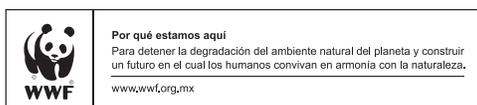




El Proyecto Mixteca fue creado por iniciativa y gestión de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) ante el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), a través del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en coordinación con el Fondo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





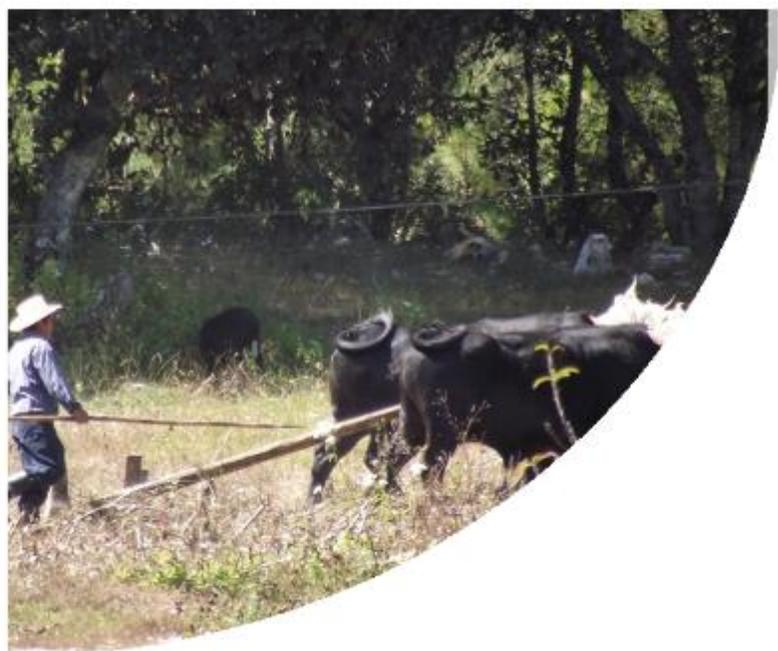
Proyecto financiado por el

FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA



Proyecto
Mixteca

ESTRATEGIAS DE **M**ANEJO PARA LA PRODUCCIÓN **S**USTENTABLE EN LADERAS DE LA CUENCA DEL **RÍO M**IXTECO, **O**AX.



CONVENIO DE COLABORACIÓN **OM30**





ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN LADERAS DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO, OAXACA

CONSULTORES:

Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso (Responsable técnico)

Dr. Mario R. Martínez Menes (Conservación de suelos)

Dr. Adrián Quero (Manejo de agostaderos)

M.C. Erasmo Rubio Granados (Manejo agrícola)

Ing. Carlos Palacios Espinosa (Procesamiento de datos)

25/Noviembre/2013.

Palabras clave para el proyecto:

Mixteca oaxaqueña, maíz en ladera, pastos en agostaderos, erosión-productividad, modelo APEX.

Resumen ejecutivo:

El presente trabajo busca robustecer el Sistema de Información Geográfica (SIG), que el Proyecto GEF-Mixteca desarrolla para la Mixteca Oaxaqueña, con información ambiental procesada a través de modelos de simulación hidrológica y productiva; a fin de conocer el balance hidrológico, la degradación de los suelos y la producción de materia seca de los usos de suelo y coberturas vegetales presentes en la cuenca del Río Mixteco. Específicamente, la presente consultoría tuvo como objeto analizar los efectos de la degradación del suelo en el potencial productivo de las áreas agropecuarias en ladera (pendientes mayores a 5%), a fin de identificar localidades con problemas de degradación y de atención prioritaria. El análisis del impacto de la degradación en la productividad de biomasa se abordó a través del modelo APEX (Agricultural Policy Environmental Extender); particularmente se evalúan los siguientes aspectos:

- a) Se estimó, a través de APEX, el rendimiento de maíz y la producción de forraje en agostaderos en función del manejo actual y se compararon los resultados con información estadística producida por dependencias oficiales e información recopilada en campo.
- b) Se identificaron las prácticas de manejo para la conservación (suelo, agua y fertilidad) que los productores rurales han implementado para la producción sustentable de maíz y forraje.
- c) Se evaluó hidrológicamente el manejo de cultivo de maíz en ladera a fin de conocer el costo ecológico de la producción de maíz.
- d) Los resultados se bajaron a nivel de ejido con el propósito de orientar a los tomadores de decisiones con criterios técnicos suficientes para la selección de áreas de intervención de modo que maximicen los beneficios de las inversiones públicas.

La producción de maíz en la cuenca se efectúa en 80,941 ha de ladera (de un total 98,509 ha cultivadas) y en 179,726 ha de pastizal en pendientes superiores al 5% (de un total de 187,500 ha). Una característica distintiva de las áreas agrícolas de temporal y de agostadero de la Mixteca Oaxaqueña es lo delgado del suelo y la poca capacidad de almacenamiento de estos para suplir las necesidades de las plantas entre eventos de lluvia. La lluvia que se presenta en la cuenca, media anual de 820 (± 320 mm), donde las parcelas cuentan con suelos profundos (>100 cm) el estrés hídrico se reduce considerablemente y el rendimiento se incrementa según la disponibilidad de nutrientes. De este modo, en la cuenca del río Mixteco se hace necesario considerar prácticas de manejo que reduzcan el estrés hídrico entre eventos de lluvia; esto es, incrementen capacidad de retención de humedad del perfil y reduzcan la evaporación directa del suelo.

La reducida capacidad de almacenamiento de humedad de estos suelos, para satisfacer las necesidades de agua entre eventos de lluvia, da lugar a problemas constantes de estrés hídrico que se reflejan en rendimientos de maíz y pasto medios que no superan 1.0 t/ha de grano y 2.8 t/ha de forraje respectivamente. En el caso de la agricultura, la restricción hídrica ha condicionado un sistema productivo orientado hacia el siniestro, es decir, con un enfoque 1) hacia la producción de rastrojo; 2) bajas densidades de población, y 3) escaso uso de insumos externos.

En la cuenca el sobrepastoreo ha actuado reduciendo la densidad de plantas deseables, proliferando plantas no apetecidas por el ganado, reduciendo la productividad del agostadero, favoreciendo la invasión de plantas no deseables, incrementando el escurrimiento superficial, aumentando las pérdidas de suelo y finalmente acrecentando la rusticidad del agostadero con espinosas. Esta pérdida de la cubierta vegetal ha provocado en los agostaderos el agua de lluvia no infiltre, sino que escurra superficialmente arrastrando la capa de suelo más fértil y formando cárcavas principalmente en suelos de origen sedimentario.



CONTENIDO

1. Introducción:.....	12
2. Objetivos:.....	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos.....	13
Supuestos.....	14
3. Metas:.....	14
4. Área de Estudio.....	17
Condiciones geológicas de la cuenca	18
Condiciones geológicas - edáficas de la cuenca	18
Condiciones de suelo y vegetación de la cuenca.....	19
El cultivo de maíz en la Mixteca.....	21
Características del maíz en la cuenca del Río Mixteco.	22
Cultivo de maíz en cajete.	2
El aprovechamiento de los agostaderos.....	4
Materia seca.....	4
Unidad animal	5
Condición de pastizal.....	2
Carga animal y coeficiente de agostadero	2
5. Metodología	5
El modelo APEX.....	5
Usos del modelo APEX	6
Reportes de aplicaciones del modelo APEX.	2
Estructura del modelo APEX.....	3
6. Actividades Desarrolladas.....	7
Manejo del cultivo de maíz en ladera.....	8
Entrevistas a productores de maíz en ladera.....	8
Características generales de los sistemas de producción.....	1
Factores que inciden en la producción.....	2
Estructura de costos.....	1



Paquete tecnológico regional.....	1
Parámetros fisiotécnicos.....	2
Rendimiento de grano	1
Índice de Cosecha (HI)	1
Superficies de uso agrícola y pecuario	1
Condiciones climáticas que prevalecen en el área del proyecto	3
Propiedades físicas y químicas del suelo.....	6
Identificación de pastos y su manejo.	12
Potencial forrajero de los pastos nativos.....	12
El manejo del agostadero	26
Prácticas para la conservación de suelo, agua y fertilidad.....	28
Terrenos agrícolas	29
Terrenos de agostadero.....	34
Módulos de trasplante para plantas de interés forrajero	41
Asociación Pasto banderita y leucaena.....	41
Lotes para la monitorear la producción de forraje.....	43
Estimación de biomasa por unidad de superficie: método directo.....	47
Biomasa asociada a las prácticas de conservación.....	51
Capacitación a productores	53
Objetivo general	54
Objetivos específicos.....	54
Temática desarrollada	55
Participantes	55
Material impreso.....	56
Capacitación a técnicos de las instituciones.	59
Objetivos	59
Requisitos mínimos del sistema	59
Contenido temático.....	59
Instituciones participantes.....	61
7. Resultados.	61



La producción de maíz en laderas	61
La erosión en terrenos agrícolas de ladera.....	67
La producción de forraje en los agostaderos.	71
Requerimientos de forraje según censo ganado.....	71
Comparación entre forraje estimado y simulado.	74
La capacidad de carga de los agostaderos.	1
8. Discusión y Conclusión:	8
Agricultura en ladera	8
Los agostaderos o pastizal inducido	9
9. Lecciones aprendidas:	10
10. Limitaciones u obstáculos al proyecto	11
11. Continuidad.....	11
12. Agradecimientos.....	13
13. Literatura citada	13

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Maíz de temporal, ciclo primavera-verano, Distrito de Desarrollo Rural 104, Huajuapán de León, Oaxaca.	12
Cuadro 2. Relaciones geológicas-edáficas de la cuenca del río Mixteco.	19
Cuadro 3. Relación de pastos reportados en la literatura y pastos identificados en colecta propia.	20
Cuadro 4. Valores mínimo, máximo, cuadrado medio del análisis de varianza y coeficiente de variación morfológica de maíz en la Mixteca Oaxaqueña (Chávez et al, 2011).	23
Cuadro 5. Valores mínimo, máximo, de la situación morfológica de maíz en la Mixteca Oaxaqueña, (Diego et al., 2011).	23
Cuadro 6. Reducción estimada del rendimiento de maíz por efecto de la pendiente del suelo, asociada a las clases de erosión del suelo: ligera, moderada y severa.	2
Cuadro 7. Especies forrajeras de zonas templadas y semiáridas.	5
Cuadro 8. Conversión a Unidad Animal (UA).	5
Cuadro 9. Clase de condición de pastizal.	2
Cuadro 10. Coeficiente de agostadero (ha/UA/año) de algunas entidades federativas.	4
Cuadro 11. Coeficientes de agostadero por tipo de vegetación (2009).	4
Cuadro 12. Datos de entrada y salida del modelo APEX (Agricultural Policy–Environmental eXtender)	7
Cuadro 13. Formato de entrevistas para el sistema de producción maíz en ladera	8
Cuadro 14. Paquete tecnológico para cultivo de maíz en ladera, cuenca del río Mixteco.	2
Cuadro 15. Condiciones ambientales, de manejo y de planta para el cultivo de maíz.	2
Cuadro 16. Estimación de rendimiento de maíz en grano.	1
Cuadro 17. Estimación del Índice de Cosecha (HI) de maíces regionales.	1
Cuadro 18. Factores fisiotécnicos del maíz y pastos presentes en la cuenca del río Mixteco.	1
Cuadro 19. Áreas agropecuarias en ladera de la cuenca del Río Mixteco, Oaxaca.	1
Cuadro 20. Estaciones Meteorológicas presentes en la cuenca del Río Mixteco.	4
Cuadro 21. Tipos de suelos presentes en las áreas agrícolas de ladera, cuenca del Río Mixteco.	6
Cuadro 22. Tipos de suelos presentes en las áreas de agostadero, cuenca del Río Mixteco.	7
Cuadro 23. Sitios de agricultura y pastizal donde se realizó muestreo de suelo.	8
Cuadro 24. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del río Mixteco.	12
Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco	14
Cuadro 26. Distribución de entrevista a productores de ganado.	26
Cuadro 27. Plántula de huaje (<i>Leucaena leucocephala</i>) y pasto banderita (<i>Bouteloua curtipendula</i>) recibida por comunidad.	42
Cuadro 28. Lotes para monitorear la producción de biomasa de pastos nativos y pasto banderita.	44
Cuadro 29. Características de los sitios donde se evaluó la producción de biomasa en pastos naturales.	48
Cuadro 30. Producción de biomasa de pastos dominantes en módulos establecidos con obras de conservación de suelo y agua.	49
Cuadro 31. Producción de materia seca de pasto	52
Cuadro 32. Taller sobre Técnicas para el Manejo Sustentable de los Agostaderos.	55
Cuadro 33. Estructura de los asistentes a los tres talleres de capacitación.	55
Figura 30. Tríptico sobre técnicas de reproducción y trasplante de pasto banderita y huaje.	57
Cuadro 34. Temario del taller dirigido a técnicos de las instituciones.	60
Cuadro 35. Rendimientos municipales de maíz: simulados y reportados por el SIAP.	62
Cuadro 36. Los ejidos con las mayores tasas Erosión/Rendimiento de la cuenca del río Mixteco.	69



Cuadro 37. Producción de forraje, a nivel municipal, estimada según censo ganadero del INEGI (2007) y simulada con APEX.72

Cuadro 38. Carga animal en base a la producción de forraje y la superficie de agostadero ejidal. 4

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. Cronograma agrícola para maíces de cajete en sistema lama-bordo San Miguel Tulancingo, Oaxaca (Rivas et al., 2008).....	3
Figura 3. Distribución por municipio de las entrevistas a productores de maíz.....	1
Figura 4. Distribución de las fechas de siembra y su efecto sobre el rendimiento de maíz.....	3
Figura 5. Relación entre fechas de siembra y su efecto sobre el rendimiento de maíz.....	3
Figura 6. Relación rendimientos duración de los ciclos de desarrollo.....	1
Figura 7. Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento de maíz.	1
Figura 8. Distribución de costos de la producción de maíz.	1
Figura 9. Secado y pesado de las muestras de maíz.	1
Figura 10. Ranchito con áreas de agostadero y cultivo de maíz en ladera.	1
Figura 11. Distribución de los tamaños de hatos.....	26
Figura 12. Sistemas lama bordo (terrazas en vegas) para el manejo de escurrimientos.....	30
Figura 13. Bordos a nivel para la conformación de terrazas agrícolas.....	31
Figura 14. Formación de terrazas por conformación sucesiva.....	32
Figura 15. Bancales de piedra acomodada para uso agrícola.....	33
Figura 16. Surcado al contorno en terrenos de ladera.....	33
Figura 17. Terrazas de conservación en agostaderos.....	35
Figura 18. Zanjas bordo en terrenos de agostadero.....	36
Figura 19. Pretiles de piedra acomodada en terrenos de agostadero.....	37
Figura 20. Tinas ciegas en terrenos de agostadero.	39
Figura 21. Presas de retención de azolve para la conservación de la humedad.....	40
Figura 22. Arreglo topológico para el establecimiento de leucaena (huaque) y pasto banderita.....	43
Figura 23. Esquema de monitoreo en zanja bordo. Rancho Dolores.....	45
Figura 24. Esquema de monitoreo en zanja trinchera. San Marcos Arteaga.....	45
Figura 25. Esquema de monitoreo en Tinas ciegas. San Andrés Lagunas.....	46
Figura 26. Esquema de monitoreo en barreras de piedra acomodada. San Andrés Lagunas.....	46
Figura 27. Esquema experimental en sitios sin prácticas de manejo. San Marcos Arteaga.....	47
Figura 28. Producción de materia seca de raíz y forraje por tipo de práctica.....	52
Figura 29. Producción de Biomasa total en zanjas bordo de acuerdo con la posición del muestreo (Rancho Dolores).....	53
Figura 31. Rendimientos medios municipales de grano de maíz reportado y simulado.....	62
Figura 32. Rendimiento municipal de grano (máximo, promedio y mínimo) simulado para un período de veinte años y rendimiento de grano reportado por SIAP entre 2006-2012.....	65
Figura 33. Distribución de los rendimientos medios simulados dentro de la cuenca del río Mixteco.....	65
Figura 34. Distribución de la relación erosión/rendimiento dentro de la cuenca del río Mixteco.....	67
Figura 35. Correlación entre la superficie de agostadero y unidades animal censadas.....	71
Figura 36. Producción de forraje estimado, según hatos ganaderos reportados por INEGI (2007) y rendimiento de forraje simulado con APEX.....	74
Figura 37. Distribución de la producción de forraje en la cuenca del río Mixteco.....	75
Figura 38. Distribución de la capacidad de carga animal en la cuenca del río Mixteco.....	1

1. INTRODUCCIÓN:

La cuenca del río Mixteco ha sufrido una gran degradación ambiental debido a la gran presión ejercida por las actividades socioeconómicas de la región sobre los recursos naturales existentes. Estudios recientes (WWF, 2012) muestran que la degradación específica de la cuenca del Río Mixteco se encuentra en valores de 17.04 t/ha/año, que la sitúa con el mayor nivel de erosión de suelos del país. Esta alta tasa de producción de sedimentos pone en riesgo los recursos naturales de la región y por ende la subsistencia digna de sus pobladores. Estos niveles de producción de sedimento de la cuenca provienen básicamente de las áreas agrícolas en ladera y de los terrenos de agostaderos sobrepastoreados.

Al acelerarse los procesos naturales de erosión, que arrastran la capa de suelo más fértil, se ha caído un círculo vicioso donde cada vez se disminuye, aún más, la infiltración del agua de lluvia, y se aumenta el escurrimiento superficial. Así, WWF (2012) encontró, en las áreas con problemas de degradación (erosión >10 t/ha) presentaban coeficientes de escurrimiento superior al 20% de la precipitación escurrida. Este mismo estudio identificó problemas de degradación en 49,864.1 ha de terrenos agrícolas en ladera, básicamente destinados al cultivo de maíz y en 47,012.6 ha de terrenos de agostadero, esencialmente sobre pastoreados con ganado caprino. El

estudio también indica que es factible detener los problemas de degradación, a través de acciones de conservación de suelos y captación de humedad, a niveles aceptable (2.0 – 3.0 t/ha/año); lo cual además de mejorar las condiciones productivas se favorecería la vida útil de la infraestructura hidroagrícola de la región.

