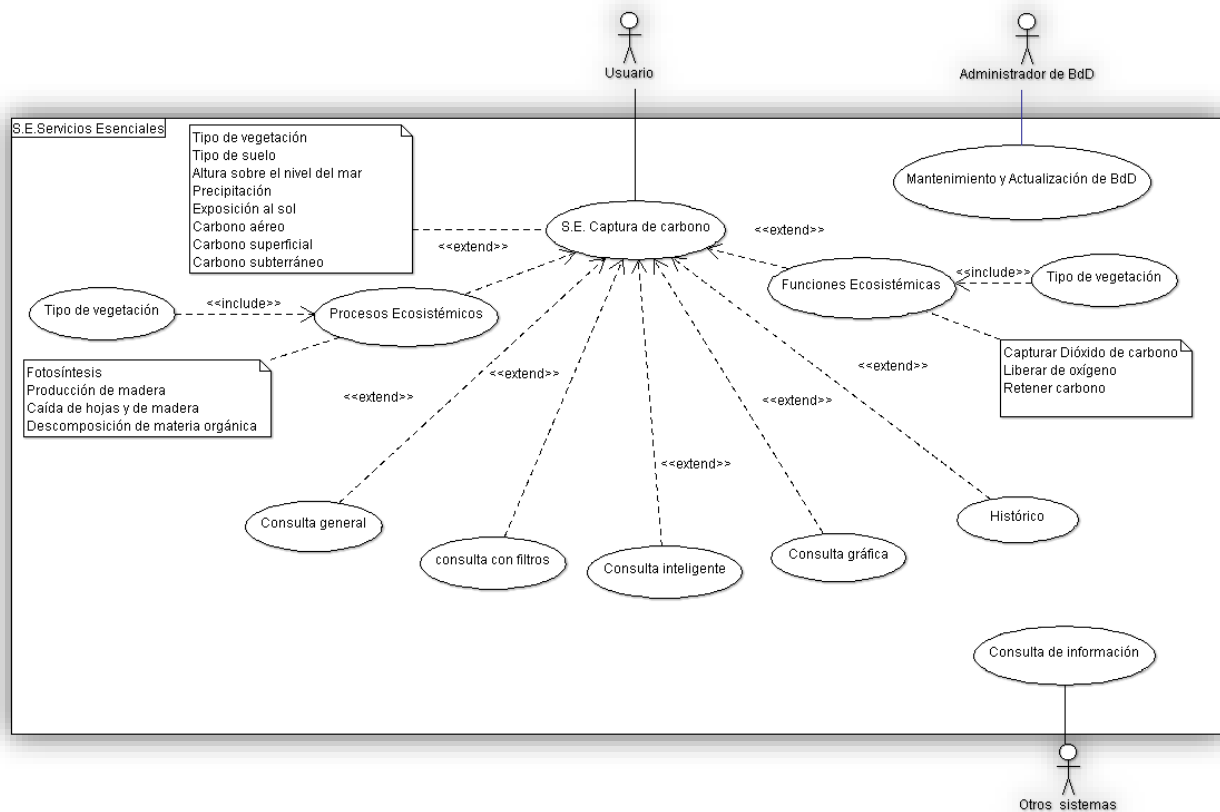


Figura 10. Función de Captura de carbono

Teniendo en cuenta que inicialmente, antes de hacer cualquier consulta se alimentaría la base de datos del sistema mediante la interfaz propuesta del subsistema de administración de base de datos, proponemos varios tipos de consulta, las cuales quedarían detalladas en los casos de uso que a continuación se explican:

En el caso de uso de **consulta general**, el usuario podría seleccionar una categoría del mapa, y el resultado sería obtener un reporte de toda la información del servicio ecosistémico de captura de carbono en la región solicitada, información como cantidad de carbono aéreo almacenado, cantidad de carbono superficial almacenado, cantidad de carbono subterráneo almacenado y lo que representa en términos económicos para la venta de bonos de carbono, tipo de vegetación, tipo de suelo, superficie del área seleccionada, datos de precipitación, altura sobre el nivel del mar, cantidad de luz recibida, etc.

El caso de uso de **consulta con filtros**, es para que el usuario obtuviera información más específica de acuerdo a su necesidad, y podría condicionarla consulta a ciertas características y elementos que él deseara conocer de la región, siempre y cuando los datos ya se encontraran dentro de la base de datos. Por ejemplo: Si se cuenta con presupuesto para reforestar un área con el propósito de capturar más carbono, pero aún no se tiene claridad de dónde invertirlo, la consulta con filtros sería ¿cuáles son las zonas con W tipo de vegetación, con X factor de carbono aéreo almacenado o bien su valor económico en bonos

de carbono, con Y factor de carbono superficial almacenado o su valor económico en bonos de carbono y con Z factor de carbono subterráneo almacenado o expresado en su valor económico en términos de bonos de carbono? O bien ¿Qué cantidad de carbono almacenado tanto aéreo como superficial tiene esta categoría y cuál es su valor económico en bonos de carbono? ¿Qué cantidad de carbono subterráneo almacenado tiene este terreno (polígono seleccionado) y cuál es su valor económico? ¿Cuáles son las zonas con cantidad de carbono aéreo almacenado mayores a X cantidad? Las cuales, en términos de conservación, podrían ser destinadas a la conservación por su importancia, etc. Y el reporte emitiría las zonas que cumplan con las condiciones deseadas.

Para el caso de uso de **consulta inteligente**, el usuario podría consultar gráficamente y dibujaría un polígono en la zona en la que estuviera interesado intervenir de cierta forma, y obtendría como resultado un reporte de los recursos que se podrían afectar en la zona que pretendiera intervenir.

El caso de uso de **consulta gráfica** mostraría el mapa de cantidad de carbono almacenado y ahí, el usuario podría seleccionar una región para acceder a la información de toneladas por Ha de carbono almacenado en sus tres modalidades: tanto el aéreo, como el superficial y el subterráneo.

En el caso de uso **histórico** se presentarían gráficamente los cambios que se han registrado en cuanto a la cantidad de carbono almacenado, este caso de uso sólo podría estar disponible si se contara con datos históricos de este tipo, es decir mapas con datos de años anteriores, así el usuario podría ver una animación de los cambios que se han registrado en cuanto a la de cantidad de carbono capturado a través del tiempo.

En el caso de uso de **mantenimiento y actualización de Bdd**, el administrador de base de datos, por medio de una interfaz de usuario, podría tener acceso a los datos para mantenerlos (borrar, introducir nuevos datos, modificar datos incorrectos, etc.) y así garantizaría que estén actualizados.

Para el caso de uso de **consulta de información**, el sistema podría conectarse con otros sistemas de información con el objeto de obtener los datos que requirieran los casos de uso y así podría responder las consultas de los usuarios. Hay que resaltar que este acceso a otros sistemas podría estar restringido, como se mencionó en la sección de Alcance y limitaciones del sistema, y esto resultara en que, en algunos casos, no se pudiera entregar la información completa.

Se modelaron solo dos de los servicios ecosistémicos prioritarios en el presente documento, de acuerdo a la información que se tiene del proyecto; más los otros servicios ecosistémicos se modelarían en casos de uso de forma semejante a estos; y se incluirían los casos de uso de los cinco tipos diferentes de consultas, de mantenimiento y actualización de la base de datos así como también el caso de uso de consulta de información en otros sistemas. La funcionalidad interna variaría de servicio a servicio ya que el tratamiento de los datos es diferente de acuerdo al servicio ecosistémico de que se trate, y esto se definiría con más detalle entre los interesados en el sistema, los expertos en esta área de servicios ecosistémicos y los diseñadores de sistemas.

8.3.2. Implementación por incrementos

Se propone que el desarrollo del sistema sea por incrementos, pues se iniciaría con un sistema núcleo que incluya poca funcionalidad, se liberaría para prueba beta y retroalimentación, y posteriormente se continuaría añadiendo otra funcionalidad, se liberaría para prueba beta y se recibiría nueva retroalimentación, y así sucesivamente con otras funcionalidades. En cada incremento la complejidad crecería, y esto es válido también para el tipo de consultas que los usuarios potenciales del sistema podrían hacer; es decir que en un primer incremento las funcionalidades incluidas serían básicamente consultas a información ya existente en el sistema, lo cual daría soporte para tomar decisiones de tipo estructuradas y semi-estructuradas, mientras que en un siguiente incremento las consultas que podrían hacer los usuarios ya serían del tipo de un análisis de la información existente, lo cual daría soporte para tomar decisiones de tipo semi-estructuradas, y en un incremento posterior sería posible que los usuarios obtengan análisis complejos de la información, lo cual daría soporte para tomar decisiones de tipo semi-estructuradas y no estructuradas, que es lo que demanda el Proyecto GEF-Mixteca; de modo que en cada incremento también la inteligencia artificial del sistema crecería.

En el primer incremento, el de consulta de datos ya existentes, no se requeriría el esquema “cliente-servidor” mientras que en el incremento en que se implementaran análisis complejos de la información y por lo tanto también la posibilidad de correr modelos sofisticados con los que el sistema podría generar nueva información, entonces sí sería necesario implementar un esquema “cliente-servidor” como se aprecia en la Figura 11, en donde los modelos y la parte de análisis complejos serían ejecutados en la computadora personal del usuario y para esto, sería necesario tener instalada una parte del sistema de soporte en la computadora del usuario, a esta instalación software se le denomina “cliente”, mientras que a la parte del sistema software que estaría instalada y correría en el servidor se le denomina “servidor”; ambas instalaciones tendrían comunicación vía internet y podrían trabajar con todas sus funcionalidades y capacidades únicamente cuando las dos instalaciones del sistema estuvieran funcionando correctamente y en buena comunicación.

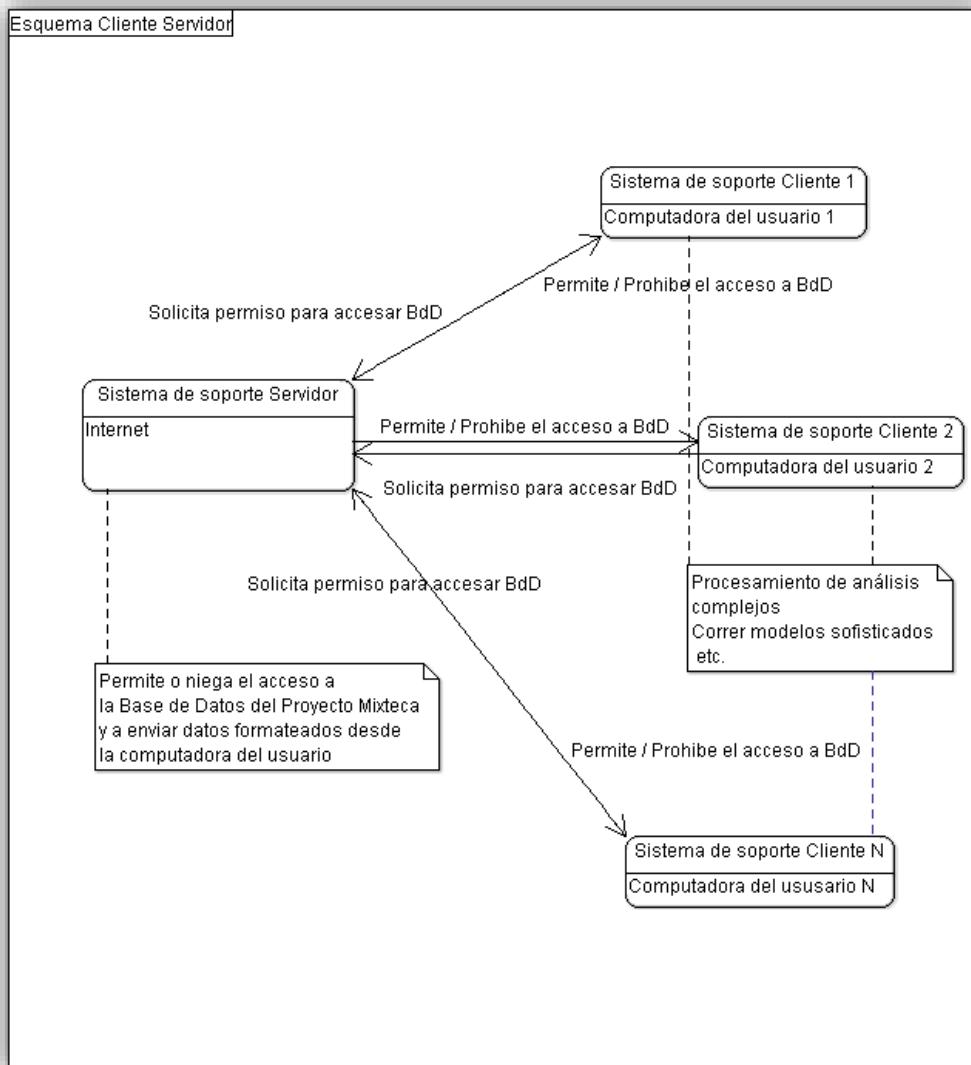


Figura 11. Esquema Cliente Servidor del Sistema de Soporte a las Decisiones

Los tiempos en los que se harían las liberaciones de cada incremento así como la prioridad y factibilidad de la implementación de las funcionalidades en cada uno de ellos se detallarían y acordarían entre los interesados en el sistema y los diseñadores del mismo.

Para que no fuera necesario instalar parte del software en la computadora del usuario hay dos posibilidades:

1. Rentar un servidor dedicado en la nube con un distribuidor de este servicio, lo cual es caro pues para tener la posibilidad de correr modelos para generar escenarios es necesario hacer un dimensionamiento de las características del servicio que se ha de contratar. El dimensionamiento debe considerar el tráfico mensual (la cantidad de usuarios que estarían accediendo al server, al mismo tiempo, en un mes), la velocidad

de acceso del puerto del servidor, determinar la velocidad de procesamiento necesaria en base a la complejidad de los modelos que se elijan, es decir el número núcleos o de procesadores que sean capaces de entregar los resultados en un tiempo aceptable para las demandas de los usuarios, contar con una JVM (Java Virtual Machine) privada, entre otras.

2. Comprar un servidor propio y dimensionarlo tomando en cuenta las variables mencionadas en la posibilidad anterior (1), comprar las licencias de todas las aplicaciones que van a correr en el servidor, contratar un servicio internet para conectarlo a la nube en base al tráfico que va a cruzar en el enlace, debe haber un administrador del servidor, tener una dirección IP fija para este servidor, tener las instalaciones físicas en donde va a estar el servidor con el ambiente adecuado (aire acondicionado, entre otras), etc.

8.4. Arquitectura hardware-software adecuada a los requerimientos del sistema

Proponemos que el sistema de soporte a las decisiones opere en una plataforma server Linux-Windows, con manejador para base de datos Postgre SQL, o MySQL u otro DBMS dependiendo de las necesidades; que cuente con ambientes software JSP (Java Servlet Pages) y EJB (Enterprise Java Beans); con ambientes para lenguajes de programación Java, JavaScript y Php. Con estas características sería posible implementar lo que se documenta en esta propuesta de sistema de soporte a las decisiones por incrementos.