En la cuenca durante el período 2001-2010, el 78.3% de la superficie agrícola distrital se sembró con maíz, el 11.7% con frijol y el 8.9% con trigo. La superficie de maíz suele variar según la distribución temporal de la precipitación (

Cuadro 1). Así, en los años con escasa precipitación o retraso en el establecimiento del temporal suele incrementarse la superficie de avena y trigo para la alimentación del ganado. Ante la preponderancia que los agricultores otorgan al cultivo de maíz y el impacto que causa en la degradación del suelo se optó por simular el área agrícola de la cuenca como si fuera cultivada en su totalidad por este cultivo básico.

Cuadro 1. Maíz de temporal, ciclo primavera-verano, Distrito de Desarrollo Rural 104, Huajuapán de León, Oaxaca.

Año	Superficie (ha)		Rendimiento (t/ha)
	Sembrada	Cosechada	
1999	98,595.00	91,238.00	0.89
2000	97,020.00	92,443.00	1.03
2001	98,555.00	98,555.00	1.31
2002	103,152.50	84,651.00	0.81
2003	97,765.00	83,876.00	0.97
2004	95,637.00	85,292.00	0.96
2005	96,574.00	62,019.00	0.71

Año	Superficie (ha)		Rendimiento (t/ha)
	Sembrada	Cosechada	
2006	113,308.25	80,235.00	1.14
2007	114,340.00	114,334.00	0.96
2008	123,205.00	117,223.45	1.01
2009	124,314.00	92,011.45	1.05
2010	127,841.25	99,087.75	0.88
2011	127,244.75	103,856.88	0.94
2012	125,685.00	123,590.50	0.92

Fuente: SIAP (2013).

En la región se han realizado inversiones importantes para mejorar el ambiente sin embargo las acciones gubernamentales no han tenido el impacto esperado; por la falta de un diagnóstico adecuado que enfoque los esfuerzos en áreas prioritarias y que proporcione elementos para selección de las mejores alternativas de manejo. Para mejorar el entendimiento de los procesos que ocurren en la cuenca y la eficacia de los esfuerzos institucionales y de las comunidades, el presente trabajo analiza el manejo de las áreas agropecuarias, con problemas de degradación, a través de las siguientes actividades:

- a) Comparar los resultados APEX (Agricultural Policy Environmental Extender) con sitios monitoreados y reportes municipales de rendimiento de maíz y censos ganaderos.
- b) Estimar el rendimiento de maíz y la producción de biomasa en agostaderos en función del manejo actual.
- c) Identificar pastos nativos para la producción sustentable de forraje.

d) Identificar las mejores prácticas de manejo para frenar, lo más eficiente posible, el impacto de la degradación de suelos y la conservación de la humedad en las laderas de la cuenca.

e) Procurar que la información generada sea compatible con la base de datos espaciales de SWAT, que el Proyecto GEF-Mixteca ha venido desarrollando, para una eventual revaloración hidrológica de la cuenca en función de futuras acciones de manejo.

2. OBJETIVOS:

Objetivo general

Proponer estrategias para mitigar la degradación y favorecer la producción sustentable de las áreas agrícolas en ladera y de agostadero de la cuenca del Río Mixteco.

Objetivos específicos

- ✓ Estimar, bajo diferentes estrategias de manejo, los rendimientos de maíz en ladera mediante la aplicación del modelo APEX.
- ✓ Analizar la relación erosión y rendimiento del cultivo de maíz.
- ✓ Realizar un catálogo de prácticas de manejo acorde a las condiciones de topografía, climáticas y socioculturales de la región para el manejo sustentable del cultivo de maíz en ladera y del pastoreo en agostaderos.

- ✓ Identificar especies de forrajeras que ayuden a mejorar la condición de los agostaderos en términos de retención de erosión, formación de suelo, tolerancia a sequías extremas, y producción de forraje de alta apetencia.
- ✓ Identificar comunidades agrícolas con problemas de degradación de suelo y con agostaderos sobreexplotados.

Supuestos

La información climática, edáfica y de manejo, reportada por diversas instancias gubernamentales para la cuenca del Río Mixteco, es homogénea, de buena calidad y presenta consistencia estadística.

3. METAS:

De acuerdo a lo establecido en el Convenio de Consultoría, para el primer reporte técnico, se consideraron las siguientes actividades y productos:

<p>1. Estimar el rendimiento de maíz en zonas de ladera</p> <p><i>Actividades:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Gestionar datos del rendimiento de maíz a fin de conocer su comportamiento bajo diferentes condiciones de manejo. - Seleccionar sitios de muestreo para obtención de datos que permitan la estimación de los diferentes componentes de rendimiento (distancias entre plantas y entre surcos, altura de planta, número de mazorcas, etc.) - Realizar encuestas a productores de maíz para conocer el manejo que se realiza al cultivo en ladera. - Estimar los componentes de rendimiento que demanda APEX. <p><i>Productos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificación en campo de datos de rendimientos reportados: una base de datos. - Encuestas de manejo del cultivo del maíz: 50 encuestas. - Componentes para estimar rendimiento en maíz: una base de datos.
<p>2. Cuantificar la superficie de uso agrícola y uso pecuario</p> <p><i>Actividades:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rectificación de polígonos de uso del suelo y vegetación de la Serie IV, realizada por INEGI. - Ajuste de polígonos utilizando Google Earth y fotografías digitales de INEGI. <p><i>Productos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rectificación de áreas agrícolas y pecuarias: un mapa.
<p>3. Conocer las condiciones climáticas que prevalecen en el área del proyecto</p> <p><i>Actividades:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Complementar el número de estaciones meteorológicas, vecinas al perímetro exterior de la cuenca. - Estimar los datos faltantes, en las estaciones vecinas, por métodos indirectos. - Recopilar y procesar la información climatológica diaria, de las variables climatológicas requeridas por APEX. <p><i>Productos:</i></p>

- Información climática ampliada más allá del perímetro de la cuenca: **una base de datos.**

4. Conocer las propiedades físicas y químicas de las unidades de suelo que existen dentro del área del proyecto.

Actividades:

- Identificar las principales unidades de suelo que existen dentro de la cuenca.
- Seleccionar sitios de muestreo, en áreas agrícolas en ladera y de agostadero, para tomar muestras de suelo a diferentes profundidades, según los horizontes que se presenten.
- Analizar muestras de suelo en laboratorio, para determinar: porcentajes de arena, arenas finas, limo, arcilla, así como pH, CIC y MO.

Productos:

- Información de las principales unidades de suelo y las propiedades físicas y químicas de los mismos en áreas agrícolas de ladera (pendientes mayores al 5%) y de agostadero: **una base de datos.**

5. Identificar pastos y su manejo para mejorar la sustentabilidad del agostadero.

Actividades:

- Colecta de especies forrajeras y estimación de biomasa por unidad de superficie.
- Identificar comunidades de interés para la implementación de módulos de reproducción de pastos.
- Aplicar encuestas para identificar el tipo de manejo que se realiza al agostadero.
- Establecer tres módulos de monitoreo, en igual número de comunidades, para monitorear la producción de forraje.
- Estimar con APEX, acorde al manejo tradicional, la biomasa resultante.

Productos:

- Lista de pastos nativos con potencial forrajero: **un catálogo.**
- Encuestas de manejo de agostadero: **30 Encuestas.**
- Establecimiento de módulos de trasplante para plantas de interés forrajero: **tres actas de entrega.**
- Establecimiento de lotes para la monitorear la producción de forraje: **tres módulos.**
- Estimación de producción de forraje con manejo tradicional: **un mapa**

6. Estimación de rendimiento de maíz en ladera.

Actividades:

- Recolectar datos de manejo- rendimiento de maíz de programas institucionales.
- Seleccionar sitios de muestreo para obtención de datos fisiotécnicos.
- Estimación de los componentes de rendimiento (distancias entre plantas y entre surcos, altura de planta, número de mazorcas, etc.)
- Realizar encuestas a productores de maíz para conocer el manejo que se realiza al cultivo en áreas de ladera.

Productos:

- Estimación de rendimiento de maíz con manejo tradicional en laderas: **un mapa.**
- Encuestas de manejo de cultivo: **46 Encuestas.**

7. Conocer las diferentes prácticas para la conservación de suelo, agua y fertilidad presentes en el área del proyecto.

Actividades:

- Identificar, con base en recorridos de campo, las prácticas con potencial para su implementación en la conservación de suelo, agua y fertilidad.
- Identificar prácticas, acciones y obras factibles de apoyo institucional.

Productos:

- Prácticas con potencial para la conservación de suelo, agua y fertilidad: **un catálogo.**

8. Capacitación

Actividades:

- Capacitar a productores sobre los cuidados del agostadero y el manejo adecuado del módulo de reproducción de pastos.
- Capacitar a técnicos para la operación y planteamiento de escenarios en APEX.

Productos:

- Taller de capacitación a productores para la reproducción de semillas: **tres listas de asistencia.**

4. ÁREA DE ESTUDIO

En México la Mixteca abarca los estados de Guerrero, Puebla y Oaxaca; siendo este último el que abarca la mayor parte de la región. La Mixteca Oaxaqueña es una de las ocho regiones del estado de Oaxaca, ubicada al noroeste del estado, tiene una superficie aproximada de 1,709,482 ha, subdividida políticamente en ocho distritos rentísticos-judiciales (Coixtlahuaca, Juxtlahuaca, Nochixtlán, Teposcolula, Tlaxiaco, Huajuapam, Silacayoapam y Putla)

y 160 municipios; que de acuerdo al INEGI (2010) tienen una población de 522,390 habitantes. Dentro de esta región, se localiza la cuenca del Río Mixteco (Figura 1), que a la altura de la estación hidrométrica No 18,344 (Mariscal), tiene una superficie de 653,879.52 ha y abarca 91 municipios siendo los más importantes: Huajuapam de León, San Pedro y San Pablo Teposcolula, Villa de Tamazulapan del Progreso, Heroica ciudad de Tlaxiaco, Santiago Juxtlahuaca, San Bartolo Soyaltepec, Putla Villa de Guerrero y Silacayoapan.



Figura 1. Localización del área de estudio.

La Mixteca se ubica en la confluencia de las Sierra Madre de Oaxaca y la Sierra Madre, conformando el denominado Nudo Mixteco, lo que le confiere a la región una topografía montañosa. Las cadenas

montañosas que se entrecruzan en la región han generado un relieve abrupto, en el cual la existencia de valles es casi nula. El Programa de Desarrollo Rural Integral de las Mixtecas Oaxaqueñas calcula que en la

región existe un 85% de lomeríos y pendientes mayores. (PRODIMO, 1989).

Condiciones geológicas de la cuenca

La cuenca en forma natural presenta condiciones frágiles, para la degradación de los suelos, producto de su historial geológico y geomorfológico; asociado a cambios climáticos y un tectonismo muy activo. En la parte sudeste de la cuenca se observan los vestigios de recientes de suelos de origen volcánico; correspondiente al sistema Neógeno (entre 3.3 y 23 millones de años); los cuales han perdurado gracias a los bosques (coníferas, encino, mesófilo de montaña) favorecidos por un clima más húmedo. Desde entonces no se observan procesos importantes de agregación de suelo; por ejemplo, la caída de cenizas como ocurriera en el Eje Volcánico Transmexicano durante el cuaternario. Así, al menos en los últimos 3.3 millones de años, la erosión natural paulatinamente ha arrastrado los materiales finos y puesto al descubierto la roca volcánica y metamórfica subyacente (litosoles) que hoy observamos en la cuenca. En los tiempos modernos la erosión acelerada, asociada a cambios de uso de suelo antropogénicos, está mermando las acumulaciones de suelo volcánico remanente y de arrastre presentes en áreas de agregación de la cuenca.

Condiciones geológicas - edáficas de la cuenca

En la región el problema de escasez de agua se vuelve crítico en áreas con presencia de rocas someras asociadas a suelos litosol (31.4%) y feozem (28.3%), así como de rocas calizas relacionadas a suelos tipo rendzina (19.0%); los cuales producen perfiles pedológicos de poca profundidad. Estos suelos someros, que dominan el paisaje Mixteco, se saturan fácilmente con la lluvia; lo que repercute en un escaso almacenamiento de humedad en el perfil, un alto escurrimiento superficial y una baja producción de biomasa. La escasa capacidad de almacenamiento de humedad y la poca profundidad de los litosoles y rendzinas (<10cm de profundidad) ha condicionado su uso al pastoreo en agostaderos.

En el caso de los regosoles (11.8%), producto de depósitos sedimentarios gravosos, lo áspero de los materiales subyacentes impiden su laboreo agrícola; sin embargo, su alta capacidad de infiltración les confiere un buen potencial para el desarrollo de arbustos y pastos para forraje y producción de leña. Estos mismos regosoles cuando se localizan sobre depósitos sedimentarios no consolidados (antiguos depósitos piroclásticos o aluviales) al ser desprovistos de su vegetación natural (por uso agrícola o sobrepastoreo), y según su grado de pendiente, favorecen la formación de cárcavas. Por otro lado los suelos feozem (<35cm de profundidad) vinculados al

arrastré de material fino-arenoso proveniente de cotas superiores y depósitos eólicos de baja intensidad, han sido los más utilizados en la cuenca para la producción de maíz; con bajos rendimientos (< 1.0 t/ha) y altas tasas de erosión.

En los sitios metamórficos se observa una tendencia a una menor cobertura

comparada con los de origen ígneo, que son los que presentan mejores coberturas. Generalmente los pastos con condiciones de vegetación pobre están asociados con altos afloramientos de material parental. En las áreas de rocas tipo sedimentario es donde se encuentra mayor formación de cárcavas (Cruz, 2001).

.Cuadro 2. Relaciones geológicas-edáficas de la cuenca del río Mixteco.

Tipo de suelo	Subtipo de suelo	Clave	Arenisca-Toba intermedia	Conglomerado	Arenisca	Limolita-Arenisca	Lutita-Arenisca	Andesita	Esquisto	Caliza	Volcanoclástico	Aluvial	Arenisca-Conglomerado
Feozem	Calcárico	Hc		X		X							X
Feozem	Háplico	Hh	X	X	X	X	X	X	X		X		X
Feozem	Lúvico	HI	X					X					
Litosol		I					X	X	X		X		
Fluvisol	Calcárico	Jc										X	X
Fluvisol	Eútrico	Je		X		X					X	X	X
Luvisol	Calcárico	Lc	X			X	X	X		X		X	X
Luvisol	Órtico	Lo			X								
Luvisol	Vértico	Lv				X		X					
Regosol	Crómico	Rc		X	X	X	X						X
Regosol	Eútrico	Re		X	X	X	X				X		X
Vertisol	Crómico	Vc										X	
Vertisol	Pélico	Vp										X	
Urbano		ZU										X	

Condiciones de suelo y vegetación de la cuenca.

El 50% de la cuenca se encuentra cubierta por un tapiz vegetal de carácter arbóreo-arbustivo casi continuo, correspondiendo principalmente al tipo selva baja caducifolia; pero también existen algunas otras formaciones de mayor porte como son los bosques de coníferas y encinos, así como formaciones de ribera de gran envergadura constituidas principalmente

por ahuehuete (*Taxodium mucronatum*). El resto de la cuenca posee cubiertas vegetales básicamente de uso agropecuario, con abundantes claros y grandes rasos debido a una presión excesiva agro-silvo-pastoriles por parte del hombre o por limitaciones edafo-climáticas. Las áreas con mayor grado de deforestación y degradación se encuentran alrededor de los núcleos urbanos o en

terrenos de baja pendiente y buena accesibilidad.

Recientemente, el mal manejo de la cubierta vegetal ha incrementado los coeficientes de escurrimiento principalmente por el pastoreo de los agostaderos, con ganado caprino y la falta de prácticas de conservación de suelo y agua en los terrenos agrícolas de ladera. El sobrepastoreo ha actuado reduciendo la densidad de plantas deseables, proliferando plantas no apetecidas por el ganado, reduciendo la productividad del agostadero, favoreciendo la invasión de plantas no deseables, incrementando el escurrimiento superficial, aumentando las pérdidas de suelo y finalmente acrecentando la rusticidad del agostadero.

asociados a la presencia de herbáceas (55%), arbustos (25%) y árboles (7.5%), los de condición regular a herbáceas y arbustos (matorral) y los de condición pobre a vegetación herbácea (pastizal).

La vegetación de los agostaderos está compuesta por gramíneas, hierbas y arbustos. La mayoría de esta vegetación debe tener valor forrajero, aunque debido al mal manejo que se ha dado a los agostaderos de la región las especies nativas con alto valor forrajero se han perdido paulatinamente. Diversos autores han encontrado gran variedad de especies en los agostaderos de la Mixteca, algunas nativas y con un alto valor forrajero, a continuación se describen algunas listas florísticas resultado de diversos estudios.

Según Cruz (2001) los agostaderos en buenas condiciones hidrológicas están

Cuadro 3. Relación de pastos reportados en la literatura y pastos identificados en colecta propia.

Pastos reportados	Pastos colectados
<i>Aristida adscensionis</i> (Contreras et. al., 2003)	
<i>Aristida appressa</i> (Contreras et. al., 2003)	
<i>Aristida glauca</i> (Cruz., 1988)	
<i>Aristida divaricata</i> (Cruz, 1988; Contreras et. al., 2003)	X
<i>Bouteloa curtispindula</i> (Michx.) Torr (Cruz, 1988; Contreras et. al., 2003)	
<i>Bouteloa chondrosioides</i> (Cruz, 1988)	
<i>Bouteloa hirsuta</i> Llag. (Cruz, 1988; Contreras et. al., 2003)	
<i>Bouteloa scorpioides</i> (Cruz, 1988)	X
<i>Hilaria cenchroides</i> H.B.K (Cruz, 1992; Contreras et. al., 2003)	X
<i>Setaria geniculata</i> (Lam.) Beauv. (Cruz, 1992)	

Clima

Con rangos de elevaciones entre 1,200 y 2,300 msnm, en general el clima varía entre cálido-semiseco a templado-húmedo con un gradiente de precipitación que aumenta de noreste (Tamazulapam) a suroeste (Juxtlahuaca) y temperaturas medias anuales que se incrementan del noroeste (a partir de Mariscala) al sureste (Tlaxiaco). Las temperaturas extremas varían desde los 5° en los Distritos de Juxtlahuaca, Teposcolula y Tlaxiaco, hasta los 37°C en los distritos de Silacayoapan y Huajuapam.