Respecto a la plataforma de aplicaciones de mapas y con base en lo que ya se explicó en la sección Sistemas de Información Geográfica, dentro del Marco teórico, se tienen las siguientes alternativas:

-Una plataforma software de código abierto como **MapServer** o **GeoServer**, los cuales ofrecen muy buenas herramientas cartográficas y de análisis espacial, con la gran ventaja de que no generan un costo, lo que en un momento dado, podría ser una limitante para darle continuidad al proyecto en el futuro.

-**ArcGIS for Server**, que es una plataforma que ofrece gran calidad y provee una amplia gama de funcionalidades, que permite compartir recursos SIG en toda la organización ya través de la red, y también permite acceder a las funcionalidades SIG inherente a ellos. Los recursos SIG pueden ser los mapas, globos terráqueos, los localizadores de direcciones, bases de datos geo-referenciadas, y otras herramientas que se desee compartir en línea. Las principales ventajas de compartir los recursos SIG en esta plataforma son las siguientes: los datos se gestionan de forma centralizada, soporta múltiples usuarios, y proporciona a los clientes la información más actualizada. La desventaja principal es el pago de la licencia del producto, y que es necesaria al menos una licencia ArcEditor para configurar y crear datos. Otra desventaja es que utiliza la API REST, y al estar basado en objetos DCOM tiene problemas de escalado, y solo trabaja bajo Windows y Linux.

Ahora bien, comparando el rendimiento de MapServer, GeoServer y ArcGISfor Server se encontró que la variación en la robustez de cada producto obedece a los tamaños de los archivos y el tiempo de descarga de cada WFS a través de los tres servidores de mapas web.

En la prueba las diferencias más significativas se produjeron en la operación *Get Capabilities* entre GeoServer y los otros dos servidores, como se pueden apreciar en la Tabla 3. El tamaño del archivo generado a través de los servidores para el tipo de geometría descrito y la petición *Getfeatures* son similares más con pequeñas variaciones, pero los archivos WFS creados por ArcServer son más grandes que aquellos creados con MapServer o GeoServer.

Tabla 1. Comparación entre MapServer, GeoServer y ArcServer

Categoría	MapServer	GeoServer	ArcServer
Website	http://www.mapserver.org/	http://geoserver.org/	http://www.esri.com
Soporta Sistemas Operativos	Windows, Linux, Mac OSX, Solaris, etc.	Windows, Linux, Mac OSX	Windows, Linux
Licencia	Open Source	Open Source	Proprietary
Tipo de Interfaz Software	Command line or separately installed graphical user interface	Graphical user interface	Graphical user interface
Soporta Formatos de Archivos de Entrada	<ul style="list-style-type: none"> • Vector: shapefile, TIGER, etc. • Raster: TIFF, GeoTIFF, JPEG, GIF, PNG, etc. • Databases: Microsoft SQL, Oracle, PostGIS/PostgreSQL, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vector: shapefile, TIGER, etc. • Raster: TIFF, GeoTIFF, JPEG, GIF, PNG, etc. • Databases: Microsoft SQL, Oracle, PostGIS/PostgreSQL, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vector: shapefile, TIGER, etc. • Raster: TIFF, GeoTIFF, JPEG, GIF, PNG, etc. • Databases: Microsoft SQL, Oracle, PostGIS/PostgreSQL etc.
Soporta Servicios de Salida web OGC	<ul style="list-style-type: none"> • WMS • WFS • WCS 	<ul style="list-style-type: none"> • WMS • WFS • WCS • Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • WMS • WFS • WCS • Etc.

Otra alternativa a considerar es:

-**Google MapsEngine**, ya que ofrece visualización de mapas en diferentes formatos como KML, GeoJason, Fusion Tables, etc. los cuales se pueden obtener a partir del formato shape; otras ventajas son que presenta una gran variedad de mapas base (topográfico, satelital, etc.) e información a gran escala muy detallada, además de la disponibilidad de toda la gran base de datos que Google ha recabado de todo el mundo, entre ellos los datos del INEGI en México, y otros beneficios, con el gran inconveniente del costo de la licencia de \$15,000 USD por año.

Se ha estado trabajando en el conocimiento y el funcionamiento de las aplicaciones ofrecidas por la plataforma Google Maps Engine, esto con el objeto de que, mediante programación,

se pueda tener acceso a estas herramientas sin necesidad de tener que pagar la costosa licencia que da acceso a esta plataforma y a sus aplicaciones. Los resultados obtenidos han sido exitosos en este sentido, ya que se ha logrado interactuar con esta plataforma y algunas de sus funciones mediante programación empleando Java Servlet Pages, Java Scripts y módulos software Java con programación orientada a objetos, el resultado puede observarse en la página internet del sitio CMASIG²³.

8.5. Interfaz de usuario amigable, fácil de usar por todo tipo de usuarios del sistema

Para todos es conocido que se usa una herramienta cuando uno se siente cómodo con ella, es útil y especialmente si es fácil su uso, de igual manera ocurre con los sistemas de información, y por esto proponemos una interfaz de usuario fácil de usar y muy amigable, que emplearía menús que asocien los servicios ecosistémicos definidos para el Proyecto GEF-Mixteca en los grupos universalmente conocidos de aprovisionamiento, de regulación, culturales y servicios esenciales como se aprecia en la Figura 12.

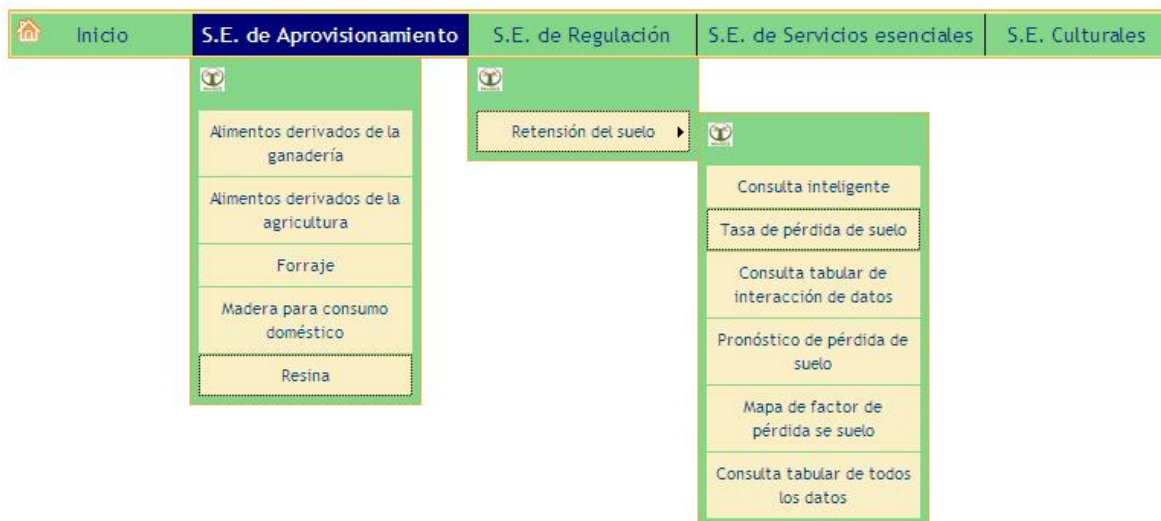


Figura 12. Interfaz de usuario por S.E.

Para cada uno de los servicios ecosistémicos proponemos que se pudiera acceder a los diferentes tipos de consultas directamente desde el menú de dicho servicio ecosistémico, la propuesta de las consultas se encuentra detallada en la sección Expansión de componentes por cada uno de los servicios ecosistémicos.

Sería posible implementar en este sistema la visualización de la información generada con formatos semejantes a los que ya emplean otras herramientas software en línea. Algunas de las cuales presentan la información de forma gráfica y escrita, o bien con animación que permite al usuario visualizar los cambios a través del tiempo en los mapas. En los siguientes ejemplos se presentan algunas de las ideas que podrían implementarse en el sistema:

²³<http://www.cmasig.org/ejemploMapa.jsp> propiedad de Jorge Carranza Sánchez.

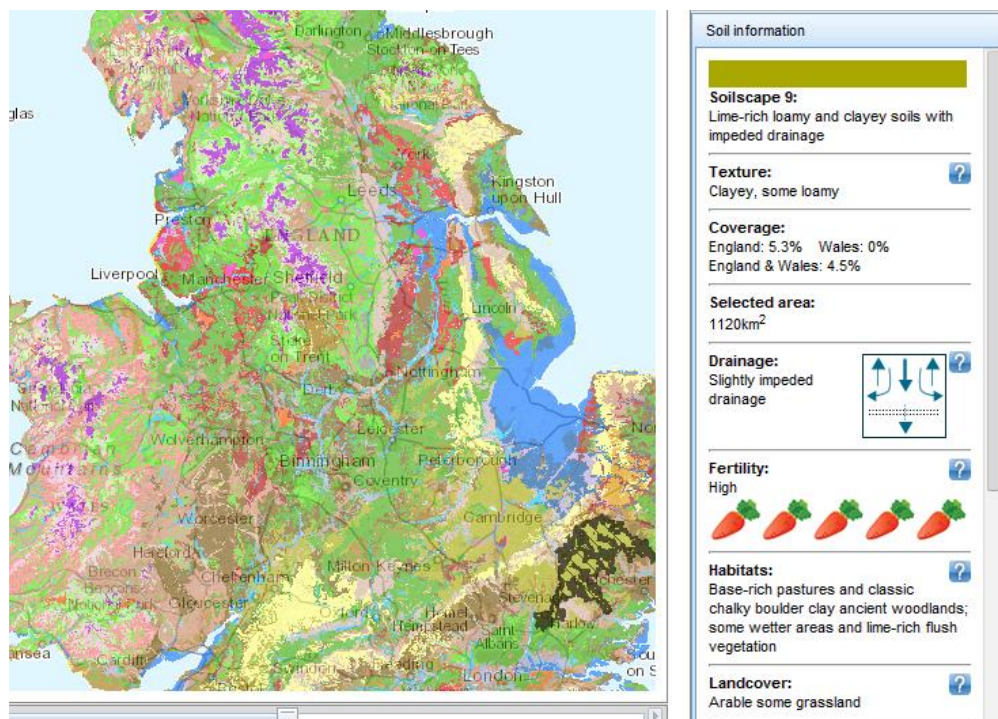


Figura 13. Vista sugerida para la consulta general²⁴

Para la consulta general, se podría presentar la información como se muestra en la Figura 13, en donde se mostrarían todos los datos relacionados a una categoría seleccionada por el usuario.

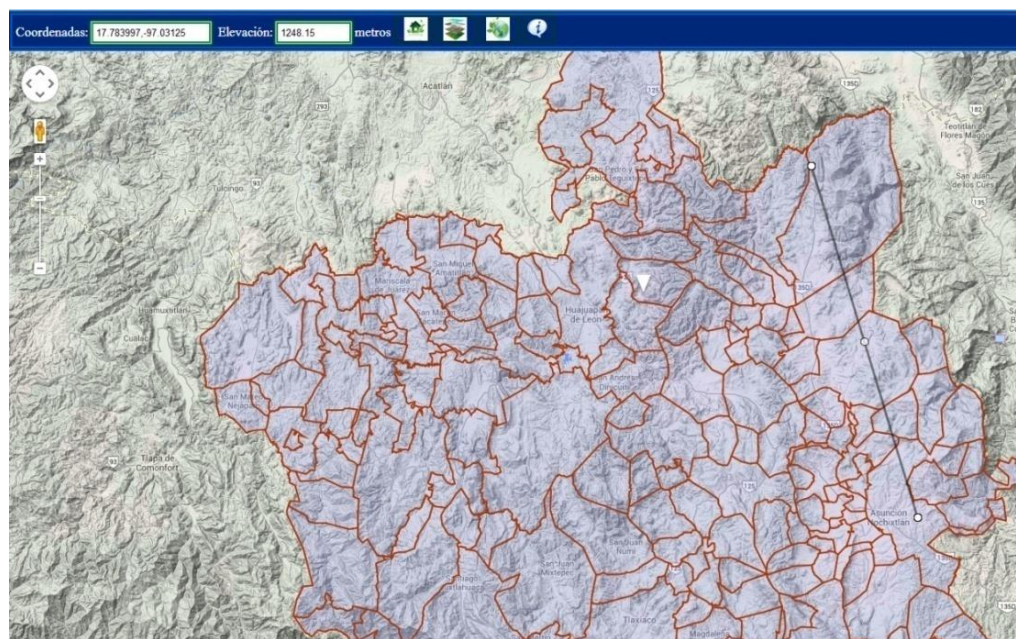


Figura 14. Vista sugerida para la consulta inteligente²⁵

²⁴<http://www.landis.org.uk/soilscales/> -13 oct 2014.

Para la consulta inteligente, se propone que si se trazara un polígono en el mapa en el área en donde se desea realizar una obra, se activaría la consulta inteligente, el resultado sería que el sistema procesaría el polígono y proporcionaría al usuario toda la información relacionada con el área potencialmente afectada por el polígono que marcó el usuario, como se aprecia en la Figura 14. En el ejemplo se traza una línea por donde se pretende construir una carretera.

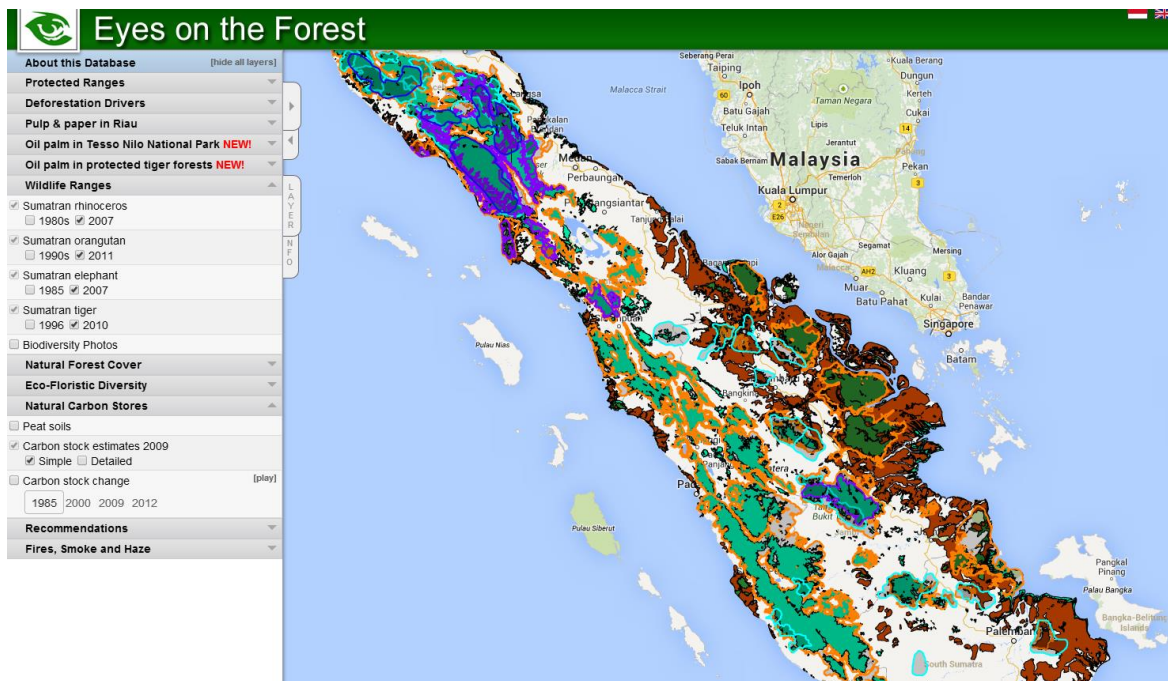


Figura 15. Vista sugerida para la consulta histórica²⁶

Para la consulta histórica, si se cuenta con datos de distintos años anteriores, se podría presentar una animación de los cambios que ha sufrido la región al pasar del tiempo, de manera semejante a como se efectúa en el sitio que ilustra la Figura 15.

8.6. Subsistema de administración de base de datos

El subsistema de administración de base de datos incluiría las funcionalidades de alimentación y actualización de datos para el mantenimiento de los datos del sistema. Antes de usar por primera vez el sistema sería necesario alimentarlo con datos, mapas, etc. Estos datos con los que estaría trabajando el sistema deberían estar estandarizados, es decir que todos deberían estar en el mismo formato, y por ejemplo, si los datos de entrada se encontraran en formatos diferentes (tipos de datos, tipos de archivos, escalas, etc.) sería necesario convertirlos a un formato uniforme para que el sistema pudiera trabajar con ellos. Una vez que los datos se encontraran estandarizados se podría alimentar con ellos el

²⁵<http://www.cmasig.org/ejemploMapa.jsp>-14 oct 2014.

²⁶<http://maps.eyesontheforest.or.id/>-14 oct 2014.

sistema. También sería posible, mediante este subsistema actualizar la información ya existente en caso de que fuera necesario. El sistema contemplaría que los nuevos datos recolectados pudieran introducirse en la base de datos también mediante el subsistema de administración de base de datos.

Para garantizar la seguridad en la interacción con el sistema proponemos que el acceso al sistema fuera en dos modalidades, la primera general y abierta a todos los usuarios que desearan consultar información del sistema, la segunda de acceso restringido y protegido, como se aprecia en la Figura 16, por una combinación de clave de usuario y contraseña, para los usuarios que efectuarían las tareas de administración de la base de datos y de mantenimiento y actualización de los datos; esto con la intención que la integridad y seguridad de los datos estuviera protegida.



Subsistema de administración de base de datos [Iniciar sesión]

INICIAR SESIÓN

Especifique su nombre de usuario y contraseña.

Información de cuenta

Nombre de usuario:

Contraseña:

Mantenerme conectado

Iniciar sesión

Figura 16. Acceso restringido a base de datos

El acceso restringido a la base de datos se haría por servicio ecosistémico, de tal modo que cuando se le diera mantenimiento o bien cuando se actualicen los datos de un servicio ecosistémico, el resto de los datos no se pudiera modificar, de esta manera también se tendría un mejor control por servicio ecosistémico, ya que sólo el especialista en ese servicio tendría acceso a modificar los datos de su competencia y así se podrían modificar únicamente los datos correspondientes a cierto módulo, para garantizar la seguridad e integridad de la base de datos. El acceso al subsistema de mantenimiento se ilustra en la Figura 17.



Figura 17. Interfaz con acceso al mantenimiento del sistema

8.7. Subsistema de interacción con otros sistemas ya existentes

Este subsistema sería para adquirir y compartir información, hasta donde sea posible y la legislación lo permita. En la **Figura 18** se ilustra el diagrama de interacción con otros sistemas, mencionando brevemente algunos de los datos que el sistema de soporte a las decisiones debería acceder de otros sistemas como el del INEGI, por ejemplo, y también algunos de los datos generados de forma interna al Proyecto GEF-Mixteca.

Como se observa en la Figura 18, el sistema que se está proponiendo podría interactuar con una gran cantidad de sistemas aún no especificados, de donde el SSD obtendría datos externos a la base de datos propia del Proyecto GEF-Mixteca, para responder las consultas de los usuarios. Tanto los datos externos, como los sistemas de dónde estos se obtendrían, se definirían con mayor detalle juntamente con los interesados en el sistema, con los usuarios potenciales del mismo, los expertos en el área de servicios ecosistémicos y los diseñadores de sistemas.

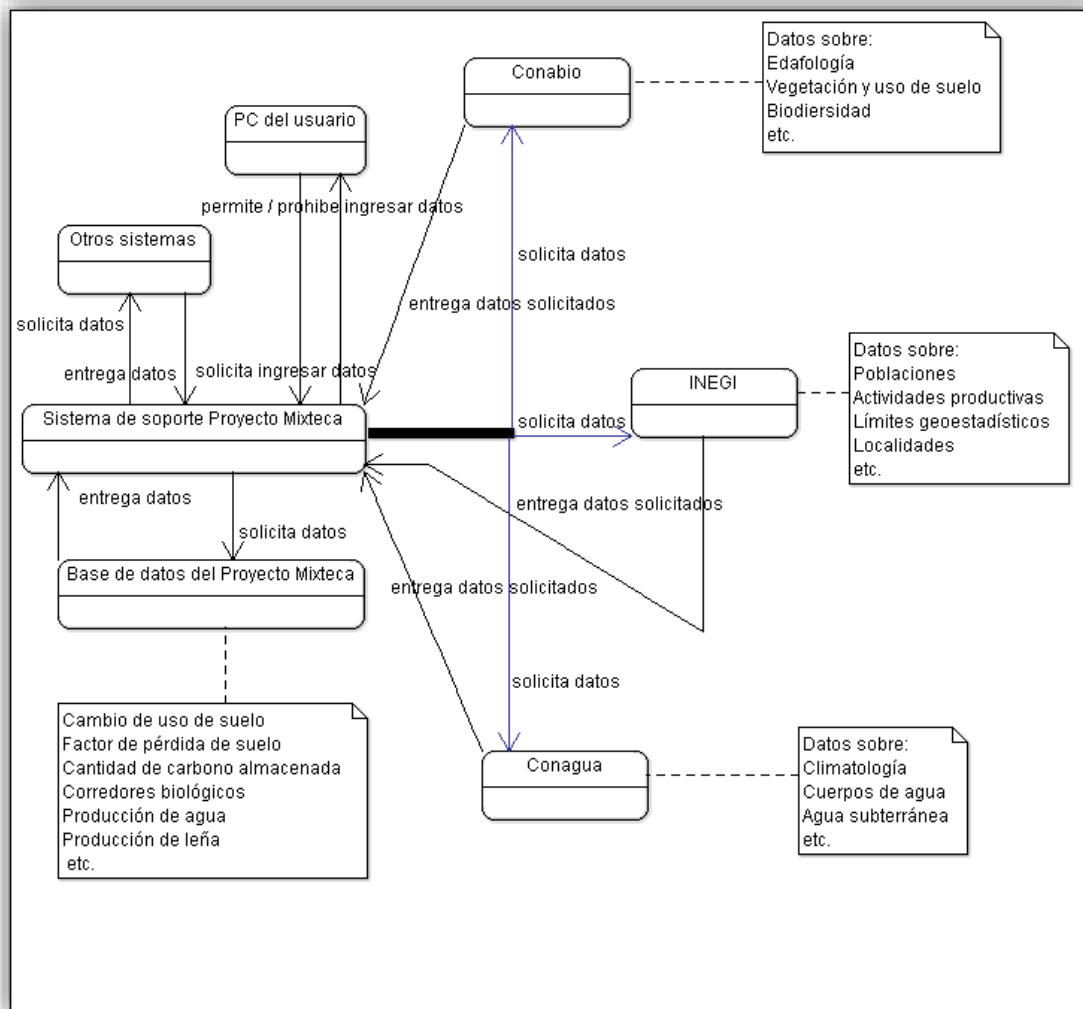


Figura 18. Interacción con otros sistemas

Es importante notar que también se ha considerado la posibilidad de que los datos externos al Proyecto GEF-Mixteca se pudieran obtener desde la computadora personal del usuario, cuando este los tuviera, siempre y cuando el formato de los datos sea compatible al que usan los otros sistemas que típicamente proveerían esta información en línea, sistemas como el INEGI, CONAGUA, CONABIO, etc. pues este sería el formato en que el sistema esperaría obtener dicha información, en caso de que el formato de los datos que deseara proporcionar el usuario al sistema no coincidiera con el esperado, el sistema no permitiría el ingreso de estos datos.

8.8. Ayuda en línea para los usuarios del sistema

Proponemos que el sistema presentara ayuda en línea mediante ventanas flotantes (Tool tips) con instrucciones cortas, como se puede apreciar a la Figura 19.

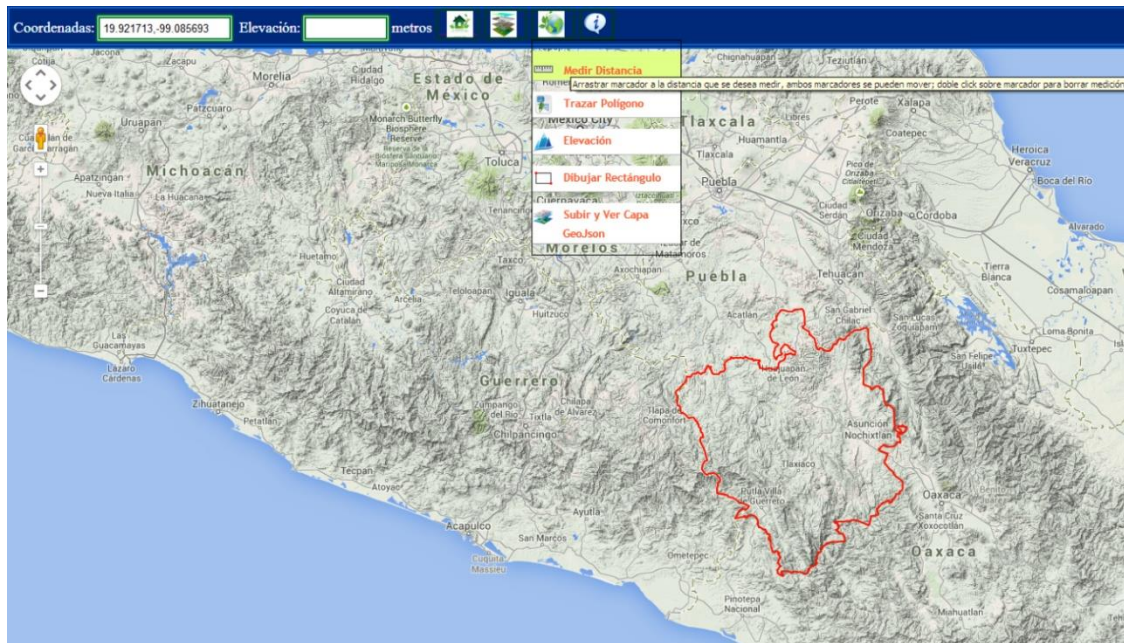


Figura 19. Ayuda en ventanas flotantes²⁷

Así como un manual de usuario en línea, organizado por tópicos, que comprendiera el procedimiento a seguir para usar cada herramienta del sistema, además de una sección de preguntas frecuentes con instrucciones para los procedimientos más comúnmente empleados por los usuarios, como se aprecia en la Figura 20, esto con el objeto de que se facilitara al usuario el uso del sistema, especialmente para aquellos que no estuvieran familiarizados con los sistemas de información.

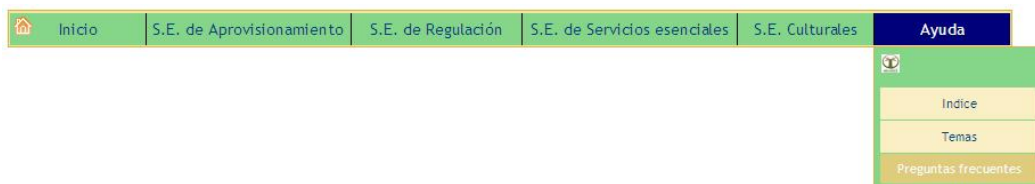


Figura 20. Ayuda en línea

La ayuda en línea sería tan clara y detallada como los usuarios potenciales del sistema la requirieran, de modo que aún aquellos que no se encontraran familiarizados con el uso de sistemas de información pudieran tener acceso a la información brindada por el sistema de soporte a las decisiones del Proyecto GEF-Mixteca. De igual manera que en los puntos anteriores, la ayuda en línea sería detallada posteriormente entre los interesados en el sistema, los usuarios potenciales del mismo y los diseñadores del SSD para el Proyecto GEF-Mixteca.

²⁷<http://www.cmasig.org/ejemploMapa.jsp>-14 oct 2014.

9. Conclusiones

Los SSD no se utilizan ampliamente, pues son sistemas poco conocidos en el área del medio ambiente en México, pero hay que recordar que no hace mucho tiempo los SIG en línea tampoco se conocían y que en poco tiempo se han hecho muy populares, y sus beneficios son notorios desde la migración de los mapas manuales y el sistema de catálogos tradicional a un sistema automático basado en sistemas de información y telecomunicaciones. En todos los ámbitos se reconocen como herramientas realmente útiles.

El Proyecto GEF-Mixteca podría tener en el SSD un instrumento con un enfoque ecosistémico para integrar la información inicial existente y la generada durante el desarrollo del proyecto en una plataforma web que permita la consulta por parte de quienes toman las decisiones, y que al mismo tiempo pueda dar asistencia para la toma de decisiones en diferentes niveles de las instituciones.

Los SSD están en proceso de introducción y desarrollo, es algo nuevo para muchos, y como ya se mencionó en este documento, estos involucran la integración de nuevas tecnologías que le dan a los usuarios mayores capacidades de análisis de la información y de los fenómenos naturales que se suscitan en tiempo real, a la vez que permiten que los sistemas sean robustos y dinámicos al incluir la tecnología de las telecomunicaciones y redes de cómputo, por citar unos ejemplos: el monitoreo remoto a través de sensores hardware, también se tiene el uso de los satélites, a través de los cuales se toman fotografías de la superficie terrestre y por medio de ellas se identifican gran variedad de indicadores del medio ambiente, otro medio que se puede utilizar es el uso de computadoras (incluidos los teléfonos celulares) y de redes de cómputo las cuales nos acercan a los bancos de datos generados por diferentes instituciones a nivel global; también las nuevas técnicas de desarrollo de sistemas computacionales como: diseño de arquitecturas basadas en objetos, las cuales nos permiten la modularidad e implementación por incrementos de un sistema, el procesamiento distribuido, etc.; de igual manera incluyen técnicas de inteligencia artificial como: heurísticas, sistemas expertos, redes neurales, autómatas celulares, lógica difusa, etc. No es necesario verlo como algo demasiado complejo e inalcanzable, sino como un reto, e irlo desarrollando por pasos, involucrando a los usuarios para que participen aportando su experiencia en campo a la inteligencia del sistema. Con la integración de la tecnología y el avance en las ciencias de ecología y medio ambiente, integrando todo esto permitiría hacer SSD funcionales y amigables, por supuesto es una labor muy compleja que exige el trabajo interdisciplinario y coordinado de varias áreas de las ciencias, y que aún está comenzando en México, pero que seguramente muy pronto será una realidad.

10. Literatura Citada

Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/>

Feria-Pérez, C. R. 2010. *El paisaje de la mixteca: el espacio abierto en la vida cotidiana de Santa Cruz Nundaco, Oaxaca*. Tesis que presenta para obtener el título de Arquitecto Paisajista. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Arquitectura.

Funtowicz S, and Ravetz JR, 1992: *Three Types of Risk Assessment and the Emergence of Post-Normal Science*, in Krinsky S, and Golding D (eds), *Social Theories of Risk*, Westport CT, Greenwood. 251-273.