La mayor parte de la cuenca se encuentra en un rango de precipitación que va de 700 a 800mm, se puede encontrar precipitaciones arriba de los 800mm y en la parte Norte menor a 500mm.

Las áreas de producción de maíz y pastizal inducido, presentes en la cuenca, se localizan en los diferentes climas presentes en la cuenca: semicálido-seco (20°C, 550mm), cálido-semiseco (23°C, 650mm), semicálido-semiseco (18°C, 700mm), templado-semiseco (16°C, 700mm), semicálido-semiseco (20°C, 700mm), semifrío-subhúmedo (12°C, 1000mm), templado-subhúmedo (16°C, 1000mm), templado-húmedo (16°C, 1200mm).

El cultivo de maíz en la Mixteca

En el Estado de Oaxaca se siembran anualmente más de 500 mil hectáreas y en la región Mixteca alrededor de 120 mil hectáreas. Del total estatal, 87.6% corresponden a siembras de temporal y monocultivo o en asociación, con un

rendimiento promedio, en el Estado de 1.32 t/ha (SEIDRUS, 2009).

El relieve y clima de la Mixteca Oaxaqueña, asociados a un paisaje abrupto y patrones de lluvia irregular, da lugar a un tipo de agricultura con altos índices de siniestralidad, altas tasas de erosión, bajos rendimientos (INIFAP-CIMMYT, 1993). Así, el rendimiento de maíz en el distrito de Huajuapam, reportado por el SIAP, es de 0.92 t/ha.

En la zona de estudio existen dos patrones de producción de temporal, uno de maíz y trigo y otro de maíz asociado con frijol. El patrón de maíz de temporal, solo o asociado con frijol, es el más importante en términos de la superficie sembrada; en 1980 ocupó 75,232 ha, es decir, el 70% del área sembrada. La mayoría de agricultores siembran maíz y frijol al mismo tiempo. La población de maíz, en asociación, es normalmente tres veces la población de frijol. Algunas veces la calabaza (*Cucurbita spp.*) es intercalada con maíz, particularmente en suelos de humedad relativamente alta (Katz y Vargas, 1990).

Los sistemas de producción de maíz se desarrollan invariablemente en condiciones de temporal, en consecuencia la variabilidad de los rendimientos es continua a través de los años y sujeta al régimen de lluvias. Esta dependencia de las condiciones del temporal caracteriza a la actividad agrícola, en particular y agropecuaria en general, además de los altos índices de siniestralidad (>30%) y

bajos rendimientos del maíz en temporal (0.92t/ha, DDR Huajuapán) que, según SIAP (2013), se encuentran por debajo de la media nacional (2.3 t/ha) y estatal (1.1 t/ha).

Características del maíz en la cuenca del Río Mixteco.

Chávez *et al.* (2011) analiza los diferentes complejos raciales de maíz, presentes en el municipio de Huamelulpan Oaxaca, a través de caracteres fisiológicos, de planta, espiga, mazorca y grano entre las poblaciones evaluadas. El análisis mostró que las variables de altura de mazorca y planta, longitud y número de ramas de la espiga, días a floración femenina, longitud y número de hileras de la mazorca, fueron las de mayor valor descriptivo de la variabilidad presente en las poblaciones evaluadas de maíz. Se diferenciaron dos grupos fenotípicos de las razas Chalqueño y Mixteco, y siete complejos raciales entre las razas Chalqueño, Cónico, Mixteco y Pepitilla. Durante la evaluación se observaron poblaciones con características de mazorcas cercanas a las razas Bolita, Serrano Mixe y Ancho. Los autores concluyen que no hubo diferencias significativas ($P > 0.5$) para número de ramas secundarias de la espiga y diámetro del raquis del olote. En el

Cuadro 4, se pueden observar los valores obtenidos en la Mixteca.

Cuadro 4. Valores mínimo, máximo, cuadrado medio del análisis de varianza y coeficiente de variación morfológica de maíz en la Mixteca Oaxaqueña (Chávez et al, 2011).

Variabes evaluadas	Mínimo	Máximo	Cuadrado medio	Coficiente de variación
Altura de planta (m)	109.7	183	1264.37**	16.9
Altura de la mazorca	58.3	115.1	829.61**	24.4
Días a floración masculina	95	113	94.73**	1.8
Días a floración femenina	95.8	112.8	100.46**	2.5
Longitud de la mazorca (cm)	4.7	19.9	29.98**	7.9
Diámetro de la mazorca (cm)	2.6	6.9	1.85**	22.5
Número de hileras de la mazorca	9.4	14.7	3.75**	11.7
Longitud del grano (mm)	8.8	12.2	1.55**	7.4
Ancho del grano (mm)	6.8	9.3	0.91**	8.8
Grosor del grano (mm)	3.8	4.6	0.11 ^{NS}	8.6
Rendimiento de grano (t/ha)	0.5	3.86	0.58 ^{NS}	26.3

^{NS} = No significativo a una $P > 0.05$, ** = Significativo a una $P < 1.0$

Diego et al. (2011), En el municipio de Santa Catarina Ticua, la cual se encuentra a 2,140 msnm, a través de 50 colectas, bajo un diseño de bloques al azar, analizó la variación fenotípica de Maíces de 13 municipios que se encuentran cercanos a este municipio, a través del análisis de varianza. Se detectaron diferencias ($P < 0.05$) para todas las variables excepto para días a floración masculina y femenina, número de ramas secundarias, longitud del pedúnculo de la espiga, diámetros de olote y raquis y rendimiento. Lo que indica que entre las colectas caracterizadas no hubo diferencias importantes en caracteres específicos de la panoja o espiga y del olote para diferentes poblaciones de la raza Chalqueño. En el Cuadro 5, se tienen algunos resultados obtenidos en esta investigación, *los autores reportan que no existieron diferencias estadísticas significativas.*

Cuadro 5. Valores mínimo, máximo, de la situación morfológica de maíz en la Mixteca Oaxaqueña, (Diego et al., 2011).

Variabes evaluadas	Mín.	Máx.
Altura de planta (m)	1.12	2.29
Altura de la mazorca (cm)	56.2	161.1
Días a floración masculina	100.0	110.0
Días a floración femenina	100.8	112.4
Longitud de la mazorca (cm)	9.4	15.5
Diámetro de la mazorca (cm)	3.5	4.5
Ancho del grano (mm)	7.8	11.4
Rendimiento de grano (t/ha)	1.26	3.0

En el municipio de Santo Domingo Yanhuitlán (Contreras et al., 2005) evaluó la reducción del rendimiento de maíz debido a la erosión del suelo. Los autores concluyeron que la variación del contenido medio de materia orgánica, entre las clases de erosión, resulta ser del orden de 0.15%. Esto puede explicar la baja reducción del rendimiento debido a la erosión. Sin embargo, al considerar los valores extremos de disminución de materia

orgánica del suelo, del orden de 1.60 a 0.20%, la reducción fue de: para grano, 48 y 65% para ambos tratamientos de fertilización, respectivamente.

En el presente caso, el efecto de reducción del rendimiento del maíz por la erosión en la zona de Yanhuitlán, región Mixteca Oaxaqueña, se debería fundamentalmente a la disminución de la profundidad del suelo que ha originado, en cambio no se atribuiría a la ligera pérdida de la materia orgánica. En el Cuadro 6, se pueden observar los datos obtenidos en la investigación.

Cuadro 6. Reducción estimada del rendimiento de maíz por efecto de la pendiente del suelo, asociada a las clases de erosión del suelo: ligera, moderada y severa.

Pendiente media	Rendimiento medio grano	*Reducción de grano	
		kg/ha	%
%	kg/ha	kg/ha	%
Sin fertilizante			
2.1	774		
3	730	44	6
10	547	227	29
Con fertilizante			
2.1	1,149		
3	1,105	44	4
10	923	226	20
Sin fertilizante			
99	1212		
61	564	648	53
26	178	1034	85
Con fertilizante			
99	1896		
61	879	1017	54
26	275	1621	85
Sin fertilizante		**	**
0.95	715		
0.8	668	47	7
0.66	624	91	13
1.2	918		
0.2	480	438	48
Con fertilizante			

Pendiente media	Rendimiento medio grano	*Reducción de grano	
		kg/ha	%
%	kg/ha	kg/ha	%
0.95	1158		
0.8	1043	115	10
0.66	936	222	19
1.2	1656		
0.2	583	1073	65

*Reducción con respecto a la clase de erosión ligera.
 **Reducción con respecto a: la clase de erosión ligera; y entre el valor máximo y mínimo de materia orgánica observados.

Cultivo de maíz en cajete.

En la comunidad de San Miguel Tulancingo, pertenece al distrito de Coixtlahuaca, Rivas (2008) analizó los diferentes sistemas para conservar la humedad en las tierras de cultivo. Encontraron que existen técnicas para el manejo de agua para la agricultura que no son considerados sistemas de riego convencionales.

Los campesinos de la región han podido disminuir los efectos negativos de las condiciones ambientales, mediante el diseño de estrategias productivas como la selección de sus recursos vegetales y diversos sistemas agrícolas, como el de humedad, utilizando el agua de lluvia captada en suelos de arrastre retenidos sobre las barrancas conocido como “sistema lama-bordo”, para el cultivo anual de *maíces de cajete*; una de las principales estrategias para la obtención de alimentos, (Rivas, 2008).

Este sistema de siembra es considerado seguro aún en años de escasas y erráticas lluvias, debido al uso de variedades criollas de ciclos largos (de 260 a 270 días de ciclo vegetativo), a este tipo de siembra se le conoce como *cajete*, que desde tiempo

inmemorial ha sido usado por los campesinos de la región, para este tipo de suelos de arrastre.

El sistema de humedad para la siembra de maíces de cajete se realiza en suelos profundos creados para este fin, con el azolve que origina el arrastre de las lluvias sobre cárcavas o barrancas, conocidos como “jollas”.

Al sistema de humedad también se le conoce como de “cajete” o “picado” debido a la forma de siembra, que consiste en excavar con la pala de cajete, una pequeña fosa de aproximadamente 30 o 40 cm de diámetro con 10 a 30 cm de profundidad que se le denomina “cajete”. Una vez encontrada la humedad en el cajete, con el otro extremo de la pala se “pica” al centro haciendo un pequeño hoyo en donde se depositan las semillas (Rivas et al., 2008).

El rendimiento de los maíces de humedad generalmente es superior, hasta un 30%, a los obtenidos en condiciones de temporal. A pesar de productivo, comparado con el sistema de temporal, ha sido abandonado, por efecto de la emigración, ya que requiere de una gran cantidad de personas para su construcción, la disponibilidad de maquinaria para la siembra de terrenos de temporal y las ventas gubernamentales de grano a precios bajos. Por estas razones se puede apreciar que el sistema lama-bordo se está perdiendo aunque no deja de ser una excelente herramienta para la

productividad de las tierras, (Rivas et al., 2008).

En el sistema de cajetes, casi todo el año, exceptuando el mes de agosto, se realizan actividades. La distribución temporal de estas actividades se puede apreciar en la siguiente figura.

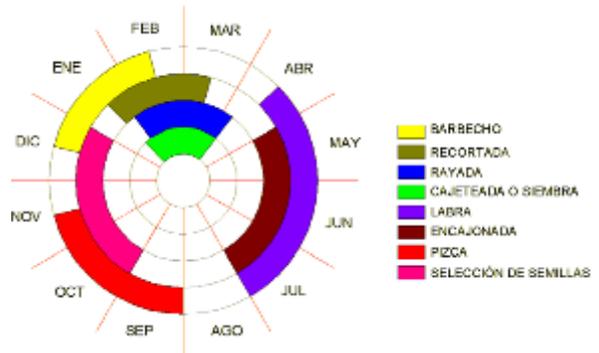


Figura 2. Cronograma agrícola para maíces de cajete en sistema lama-bordo San Miguel Tulancingo, Oaxaca (Rivas et al., 2008).

Barbecho: Preparación del suelo. Labor que consiste en voltear la tierra con arado de yunta o con tractor. Se efectúa para que se “oree el suelo” y “suba la humedad”.

Recorte: Labor realizada entre 15 y 20 días después del barbecho, para que los terrones que se formaron con el barbecho no se endurezcan demasiado al secarse.

Rayada: líneas parecidas a los surcos, marcadas con arado antes de la siembra, que sirven de guía para la orientación de los cajetes.

Cajeteada: Siembra de maíz o milpa en cajetes. Se realiza de 3 días a una semana después de la Rayada. Consiste en hacer hoyos o cajetes de entre 30 a 40 cm de

diámetro con una profundidad de entre 10 y 30 cm de profundidad para depositar los granos.

Labra: Se realiza, con arado de madera tirado por yunta, entre 2 y 2.5 meses después de la siembra. Sirve para “aflojar la raíz del maíz y que agarre más fuerza porque ayuda a que “suba la humedad”.

Encajonada: Tiene una función parecida a la labra y también se realiza con yunta, pero sirve específicamente para acercar más tierra a las plantas de maíz; sobre todo en las jollas en que las escorrentías de las pendientes cercanas no arrastran suficiente tierra o materia orgánica.

Pizca: Se llama *pizca* a la cosecha de la milpa o maíces de cajete.

Selección de semillas: Se realiza de octubre a diciembre, una vez que está seco el maíz.

El aprovechamiento de los agostaderos

La clave para tener una producción animal exitosa y sostenida es el adecuado uso del forraje producido, ya sean forrajes nativos o introducidos e incluso agostaderos con alta presencia de arbustivas. Para manejar adecuadamente los recursos del agostadero (tierra, agua, planta y animal), el productor debe de estar familiarizado con la cantidad de forraje que sus áreas de pastoreo pueden producir y la cantidad requerida por el ganado a través de una estación de pastoreo (año, época del año, mes, etc.), tanto en forma individual como del hato completo.

La cantidad de forraje que produce un agostadero depende de la especie de forraje, la productividad del suelo, el sistema de manejo que se tenga y el clima, en particular, la cantidad de lluvia y sol. Conocer el potencial forrajero de un agostadero permite aprovechar los recursos del sitio de una manera sustentable y mejorar la condición del agostadero y de vida de los productores.

Materia seca

Todos los forrajes contienen en mayor o menor proporción agua y lo que queda después de haber extraído por completo el agua, recibe el nombre de materia seca (MS) o biomasa.

En sus diferentes etapas antes de madurar, las plantas contienen de 70 a 80% agua, es decir, de 20 a 30% de materia seca. Las semillas en cambio, no contienen más de 8 - 10% de agua y de 90 - 92% materia seca (Bustamante y Espadas, 2007).

Los forrajes verdes tienen mucha agua y poca MS y la cantidad de agua dependerá de la especie forrajera (gramíneas o leguminosas) y sobre todo del estado fenológico del forraje (hojas, encañado, espigado, floración). Así, se tiene que 1 kg de forraje verde tiene entre 90 y 250 gramos de MS.

Los forrajes ensilados también contienen agua pero en menor cantidad y es muy variable, ya que está en función de la clase de forraje que se ensila y del sistema de ensilado empleado, por ejemplo:

- Ensilado directo: la MS varía entre 150 y 350 gramos de MS por kilo de forraje.
- Ensilado en pacas: al hacerse un prehenificado la MS del forraje aumenta y suele estar entre 250 y 500 gramos de MS por kilo de forraje.
- Los forrajes secos (henos) tienen poca agua y un kilo de forraje seco tiene entre 850 g y 920 g de MS.

En el Cuadro 7 se muestran algunas especies forrajeras, en donde se indica su producción de materia seca, dato que permitirá obtener los parámetros de coeficiente de agostadero y carga animal que se podrían tener con cada una de ellas.

Cuadro 7. Especies forrajeras de zonas templadas y semiáridas.

Nombre común	Método de siembra	Reproducción	Cantidad/h a	Producción MS (t)	Aprovechamiento
Templada					
Kikuyo	Espeque, rollo	Vegetativa	1-2 t	10-24	Pastoreo
Rhodes	Voleo, surcos	Semilla	5-10 kg	5-15	Pastoreo-Pacas
Gordura	Voleo	Semilla	20-25 kg	10-20	Pastoreo
Orchard	Voleo, surcos	Semilla	10 kg	10-15	Corte-Pastoreo
Festuca	Voleo, surcos	Semilla	15 kg	10-20	Corte-Pastoreo
Semiárida					
Buffel	Voleo, líneas	Semilla	3-10 kg	2-12	Pastoreo
Pretoria	Voleo, líneas	Semilla	3 kg	3-5	Pastoreo-Pacas
Klein	Voleo, líneas	Semilla	2-3 kg	1.25	Pastoreo

Unidad animal

En la planeación del agostadero, para evitar problemas de sobreexplotación y su consecuente degradación, es necesario correlacionar por unidad de superficie, la biomasa producida por un determinado tipo de pasto y el número de animales capaces de alimentarse con ella, que a su vez depende de las necesidades alimenticias de las diversas especies pecuarias y de su edad.

Para obtener un dato equivalente de referencia, que homologue las diversas especies (mayores o menores), con fines de planeación, se ha optado por el concepto de Unidad Animal (UA), el cual

considera las necesidades alimenticias y la función zootécnica de una vaca adulta (vientre bovino).

La UA considera que la vaca de referencia se encuentra en etapa de gestación o crianza con peso variable entre los 400 y 450 kg y con un consumo diario de forraje, en base a materia seca, del 3% de su peso vivo. En el Cuadro 8, se muestran los valores de UA equivalentes para diferentes especies de interés pecuario (Jaramillo, 1969).

Cuadro 8. Conversión a Unidad Animal (UA).

Clase de Ganado	UA*
Vaca (400 a 450 kg) en gestación o mantenimiento	1.00

Clase de Ganado	UA*
Vaca lactando y con cría antes del destete	1.30
Becerro destetado y hasta los 24 meses	0.70
Novillo de 2 años y menos de 400 kg	0.90
Novillo de más de 2 años o 400 a 450 kg	1.00
Toros de más de 2 años	1.25
Caballos, yegua o mulo adulto	1.00
Potros y muleros, destete a 2 años	0.70
Oveja seca o con cría	0.20
Carnero	0.25
Ovino destetado de menos de 1 año	0.17
Macho cabrío castrado o cabra adulta	0.20
Cabra tripona (menor de 1 año)	0.14

*UA. Unidades Animal

Para hacer ajustes a situaciones de peso diferentes a las indicadas, se recomienda modificar las unidades animales en 0.1 por cada 50 kg de peso.

Condición de pastizal

En un área determinada, la productividad de un pastizal puede variar de un año a otro o en el mismo año, según la condición edafológica, climática y de manejo del sitio en particular que lo hacen diferente en potencial forrajero a las áreas adyacentes. Esta variación en productividad lleva al concepto de condición del pastizal, el cual refleja en términos comparativos, la producción actual de un sitio, comparada con la que debería tener si las prácticas de manejo, bajo condiciones normales de clima, fuesen las más apropiadas.

Para ello, se consideran cuatro clases de condición de pastizal en función del porcentaje de la vegetación del sitio (Cuadro 9).

Cuadro 9. Clase de condición de pastizal.

Clase de condición de pastizal	Porcentaje de la vegetación clímax para el sitio de pastizal
Excelente	76 a 100
Buena	51 a 75
Regular	26 a 50
Pobre	0 a 25

Esta clasificación sobre la condición del pastizal, expresa como se aparta la biomasa presente, de la producción clímax que potencialmente podría presentarse en el pastizal. Así, esta valoración proporciona una medida aproximada del grado de deterioro o disturbio que ha sucedido a la cubierta vegetal, con la finalidad de tener una base para predecir el grado de mejoramiento posible en dicho pastizal.

A cada una de estas categorías corresponde una productividad y una diferente carga animal. Lógicamente a una condición menor, debe corresponder un área de agostadero mayor para evitar la degradación de los pastizales. En ese sentido, los coeficientes de agostadero (ha/UA) de la Comisión Técnica Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA), están referidos a la condición de pastizal denominada como “buena”.

Carga animal y coeficiente de agostadero

Conocer los términos y parámetros que implican la carga animal y coeficiente de

agostadero, permite tomar decisiones que ayudarán a evitar la degradación de los recursos por el sobrepastoreo y obtener los máximos rendimientos posibles.

El propósito de determinar la carga animal y el coeficiente de agostadero es calcular el número de unidades animales que se pueden pastorear en un área determinada, así como el número de hectáreas necesarias para mantener una unidad animal en un año, esto de acuerdo a las condiciones del área de estudio. Como se verá a continuación cuando carga animal es menor, el forraje disponible para pastoreo es menor y el coeficiente de agostadero es mayor, es decir son dos conceptos inversamente proporcionales.

Carga animal

La carga animal se define como el número de unidades animales que pastorean en un área determinada y en un tiempo específico, es decir, es el número de animales convertidos a UA, que pastorean por hectárea de pradera durante un periodo determinado.

$$CA = \frac{Fd}{C} = \frac{UA}{ha} \quad (1)$$

Donde:

- CA = Carga animal, UA/ha.
- Fd = Forraje disponible, ton.
- C = Consumo, ton.
- UA = Unidad animal.
- ha = Hectáreas.

También se refiere a la cantidad de ganado en UA que puede mantenerse durante todo el año, en una unidad de producción, sin deteriorar los recursos naturales (UA/ha/año).

La carga animal recomendada es el área que se sugiere asignar para el sostenimiento de una unidad animal, en máximo estado de productividad, sin causar deterioro al pastizal. Esa carga será diferente según la condición en que se encuentre el pastizal. La carga animal se mejora rehabilitando periódicamente las praderas e incluyendo suficiente sombra y agua disponible para los animales. De ahí que sea muy importante mantener los pastizales en buenas condiciones, ya que de lo contrario, paulatina pero inexorablemente, perderá su capacidad de carga.

Coefficiente de agostadero

El coeficiente de agostadero, como lo define la COTECOCA, indica la superficie necesaria para mantener una cabeza de ganado mayor o su equivalente en ganado menor anualmente, con un pastizal en buenas condiciones.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IA = \frac{ha}{UA} \quad (2)$$

Donde:

- IA = Coeficiente o índice de agostadero, ha/UA/año.
- ha = Área de pastizal, ha.

- UA = Unidad animal adecuada para mantener una explotación permanente.

Así, es una relación entre el área y la unidad animal que aunque es un dato de carga animal, se refiere a carga permanente.

Dado que el coeficiente de agostadero mide la capacidad forrajera de los terrenos, se le ha otorgado un carácter legal para determinar el tamaño de la pequeña propiedad ganadera (Aguirre, 1967).

En virtud que el coeficiente de agostadero está calculado para un pastizal en buenas condiciones, sin considerar el disturbio provocado por mal uso incorporando mejoras de la situación de los sitios evaluados, lo que permite no solamente el mantenimiento y recuperación de los pastos, sino además, que los animales que viven de ellos alcancen un peso adecuado a su especie y produzcan crías sanas y vigorosas.

En algunas ocasiones la carga animal y el coeficiente de agostadero pueden coincidir, pero en un manejo correcto de la explotación ganadera, la carga de un potrero determinado debe variar a través del año mientras que el coeficiente de agostadero es una relación permanente para un determinado sitio.

Debe entenderse que el coeficiente de agostadero es el resultado de todos los factores variables que intervienen en la producción forrajera y por lo tanto, no quiere decir que durante todo el año, deba

tenerse siempre la misma carga animal sobre el mismo sitio, ya que ésta debe variar lógicamente, en función de la producción forrajera que no es igual, por ejemplo, en los meses de invierno que en los de verano.

Sin embargo, para fines de manejo actual, los valores reportados por la COTECOCA (2002), deberán ajustarse a las condiciones actuales de vegetación, clima, suelo y especie animal que utiliza los recursos de los sitios considerados. En el Cuadro 3 se presentan coeficientes de agostadero para algunos estados.

Cuadro 10. Coeficiente de agostadero (ha/UA/año) de algunas entidades federativas.

Entidad federativa	Mínimo	Máximo	Ponderado
Guanajuato	6.67	28.14	10.20
Guerrero	1.50	14.50	6.15
Hidalgo	0.80	38.55	6.41
Michoacán	1.50	24.46	7.00
Morelos	6.70	19.68	10.85
Oaxaca	0.80	33.40	4.12
Puebla	0.90	33.40	7.82

En el Cuadro 11 se presentan los coeficientes de agostadero por tipo de vegetación. Es importante mencionar que estos datos pueden sobrestimar o subestimar la capacidad real, dependiendo de las condiciones presentes en el sitio de interés.

Cuadro 11. Coeficientes de agostadero por tipo de vegetación (2009).

Tipo de Vegetación	Coeficiente de Agostadero (ha/UA)	
	Mín.	Máx.

Tipo de Vegetación		Coeficiente de Agostadero (ha/UA)	
		Mín.	Máx.
Pastizal	Amacollado abierto	7.59	24.34
	Halófito abierto	7.00	20.37
	Inducido	7.41	10.40
	Mediano abierto	5.01	20.52
Matorral	Alto espinoso	8.20	29.00
	Bajo espinoso	7.46	25.20
	Crasicaule	9.16	24.63
	Mediano espinoso	8.79	35.46
Selva	Baja caducifolia	1.3	32.04
	Baja caducifolia espinosa	1.95	12.00
	Baja subcaducifolia	4.30	4.90
	Baja subperennifolia	3.60	4.36
	Baja subperennifolia espinosa	7.00	7.80
	Baja subperennifolia subespinosa	2.00	2.50
	Baja caducifolia subespinosa	6.30	14.00
Bosque	Aciculi-esclerófilo	2.00	30.77
	Caducifolio	1.10	20.00
	Caducifolio espinoso	5.47	27.40
	Vegas arboladas	4.50	4.50

Elaborado por la SAGARPA y revisada por la COTECOCA en el 2009.

Capacidad de pastoreo

Un parámetro asociado es la capacidad de pastoreo de los sitios, expresada en hectáreas por unidad animal, en donde el rendimiento de forraje se expresa en kg de materia seca por hectárea. Su fórmula es la siguiente:

$$CP = \frac{\text{Requerimientos anuales de materia seca (kg/UA)}}{\text{Materia seca (kg/ha)}} = \frac{\text{ha}}{\text{UA}} \quad (3)$$

Donde:

- ha = Hectárea de pastizal.

- UA = Unidad animal adecuada para mantener una explotación permanente.

5. METODOLOGÍA

La modelación de biomasa (grano, forraje, leña, madera) es una técnica que permite ponderar el efecto de variables climáticas, edáficas, topográficas y de manejo en el rendimiento de una determinada especie vegetal. Además, la modelación permite evaluar de mejor forma el efecto de la fertilidad, técnicas de labranza, densidad vegetal, heladas, sequías, inundación, plagas en la producción de la materia seca, lo cual es de suma importancia en la toma de decisiones sobre el manejo de especies vegetales de interés agrícola, pecuario o forestal.

Para disponer de información cualitativa sobre la condición de las áreas agrícolas y de agostadero en términos de producción de maíz en ladera, producción de forraje en pastizales y grados de erosión de suelo en el presente trabajo se aplicó el modelo APEX (*Agricultural Policy-Environmental eXtender*). Esta técnica requiere de un gran número de parámetros de entrada para un sitio específico, pero los resultados que genera son más apegados a los que se pueden observar de manera empírica.

El modelo APEX

APEX es un modelo hidrológico-productivo que conceptualmente representa un sistema real, bajo parámetros físicos o matemáticos, que conforman el ciclo

hidrológico y el crecimiento de las coberturas vegetales. Este modelo permite simular los fenómenos físicos que condicionan el desarrollo vegetal a corto, mediano y largo plazo, de tal forma que se puede entender de mejor forma las relaciones e interacciones que realizan las plantas con el ciclo hidrológico y la degradación de los suelos. Se debe de tomar en cuenta que los resultados obtenidos por cualquier modelo solo son aproximaciones a la realidad y que sirven para entender el comportamiento de un sistema real y priorizar áreas de manejo.

El uso de modelos de simulación constituye una poderosa herramienta para el manejo de los recursos naturales y son potencialmente útiles para establecer esquemas de ordenamiento espacial de sistemas de conservación del suelo a escala parcelaria, comunitaria o de micro-cuencas con base en la cuantificación de su impacto para reducir la erosión y mejorar los índices de sostenibilidad, en comparación con el sistema de labranza tradicional, a largo plazo.

Los modelos hidrológicos-productivos, como APEX, permiten la predicción de escenarios de cambio que pudieran ocurrir en una cuenca. Para su operación necesitan alimentarse de variables climáticas, topográficas, tipos de suelo, uso del suelo, fisiotecnia de las coberturas vegetales, tipo de manejo cultural (labranza, rotación de cultivos, fertilización), y prácticas de manejo de suelo y agua (riego, drenaje, borderías, presas).

APEX ha sido desarrollando, desde 1992, por la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) a través del rediseño de los modelos SWAT y EPIC (Gassman *et al.*, 2005). Específicamente Arc-APEX es una versión, en ambiente SIG, del modelo EPIC.

APEX, en su versión Arc-GIS, permite simular el manejo agrícola a nivel parcelario, comunidad, comunidades o pequeñas cuencas que se pueden subdividir en base a parcelas, tipos de suelo, posiciones del paisaje, o sub-cuencas). El modelo permite simulaciones a nivel diario o llevar a cabo simulaciones continuas de largo plazo (Gassman *et al.*, 2010).

Usos del modelo APEX

Específicamente APEX fue desarrollado para predecir el impacto causan las prácticas de manejo (para la conservación de suelo y agua, fertilidad), el clima, el tipo de suelo en la producción de biomasa (granos, fibras, frutos, forrajes, madera, leña, etc.) de una cuenca. Su uso se enfoca al campo de pequeñas cuencas para la evaluación de estrategias de manejo, para diferentes usos de tierra, considerando factores de sustentabilidad (erosión, calidad y abastecimiento de agua, calidad del terreno, competencia entre plantas, clima, uso de plaguicidas, etc.) y económicos (Gassman *et al.*, 2005).

APEX tiene componentes para transitar, a través de ríos, los escurrimientos, los sedimentos, los nutrientes y plaguicidas hasta la salida de una cuenca, estación de

aforo, acuífero y/o embalse. Está diseñado para dividir una cuenca hidrográfica, todo lo necesario, para asegurar que cada sub-cuenca es relativamente homogénea en términos de suelo, uso del suelo, manejo y clima. El modelo APEX fue diseñado para evaluar diferentes estrategias de manejo del suelo teniendo en cuenta la sostenibilidad, la erosión (viento, laminar, y en canal), aspectos financieros, el suministro y calidad del agua, calidad del suelo, la competencia entre las plantas, el clima y el ataque de plagas y enfermedades. En el

Cuadro 12, se muestra el tipo de entradas que necesita APEX y los datos de salida que puede simular.

Cuadro 12. Datos de entrada y salida del modelo APEX (Agricultural Policy-Environmental eXtender)

Entradas	Salidas
----------	---------

Entradas	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> • Clima • Precipitación, temperaturas (mín./máx.), radiación solar, viento (velocidad y dirección) y humedad relativa • Pastoreo • Alimentación en áreas confinadas, pastoreo rotacional intensivo, pastoreo de rastros, atributos del hato, tasa de consumo de forraje, la eficiencia de pastoreo, etc. • Manejo del estiércol • Producción de estiércol y composición química para gran variedad estiércoles: bovinos (carne, leche), porcinos, equinos, caprinos y aves de corral. 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento de los cultivos y producción de biomasa • Humedad del suelo • Erosión hídrica y eólica. • Ciclo del carbono • El ciclo del nitrógeno y sus pérdidas • Ciclo de Fósforo y sus pérdidas • Pérdidas de fertilidad • Recarga de acuíferos • Balance en cuerpos de agua • Evapotranspiración • Criterios financieros

El modelo APEX es un modelo hidrológico capaz de desarrollar políticas agrícolas debido a que simula el manejo e impacto del uso de suelo a nivel parcelario y en pequeñas cuencas (Williams e Izaurralde, 2006).

El diseño de APEX permite identificar los componentes del balance hidrológico y evaluar el efecto del cambio climático y de dióxido de carbono atmosférico, sobre el rendimiento de los cultivos (Williams *et al.*, 2006). También permite evaluar la aplicación de estiércoles y el seguimiento de otros contaminantes no puntuales (provenientes de las tierras de cultivo y granjas) en cuerpos de agua y para evaluar niveles de protección de franjas de amortiguamiento contra la contaminación (Saleh *et al.*, 2004).

Otras aplicaciones, que APEX permite simular, están relacionadas con la

generación de escenarios de manejo para el movimiento de animales entre potreros (Kumar *et al.*, 2011), tratamientos dasonómicos en cuencas forestales y prácticas de conservación en los sistemas lacustres (Wang *et al.*, 2007).

Reportes de aplicaciones del modelo APEX.

Existen varios trabajos realizados con el modelo APEX, los cuales son muy diversos enfocados al manejo de pequeñas cuencas, evaluación de BMP (Buenas prácticas de Manejo), y producción de sedimentos de un área.

En nuestro país actualmente no se reportan aplicaciones con APEX, sin embargo a continuación se resumen trabajos de investigación realizada en otras partes del mundo.

Tripathi y Gosain (2013) aplicó los modelos SWAT a APEX en la India para evaluar planes de manejo. Observaron buenas correlaciones entre los aforos observados y simulados con ambos modelos. Sin embargo *APEX simuló de mejor forma los escurrimientos que SWAT a nivel de microcuenca. Aunque ambos modelos pueden ser aplicados en el manejo de cuencas, APEX tiene la ventaja de modelar el balance hídrico a una mayor resolución espacial (nivel parcelario); lo que lo hace una herramienta más apropiada para usarse a nivel de microcuencas.*

Saleh y Gallego (2007) reportan que el modelo APEX fue capaz de simular escenarios de manejo tales como cultivos alternos o fajas filtrantes a nivel parcelario mientras que SWAT tuvo una capacidad limitada para simular estas mismas prácticas.

El modelo APEX fue probado en dos cuencas cultivadas con maíz (*Zea mays* L.) y manejada con labranza convencional y labranza de surcos. El modelo fue capaz de replicar, con un 6% de error, los escurrimientos y la producción de sedimentos. El porcentaje de error entre los rendimientos de grano de maíz, simulado y observado, varió entre -5,3 % y -2,7 % para un período de simulación de 20 años. El beneficio de largo plazo de la labranza en surcos, respecto a la labranza convencional, en la reducción de la escorrentía superficial fue de entre 36 y 39%; en la reducción de la producción de sedimentos entre 82 y 86 %; en maíz hubo

un aumento en el rendimiento de grano del 3,8 %. Los resultados del estudio indicaron que APEX tiene la capacidad de predecir las diferencias entre los dos sistemas de labranza (Wang et al., 2008).

Según Ramanarayanan et al. (1997) el modelo APEX resultó adecuado para el análisis a largo plazo de las prácticas de manejo alternativo; además que la sostenibilidad de la calidad del agua en las cuencas con un mínimo de excedentes de estiércol fuera de la cuenca a través de un manejo agronómico adecuado.

Kumar et al. (2011) calibró y validó el modelo APEX para simular los escurrimientos y la producción de sedimentos, en cuencas con manejo de densidad de pastoreo, y comparar los efectos de las fajas de amortiguamiento (buffers) en la reducción de sedimentos. El tratamiento consistió de dos cuencas con buffers agroforestales y dos cuencas de control. Las áreas de pastos incluían trébol rojo (*Trifolium pretensión* L.) y lespedeza (*Kummerowia stipulacea* Maxim.) con festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.), mientras que el búfer agroforestal incluyó álamos Orientales (*Populus deltoideo* Bortr. ex Marsh.) con festuca. Los valores de *r* (coeficiente de correlación) y NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*) para los periodos de calibración y validación para el escurrimiento variaron de 0.52 a 0.78 y de 0.50 a 0.74, respectivamente. El escurrimiento y los sedimentos fueron 57% y 95%, respectivamente, más altos para las cuencas de control en comparación con las

cuenca con agroforestería. Para un escenario de 10 años y doble de ancho del búfer el escurrimiento simulado disminuyó un 24%. El escurrimiento simulado de las cuencas de control fue 11% más alto, con el doble de densidad de carga animal (relativo a la densidad de los aforos), comparado con las cuencas agroforestales, también con el doble de carga animal. Con la mitad de densidad animal (relativo a la densidad de los aforos), las cuencas con agroforestería tuvieron 18% menos escurrimiento comparado con las cuencas de control. Los resultados de este estudio indican que los buffers agroforestales y la disminución de la carga animal en los pastizales reducen los escurrimientos y sedimentos.