Gartner Inc. 56 Top Gallant Road Stamford, CT 06902-7700 U.S.A.
<http://www.gartner.com/technology/about.jsp>

Geospatial Media and Communications Pvt. A-145, Sector - 63 Noida - 201 301, U.P., India
<http://geospatialworld.net/Paper/Opinion/ArticleView.aspx?aid=30590>

Haettenschwiler, P. (1999). *Neuesanwenderfreundliches Konzept der Entscheidungsunterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft*. Zurich, vdf Hochschulverlag AG: 189-208.

Henk G. Sol et al. (1987). *Expertsystems and artificial intelligence in decision support systems: proceedings of the Second Mini Euroconference, Lunteren, The Netherlands, 17–20 November 1985*. Springer, 1987. ISBN 90-277-2437-7. p.1-2.

<https://es.surveymonkey.com/>

<http://www.cmasig.org/ejemploMapa.jsp> propiedad de Jorge Carranza Sánchez.

<http://www.landis.org.uk/soilscapes/>-13 oct 2014.

<http://www.cmasig.org/ejemploMapa.jsp>-14 oct 2014.

<http://maps.eyesontheforest.or.id/>-14oct 2014.

IBM New Orchard Road, Armonk, New York 10504 U.S.A.
<http://www.ibm.com/ibm/us/en/?lnk=fai-maib-usen>

INEGI 2010. Marco Geoestadístico Nacional Versión 5.0A.http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

INEGI 2010. Censo de población y vivienda.
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

Jones, J.W., G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, L.A. Hunt, P.K. Thornton, P.W. Wilkens, D.T. Imamure, W.T. Bowen and U. Singh (1998): *Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3*. in: G.Y. Tsuji et al. (eds): *Understanding options for Agricultural production*, p. 157 - 177. Kluwer Academic Publishers.

Keen, P. G. W. (1978). *Decision support systems: an organizational perspective*. Reading, Mass., Addison-Wesley Pub. Co. ISBN 0-201-03667-3

- Kinzig A. P., Ryan P., Etienne M., Allison H., Elmqvist T., and Walker B. H. 2006. *Resilience and regime shifts: assessing cascading effects*. *Ecology and Society* 11(1): 20. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art20/>
- Mallach, E.G. 1994. *Understanding Decision Support and Expert Systems*. Irwin
- Newell, A., and Simon, H. *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1972.
- Ostrom, E., 2009. *A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems*. *Science*, 325(5939), pp.419–422
- Power, D.J. 1999, *Decision Support Systems Glossary*. <http://DSSResources.COM/glossary/>
- Power, D.J. 1997. *What is a DSS? DSSStar* 1(3), <http://DSSresources.com/papers/whatisaDSS/>
- Simon, H.A. *The news cience of management decision*. New York, NY: Harper and Row. 1960.
- Stephens, W. and Middleton, T. (2002). *Why has the uptake of Decision Support Systems been so poor? In: Crop-soil simulation models in developing countries*. 129-148 (Eds R.B. Matthews and William Stephens). Wallingford: CABI.
- Turban, Aronson y Liang, *Decisions support systems and intelligent systems*, 7th. edition, Ed. Prentice Hall, 2005

Anexo 1. RUP (Rational Unified Process)

La metodología RUP (Rational Unified Process) proporciona disciplinas en las cuales se encuentran artefactos con lo cual se podrá contar con guías para poder documentar e implementar de una manera fácil y eficiente, todas las guías para un buen desarrollo, todo esto dentro de las respectivas fases con las cuales cuenta. La metodología RUP basada en UML (Unified Modeling Language) nos proporciona todas las bases para llevar al éxito la elaboración del software, para ello la utilización de las herramientas RUP para el desarrollo rápido de aplicaciones.

El RUP es un producto del proceso de ingeniería de software que proporciona un enfoque disciplinado para asignar tareas y responsabilidades del desarrollo de software dentro de una organización. Su meta es asegurar la producción de software de alta calidad que resuelve las necesidades de los usuarios dentro de un presupuesto y tiempo establecidos. Los autores Grady Booch, Ivar Jacobson y James Rumbaugh de la empresa Rational Software, desde 1994, al unir sus esfuerzos independientes, crearon y desarrollaron esta metodología, ahora usada en todo el mundo para el desarrollo de software. Desde ese entonces y encabezado por Grady Booch, Ivar Jacobson y James Rumbaugh, el equipo de Rational Software desarrolló e incorporó diversos elementos para expandir RUP, destacándose especialmente el flujo de trabajo conocido como modelado del negocio. En junio del 1998 se lanza Rational Unified Process.

Según Jacobson *et al.* (1998)²⁸ el nombre Proceso Unificado se usa para describir el proceso genérico que incluye aquellos elementos que son comunes a la mayoría de los refinamientos existentes. También permite evitar problemas legales ya que Proceso Unificado de Rational o RUP es una marca registrada por IBM (desde su compra de Rational Software Corporation en 2003). Según Booch (2003)²⁹ el RUP es un reflejo de lo que hemos visto en el trabajo con literalmente decenas de miles de proyectos en los últimos 20 años, la codificación de lo que funciona en las organizaciones exitosas y lo que está notablemente ausente en los casos fallidos.

Proceso de Desarrollo, Dimensiones del RUP

El RUP tiene dos dimensiones: el eje horizontal representa tiempo y demuestra los aspectos del ciclo de vida del proceso, mientras que el eje vertical representa las disciplinas, que agrupan actividades definidas lógicamente por la naturaleza de las mismas. La primera dimensión representa el aspecto dinámico del proceso y se expresa en términos de fases, de iteraciones, y la finalización de las fases. La segunda dimensión representa el aspecto estático del proceso: cómo se describe en términos de componentes de proceso, las disciplinas, las actividades, los flujos de trabajo, los artefactos, y los roles.

En la Figura 21 se puede observar como varía el énfasis de cada disciplina en un cierto plazo en el tiempo, y durante cada una de las fases. Por ejemplo, en iteraciones tempranas, se pasa más tiempo en requerimientos, y en las últimas iteraciones se pasa más tiempo en poner en

²⁸Ivar Jacobson, Grady Booch, and James Rumbaugh. The Unified Software Development Process. Addison Wesley Longman, 1998.

²⁹IBM, Rational Software. (2003). Rational Rapid Developer, Technical Overview. EE.UU: IBM publications, World Wide Web.

práctica la realización del proyecto en sí.

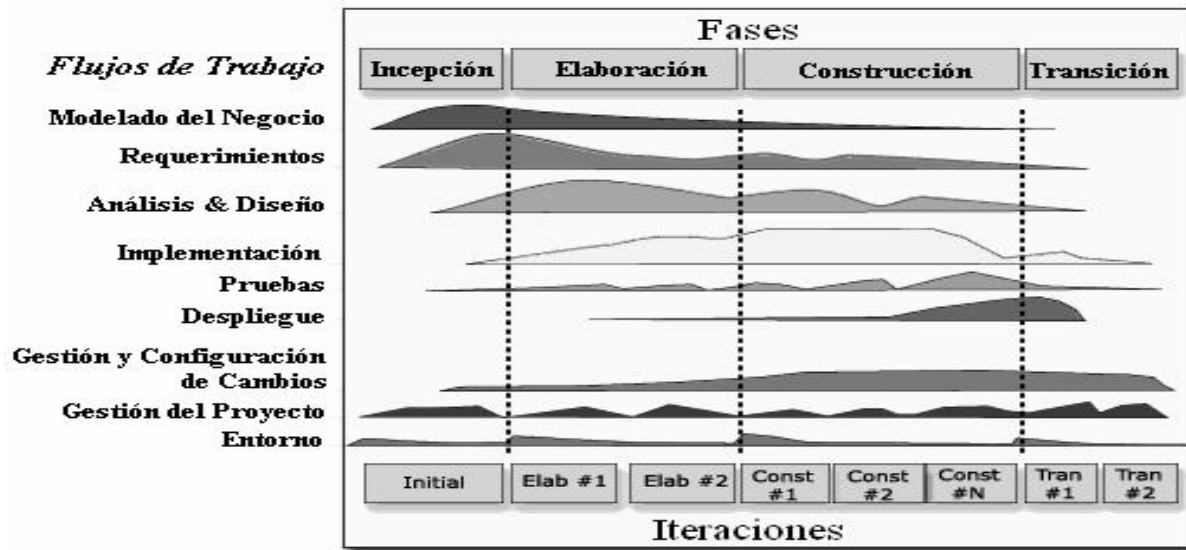


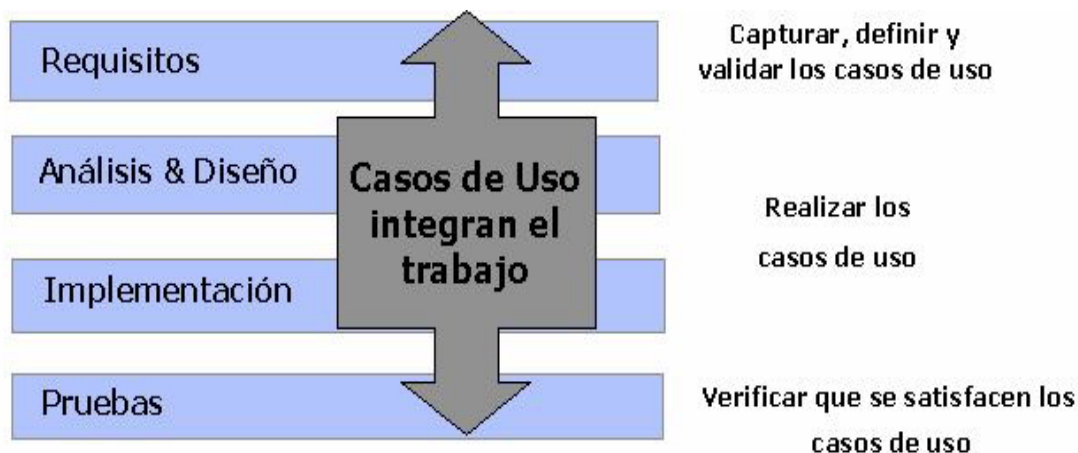
Figura 21. Disciplinas, fases e iteraciones del RUP

Proceso dirigido por Casos de Uso

Según Kruchten (1995)³⁰, los casos de uso son una técnica de captura de requisitos que fuerza a pensar en términos de importancia para el usuario y no sólo en términos de funciones que sería bueno contemplar.

Se define un caso de uso como un fragmento de funcionalidad del sistema que proporciona al usuario un valor añadido. Los casos de uso representan los requisitos funcionales del sistema.

En RUP los casos de uso no son sólo una herramienta para especificar los requisitos del sistema, también guían su diseño, implementación y prueba. Los casos de uso constituyen un elemento integrador y una guía del trabajo como se muestra en la Figura 22.



³⁰Kruchten, P. (1995). Architectural Blueprints—the “4+1” View Model of Software Architecture, IEEE Software.

Figura 22. Los casos de uso integran el trabajo

Los casos de uso no sólo inician el proceso de desarrollo sino que proporcionan un hilo conductor, permitiendo establecer seguimiento entre los artefactos que son generados en las diferentes actividades del proceso de desarrollo. Como se muestra en la Figura 22, basándose en los casos de uso se crean los modelos de análisis y diseño, luego la implementación que los lleva a cabo, y se verifica que efectivamente el producto implemente adecuadamente cada caso de uso. Todos los modelos deben estar sincronizados con el modelo de casos de uso.

Proceso iterativo e incremental

El equilibrio correcto entre los casos de uso y la arquitectura es algo muy parecido al equilibrio de la forma y la función en el desarrollo del producto, lo cual se consigue con el tiempo. Para esto, la estrategia que se propone en RUP es tener un proceso iterativo e incremental en donde el trabajo se divide en partes más pequeñas o mini proyectos. Permitiendo que el equilibrio entre casos de uso y arquitectura se vaya logrando durante cada mini proyecto, así durante todo el proceso de desarrollo. Cada mini proyecto se puede ver como una iteración (un recorrido más o menos completo a lo largo de todos los flujos de trabajo fundamentales) del cual se obtiene un incremento que produce un crecimiento en el producto. Una iteración puede realizarse por medio de una cascada como se muestra en la Figura 23. Se pasa por los flujos fundamentales (Requisitos, Análisis, Diseño, Implementación y Pruebas), también existe una planificación de la iteración, un análisis de la iteración y algunas actividades específicas de la iteración. Al finalizar se realiza una integración de los resultados con lo obtenido de las iteraciones anteriores.

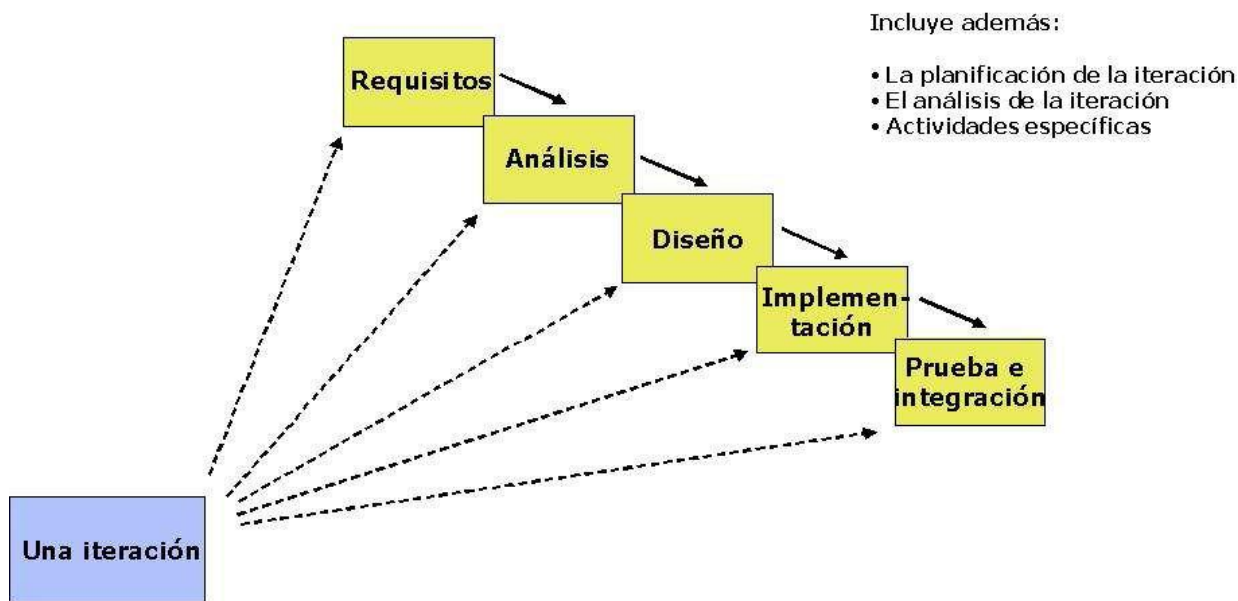


Figura 23. Una iteración RUP

El proceso iterativo e incremental consta de una secuencia de iteraciones. Cada iteración

Para cada iteración se seleccionan algunos casos de uso, se refina su análisis y diseño y se procede a su implementación y pruebas. Se realiza una pequeña cascada para cada ciclo, una cascada es todo el conjunto de procesos o flujos de trabajo para desarrollar el software en donde se considera a estos procesos como fluyendo constantemente hacia abajo (como en una cascada), estos procesos son análisis de requisitos, diseño, puesta en práctica, prueba e integración. Se realizan tantas iteraciones como sea necesario hasta que se termine la implementación de la nueva versión del producto.