En otro reporte (Wang *et al.*, 2006), el modelo APEX fue calibrado para investigar los efectos de la erosión del suelo asociados con los usos alternativos del suelo en el noroeste de China. El modelo fue calibrado razonablemente bien ($\pm 15\%$ de errores) para ajustarse en pendientes, dentro de la cuenca, superiores al 50%. Las predicciones indican que la reforestación y el pastizal son las mejores prácticas para el control de la escorrentía y la erosión del suelo. Sin embargo, en pendientes pronunciadas los pastos son menos eficaces que los árboles para el control de la escorrentía y la erosión ya que estos últimos tienen generalmente sistemas de raíces más profundos y estables. La construcción de un embalse fue la estrategia más eficaz para el control de la producción de sedimentos sin embargo no

impacta en nada el control de la erosión en las tierras altas.

Tuppad *et al.* (2010) aplicó el modelo APEX, en una cuenca de 28,000 ha de Texas EUA, para evaluar distintas prácticas de manejo: siembra de pastos, manejo de fertilización, manejo de arbustos, aclareo y resiembra, pastoreo prescrito, plantación en áreas críticas, labranza de conservación, siembra al contorno, terraza, jagüeyes, estructuras de estabilización y cauces empastados. El objetivo principal fue evaluar los efectos a largo plazo de las prácticas, tanto en parcelas como en las sub-cuenca, sobre el escurrimiento superficial, los sedimentos y la pérdida de nutrientes. Los impactos de las prácticas en la calidad del agua variaron dependiendo del tipo de acción y su ubicación en el paisaje. Este estudio mostró que la reducción en el sedimento, a la salida de la cuenca, era proporcional a la zona tratada con la práctica de manejo analizada.

Estructura del modelo APEX.

El modelo APEX consta de 12 componentes principales: 1) clima, 2) hidrología, 3) crecimiento de los cultivos, 4) tránsito de plaguicidas, 5) ciclo de nutrientes, 6) erosión - sedimentación, 7) ciclo del carbono, 8) gestión de prácticas, 9) control de la temperatura del suelo, 10) medio ambiente de la planta, 11) evaluación financiera y 12) tránsito en cauces (Williams *et al.*, 2012). Para el manejo del cultivo incluyen el riego (aspersión, goteo, o rodado), drenaje agrícola, diques en

surcos, franjas de protección, terrazas, cauces empastados, fertilización, manejo de estiércoles, estanques de purines, rotación y selección de cultivos, cultivos de cobertura, remoción de forraje, aplicación de plaguicidas, pastoreo y labranza. El almacenamiento y simulación de aplicaciones de purines al suelo son un componente clave del modelo APEX. Además de los algoritmos de tránsito APEX cuenta con submodelos para aguas subterráneas y componentes del acuífero. El componente de tránsito en cauces, que evalúa las interacciones del escurrimiento superficial de las subáreas, considera el flujo de retorno sub-superficial, deposición de sedimentos, la erosión del cauce, el transporte de nutrientes y el flujo de aguas subterráneas (Gassman *et al.*, 2010).

El modelo incluye componentes verticales y horizontales del subsuelo (Williams *et al.*, 2000). El componente vertical o percolación, considera el almacenamiento, flujo de las aguas subterráneas y el flujo de retorno. El componente horizontal considera el flujo de agua a la siguiente sub-zona, aguas abajo de la superficie del suelo. El modelo asume que parte del flujo horizontal entra en el cauce dentro de la subárea (flujo de retorno) y parte fluye a la siguiente subárea aguas abajo. De este modo el flujo de retorno se añade al flujo de cauce de la subárea en lugar de añadirse a la humedad del suelo de la siguiente subárea aguas abajo.

A continuación se mencionan algunas cuestiones específicas del modelo APEX que se encuentran en dicho modelo:

Clima

Las variables **climáticas** utilizadas en el modelo APEX son: precipitación diaria, temperatura máxima y mínima del aire, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa (Gassman *et al.*, 2010). Debido a que no siempre se cuenta con datos suficientes, APEX proporciona opciones para la simulación de diversas combinaciones de las cinco variables meteorológicas: (1) Las cinco variables pueden ser generadas. Específicamente, la precipitación puede ser simulada de manera uniforme sobre la cuenca o distribuida espacialmente; (2) Todas las variables son introducidas. Las entradas pueden provenir de una estación meteorológica para representar a toda la cuenca o de varias estaciones, cada una representando ciertas subáreas; (3) Algunas variables pueden ser generadas y otras introducidas. En este caso, la precipitación debe ser siempre proporcionada.

Hidrología.

El componente **hidrológico** de APEX abarca el ciclo hidrológico, a través de variables como precipitación, volumen de escurrimiento superficial, flujo sub-superficial, percolación y evapotranspiración (Williams e Izaurralde, 2006).

La escorrentía superficial del modelo simula volúmenes del escurrimiento superficial y tasas de escorrentía pico, dadas las cantidades de lluvia diaria. Este componente incluye dos métodos para estimar el volumen de escorrentía: 1) el método de la curva numérica, del SCS, modificada y 2) la ecuación de infiltración de Green y Ampt (Williams *et al.*, 2012). Pese a sus asunciones empíricas, la técnica del número de curva se considera: 1) es confiable y se ha utilizado durante muchos años en EUA, 2) es computacionalmente eficiente, 3) las entradas requeridas son generalmente disponibles, y 4) correlaciona tipo de suelo, uso del suelo y prácticas mecánicas de manejo.

El uso de datos de precipitación diaria (cada 24 horas), fácilmente disponibles en las estaciones meteorológicas del país, es un importante atributo de la técnica del número de curva incorporado en APEX. Además, las manipulaciones de datos de lluvia y escorrentía, los cálculos son más eficientes para los datos tomados a nivel diario que en intervalos más cortos. A pesar que modelos de simulación como WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) o Kinos (Kinematic Runoff and Erosion), usados en manejo de cuencas y con formulaciones teóricas más robustas, requieren de datos de intensidad de lluvia que generalmente no están disponibles para la mayoría de las cuencas.

Dada la incapacidad de la técnica de la curva numérica para dar cuenta de la intensidad de las precipitaciones y la

infiltración, APEX incluye una opción para distribuir exponencialmente la precipitación diaria, con parámetros generados estocásticamente, y proporcionar intensidades necesarias para ecuación de Green & Ampt (derivación de la ecuación de Darcy).

Crecimiento vegetal

El **submodelo de crecimiento del cultivo** simula el potencial de crecimiento diario de los cultivos anuales y perennes, árboles y otras plantas (hasta diez plantas en un lote mixto). También simula el crecimiento real limitado por estreses por insuficiencia de agua, temperatura extremas, carencia de nutrientes y problemas de aireación radicular; todo esto basado en el modelo EPIC (Williams *et al.*, 1989). Este submodelo calcula el crecimiento potencial, el consumo de agua, la absorción de nutrientes, la competencia entre plantas y la dormancia invernal.

Evaporación

En este componente se tienen 5 diferentes métodos para estimar la evaporación, y estos métodos son; Hargreaves y Samani, Penman, Priestley y Taylor, Penman - Monteith y Baier y Robertson. Los Métodos de Penman y Penman- Monteith requieren, como datos de entrada, de radiación solar, temperatura del aire, velocidad del viento, y humedad relativa. El método Baier -Robertson, desarrollado en Canadá, funciona bien en climas fríos. La evaporación Potencial del agua del suelo se

estima como una función de la evaporación y el Índice de Área Foliar potencial (LAI, área de hojas de la planta en relación con el área de la superficie del suelo). La evaporación real de agua del suelo se estima mediante el uso de las funciones exponenciales de la profundidad del suelo y el contenido de humedad (Williams *et al.*, 1989). La evapotranspiración de la planta se simula como una función lineal de la evaporación potencial y el índice de área foliar.

Erosión

El cálculo de la erosión es inducida por el agua en respuesta a eventos de lluvia, deshielo y escurrimiento de la irrigación. La erosión eólica se calcula en base de las propiedades del suelo, rugosidad de la superficie, la cubierta vegetal, y la dirección e intensidad del viento.

El componente de APEX para la pérdida de suelo simula la erosión causada por la lluvia, la escorrentía y el riego (por aspersión y por surcos). Para simular la erosión de lluvia/ escorrentía, APEX contiene siete ecuaciones: la USLE, la modificación Onstad -Foster de la USLE, la MUSLE, dos variaciones de MUSLE, y RUSLE. Sólo una de las ecuaciones (especificada por el usuario) interactúa con los otros componentes de APEX. Las siete ecuaciones son similares a excepción de sus componentes de energía. La USLE y RUSLE depende estrictamente de la precipitación como un indicador de energía erosiva. Mientras que MUSLE y sus

variantes usan sólo variables de la escorrentía para simular la erosión y la producción de sedimentos. Las variables de escorrentía aumentan la precisión de la predicción, eliminan la necesidad de una relación de distribución (utilizado en la USLE para estimar producción de sedimentos), y permite a la ecuación, para una sola tormenta, dar las estimaciones de producción de sedimentos. La USLE sólo da estimaciones de manera anual. La ecuación Onstad-Foster contiene una combinación de los factores energéticos USLE y MUSLE. La RUSLE proporciona métodos mejorados para el cálculo del factor de cobertura del cultivo y el factor de longitud de la pendiente; especialmente para pendientes pronunciadas.

Nutrientes

La estimación de nutrientes se realiza en función a los cambios de las condiciones climáticas, propiedades del suelo y prácticas de manejo. En este caso, simula el almacenamiento y transferencia de carbono y nitrógeno entre depósitos, además de la estimación el fósforo soluble en la escorrentía, lixiviación, mineralización e inmovilización del P y la absorción de P por el cultivo y simula el ciclo del nitrógeno.

Nitrógeno (N).

El ciclo del N considera entradas atmosféricas, las aplicaciones de N en fertilizante y/o estiércol, absorción de N por el cultivo, la mineralización,

inmovilización, nitrificación, desnitrificación, y volatilización de amoníaco. La concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ en una capa de suelo disminuye exponencialmente como una función del volumen del flujo. La concentración media diaria se obtiene mediante la integración de una función exponencial respecto al flujo. Las cantidades de $\text{NO}_3\text{-N}$ contenidos en la escorrentía, flujo lateral y percolación se estiman como productos del volumen de agua y la concentración media.

Las cantidades de $\text{NO}_3\text{-N}$ contenidos en el sedimento están en función de la producción de sedimentos, la concentración de N orgánico en la superficie del suelo, y una relación de enriquecimiento. La relación de enriquecimiento es la concentración de N orgánico en el sedimento removido del suelo. Relaciones de enriquecimiento están logarítmicamente relacionadas con la concentración de sedimentos.

La cantidad diaria de inmovilización de N es calculada restando la cantidad de N, asimilado por los microorganismos, al contenido de N en los residuos de cosecha (Williams *et al.*, 1989).

Fósforo (P)

Debido a que P es mayormente asociado a la adsorción en los sedimento, la ecuación para la disolución de P, en la escorrentía, es una función lineal de la concentración de P soluble en la capa superior del suelo, el volumen escurrido, y una isoterma de

adsorción lineal. El transporte de sedimentos de P es simulado con una función del volumen de escurrimiento.

El componente de la **pérdida de purines**, mide de nutrientes orgánicos y las pérdidas de carbono de los corrales ganaderos y la aplicación de estiércol.

El componente **económico** estima y simula costos (Williams *et al.*, 2012).

Además de las funciones de EPIC, APEX tiene componentes para el tránsito del escurrimiento, sedimentos, nutrientes y pesticidas a través de los cauces de la cuenca (Williams *et al.*, 2000).

El modelo incluye bases de datos, con valores típicos, para los principales cultivos, fertilizantes, operaciones de labranza y agroquímicos más comunes.

6. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Para alcanzar cada una de las metas establecidas se identificaron las características productivas del cultivo de maíz en condiciones de temporal. También se analizaron las condiciones climáticas y edáficas que prevalecen en las áreas agrícolas en ladera y de los terrenos de agostadero. Como parte de las actividades desarrolladas se identificaron los principales pastos, sus características productivas y de explotación del agostadero. Adicionalmente, se identificaron prácticas de conservación de suelos, agua y fertilidad y se realizaron



talleres con productores pecuarios para fomentar una cultura de manejo hacia el manejo del agostadero.

Manejo del cultivo de maíz en ladera

Entrevistas a productores de maíz en ladera.

Con el propósito de conocer las características del sistema de producción de maíz y generar la información de cultivo necesaria para alimentar el modelo APEX (versión ARCAPEX 10.0.3 beta 2 para ARCGIS 10 y APEX 0806). Se levantaron 46 entrevistas, a productores de maíz de la cuenca, distribuidos al azar, en las

comunidades que se muestra en la

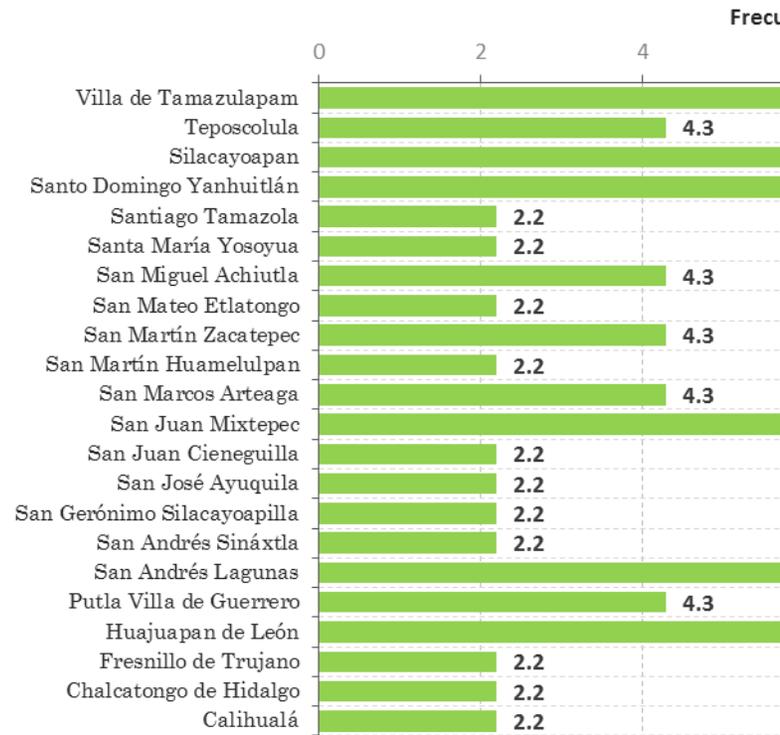


Figura 3. En Cuadro 13 se presenta el formato de entrevistas aplicado. Este formato se diseñó para obtener información referente a las acciones de manejo y costos para la siembra, el control de malezas y plagas, la fertilización y la cosecha.

Cuadro 13. Formato de entrevistas para el sistema de producción maíz en ladera

LOCALIDAD: _____ MPIO: _____

LATITUD: _____ LONGITUD _____ ALTURA: _____

PRODUCTOR: _____

I. PREPARACIÓN DEL TERRENO

BARBECHO. Fecha _____, Precio/ha _____, Tipo maquinaria: _____

RASTRA. Fecha _____, Precio/ha _____, Tipo maquinaria: _____

SURCADO. Fecha _____, Precio/ha _____, Tipo maquinaria: _____

OBSERVACIONES: _____



II. SIEMBRA

Fecha: _____, Tipo de semilla: _____, Color: _____, Origen: _____

Dónde adquirió la semilla: _____, kg/ha _____, Precio /kg: _____

Distancia entre plantas: _____, Distancia entre surcos: _____, Profundidad de siembra: _____

Plantas/ mata: _____ Altura de planta: _____, Número de mazorcas: _____

Arreglo topológico _____, Forma de la siembra: _____ Costo de la siembra/ ha: _____

OBSERVACIONES: _____

III. CONTROL DE MALEZAS

Tipo de control: _____, Nombre de herbicida: _____, Dosis: _____

Precio: _____, Fecha de la primera limpia: _____, Costo de la primera limpia: _____

Fecha de la segunda limpia _____ Costo de segunda limpia: _____, Total de limpieas _____

Costo total por limpieas: _____.

OBSERVACIONES: _____

IV. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Nombre de plagas: _____, Tipo de control: _____

Fecha de aparición: _____, Fecha de control: _____, Nombre del producto: _____

Dosis: _____, Costo del producto: _____, Número de aplicaciones: _____

Como impacta la producción: _____, Frecuencia de aparición: _____

OBSERVACIONES: _____

V. FERTILIZACIÓN

Fecha de fertilización: _____ Producto químico: _____

Dosis _____ Costo del producto: _____ Número de fertilizaciones: _____

Producto orgánico: _____, Tipo de ganado: _____, Costo del producto: _____

Número de fertilizaciones con producto orgánico: _____, Dosis: _____

OBSERVACIONES: _____

VI. OTRAS LABORES CULTURALES



Asociación de cultivos: _____, Rotación de cultivos: _____

Incorporación del rastrojo: _____, Quema antes de la siembra: _____ Deshoje: _____

OBSERVACIONES: _____

VII. COSECHA

Fecha: _____, % de consumo: _____, % de venta: _____

Precio de venta: _____ Lugar de venta: _____

Rendimiento mínimo: _____, Rendimiento máximo: _____, Rendimiento común: _____

Costo de la cosecha _____, Costo del desgrane: _____

OBSERVACIONES: _____

En el Anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las respuestas de cada uno de los productores participantes y en el Anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta resumen de las respuestas que fueron usados para el análisis de tendencias. La distribución de las entrevistas se realizó de acuerdo a la importancia de cada una de las zonas

productoras de maíz. En la

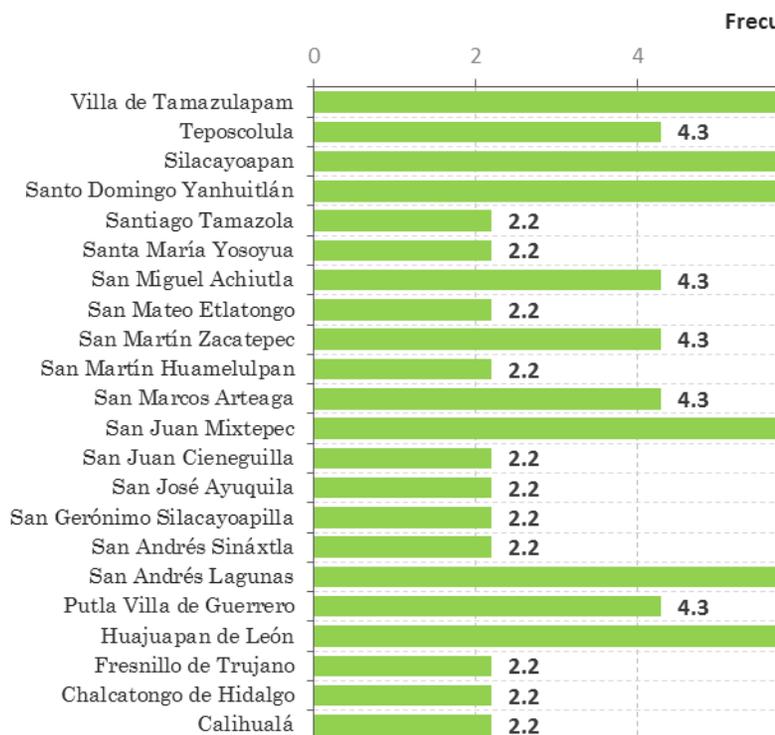


Figura 3 se muestra los 22 municipios que fueron incluidos en la entrevista.



Figura 3. Distribución por municipio de las entrevistas a productores de maíz.

Características generales de los sistemas de producción

El cultivo de maíz en la Mixteca es una actividad íntimamente ligada al régimen de lluvia y su inicio está sujeto a la disponibilidad de humedad en el suelo para la siembra. Su sistema productivo, específicamente en ladera, muestra poca variación respecto en sus técnicas de manejo. Se caracteriza por el uso de materiales criollos, donde solo varía el color de la semilla empleada.

Las fechas de aplicación de las labores de preparación del suelo varían de acuerdo a las condiciones de cada sitio. Estas se realizan generalmente unos días después de la cosecha, con el propósito de romper el continuo capilar de suelo y en

consecuencia reducir la evaporación del suelo y evitar, por desecación, el aterronamiento del suelo típicos de los barbechos de primavera; lo cuales dificultan una buena cama de siembra. En otros lugares, con texturas medias (limo-arenosas), el inicio de la preparación del suelo coincide con la presencia de las primeras lluvias que aseguran un contenido de humedad adecuada (jugo) para el uso de los implementos agrícolas.

La práctica de preparación más común es el barbecho, generalmente se realiza con maquinaria agrícola; además de demandar la humedad del suelo mínima necesaria, su implementación depende de la disponibilidad de los recursos económicos necesarios, por parte del productor, para contratar el servicio de maquila. Los costos

del barbecho varían entre los 200 y 1,200 pesos por hectárea con valores modales entre los 500 y 600 pesos por unidad de superficie. La rastra solo la aplica el 28.0% de los productores y el 84.6% de los productores la realizan con tractor. Previo a realizar el barbecho, una alta proporción de los productores limpia y quema los residuos de cosecha, no pastoreados, del cultivo del ciclo anterior.

El surcado coincide con las fechas de siembra, el 63% de ellos lo realiza con yunta y el resto con maquinaria, los costos varían de 100 a 750 pesos por hectárea, con valores modales entre 300 y 600 pesos por hectárea.

El 69.6% de los entrevistados mencionan que la siembra se hace manual con dosis de siembra que varían entre los 5 y 45 kg/ha; con tres semillas por golpe como valores modales, las densidades de población varían entre las 13 y 142 mil plantas por hectárea con valores modales entre las 40 y 90 mil plantas/ha. En la siembra se utiliza semilla criolla preferentemente blanca pero se puede encontrar productores, dada la amplia variabilidad genética que se encuentra en la zona, que siembran maíz pinto y amarillo.

El control de malezas se hace fundamentalmente a través de limpiezas que varían, entre dos y cuatro, de acuerdo a la afectación de malezas presentes. La primera se realiza entre 20 y 25 días después de la emergencia de la planta y se combina con la fertilización. La plagas que

se presentan con mayor frecuencia son el gusano cogollero y la gallina ciega; sin que exista un control generalizado, ya que solo el 19% de los productores afectados reportan algún método de control. Los entrevistados estiman que el impacto de las plagas puede alcanzar hasta el 20% del rendimiento de grano.

De las encuestas se observa que la mecanización de las actividades, principalmente en la preparación del suelo, ha desplazado al sistema tradicional de producción en cajetes, con efectos en la vulnerabilidad de los rendimientos y la degradación del suelo.

Factores que inciden en la producción.

Se correlacionaron los factores de manejo tecnológicos de las parcelas, donde se levantaron las entrevistas, para identificar las diferencias en las actividades de manejo y su efecto sobre el rendimiento. A pesar de la aparente homogeneidad en prácticas culturales del maíz en ladera, para la cuenca del río Mixteco, los resultados muestran correlaciones significativas con la fecha de siembra, distancia entre plantas, arreglo topológico y duración del ciclo de cultivo. A pesar de ser materiales criollos, los materiales no tienen el mismo comportamiento productivo ni presentan la misma duración del ciclo de cultivo.

Fecha de siembra

Las fechas de siembra se concentran entre el 20 de mayo y el 20 de junio, sin embargo, existen algunos productores que reportan siembras durante los meses de febrero marzo y abril; ubicados principalmente en los municipios de Putla y Chalcaltongo (Figura 4). Las fechas de siembras más tempranas se encontraron en los humedales de San Andrés Lagunas. Existe

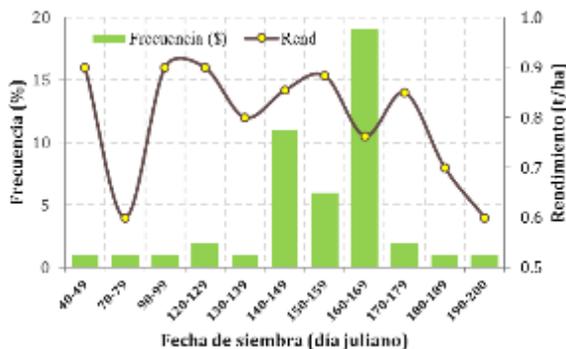


Figura 4. Distribución de las fechas de siembra y su efecto sobre el rendimiento de maíz

Duración del ciclo de cultivo.

La duración del ciclo de cultivos se considera desde el momento que inicia la siembra hasta que los productores realizan la cosecha, en promedio se encontró una duración de 178 días y un rango que varía

una relación directa entre la fecha de siembra y el rendimiento de los cultivos, ya que se obtienen mejores rendimientos para fechas de siembra tempranas. A pesar de que el coeficiente de determinación, en la ecuación de regresión, es bajo; se observa que a medida que se retrasa la siembra se reduce, en promedio, el rendimiento en 11 kg/ha/día (Figura 5)

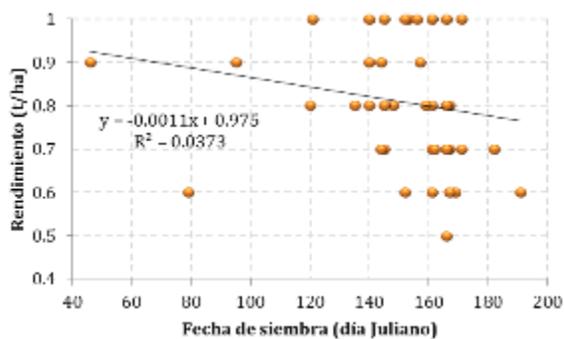


Figura 5. Relación entre fechas de siembra y su efecto sobre el rendimiento de maíz

entre 142 y 260 días. Los materiales que reportan el ciclo más largo son los pintos, seguidos de los materiales blancos. A pesar que los datos sobre materiales pintos fue escaso, existe una correlación positiva entre el rendimiento y la duración del ciclo (ver Figura 6), donde los rendimientos más altos se alcanzan con materiales de ciclo superior a los 180 días.

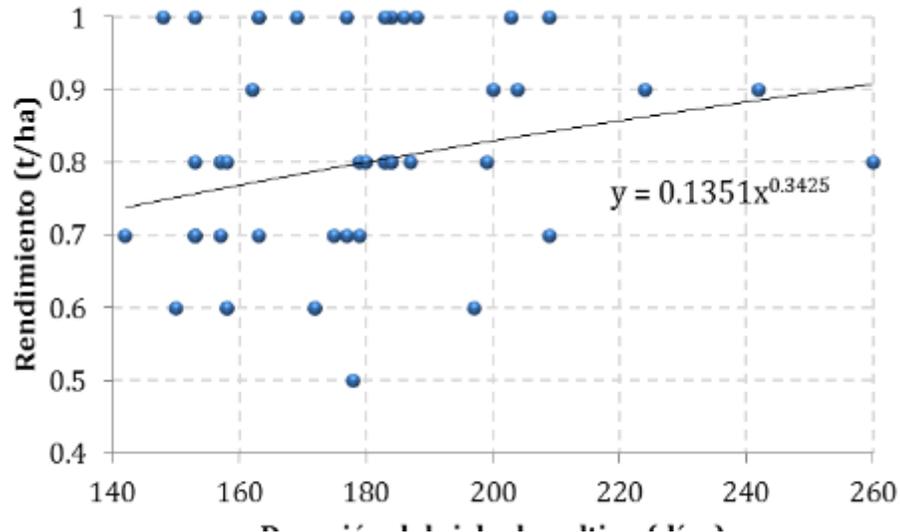


Figura 6. Relación rendimientos duración de los ciclos de desarrollo

Fertilización

Existe una alta dependencia del sistema a la aplicación de fertilizantes, ya que el 84.8% de los productores aplican algún producto de esa naturaleza. El 2.2% de los entrevistados recurre a fertilización foliar y solo el 15.2% abonos orgánicos; sin embargo, su uso varía tanto en dosis como en elementos aplicados.

El elemento más generalizado es el nitrógeno cuya dosis promedio es de 45 kg/ha con un rango de variación que va de 10 a 66 Kg/ha. El 50%, de los productores que fertilizan, aplican fósforo en una dosis media de 30 kg/ha y rango de variación entre 20 y 60 kg/ha. A pesar que los productores reconocen la importancia de una adecuada fertilización, la cantidad aplicada dependen de la disponibilidad de recursos económicos y, para asegurar la inversión, del buen desarrollo del cultivo en las primeras etapas. Así, la fecha de aplicación generalmente coincide con el

primer deshierbe (escarda) y un contenido de humedad, en el suelo, que evite estrés en la planta.

Densidad de población.

Invariablemente los rendimientos del cultivo están relacionados con la densidad de población, la cual depende del arreglo topológico, el espaciamiento entre plantas y surcos, y también del número de semillas colocadas por golpe al momento de la siembra. En la región predominan las siembras en surcos rectos (67.4% de los productores, lo cual evita problemas de cornejales), seguido de la siembra en surcos al contorno; en promedio se depositan tres semillas por golpe. Existe una correlación positiva entre la densidad de plantas y el rendimiento (Figura 7); este último puede mejorarse modificando el número de semillas por golpe.

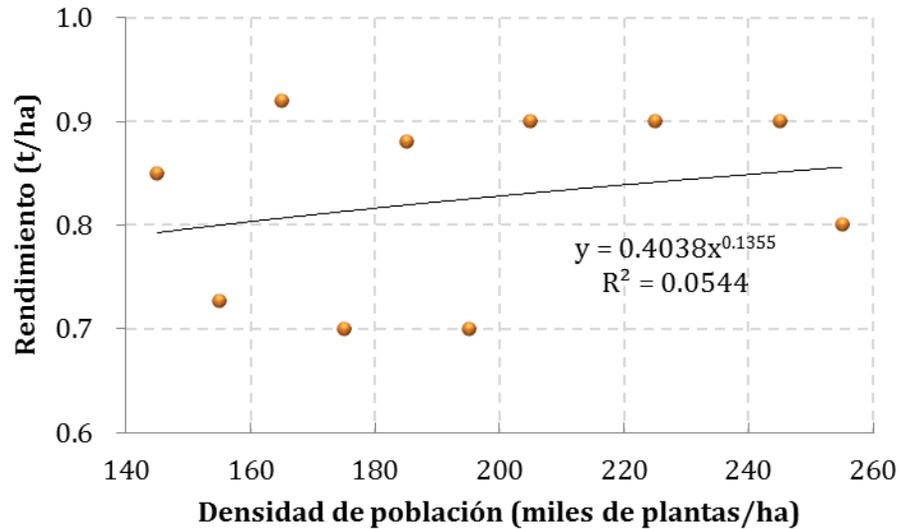


Figura 7. Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento de maíz.

Estructura de costos

Los productores reconocen que la mayoría de los años la producción de maíz no es rentable, ya que invierten más de los que obtienen, en caso de vender su producto. En la región la venta de grano casi no ocurre dado que la cosecha se destina a satisfacer necesidades de la familia y en años de mal temporal es muy complicado conseguir grano para consumo.

La estructura de costos muestra que la preparación del suelo puede implicar hasta

el 34% de los costos totales, la siembra hasta el 31% de ellos, especialmente cuando el productor que utiliza semilla mejorada. La fertilización tiene un costo relativo del 16.78%, el control de malezas absorbe una gran cantidad de mano de obra y puede utilizar hasta el 32.5% de los costos totales, con un promedio de 20.97. La actividad que absorbe la mayor cantidad de recursos destinados a la producción es la cosecha, la cual puede alcanzar hasta el 43.8% de los costos totales (Figura 8).

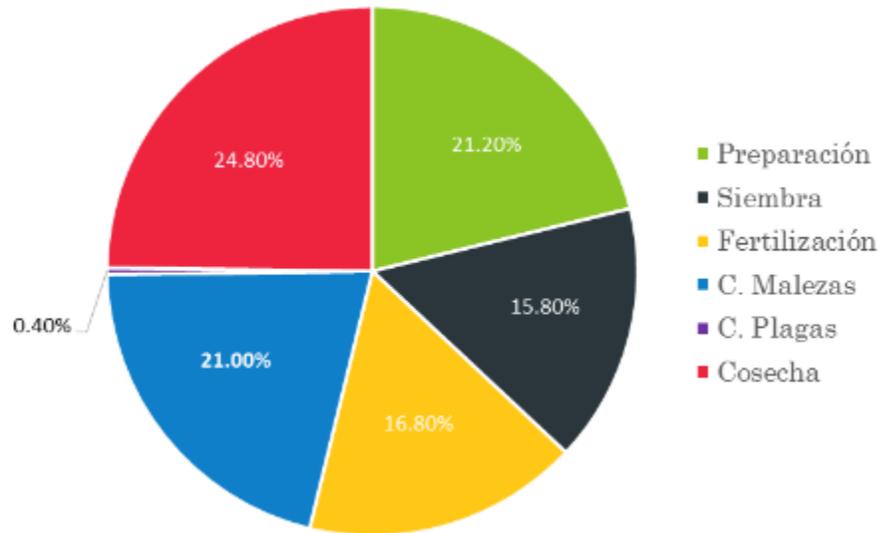


Figura 8. Distribución de costos de la producción de maíz.

La relación beneficio/costo, para la producción de maíz en la cuenca, varía entre 0.52 y 2.1 con un promedio de 0.92 y valores modales de 0.85. Estas cifras reflejan la baja rentabilidad económica que tiene la producción de grano, sin embargo en estos valores no se consideran los diferentes productos y subproductos que se obtienen durante el ciclo de desarrollo, como son el forraje, arvenses comestibles, hoja de tamal, etc.

Los resultados anteriores muestran que a pesar de las bajas tasas de retorno económico del cultivo de maíz, es una actividad imprescindible para los productores, dada su importancia en la seguridad alimentaria de las familias rurales. Ante el problema de degradación de suelo que sufre la cuenca, por el cultivo de maíz en ladera, resulta conveniente recapitular sobre alternativas tecnológicas que permitan el uso sustentable del recurso y garanticen la autosuficiencia alimentaria o, el mejor de los casos, la

mejora de la productividad. Algunas de ellas pueden ser:

1. Manejo de las densidades de población, especialmente el arreglo topológico, tratando de mantener una distribución más uniforme de la plantas sobre el terreno.
2. Manejo de sistemas de labranza de conservación que permitan mejorar la calidad del suelo, especialmente en lo relacionado con la retención de humedad y protección contra los fenómenos erosivos.

Paquete tecnológico regional.

De las encuestas realizadas se obtuvo la información necesaria para definir, a nivel cuenca, el manejo de maíz en ladera. En el Cuadro 14 se resume el paquete tecnológico (cantidades y fechas) que aplican los productores, para el ciclo primavera-verano, dentro del ámbito de la cuenca del río Mixteco. Como ya se indicó, de las encuestas resalta el establecimiento de la temporada de lluvias para la siembra,

el uso de semillas criollas, la preparación animales para la siembra y el uso de del terreno con tractor, el empleo de fertilizantes inorgánicos.

Cuadro 14. Paquete tecnológico para cultivo de maíz en ladera, cuenca del río Mixteco.

Concepto/actividad	Cantidad	Unidad	Observaciones
Actividades previas a la preparación			
Limpia	1	ha	Previo a la preparación del suelo, los productores recogen los residuos de cosecha del ciclo anterior (generalmente los restos de los troncos) con la finalidad de facilitar la labor de la preparación. Amontonan los residuos a un lado de la parcela y los queman. Para ambas actividades generalmente ocupan una jornada de trabajo.
Quema	1	ha	
Preparación del terreno			
Barbecho	1	ha	El barbecho es el paso de arado de disco tirado por un tractor agrícola en un tiempo de 2.5 hr. Esta actividad se realiza 15 días antes de la siembra y se hace generalmente con maquinaria (arado de discos). Las fechas de realización varían entre el 15 de abril y 15 de mayo (60%), preferentemente cuando se presentan las primeras lluvias. Los costos de la maquila oscilan entre 500 y 800 pesos/ha. Una característica distintiva de la región es la falta de animales de trabajo, razón por la cual paulatinamente se ha sustituido la siembra en cajete.
Rastreo	1	ha	Consiste en el paso de la rastra de discos tirado por un tractor agrícola. No es una práctica común, solo la practican el 28% de los productores entrevistados. Su realización depende de la disponibilidad de maquinaria y de recursos económicos para la maquila. Los costos varían entre 350 y 600 pesos/ha y se realiza en 2 h. Se aplica entre 5 y 20 días antes de la siembra.
Siembra			
Surcado	1	ha	El surcado se hace casi al momento de la siembra, el 60% de los productores utiliza la yunta y el resto maquinaria.
Tipo de semilla			Generalmente se utilizan materiales criollos (blanco, amarillo, pinto y rojo) cuyo ciclo de desarrollo varía entre 140 y 260 días (Siembra-cosecha), predomina materiales de ciclo intermedio con duración entre 160 y 190 días. Generalmente seleccionan la semilla, del ciclo anterior, separando las mazorcas con mejor aspecto y tamaño de grano.
Semilla	20	kg	15-25 kg/ka.
Siembra (Manual)	4	Jornales	La siembra consiste en el depósito y tapando de las semillas conforme se va realizando el surcado. La siembra manual, con paso de yunta, la reporta el 70% de los productores.
Profundidad de siembra	0.1	m	Esta se realiza a una profundidad entre 7 y 15 cm.
Arreglo topológico			Mateado en surcos rectos y surcado al contorno.
Distancia entre surcos	0.8	m	Según las condiciones del terreno y las características del arado, la distancia entre hileras de plantas varía de 0.6 a 1.0 m.