En la fase de transición se pretende garantizar que se tiene un producto preparado para su entrega a la comunidad de usuarios. Como se puede observar en cada fase participan todas las disciplinas, pero dependiendo de la fase el esfuerzo dedicado a una disciplina varía.

Desarrollo de Etapas (Fases).

El ciclo de vida del software del RUP se descompone en cuatro fases secuenciales. Al término de cada fase se realiza una evaluación (revisión del ciclo de vida de la finalización de fase) para determinar si los objetivos de la fase se han cumplido. Una evaluación satisfactoria permite que el proyecto se mueva a la próxima fase como se ilustra en la Figura 25.

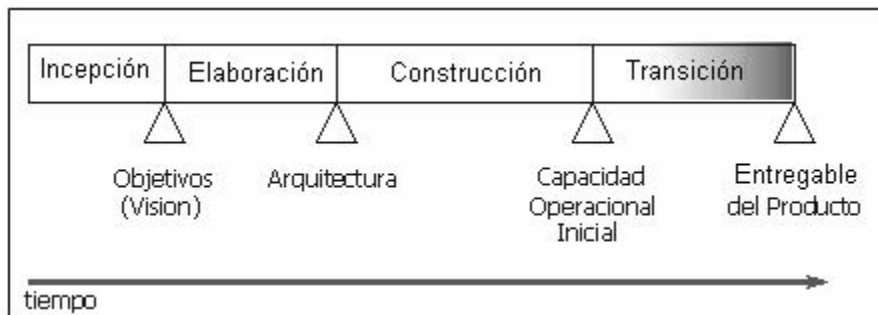


Figura 25. Fases del RUP

El ciclo de vida consiste en una serie de ciclos, cada uno de los cuales produce una nueva versión del producto, cada ciclo está compuesto por fases y cada una de estas fases está compuesta por un número de iteraciones, estas fases son:

Concepción, Inicio o Estudio de oportunidad

Define el ámbito y objetivos del proyecto. Se define la funcionalidad y capacidades del producto. Se definen los actores con los cuales va a interactuar el sistema, así como la naturaleza de su interacción, lo cual involucra la identificación de los casos de uso y su descripción. En esta fase se genera un documento con la visión general de los requerimientos esenciales, la evaluación de los riesgos, un modelo de casos de uso inicial al 10% de su totalidad.

Elaboración

Tanto la funcionalidad como el dominio del problema se estudian a profundidad, se define una arquitectura básica, se planifica el proyecto considerando los recursos disponibles, el modelo de casos de uso al menos estará al 80% de su finalización. Cabe señalar que la fase de elaboración es la más crítica de las cuatro fases, Al final de esta fase, el trabajo duro "ingeniería" se considera completo y el proyecto se somete a una evaluación, con el objeto de determinar si su construcción es viable y así poder continuar con las siguientes fases.

Construcción

El producto se desarrolla a través de iteraciones donde cada iteración involucra tareas de análisis, diseño e implementación. Las fases de estudio y análisis sólo dieron una arquitectura básica que es aquí refinada de manera incremental conforme se construye (se permiten cambios en la estructura). Gran parte del trabajo es programación y pruebas. Se documenta tanto el sistema construido como el manejo del mismo.

Estafase proporciona un producto construido junto con la documentación.

Transición

Se libera el producto y se entrega al usuario para un uso real. Se incluyen tareas de mercadotecnia, empaquetado atractivo, instalación, configuración, entrenamiento a usuarios, soporte, mantenimiento, etc.

Los manuales de usuario se completan y refinan con la información anterior, estas tareas se realizan también en iteraciones. Todas las fases no son idénticas en términos de tiempo y esfuerzo.

Aunque esto varía considerablemente dependiendo del proyecto, un ciclo de desarrollo inicial típico para un proyecto de tamaño mediano debe anticipar la distribución mostrada en la Tabla 2 en cuanto a esfuerzo y horario.

Tabla 2. Esfuerzo-horario en las fases del RUP

	<u>Concepción</u>	<u>Elaboración</u>	<u>Construcción</u>	<u>Transición</u>
Esfuerzo	~5 %	20 %	65 %	10%
Horario	10 %	30 %	50 %	10%

Lo cual se puede representar gráficamente como se muestra en la Figura 26:

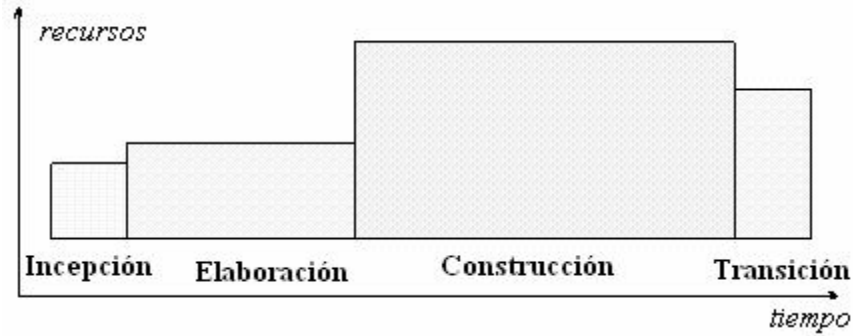


Figura 26. Recursos utilizados en las fases del RUP en el tiempo

Esta distribución de los recursos respecto al tiempo es la que se usa más comúnmente en la mayoría de los proyectos, sin embargo para algunos proyectos las fases de concepción y elaboración podrían ser considerablemente más pequeñas si se emplean algunas herramientas que pueden automatizar una cierta porción del esfuerzo de la fase de construcción, haciendo que la fase de deconstrucción sea mucho más pequeña que las fases de concepción y elaboración juntas. Cada paso con las cuatro fases produce la generación de una porción del software. A menos que el producto "muera", se desarrollará nuevamente repitiendo la misma secuencia de las fases de concepción, elaboración, construcción y transición, pero con diversos énfasis de esfuerzo en cada fase.

Estos ciclos subsecuentes se llaman los ciclos de la evolución. Mientras que el producto pasa por varios ciclos, se producen las nuevas generaciones del sistema. En la Figura 27 se muestra este ciclo evolutivo.

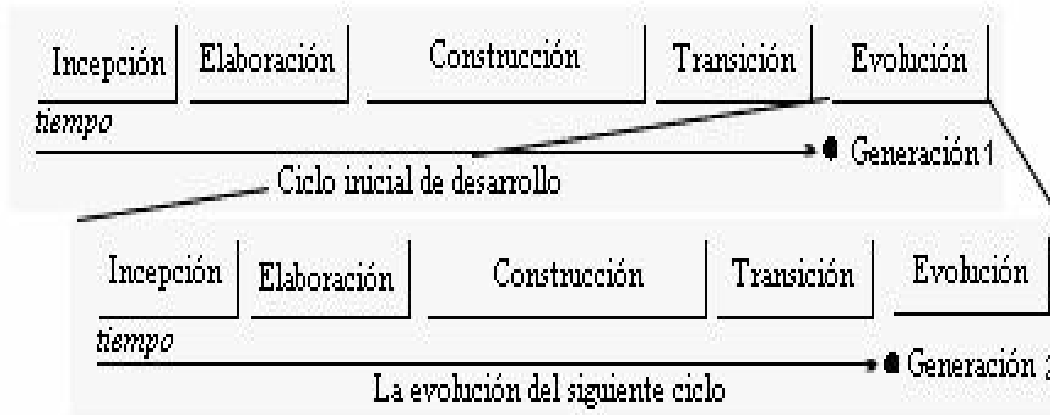


Figura 27. Ciclo evolutivo en la elaboración de software basado en el RUP

Los ciclos evolutivos pueden ser iniciados por distintas causas, por las mejoras sugeridas por el usuario, cambios en el contexto del usuario, cambios en la tecnología subyacente, reacción a la competencia, etc. Los ciclos evolutivos tienen típicamente fases de concepción y elaboración mucho más cortas, puesto que la definición y la arquitectura básicas del producto son determinadas por los ciclos de desarrollo anteriores. Las excepciones a esta regla son los ciclos evolutivos en los cuales surge un nuevo producto significativo o una redefinición arquitectónica.

Las disciplinas del RUP

En el método UML la forma de agrupar secuencias de actividades que producen un resultado de valor es mediante disciplinas, estas siguen una después de la otra para cada iteración definida para el sistema en cuestión. Las disciplinas se clasifican en seis de ingeniería y tres de soporte, de acuerdo a las actividades propias que cada una abarca. Las disciplinas de ingeniería son modelado del negocio, requerimientos, análisis y diseño, implementación, pruebas y liberación del sistema, mientras que las disciplinas de soporte comprenden gestión del proyecto, gestión de configuración y versiones software y gestión de ambiente software.

Modelado del negocio

Esta disciplina tiene como objetivos comprender la estructura y la dinámica de la organización, comprender problemas actuales e identificar posibles mejoras y comprender los procesos de negocio. Utiliza el modelo de casos de uso del negocio para describir los procesos del negocio y los clientes, el modelo de objetos del negocio para describir cada caso de uso del negocio con los trabajadores, además se utilizan los diagramas de actividad y de clases.

Requerimientos

Esta disciplina tiene como objetivos establecer lo que el sistema debe hacer (especificar requisitos), definir los límites del sistema, definir una interfaz de usuario, realizar una estimación del costo y tiempo de desarrollo. Utiliza el modelo de casos de uso para modelar el sistema, que comprende a su vez casos de uso con actores y relaciones, además utiliza los diagramas de estados de cada caso de uso y las especificaciones suplementarias.

Análisis y Diseño

Esta disciplina define la arquitectura del sistema y tiene como objetivos traducir requisitos en especificaciones de implementación, al decir análisis se refiere a transformar casos de uso en clases, y al decir diseño se refiere a refinar el análisis para poder implementar los diagramas elaborados en la fase previa, estos diagramas son los diagramas de clases de análisis de cada caso de uso, los diagramas de colaboración de cada caso de uso, el diagrama de clases de diseño de cada caso de uso, el de secuencia de diseño de casos de uso, el diagrama de estados de las clases y el modelo de despliegue de la arquitectura.

Implementación

Esta disciplina tiene como objetivos implementar las clases de diseño como componentes software, asignar los componentes a los nodos, probar los componentes software individualmente e integrar los componentes en un sistema ejecutable (bajo el enfoque incremental). Utiliza el modelo de implementación, conjuntamente con los diagramas de componentes para comprender cómo se organizan los componentes y cómo dependen unos

de otros.

Pruebas

Esta disciplina tiene como objetivos verificar la integración de los componentes mediante las pruebas de integración, verificar que todos los requisitos han sido implementados mediante las pruebas del sistema y asegurar que los defectos detectados han sido resueltos antes de la distribución.

Liberación del Sistema

Esta disciplina tiene como objetivos asegurar que el producto está preparado para el cliente, proceder a su entrega y recepción por el cliente. En esta disciplina se realizan las actividades de probar el software en su entorno final (prueba beta), empaquetarlo, distribuirlo e instalarlo, así como la tarea de enseñar al usuario a usar el sistema.

Gestión del proyecto

La gestión del proyecto tiene por objeto equilibrar los objetivos competitivos, administrar el riesgo y superar restricciones para entregar un producto que satisface las necesidades de ambos clientes con éxito, los que pagan el dinero y los usuarios. Con la gestión del proyecto se logra una mejoría en el manejo de una entrega exitosa del software. En resumen su propósito consiste en proveer pautas para:

- Administrar proyectos de software intensivos
- Planear, dirigir personal, ejecutar acciones y supervisar proyectos
- Administrar el riesgo

Sin embargo, esta disciplina no intenta cubrir todos los aspectos de dirección del proyecto, por ejemplo, no cubre problemas como:

- Administración de personal: contratando, entrenando, enseñando
- Administración del presupuesto: definiendo, asignando
- Administración de los contratos con proveedores y clientes

Gestión de configuración y versiones software

Es esencial para controlar el número de artefactos producidos por la cantidad de personal que trabaja en un proyecto conjuntamente. Los controles sobre los cambios en las versiones software son de mucha ayuda ya que evitan confusiones costosas como la compostura de algo que ya se había arreglado etc., y aseguran que los resultados de los artefactos no entren en conflicto con algunos de los siguientes tipos de problemas:

- Actualización simultánea: Es la actualización de algo elaborado con anterioridad, in saber que alguien más lo está actualizando.
- Notificación limitada: Al realizar alguna modificación, no se deja información sobre lo que se

hizo, por lo tanto no se sabe quién, cómo, y cuándo se hizo.

-Versiones múltiples: No saber con exactitud, cual es la última versión, y al final no se tiene un orden sobre qué modificaciones se han realizado a las diversas versiones.

Gestión de ambiente software

Esta disciplina se enfoca sobre las actividades necesarias para configurar el proceso que engloba el desarrollo de un proyecto y describe las actividades requeridas para el desarrollo de las pautas que apoyan un proyecto.

Su propósito es proveer a la organización que desarrollará el software, un ambiente en el cual basarse, el cual provee procesos y herramientas para poder desarrollar el software.

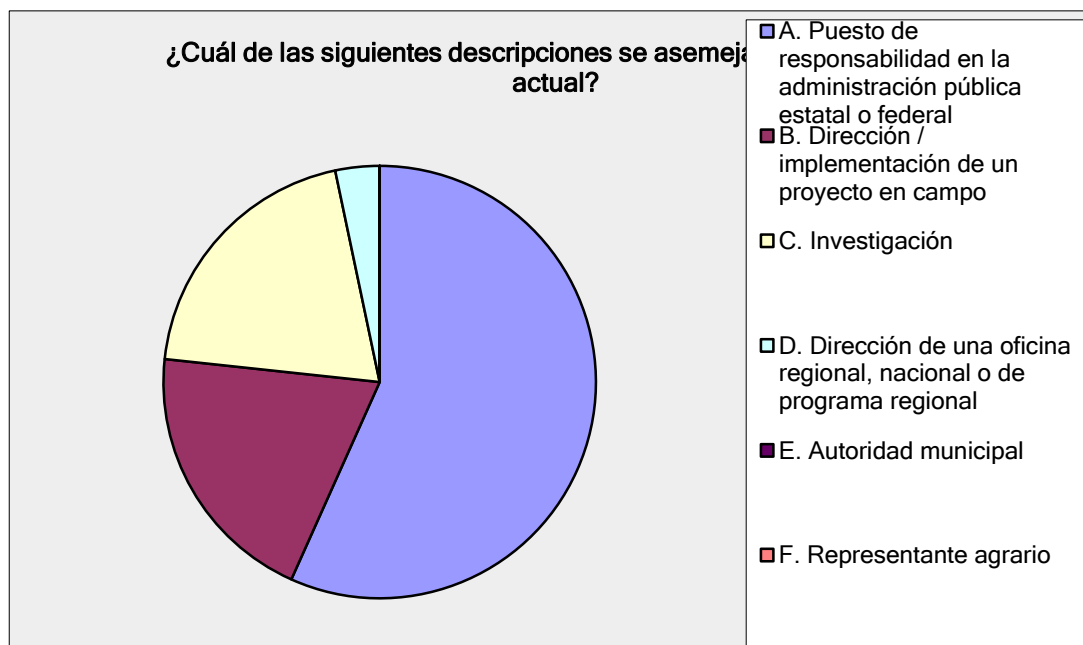
Anexo 2. Encuesta de usuarios

Los resultados de la encuesta de usuarios realizada en los meses de junio y julio del año 2014 se muestran a continuación.

Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

¿Cuál de las siguientes descripciones se asemeja más a su cargo actual?

Opciones de respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
A. Puesto de responsabilidad en la administración pública estatal o federal	56.7%	17
B. Dirección / implementación de un proyecto en campo	20.0%	6
C. Investigación	20.0%	6
D. Dirección de una oficina regional, nacional o de programa regional	3.3%	1
E. Autoridad municipal	0.0%	0
F. Representante agrario	0.0%	0
Otro. Especifique:		1
Pregunta contestada por		30
Pregunta saltada por		0

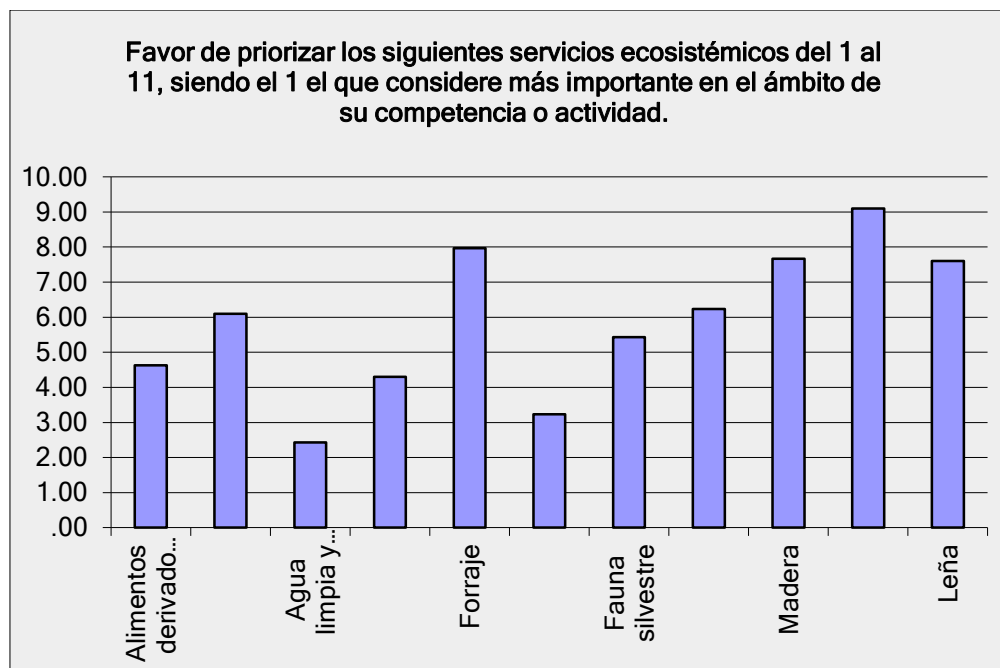


Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

Favor de priorizar los siguientes servicios ecosistémicos del 1 al 11, siendo el 1 el que considere más importante en el ámbito de su competencia o actividad.

Opciones de respuesta	Promedio de Respuestas	Respuestas Totales	Conteo de Respuestas
Alimentos derivados de la agricultura	4.63	139	30
Alimentos derivados de la ganadería	6.10	183	30
Agua limpia y suficiente	2.43	73	30
Flora silvestre	4.30	129	30
Forraje	7.97	239	30
Control de la erosión	3.23	97	30
Fauna silvestre	5.43	163	30
Captura de carbono	6.23	187	30
Madera	7.67	230	30
Resina	9.10	273	30
Leña	7.60	228	30
Pregunta contestada por			30
Preguntas saltada por			0

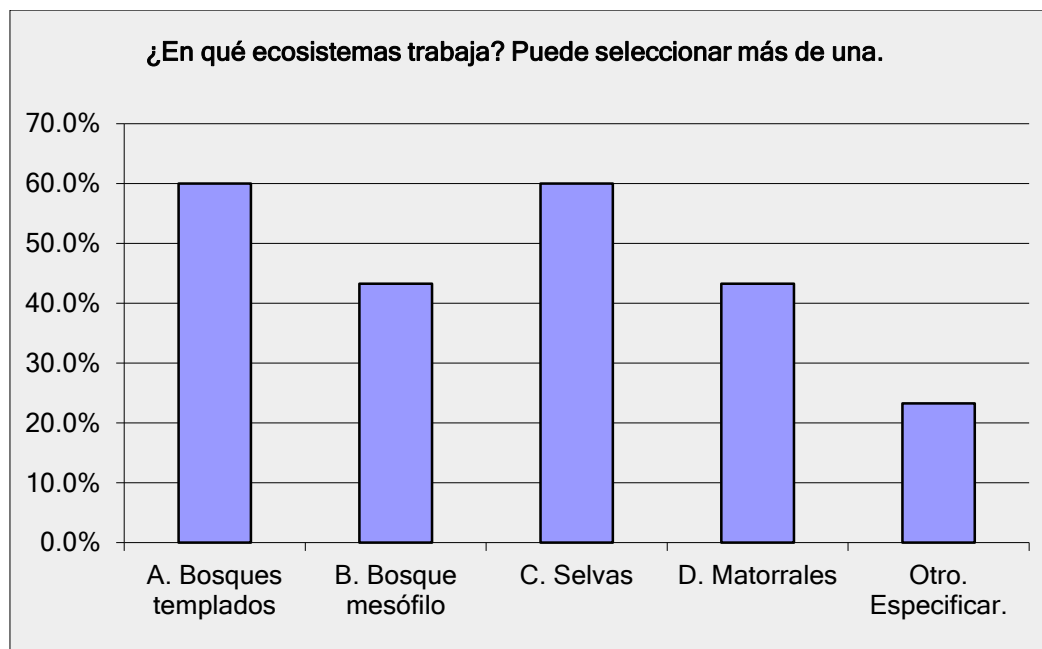
En esta pregunta, cabe hacer la aclaración de que, la ponderación de prioridad reflejada es inversamente proporcional a la real, este comportamiento obedece a que las prioridades asignadas a cada servicio ecosistémico se han sumado para contabilizar tanto el número de respuestas totales como el promedio de respuestas (ejemplo: prioridades 1 sumadas dan una cifra baja), es decir que los servicios ecosistémicos de mayor prioridad para los usuarios encuestados son, en realidad, los que obtuvieron las menores cifras en el conteo y, a su vez, los servicios ecosistémicos en los que se obtuvo un valor mayor de respuestas totales son, en realidad, los menos prioritarios desde el punto de vista de los usuarios.



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

¿En qué ecosistemas trabaja? Puede seleccionar más de una.

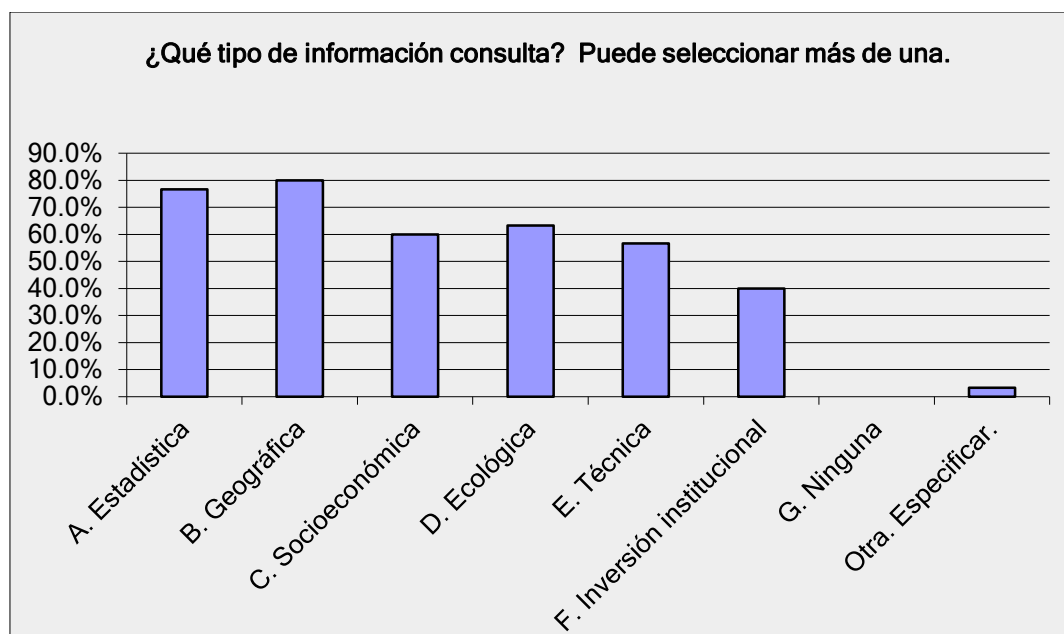
Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
A. Bosques templados	60.0%	18
B. Bosque mesófilo	43.3%	13
C. Selvas	60.0%	18
D. Matorrales	43.3%	13
Otro. Especificar.	23.3%	7
Pregunta contestada por		30
Pregunta saltada por		0



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

¿Qué tipo de información consulta? Puede seleccionar más de una.

Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
A. Estadística	76.7%	23
B. Geográfica	80.0%	24
C. Socioeconómica	60.0%	18
D. Ecológica	63.3%	19
E. Técnica	56.7%	17
F. Inversión institucional	40.0%	12
G. Ninguna	0.0%	0
Otra. Especificar.	3.3%	1
Pregunta contestada por		30
Pregunta saltada por		0



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

Si usted consulta información, ¿para qué la utiliza?

Opciones de Respuesta	Conteo de Respuestas
	28
<i>Pregunta contestada por</i>	28
<i>Pregunta saltada por</i>	2

Respuestas abiertas:

Para argumentar técnicamente propuestas, conocer el entorno físico y social
Como instrumento de planeación y apoyo para la toma de decisiones institucional.

Rendimientos

Para conocer y vincularla con otras informaciones

PARA SUSTENTAR PROYECTOS

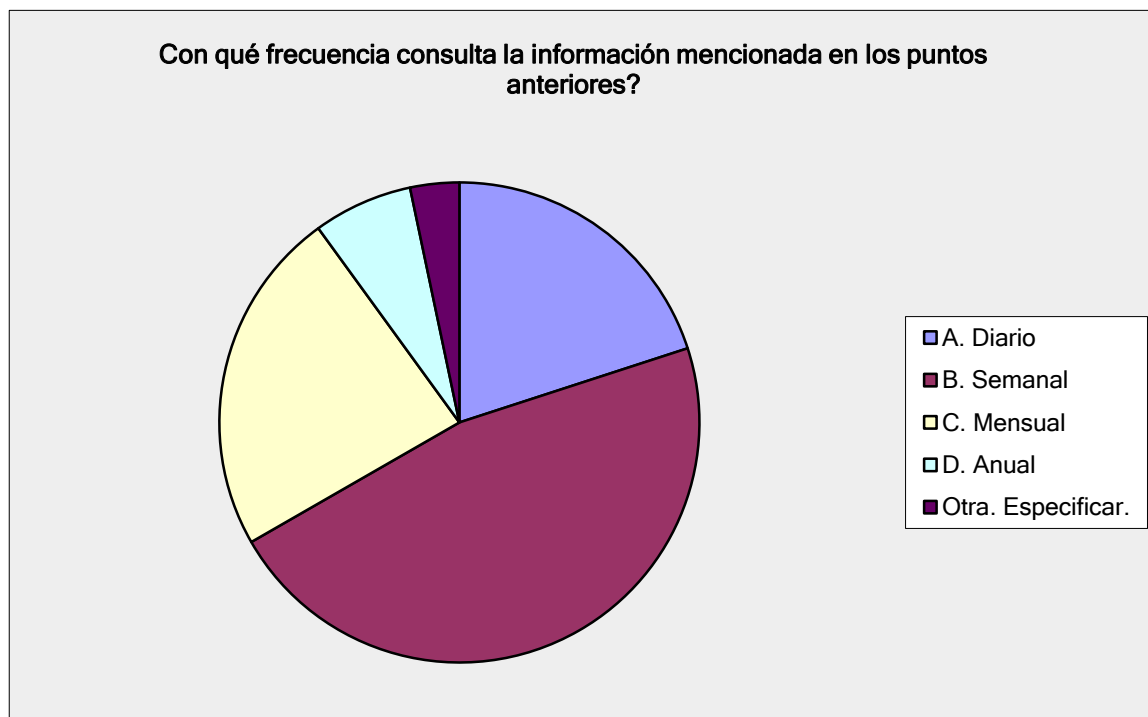
PARA LA PLANEACION DE ACCIONES TENDIENTES A IMPULSAR EL DESARROLLO

AGROALIMENTARIO DEL ESTADO

Para elaboración de propuestas técnicas
 Orientación y articulación de acciones de los actores de una cuenca, para determinar sitios críticos de intervención, planificación anual de actividades
 Elaboración de propuestas.
 Análisis de información.
 Impacto de proyectos
 Planeación de los recursos hídricos
 Para dictaminación de proyectos.
 PARA COMPARAR CON EXPERIENCIAS EN OTRAS PARTES DEL PAÍS Y DEL MUNDO.
 Para cotejar datos, conocer nuevo protocolos
 En los procesos de análisis y evaluación.
 Para la evaluación de los programas de la SAGARPA
 Para apoyar a grupos de Presidentes Municipales o técnicos que diseñan planes y proyectos municipales y microrregionales
 Para el desarrollo de propuestas de manejo de cuencas, búsqueda de alternativas de abasto de agua
 Toma de decisiones y orientación de acciones
 elaborar diagnósticos
 generación de datos
 Toma de decisiones
 PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA OPRACION DE PROGRAMAS Y PROYECTOS INSTITUCIONALES Y DEFINICION DE ESTRATEGIAS. ASI COMO PARA LOS PROCESOS DE PLANEACION MUNICIPAL Y MICROREGIONAL
 Actividades de planeación hídrica
 Como insumo para análisis en proyectos de investigación básica
 Se accesa a la información, para ver el contexto en que se desarrolla las procesos económicos que demandan las organizaciones
 PARA ANALIZAR LA SITUACION ACTUAL DEL TERRITORIO Y CON ELLO PROPONER SOLUCIONES Y TOMAR DECISIONES ANTE CIERTAS SITUACIONES RELACIONADAS AL CAMPO
 Investigación
 Para integrarla a bases de datos y precisamente analizar cambios de uso del suelo de la región mixteca

Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

Con qué frecuencia consulta la información mencionada en los puntos anteriores?		
Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
A. Diario	20.0%	6
B. Semanal	46.7%	14
C. Mensual	23.3%	7
D. Anual	6.7%	2
Otra. Especificar.	3.3%	1
Pregunta contestada por		30
Pregunta saltada por		0



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

¿Qué información temática específica requiere para tomar decisiones en el ámbito de su competencia o actividad?

Opciones de Respuesta	Conteo de Respuestas
	26
<i>Pregunta contestada por</i>	26
<i>Pregunta saltada por</i>	4

Respuestas abiertas:

Manejo forestal
Especies forestales
Shapes de cobertura vegetal
Shapes de núcleos agrarios

Todo lo relacionado con el sector forestal.