Concepto/actividad	Cantidad	Unidad	Observaciones
Distancia entre plantas	0.65	m	Aun cuando el valor modal de la distancia entre planta es de 0.6 m, esta varía entre 0.4 y 1.0 m, reportándose en algunos casos distancias hasta 1.5 m entre hileras y plantas. Las distancias más grandes se asocian con un mayor número de semillas por golpe.
Semillas/golpe	3	Semillas	Varían entre 2 y 5, con valores modales entre 2 y 3 semillas por golpe.
Densidad de siembra/Densidad de Población	45,000	Plantas/ha	La densidad de población es muy variable, los valores modales se ubican entre 50 y 60 mil plantas por hectárea. Además del espaciamiento entre plantas y surcos, esta varía de acuerdo al número de semillas por mata; generalmente dos plantas por mata.
Fecha de siembra	07-Jun	día	La siembra se realiza entre el 25 de mayo y el 18 de junio de acuerdo al establecimiento del temporal. Con fechas máximas hasta la primera quincena de julio.
Altura de la planta	2.3	m	La altura de los materiales varía entre 2 y 3 m, pero las más común va de 2.0 a 2.5 m.
Mazorcas/planta	1	No	Solo 3 productores mencionan que el 20% de las plantas son cuateras.
Control de malezas			
Deshierbe y aclareo	5	Jornales	Esta actividad se realiza durante el mes de julio, aproximadamente un mes después de la siembra, con duración de 8 h por jornada.
Aporque	5	Jornales	Duración de la jornada 8 h.
Fertilización			
Nitrógeno	42	kg/ha	Según se establezca la época de lluvias
Fósforo	23	kg/ha	
Potasio	0	kg/ha	
Aplicación	3	Jornales	Se realiza inmediatamente después del deshierbe y aclareo
Cosecha			
Pizca	5	Jornales	La jornada es de 8 h.
Deshoje y desgrane	5	Jornales	La jornada es de 8 h.
Fecha de cosecha	7/nov	día	La cosecha se realiza generalmente en la primera quincena del mes de noviembre.

Parámetros fisiotécnicos.

En los recorridos de campo se tomaron muestras de plantas y mediciones en campo para determinar parámetros como: profundidad radicular, área foliar, índice de cosecha, altura de planta, relación grano-rastrojo (índice de cosecha). Parámetros

que son propios de los materiales criollos de la región y que son requeridos por el sub-modelo de crecimiento vegetal de APEX. Para ello, se seleccionaron 11 sitios, distribuidos al azar, dentro del área agrícola de la cuenca, con pendiente del terreno superior al 5%. En estos sitios se

tomó una planta de maíz completa y representativa del sitio. El tamaño del lote de muestreo para la estimación del rendimiento de grano, en cada sitio, fue de 10.0 m de largo por 5.0 m de ancho, en dichos lotes se determinó:

- Distancia entre surcos.
- Distancia entre plantas.
- Altura de planta
- Número de plantas por mata.

- Número de hojas por planta.
- Cuantificación del número de hojas, antes y después de la mazorca.
- Medición del ancho y largo de cada hoja.
- Número de mazorcas por planta.
- Profundidad de raíces.

En los siguientes cuadros se muestran los datos que se obtuvieron de los lotes muestreados.

Cuadro 15. Condiciones ambientales, de manejo y de planta para el cultivo de maíz.

Sitio	Municipio	Suelos				Distancia entre		Plantas/mata
		Tipo	Prof. (m)	Pend. (%)	Ped. (%)	Surcos (m)	Plantas (m)	
1	Huajuapam	Regosol Eútrico	0.9	5	2	0.89	0.42	4
3	Tacache	Regosol Calcárico	0.6	5	10	0.80	0.43	3
5	Cerca de Copala	---	0.9	12	15	0.88	0.60	4
7	La Paz	---	0.6	7	5	0.80	0.45	3
8	Tamazulapan (afueras)	Rendzina	0.6	5	10	0.82	0.40	3
9	Tlaxiaco (afueras)	Rendzina	0.6	5	0	0.86	0.59	4
10	Tlaxiaco (El Vergel)	Feozem Háptico	0.9	8	10	0.65	0.36	4
11	Santiago Tillo	Rendzina/Litosol	0.6	8	15	0.80	0.41	4
14	Silacayoapam	Litosol/Rendzina	0.6	6	5	0.80	0.50	4
15	Tamazola	Litosol/Regosol	0.5	8	5	0.94	0.80	4
16	San Marcos	Regosol Eútrico	0.3	8	20	0.83	0.41	3

Cuadro 15. Condiciones ambientales, de manejo y de planta para el cultivo de maíz (Continuación).

Sitio	Altura (m)	Profundidad de raíz (m)	Hojas (cm)			En 5 m			Acciones de Conserv. suelo	Observaciones
			No.	Largo	Ancho	Matas	Plantas	Mazorcas		
1	2.06	0.9	10	83	9				Surcos rectos	Maíz + fríjol
3	1.55	0.6	9	77	9					Maíz + calabaza
5	1.66	0.9	8	70	8				Lama-bordo	
7	1.27	0.6	12	81	8	10	22	13	Surcos rectos	
8	1.82	0.6	11	86	9	6	20	14	Surcos al contorno	Maíz + calabaza
9	2.05	0.6	11	79	9				Mateado	Maíz + fríjol
10	2.56	0.9	14	79	8					
11	1.95	0.6	12	74	9	8	15	7	Surcos rectos	
14	1.33	0.6	10	80	9	10	24	11	Surcos al contorno	
15	1.85	0.5	11	89	8	5	10	9		
16	1.48	0.3	9	69	8	11	20	8	Surcos al contorno	Maíz + calabaza

Rendimiento de grano

Para estimar el rendimiento medio de maíz en la cuenca se consideró: la distancia entre plantas, la distancia entre surcos, mazorca por plantas (una mazorca por planta) y el peso de grano

por mazorca. Del monitoreo se obtuvo un rendimiento promedio de 1.3 t/ha (± 0.56 t/ha) para la cuenca (Cuadro 16). Este rendimiento de grano es superior a los 0.86 t/ha que reporta el SIAP (2013) para el 2012 (

Cuadro 16. Estimación de rendimiento de maíz en grano. 1).

Cuadro 16. Estimación de rendimiento de maíz en grano.

Sitio	Poblado	Plantas en 100 m	Surcos en 100 m	Densidad por ha		Peso (g)		Rendimiento	
				Plantas	Mazorcas	Olote	Grano	kg/ha	t/ha
1	Huajuapán	238	112	26,752	26,752	8.1	57.3	1,533	1.53
3	Tacache	233	125	29,070	29,070	6.7	12.6	561	0.56
5	Cerca de Copala	167	114	18,939	18,939	10.8	26.2	496	0.50
7	La Paz	222	125	27,778	27,778	10.1	50.1	1,392	1.39
8	Cerca de Tamazulapán	250	122	30,488	30,488	29.2	57.8	1,762	1.76
9	Antes de Tlaxiaco	169	116	19,708	19,708	17.7	86.8	1,711	1.71
10	El Vergel (Tlaxiaco)	278	154	42,735	42,735	7.3	43.8	1,872	1.87
11	Santiago Tillo	244	125	30,603	30,603	21.4	55.2	1,689	1.69
14	Silacayoapam	200	125	25,000	25,000	15.1	36.2	905	0.91
15	Tamazola	125	106	13,298	13,298	14.9	50.2	668	0.67
16	San Marcos	244	120	29,386	29,386	12.2	67.9	1,995	2.00

Índice de Cosecha (HI)

Este índice, relevante en APEX, se obtuvo de las muestras de campo (Cuadro 17). Su valor nos indica la relación de peso seco entre el grano y el rastrojo. Para su determinación se secó la planta en estufa,

hasta un 14% de humedad (Figura 9), y se pesó por separado el grano y el rastrojo. En promedio se obtuvo un HI de 0.33 con una desviación estándar de ± 0.08 . El bajo valor de la desviación estándar nos indica que no hay mucha variación fisiotécnica de los materiales genéticos de la región, la mayor parte criollos de temporal.



Figura 9. Secado y pesado de las muestras de maíz.

Cuadro 17. Estimación del Índice de Cosecha (HI) de maíces regionales.

Sitio	Poblado	Peso (g)			Mazorca			Materia seca (g)		HI
		Olote	Grano	Mazorca	No. de hileras	Granos/hilera	Largo (cm)	Parcial	Total	
1	Huajuapán	8.09	57.34	65.43	12	20	10.5	202.88	210.97	0.27
3	Tacache	3.34	9.30	12.64	9	8	5.6	42.37	45.71	0.20
5	La Paz	10.76	26.22	36.98	11	13	8	75.20	85.96	0.31
7	Santiago Tillo	10.58	50.14	60.72	11	37	17	204.9	231.48	0.22
8	Cerca de Tamazulapán	29.28	57.75	87.03	15	20	13	130.58	147.86	0.39
9	Cerca de Tlaxiaco	17.64	86.82	104.46	12	37	14	189.79	207.43	0.42
10	El Vergel (Tlaxiaco)	7.32	43.77	51.09	10	17	10	128.22	135.54	0.32
11	Cerca de Copala	21.47	55.17	76.64	12	38	15	128.30	149.77	0.37
14	Silacayoapam	15.06	36.22	51.28	10	20	11	65.41	78.77	0.46
15	Tamazola	14.9	50.19	65.09	7	17	12	165.45	180.35	0.28
16	San Marcos	22.53	77.92	100.45	12	33	14	188.62	211.15	0.37

El modelo APEX, para su sub-modelo de crecimiento vegetal, requiere de los parámetros fisiotécnicos, en este caso, del maíz y pastos. En el Cuadro 18 se reportan,

en base a revisión bibliográfica, los valores fisiotécnicos de ambos tipos de coberturas vegetales que analiza el presente proyecto.

Cuadro 18. Factores fisiotécnicos del maíz y pastos presentes en la cuenca del río Mixteco.

Cobertura	Condición hidrológica	Conversión de biomasa	Índice de cosecha	Temperatura (°C)		Índice de área foliar	USLE C
				Óptima	Base		
Maíz	Buena	40	0.33	25	8	2	0.475
Maíz	Buena	40	0.33	25	8	2	0.475
Maíz	Regular	40	0.33	25	8	2	0.5
Pastizal	Regular	12	0.70	25	8	1.7	0.013

Superficies de uso agrícola y pecuario

En la cuenca predomina el bosque de encino, seguido por la agricultura de temporal y el pastizal inducido. Los cambios de uso de suelo, en los últimos 30 años, porcentualmente han sido mínimos, sin embargo, se observa un incremento del pastizal inducido a costa de las cubiertas forestales.

Durante la época húmeda el pastoreo de ganado se concentra en terrenos cercanos a la vivienda del productor o de la población, precisamente en las áreas sobre pastoreadas y las más degradadas de las comunidades. De este modo, la vegetación nativa (bosque de encino o selva baja caducifolia) y los agostaderos (pastizal inducido) con buena condición ¹, generalmente se encuentran alejados de las comunidades, mismas que los productores aprovechan con hatos arriba de la media y por pequeños ganaderos que pastorean, por la carencia de forraje en terrenos más cercanos, al finalizar el año.

En estas áreas, alejadas de las comunidades, los animales son llevados a pastar dentro de ciertos perímetros, definidos por usos y costumbre, asociados a instalaciones rústicas denominadas “ranchitos”. Estas instalaciones rústicas también se asocian a pequeños terrenos

¹ De acuerdo a Cruz (1992) los agostaderos en buenas condiciones están asociados a la presencia de herbáceas (55%), arbustos (25%) y árboles (7.5%), los de condición regular a herbáceas y arbustos (matorral) y los de condición pobre a vegetación herbácea (pastizal).

donde se cultiva maíz (Figura 10). Esta mezcla entre áreas de agostadero y cultivo hace que sea necesario ajustar los polígonos reportados por INEGI (2008), para ambos usos de suelo, ya que la cartografía oficial delimita polígonos en base al uso dominante.



Figura 10. Ranchito con áreas de agostadero y cultivo de maíz en ladera.

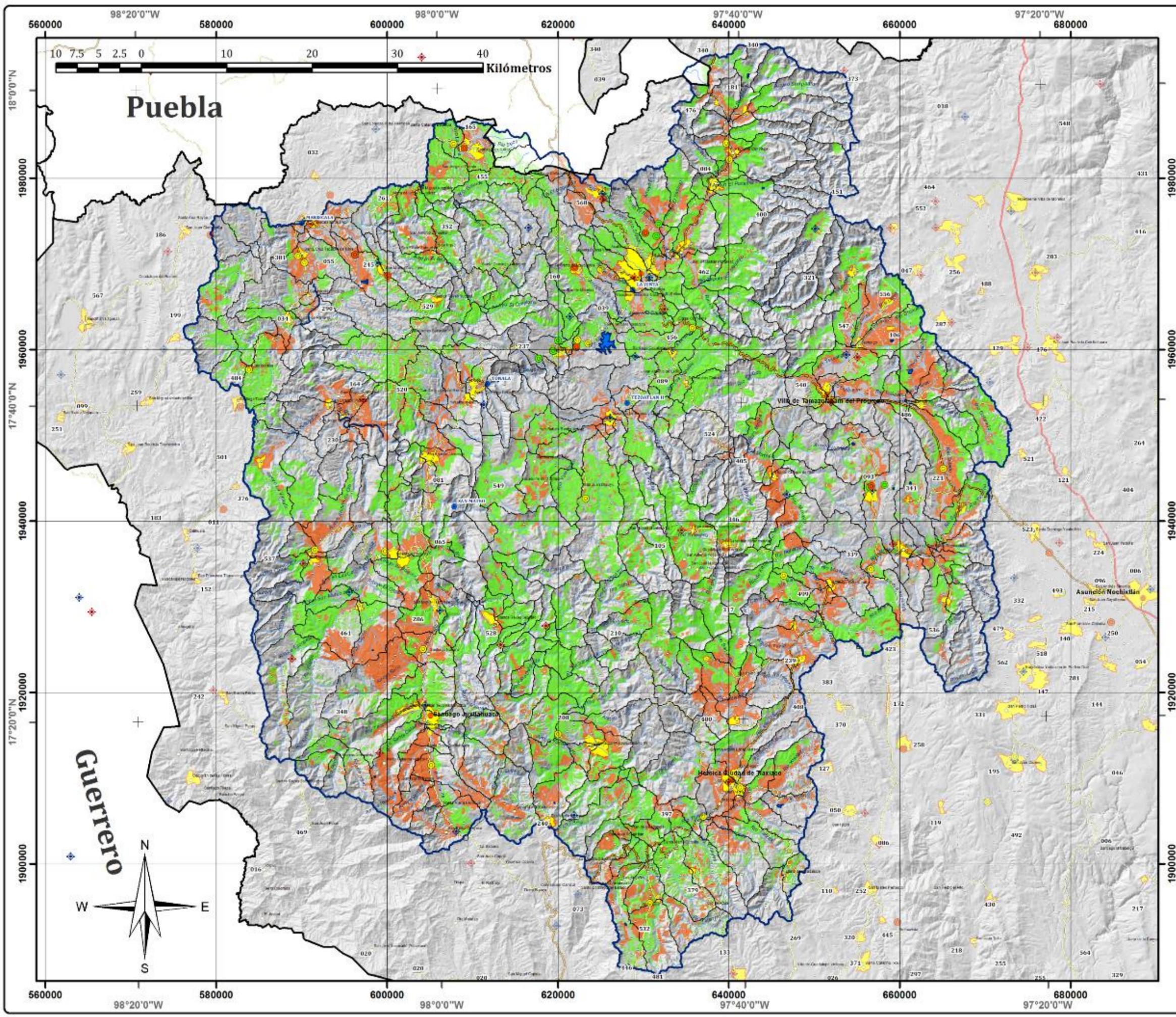
Dada las características de los polígonos reportados por INEGI (2008), para los usos agrícolas y pastizal inducido, fue necesario rectificar sus vértices a través de fotointerpretación con imágenes de Google Earth (abril/2012) y usando Quantum Gis (ver. 1.8) a escala 1:10,000. El Mapa 1 muestra la distribución de las áreas agrícolas y agostadero en ladera (ambas en pendientes superiores al 5%) de la cuenca. Del ajuste de polígonos se observa que el 40% de la cuenca se usa para la producción agropecuaria en terrenos de ladera ().

Cuadro 19).

Cuadro 19. Áreas agropecuarias en ladera de la cuenca del Río Mixteco, Oaxaca.

No.	Uso de suelo y vegetación	Superficie	
		(ha)	(%)*
1	Agricultura de temporal	80,941	12.4%
2	Pastizal inducido	179,726	27.5%
Total		250,667	39.9%

*Porcentaje respecto a la superficie total de la cuenca



Leyenda

Límites	Localidades
□ Límite de la cuenca	• < 500 hab.
□ Límite de las subcuencas	• 500 - 5,000 hab.
□ Límite estatal	• > 5,000 hab.
□ Límite municipal	■ Localidades urbanas
Muestreo de suelos	● Estaciones hidrométricas
● Perfiles 2012 (SWAT)	— Ríos
● Perfiles 2013 (Pastos)	■ Cuerpos de agua
● Perfiles 2013 (Maíz)	Uso de suelo 2010
Estaciones Climatológicas	■ Pastizal
◆ Operando	■ Área agrícola
◆ Suspendida	

Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000

Fuente:
 Mapa Base. INEGI. Marco Geostatístico Nacional.
 Uso de Suelo. WWF. Uso de suelo y vegetación 2010.