Precios Medios Rurales

Coberturas, presencia, ausencia, temporalidad, otras experiencias de temas relacionados con flora y fauna

INDICADORES DE MEDIO AMBIENTE

PROBLEMATICA DEL ESTADO, ESTADISTICA SOCIOECONOMICA Y SOBRE TODO LINEAS DE ACCION DEL PLAN RECTOR ESTATAL

Erosión de suelos, captación de agua, escurrimientos, distribución de especies

Caudales de agua superficial, volumen de agua subterránea, volúmenes de aprovechamientos de agua, sitios de reforestación, integridad de hábitat, zonas de degradación de bosques y suelos

Relativa al sector rural

Actualizaciones de erosión, uso del suelo, aprovechamientos de aguas, entre otros.

Geográfica y socioeconómica

PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES DE PINOS TROPICALES.

Impactos ambientales y estado actual de los ecosistemas.

Padrones de beneficiarios, monto de la inversión, avances en la ejecución, impactos

Capacidad de uso de las tierras.

Ubicación de sitios para retener agua para diversos u usos en zonas de escasez

Distribución de la precipitación, localización de acuíferos, límites de cuencas o subcuencas o microcuencas, topografía, red hídrica, geología, entre otros

Relacionada al sector ambiental y de carácter forestal.

superficie, rendimientos y precios medios rurales

incremento en la producción

Hidrológica

TIPOS DE SUELOS, UBICACION GEOGRAFICA, ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y FORESTALES, INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y PRODUCTIVA

Erosión, usos del agua,

Imágenes satelitales

Información estadística sobre comportamiento demográficos y de uso del suelo,

INFORMACION SOCIOECONOMICA, DE CULTIVOS. GANADERIA, INVESTIGACION Y

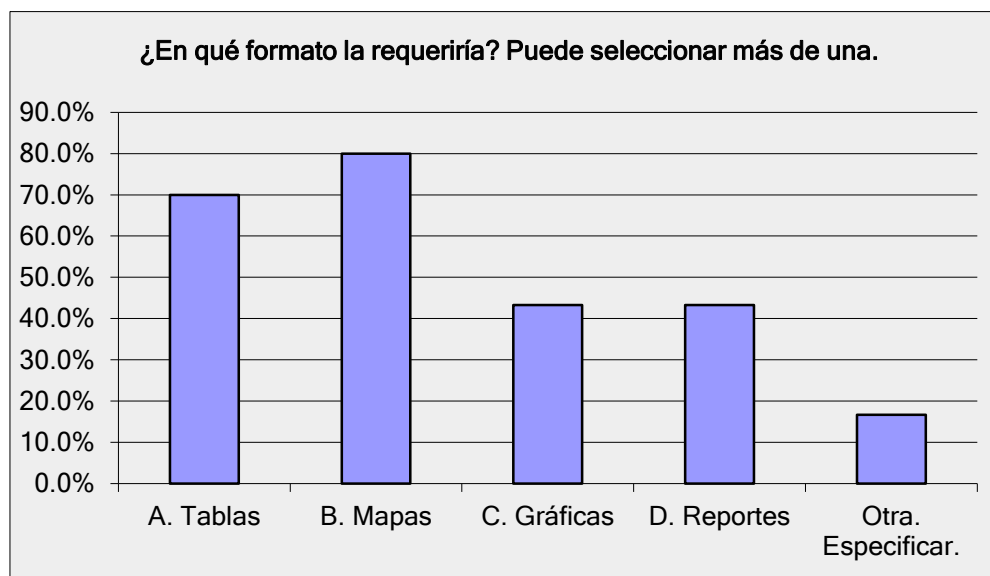
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA, ASI COMO LA SITUACION CLIMATICA.

Mapas de vegetación y uso de suelo

Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

¿En qué formato la requeriría? Puede seleccionar más de una.		
Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
A. Tablas	70.0%	21
B. Mapas	80.0%	24
C. Gráficas	43.3%	13
D. Reportes	43.3%	13
Otra.	16.7%	5
Especificar.		

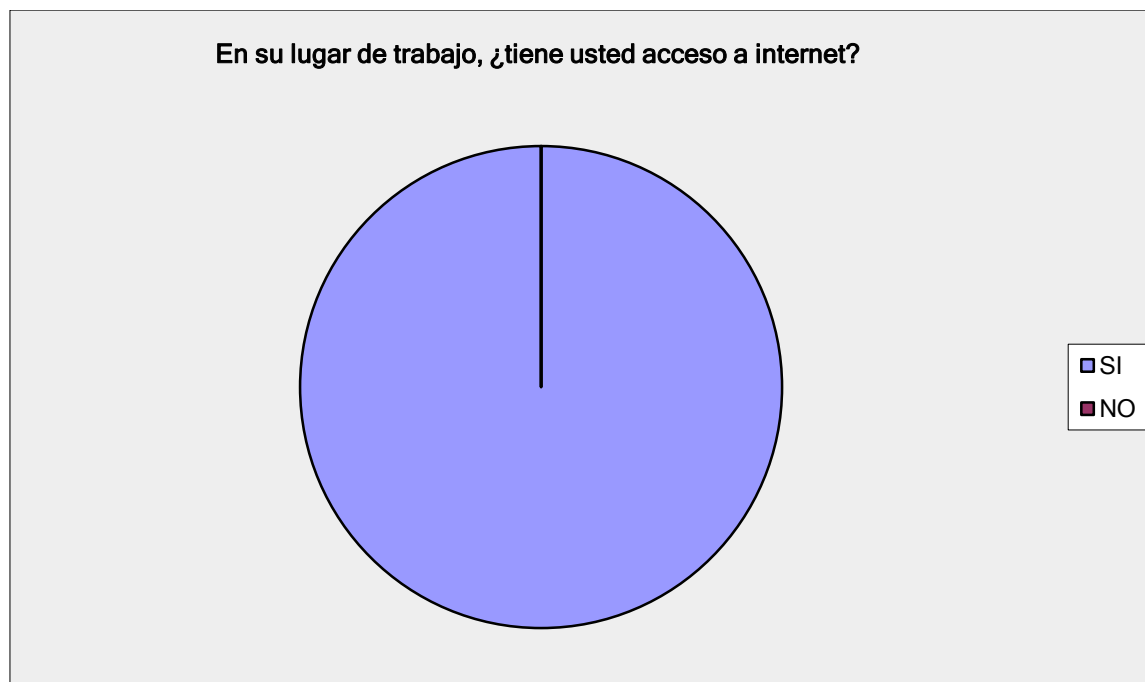
Pregunta contestada por	30
Pregunta saltada por	0



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

En su lugar de trabajo, ¿tiene usted acceso a internet?

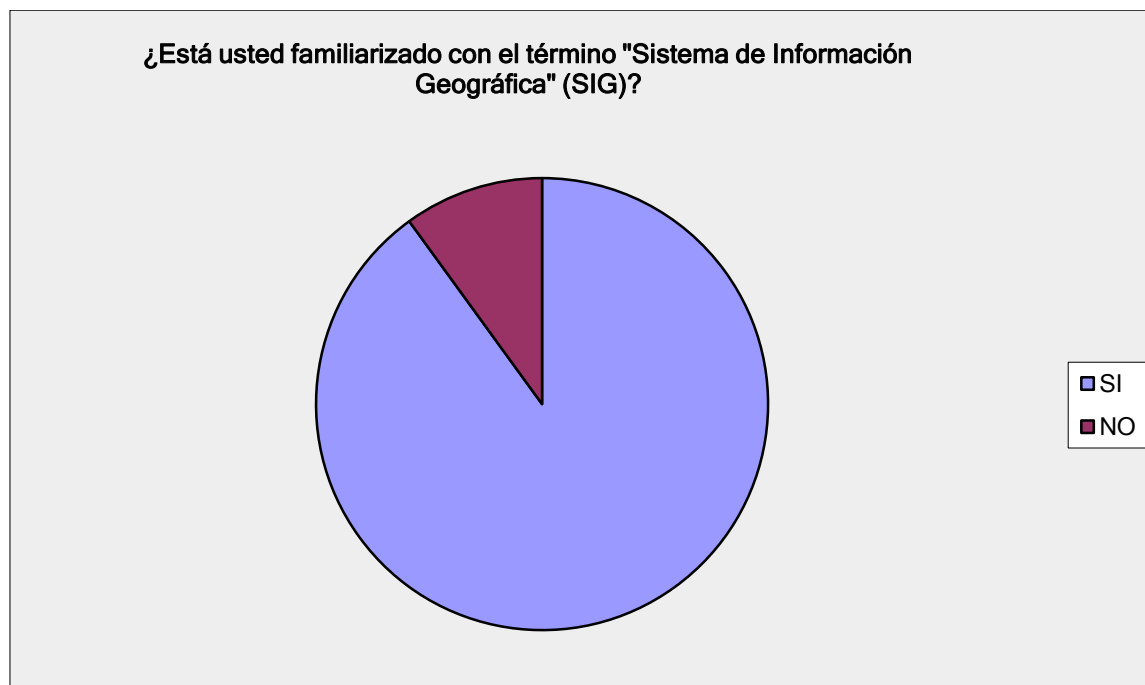
Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
SI	100.0%	30
NO	0.0%	0
Pregunta contestada por		30
Pregunta saltada por		0



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

¿Está usted familiarizado con el término "Sistema de Información Geográfica" (SIG)?

Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
SI	90.0%	27
NO	10.0%	3
Pregunta contestada por		30
Pregunta saltada por		0



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

¿Conoce o utiliza algún(os) Sistema(s) de Información Geográfica (SIG)?

Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
SI	83.3%	25
NO	16.7%	5
¿Cuál(es)?		22
Pregunta contestada por		30

Respuestas abiertas:

arcgis

ArcView y QGIS

Arc View

Arcmap 10.2

Conabio, Inegi

ArcGis, ArcView, Mapa Digital de INEGI

ArcGIS, GvSig

Arcmap

ARCMAP, ARCVIEW, IDRISI, gvSIG

ESTUDIO REGIONAL DE LA UMAFOR DEL BAJO MIXE

ArGIS

SIGEIA institucional de la SEMARNAT, Google

INEGI, OEIDRUS, SIAP, además estamos construyendo uno.

el que se genera en ECOPRODES, una consultoría de la que soy fundador; el que se ha formado en el marco de las Microrregiones

Arcgis, global mapper

arcview

Sistema de Información Geográfica del Agua SIGA

IRIS Y EL DEFINIDO POR CDI-INCA RURAL

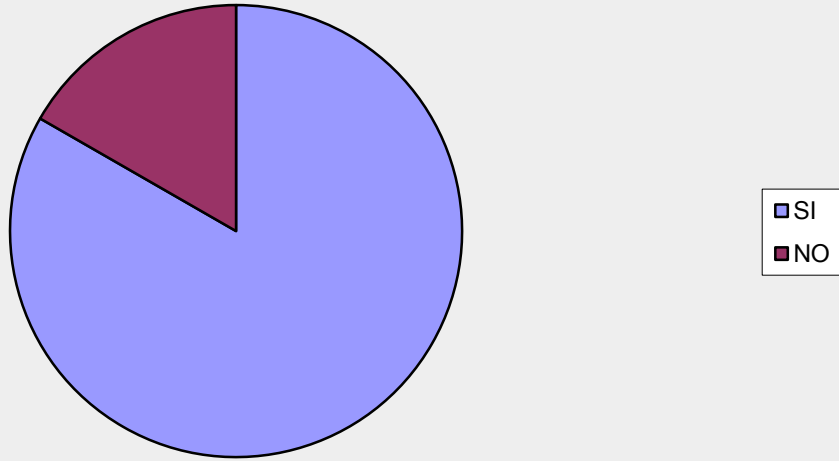
SIG de: Humedales, POERTEO, Mapa digital de México (INEGI)

Los SIG del INEGI

CONABIO, INEGI

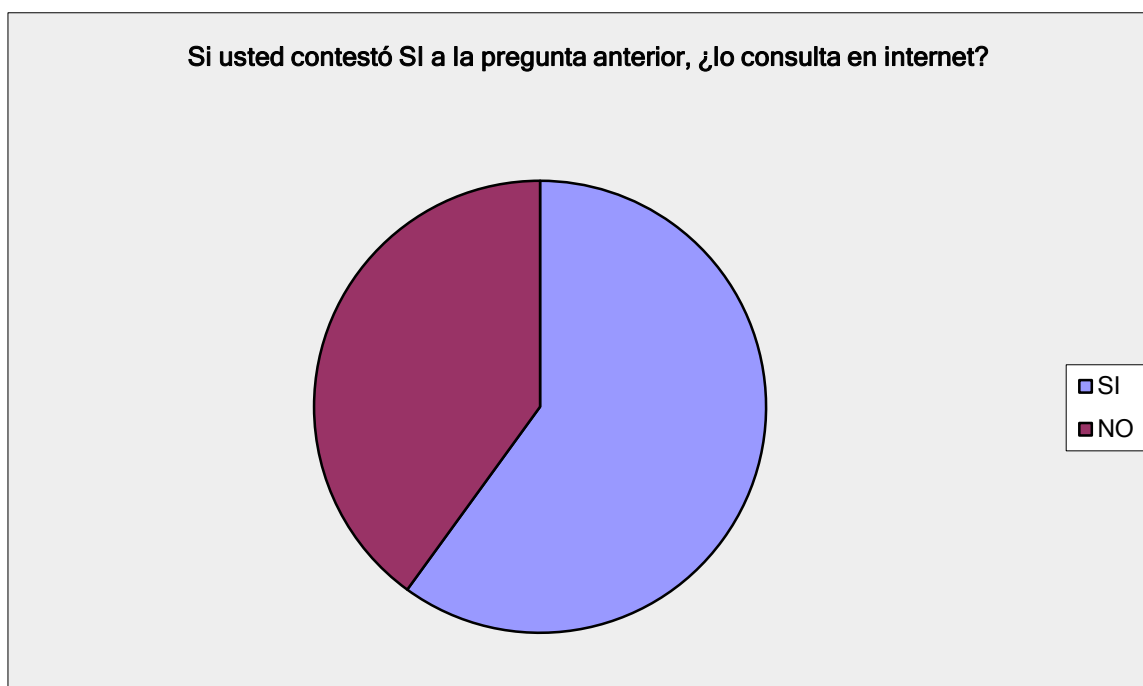
ArcGis 10.2 e IDRISI Selva

¿Conoce o utiliza algún(os) Sistema(s) de Información Geográfica (SIG)?



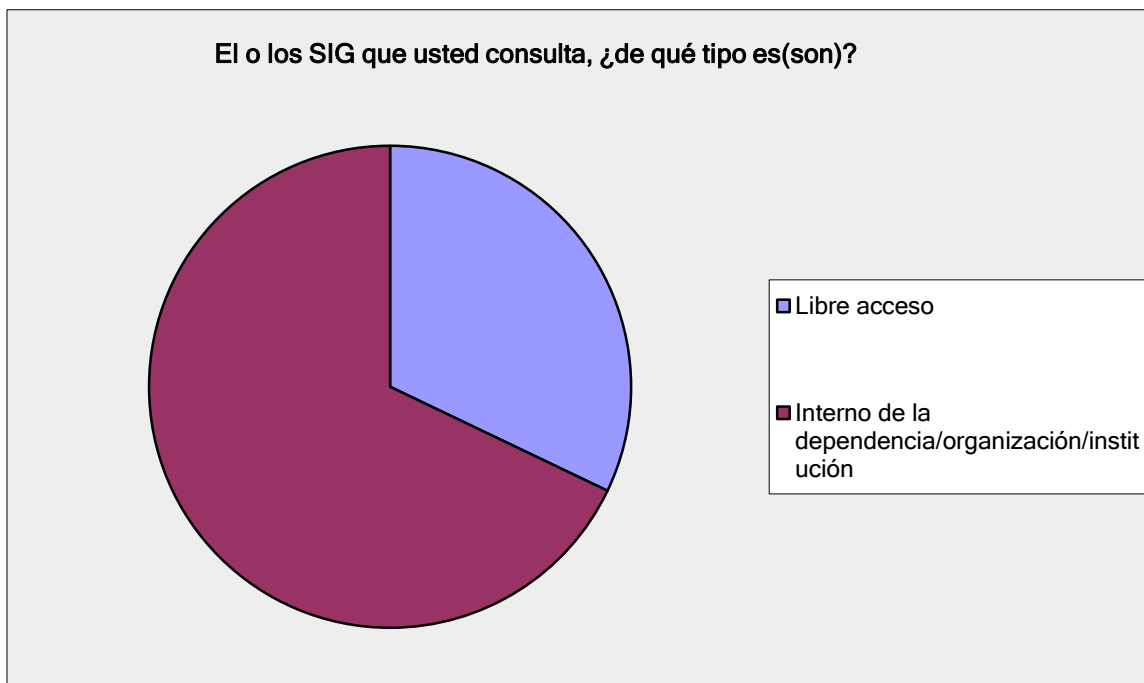
Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

Si usted contestó SI a la pregunta anterior, ¿lo consulta en internet?		
Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
SI	60.0%	15
NO	40.0%	10
<i>Pregunta contestada por</i>		25
<i>Pregunta saltada por</i>		5



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

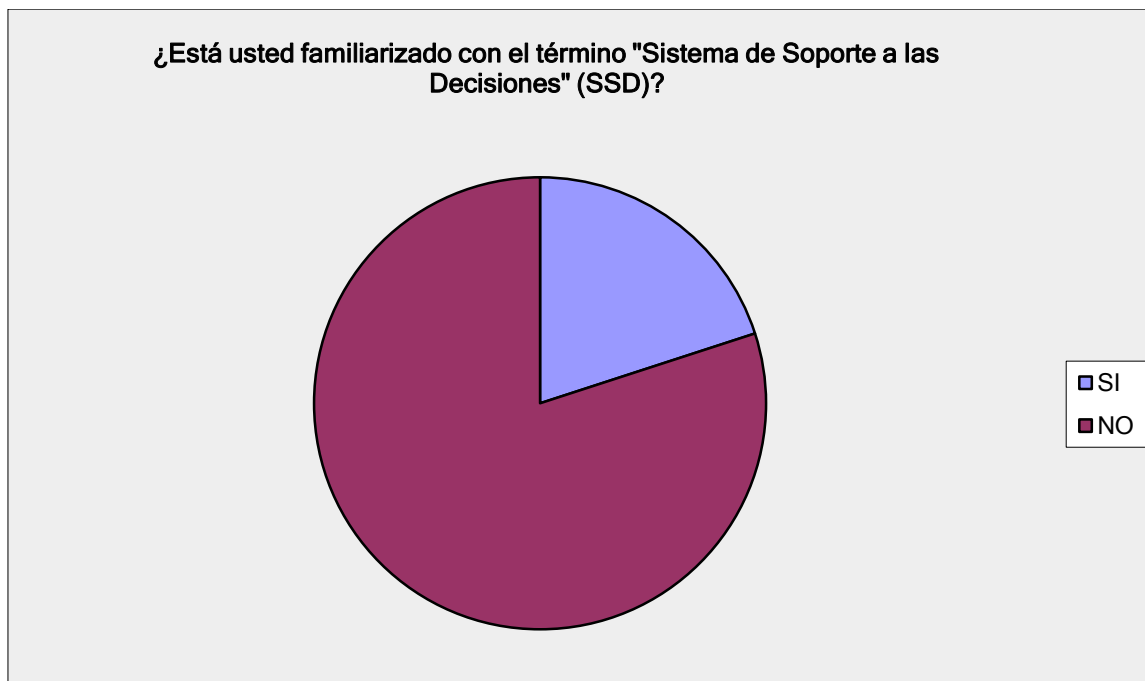
El o los SIG que usted consulta, ¿de qué tipo es(son)?		
Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
Libre acceso	32.1%	9
Interno de la dependencia/organización/institución	67.9%	19
<i>Pregunta contestada por</i>		28
<i>Pregunta saltada por</i>		2



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

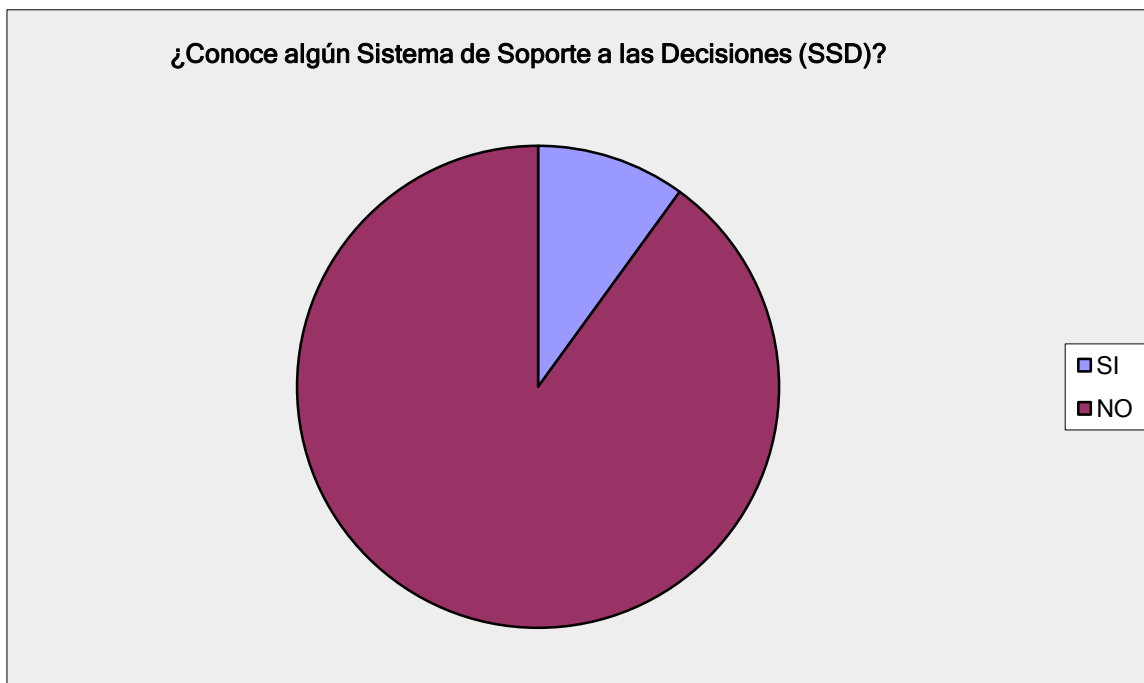
¿Está usted familiarizado con el término "Sistema de Soporte a las Decisiones" (SSD)?

Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
SI	20.0%	6
NO	80.0%	24
<i>Pregunta contestada por</i>		30
<i>Pregunta saltada por</i>		0



Proyecto GEF-Mixteca Cuestionario de usuarios para un Sistema de Soporte a las Decisiones

¿Conoce algún Sistema de Soporte a las Decisiones (SSD)?		
Opciones de Respuesta	Promedio de Respuestas	Conteo de Respuestas
SI	10.0%	3
NO	90.0%	27
¿Cuál(es)?		2
<i>Pregunta contestada por</i>		30
<i>Pregunta saltada por</i>		0



Glosario

Artificial Intelligence: es la inteligencia exhibida por máquinas o software, también es un campo de estudio académico. Los principales investigadores y los libros de texto de AI definen este campo como "el estudio y diseño de agentes inteligentes", donde un agente inteligente es un sistema que percibe su entorno y lleva a cabo acciones que maximicen sus posibilidades de éxito. John McCarthy, quien acuñó el término en 1955, lo define como "la ciencia y la ingeniería de hacer máquinas inteligentes".

Application Programming Interface: en programación de computadoras, es una interfaz de programación de aplicaciones. API especifica un componente de software en términos de sus operaciones, sus entradas y salidas y tipos subyacentes. Su propósito principal es definir un conjunto de funcionalidades que son independientes de su respectiva aplicación, que permite las modificaciones tanto en la definición de la interfaz como en la aplicación de la misma de manera independiente sin causar alteraciones el uno al otro.

Database Management System: es un conjunto de programas de computadora diseñado para administrar una base de datos, un gran conjunto de datos estructurados, y las operaciones que se ejecutan en los datos solicitados por numerosos usuarios. Originalmente sólo se encontraba en las grandes empresas con el equipo hardware necesario para soportar grandes conjuntos de datos, pero han surgido más recientemente como una parte bastante estándar de cualquier compañía para administrar su información.

Data mining: es un subcampo interdisciplinario de las ciencias de la computación, es el proceso de cálculo de descubrir patrones en grandes conjuntos de datos relacionados con los métodos en la intersección de la inteligencia artificial, aprendizaje automático, estadística y sistemas de bases de datos.

Data Warehouses: un gran depósito de datos acumulados de una amplia gama de fuentes dentro de una empresa y se utiliza para guiar las decisiones de gestión.

Enterprise Java Beans: es una arquitectura de componentes del lado del servidor gestionado para la construcción modular de las aplicaciones empresariales. La especificación EJB es una de las varias APIs de Java en la especificación Java EE. EJB es un modelo de servidor que encapsula la lógica de negocio de una aplicación. La especificación EJB fue desarrollado originalmente en 1997 por IBM y más tarde adoptada por Sun Microsystems (EJB 1.0 y 1.1) en 1999 y mejorado bajo el Java Community Process como JSR 19.

Extraction Transformation Load: en informática, extracción, transformación y carga (ETL) se refiere a un proceso en el uso de bases de datos y en especial en el almacenamiento de datos que: extrae datos de fuentes externas, transforma para adaptarse a las necesidades operativas, que puede incluir los niveles de calidad y finalmente los carga en el objetivo final (base de datos), o más específicamente (almacén de datos operativos o datawarehouse).

Geography Markup Language: es la gramática XML definida por el Open Geospatial Consortium (OGC) para expresar las características geográficas. GML sirve como un lenguaje de modelado de sistemas geográficos, así como un formato de intercambio abierto para transacciones geográficas en internet. Hay que tener en cuenta que el concepto de función

en GML es muy general y no sólo incluye "vectores" convencionales u objetos discretos, sino también coberturas (véase también GMLJP2) y los datos sensoriales. La capacidad de integrar todas los tipos de información geográfica es clave para la utilidad de GML.

Graphical User Interface: es un tipo de interfaz que permite a los usuarios interactuar con los dispositivos electrónicos a través de iconos gráficos e indicadores visuales tales como la notación secundaria, a diferencia de interfaces basadas en texto, donde es necesaria la escritura de comandos o la navegación de texto. Las interfaces gráficas de usuario se introdujeron en reacción a la curva de aprendizaje tan grande percibida de las interfaces de línea de comandos, las cuales requieren comandos que se escriben en el teclado.

Heuristics: una heurística es una técnica diseñada para resolver un problema más rápidamente cuando los métodos clásicos son demasiado lentos, o bien para encontrar una solución aproximada cuando los métodos clásicos no encuentran ninguna solución exacta. Esto se logra mediante la optimización de intercambio, integridad, exactitud o precisión de la velocidad. En cierto modo, se puede considerar un acceso directo o atajo.

Keyhole Markup Language: es una notación XML para expresar anotaciones geográficas y de visualización en mapas bidimensionales y tridimensionales en navegadores Earth, basados en internet. KML fue desarrollado para su uso con Google Earth, que fue originalmente llamado Keyhole® Earth Viewer y fue creado por Keyhole, Inc., que fue adquirida por Google en 2004. KML se convirtió en una norma internacional del Consorcio Geoespacial Abierto en 2008. Google Earth fue el primer programa capaz de ver y editar gráficamente archivos KML. Otros proyectos como Marble también han comenzado a desarrollar el soporte al formato KML.

Open Source Software: es software con su código fuente disponible con una licencia en la que el titular del derecho de autor proporciona el derecho a estudiar, cambiar y distribuir el software a cualquier persona y para cualquier propósito. El software de código abierto es, muy a menudo, desarrollo en una escuela pública, de manera colaborativa. El software de código abierto es el ejemplo más destacado del desarrollo de código abierto y, a menudo se compara con el contenido generado por el usuario (técnicamente definido) o con movimientos de contenido abierto (definidos jurídicamente).

On Line Analytic Processing(OLAP): es un enfoque para responder consultas multidimensionales de análisis rápido.

Rational Unified Process: es un marco de proceso de desarrollo de software iterativo creado por Rational Software Corporation, una división de IBM desde 2003. RUP no es un solo proceso prescriptivo concreto, sino más bien un marco de proceso adaptable, destinado a ser adecuado por las organizaciones de desarrollo y equipos software de proyecto, los cuales seleccionan los elementos del proceso que son apropiados para sus necesidades. RUP es una implementación específica del proceso unificado.

Stand alone mode: modo autónomo o independiente, en el cual se trabaja sin conexión a una red de datos ya sea intranet o internet.

Tooltip: es un elemento común de la interfaz gráfica de usuario. Se utiliza junto con un cursor, por lo general un apuntador. El usuario pasa el apuntador del mouse sobre un

elemento, sin hacer clic en él, y aparece un texto de ayuda -una pequeña "caja activable" con información acerca del elemento sobre el cual se ha posado el apuntador del mouse.

Unified Modeling Language: es un lenguaje de modelado de propósito general en el campo de la ingeniería de software, que está diseñado para proporcionar una forma estándar para visualizar el diseño de un sistema. Fue creado y desarrollado por Grady Booch, Ivar Jacobson y James Rumbaugh en Rational Software durante 1994-1995 y con un posterior desarrollo dirigido por ellos hasta 1996 y aún está vigente.

Web Featured Service: es una interfaz estándar (WFS) que permite las solicitudes de características geográficas través de internet mediante llamadas independientes de la plataforma. Se puede pensar en las características geográficas como el "código fuente" detrás de un mapa, mientras que la interfaz WMS o de mapeo en línea portales como Google Maps o cualquier aplicación server de mapas sólo devuelven una imagen, que los usuarios finales no pueden editar o analizar espacialmente. El GML basado en XML proporciona la carga útil de codificación para el transporte de las características geográficas, pero otros formatos como el de los archivos shape también pueden servir para el transporte. A principios de 2006, los miembros de OGC aprobaron el Open GIS GML Simple Features Perfil. Este perfil está diseñado tanto para aumentar la interoperabilidad entre los servidores WFS y para mejorar la facilidad de implementación de la norma WFS.

Web MapService: es un protocolo estándar para servir imágenes de mapas georeferenciados a través de Internet que son generados por un servidor de mapas con datos de una base de datos GIS. La especificación fue desarrollada y publicada por primera vez por el Open Geospatial Consortium en 1999.