Proyecto MIXTECA
Convenio de colaboración ON93

Estrategias de manejo para la producción
 sustentable en laderas de la cuenca del
 Río Mixteco, Estado de Oaxaca.

**USO DE SUELO AGRÍCOLA Y PASTIZAL
 2010**

ESCALA 1:425,000

Condiciones climáticas que prevalecen en el área del proyecto

Para la elaboración de mapas de rendimiento de grano, producción de forraje y erosión hídrica, a través del modelo APEX, se obtuvieron parámetros estadísticos de precipitación y temperatura para cada una de las estaciones meteorológicas presentes en la cuenca y su periferia exterior (Cuadro 20).

En general los registros de las estaciones meteorológicas presentes en la cuenca inician sus registros entre 1960-76 y se encuentran disponibles, en formato electrónico, hasta 2004. Las elevaciones de las estaciones oscilan entre 1,300 y 2,200 msnm, con una lluvia media anual de 820 y un rango (una desviación estándar) entre 500 y 1,150 mm anuales.

Para la obtención de estos parámetros estadísticos, se procedió como sigue:

- ✓ Para cada una de las estaciones meteorológicas identificadas, se seleccionaron aquellos años con información completa, y se realizó una primera corrida con el programa CLIGEN; a fin de obtener las primeras semillas².
- ✓ Posteriormente, se procedió a llenar con la clave -9999, los datos faltantes del total de años registrados por el Servicio Meteorológico Nacional

(SMN) con la finalidad de estimar los datos faltantes, con valores generados a partir de las primeras semillas.

- ✓ Una vez estimados los datos faltantes, se realizó una segunda corrida con CLIGEN para calcular los generadores climáticos (semillas mensuales) definitivas para cada estación

En el Anexo **¡Error! No se encuentra el rígen de la referencia.**, del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** al **¡Error! No se encuentra el origen de la eferencia.**, se presenta la base de datos de los generadores climáticos correspondientes a las estaciones distribuidas dentro de la cuenca y sus inmediaciones (Cuadro 20).

² Semilla: son parámetros estadísticos para la generación climática.

Cuadro 20. Estaciones Meteorológicas presentes en la cuenca del Río Mixteco.

No.	Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Altitud (m)	Periodo		Precipitación (mm)
						Inicio	Fin	
1	20013	San Lucas Camotlán	-97.68333	17.90000	1,683	1964	1993	721.3
2	20028	Sta. Ma. Chilapa de Díaz	-97.62975	17.58470	1,881	1970	2000	598.5
3	20051	Juxtlahuaca	-98.01203	17.33328	594	1964	1987	721.3
4	20067	Mariscal de Juárez,	-98.14098	17.85961	1,080	1964	1988	728.7
5	20103	San Andrés Lagunas,	-97.52280	17.57210	2,300	1953	2007	718.7
6	20108	San Fco. Yosocuta, San M. Arteaga	-97.81784	17.74275	1,540	1971	2001	723.6
7	20125	Santa Catarina (DGE)	-97.81423	17.55552	1,911	1971	2001	708.9
8	20133	Santiago Chilixtlahuaca,	-97.89271	17.90336	1,670	1971	2001	773.3
9	20137	Santiago Teotongo (DGE)	-97.53684	17.72211	2,060	1970	2001	553.5
10	20141	Silacayoapan (SMN)	-98.14368	17.49756	1,640	1957	2000	959.8
11	20142	Silacayoapan (DGE)	-98.14000	17.50300	1,620	1971	1988	793.0
12	20159	San Pedro y San Pablo Teposcolula	-97.48254	17.50131	2,312	1961	1992	651.8
13	20163	Tezoatlán de Seg. y Luna	-97.80000	17.33328	1,560	1964	1994	628.1
14	20167	Santa María Asunción Tlaxiaco (DGE)	-97.68300	17.26700	2,078	1978	1994	480.8
15	20190	Zapotitlán Palmas (SMN)	-97.80792	17.88553	1,913	1986	2000	667.3
16	20275	Huajuapán de León (DGE)	-97.77736	17.80461	1,600	1976	2002	724.9
17	20310	San Miguel Tlacotepec	-98.00600	17.45400	1,710	1980	2001	607.2
18	20375	Santiago del Río	-98.08900	17.45600	1,628	1982	2000	799.1
19	20002	Apoala, Valerio Trujano	-97.15000	17.64970	637	1957	1979	429.8
20	20003	Astatla, Concepción B.	-97.41670	17.96670	2,105	1955	2006	550.4
21	20018	Coicoyán de las Flores	-98.29970	17.25000	1,920	1962	2000	1,969.0
22	20019	S. J. Bautista Coixtlahuaca	-97.31670	17.73310	2,100	1951	1984	542.2
23	20026	Chalcatongo de Hidalgo	-97.52920	16.95000	1,890	1958	1988	961.4
24	20065	Magdalena Jicotlán	-97.46670	17.80000	2,180	1968	1984	624.6
25	20094	Putla de Guerrero (CFE)	-97.87310	17.11670	1,300	1962	1999	2,494.5
26	20102	San Agustín Tlacotepec	-97.51780	17.20000	2,000	1961	1988	732.7
27	20104	San Antonio Abad	-97.45000	17.87780	2,125	1968	1979	579.8
28	20105	San Esteban Atatlahuaca	-97.67920	17.06500	2,450	1961	1986	1,003.0
29	20116	San Miguel Tulancingo	-97.43310	17.75000	2,200	1961	1979	545.9
30	20121	San Pedro Cantaros	-97.14220	17.49610	2,260	1961	1993	617.1
31	20130	Sta. María Yucuhiti	-97.79970	17.01670	1,200	1960	2000	1,893.2
32	20131	Santiago Apoala	-97.11670	17.64970	1,970	1966	1981	672.3
33	20144	Suchixtlahuaca (Tehuantepec)	-97.34970	17.72310	2,060	1961	1988	550.9
34	20157	Tepelmeme de Morelos, DGE	-97.36670	17.86670	2,060	1950	1984	538.5
35	20178	Villa Chalcatongo, (CFE)	-97.58310	17.03310	2,300	1961	2000	898.5
36	20186	Santiago Yosondúa	-97.59970	16.89970	2,200	1958	1988	1,136.1
37	20232	Putla, Villa de Guerrero	-97.93310	17.01670	720	1974	1989	2,210.6
38	20265	Etlatongo	-97.26670	17.41670	2,040	1976	2007	647.9
39	20302	San Andrés Chicahuaxtla	-97.84970	17.14970	2,723	1979	1999	1,724.3

No.	Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Altitud (m)	Periodo		Precipitación (mm)
						Inicio	Fin	
40	20305	San Juan Nochixtlán	-97.62670	18.10000	1,810	1981	2001	539.6
41	20306	San Lorenzo V. Hermosa	-98.06780	17.95810	1,520	1981	2001	515.9
42	20311	San Sebastián Frontera	-97.65330	18.25080	1,780	1980	2001	496.2
43	20322	Calihuala	-98.26670	17.51670	1,320	1980	2000	931.8
44	20355	Cozotepic	-97.79970	18.13310	1,820	1982	2000	508.4
45	20371	San Juan Ihualtepec	-98.30310	17.72670	1,760	1982	1994	1,027.8
46	20379	Yodocono de Porfirio	-97.35750	17.38080	2,310	1982	2007	732.5
47	12005	Alcozauca	-98.38330	17.45000	1,300	1927	1986	828.6
48	12048	Ixcateopan (Alpoyeca)	-98.51330	17.62250	1,100	1959	2004	878.9
49	12072	San Pedro Cuitlapa	-98.25440	16.97080	760	1964	2008	1,288.0
50	12091	Tlapa (CFE)	-98.59060	17.54030	1,110	1961	2000	773.5
51	12106	Alcozauca (DGE)	-98.39720	17.46530	1,300	1971	2008	928.6
52	12114	Huamuxtlán (DGE)	-98.56440	17.79530	1,125	1953	2008	754.2
53	12185	Cualac	-98.65310	17.74750	1,600	1981	2008	1,035.1
54	12199	Xochihuehuetlán	-98.48190	17.91190	1,100	1981	2008	776.0
55	12200	Igualita	-98.51810	17.46530	1,200	1980	2008	694.3
56	21002	Acatepec	-97.57810	18.22780	2,060	1975	2002	517.5
57	21003	Acatlán de Osorio (SMN)	-98.05000	18.30000	1,200	1945	1986	661.5
58	21004	Acatlán	-98.05560	18.29670	1,190	1955	1992	613.0
59	21015	Axutla (CFE)	-98.38810	18.17060	921	1955	2000	823.5
60	21019	Caltepec (DGE)	-97.45250	18.20250	2,016	1955	2002	415.4
61	21048	Ixcamilpa Gro.	-98.72000	18.03970	806	1955	2000	792.7
62	21063	Pixtla	-98.26030	18.19970	1,110	1926	2006	899.2

Propiedades físicas y químicas del suelo.

En base a la carta edafológica del INEGI (2006) en la cuenca del Río Mixteco, específicamente para las áreas agrícolas de ladera (pendientes mayores al 5%), se identifican 8 unidades de suelo, 7 sub-unidades y 4 fases físicas (Cuadro 21). Entre los suelos típicos de las áreas de agricultura de temporal tenemos las rendzinas de origen calizo y escasa profundidad (21%), los suelos de arrastre como el feozem (35%), los suelos en depósitos sedimentarios no consolidados tipo regosol (20%) y vertisoles crómicos de color rojizo (8%).

Por su parte, para las áreas de agostadero de la cuenca se identifican 7 unidades, 7 sub-unidades y 4 fases físicas (Cuadro 22). De la superficie de agostadero, las

rendzinas cubren casi un 14%, los feozem un 28%, los regosol un 10% y los litosoles un 31%. La comparación de los suelos, a reserva de tener una medición más precisa de la profundidad de las fases y su pendiente, nos indica que muchas de las actuales áreas de pastoreo corresponden a superficies que anteriormente, por problemas de migración o erosión, fueron cultivados con maíz. Sin embargo los litosoles, por ser terrenos con escasa profundidad para el laboreo agrícola, han sido ganados a la vegetación natural para el pastoreo.

En el mapa 3 se muestra la distribución espacial de los suelos, en base a sus unidades-subunidades y fases físicas, presentes en las áreas agrícolas de ladera y en los terrenos de agostadero de la cuenca.

Cuadro 21. Tipos de suelos presentes en las áreas agrícolas de ladera, cuenca del Río Mixteco.

No.	Clave	Suelo		Fase	Área (ha)	% Área
		Tipo	Sub-tipo			
1	Bc-P	Cambisol	Crómico	Pedregosa	446	0.55
2	Be-L	Cambisol	Eútrico	Lítica	726	0.90
3	E-L	Rendzina		Lítica	16,779	20.75
4	E-LP	Rendzina		Lítica Profunda	121	0.15
5	E-Sf	Rendzina		Sin fase	45	0.06
6	Hc-L	Feozem	Calcárico	Lítica	13,029	16.11
7	Hc-Sf	Feozem	Calcárico	Sin fase	158	0.20
8	Hh-L	Feozem	Háplico	Lítica	7,471	9.24
9	Hh-LP	Feozem	Háplico	Lítica Profunda	8,179	10.11
10	Hh-Sf	Feozem	Háplico	Sin fase	63	0.08
11	Hi-Sf	Feozem	Lúvico	Sin fase	1,379	1.71
12	I-Sf	Litosol		Sin fase	68	0.08
13	Jc-P	Fluvisol	Calcárico	Pedregosa	45	0.06
14	Je-P	Fluvisol	Eútrico	Pedregosa	829	1.03
15	Lc-LP	Luvisol	Crómico	Lítica Profunda	2,336	2.89
16	Lc-Sf	Luvisol	Crómico	Sin fase	2,457	3.04
17	Lo-L	Luvisol	Órtico	Lítica	238	0.29
18	Rc-L	Regosol	Calcárico	Lítica	6,470	8.00
19	Rc-P	Regosol	Calcárico	Pedregosa	919	1.14

No.	Clave	Suelo		Fase	Área (ha)	% Área
		Tipo	Sub-tipo			
20	Rc-Sf	Regosol	Calcárico	Sin fase	793	0.98
21	Re-L	Regosol	Eútrico	Lítica	9,760	12.07
22	Vc-L	Vertisol	Crómico	Lítica	1,517	1.88
23	Vc-P	Vertisol	Crómico	Pedregosa	507	0.63
24	Vc-Sf	Vertisol	Crómico	Sin fase	6,340	7.84
25	Vp-P	Vertisol	Pélico	Pedregosa	40	0.05
26	Vp-Sf	Vertisol	Pélico	Sin fase	154	0.19
Total					80,868	100.00

Cuadro 22. Tipos de suelos presentes en las áreas de agostadero, cuenca del Río Mixteco.

No.	Clave	Suelo		Fase	Área (ha)	% Área
		Tipo	Sub-tipo			
1	Bc-P	Cambisol	Crómico	Pedregosa	1,616	0.90
2	Be-L	Cambisol	Eútrico	Lítica	3,097	1.72
3	E-L	Rendzina		Lítica	24,238	13.49
4	E-LP	Rendzina		Lítica Profunda	466	0.26
5	E-Sf	Rendzina		Sin fase	20	0.01
6	Hc-L	Feozem	Calcárico	Lítica	6,042	3.36
7	Hc-Sf	Feozem	Calcárico	Sin fase	430	0.24
8	Hh-L	Feozem	Háplico	Lítica	10,860	6.05
9	Hh-LP	Feozem	Háplico	Lítica Profunda	35,995	20.04
10	Hi-Sf	Feozem	Lúvico	Sin fase	3,183	1.77
11	I-Sf	Litosol		Sin fase	55,680	31.00
12	Je-P	Fluvisol	Eútrico	Pedregosa	203	0.11
13	Lc-LP	Luvisol	Crómico	Lítica Profunda	2,598	1.45
14	Lc-Sf	Luvisol	Crómico	Sin fase	3,409	1.90
15	Lo-L	Luvisol	Órtico	Lítica	56	0.03
16	Rc-L	Regosol	Calcárico	Lítica	9,644	5.37
17	Rc-P	Regosol	Calcárico	Pedregosa	2,190	1.22
18	Rc-Sf	Regosol	Calcárico	Sin fase	74	0.04
19	Re-L	Regosol	Eútrico	Lítica	18,211	10.14
20	Vc-L	Vertisol	Crómico	Lítica	102	0.06
21	Vc-P	Vertisol	Crómico	Pedregosa	54	0.03
22	Vc-Sf	Vertisol	Crómico	Sin fase	1,447	0.81
23	Vp-Sf	Vertisol	Pélico	Sin fase	24	0.01
Total					179,639	100.00

Con el propósito de conocer las propiedades físicas y químicas de los suelos en las áreas agrícolas de ladera y en los agostaderos, para su uso en APEX, fue necesario realizar un muestreo en los principales tipos de suelo presentes en la cuenca y a diferentes profundidades del perfil. Con este fin, se muestrearon 24

sitios dentro de la cuenca, 16 en terrenos agrícolas de ladera y 8 en sitios con agostadero (Cuadro 23). En la selección de los sitios de muestreo se buscó que representaran los principales tipos de suelo para áreas de maíz en ladera y de agostadero. En la mayor parte de los sitios muestreados se aprovechó para

entrevistar a los productores sobre el agostadero.
manejo del cultivo de maíz y del

Cuadro 23. Sitios de agricultura y pastizal donde se realizó muestreo de suelo.

Uso suelo	Sitio	Municipio	Localidad/paraje	Latitud	Longitud	Muestra de Lab.	Tipo de suelo
Maíz	1	San Jerónimo Silacayoapilla	San Jerónimo Silacayoapilla	17.8103	-97.8492	013-153 013-154	Regosol eútrico
Maíz	2	San José Ayuquila	San José Ayuquila	17.9372	-97.9704	013-156 013-158	Regosol Eútrico
Maíz	3	Fresnillo de Trujano	Guamúchil de Guerrero	17.8882	-98.1186	013-161 013-162	Feozem calcárico
Maíz	4	San Martín Zacatepec	San Martín Zacatepec	17.8253	-98.0919	013-163 013-164	Vertisol crómico
Maíz	5	San Martín Zacatepec	San Martín Zacatepec	17.8031	-98.0554	013-167	Feozem háplico
Maíz	6	San Juan Cieneguilla	San Juan Cieneguilla	17.8469	-98.2515	013-168	Feozem háplico
Maíz	7	Santiago Tamazola	Santiago Tamazola	17.6656	-98.2188	013-169 013-170	Feozem háplico
Maíz	8	Calihualá	San José Sabinillo	17.5575	-98.2379	013-171	Feozem calcárico
Maíz	9	San Andrés Sinaxtla	Santa María Suchixtlán	17.5058	-97.3280	013-174 013-175 013-176	Fluvisol eútrico
Maíz	10	San Mateo Etlatongo	San Mateo Etlatongo	17.4321	-97.2604	013-177 013-178 013-179	Fluvisol eútrico
Maíz	11	Santiago Matatlán	San Pablo Guila	17.3004	-97.4901	013-180 013-181 013-182	Feozem háplico + Luvisol ócrico
Maíz	12	Santa María Yosoyúa	Guadalupe Yosoyúa	17.1175	-97.4983	013-183 013-184 013-185	Regosol eútrico
Maíz	13	Chalcatongo de Hidalgo	Zaragoza	17.0173	-97.5719	013-186 013-187 013-188	Luvisol crómico
Maíz	14	San Andrés Lagunas	Cabecera	17.5787	-97.5090	013-709 013-710	Feozem háplico
Maíz	15	San Marcos Arteaga	Invernaderos	17.7337	-97.8679	013-714 013-715	Regosol eútrico
Maíz	16	Huajuapam de León	Rancho Dolores	17.8430	-97.7587	013-716 013-708	Vertisol crómico
Agostadero	1	San Marcos Arteaga	Secundaria	17.7229	-97.8737	013-155	Rendzina+Litosol
Agostadero	2	San Marcos Arteaga	Secundaria	17.7229	-97.8736	013-206	Rendzina+Litosol
Agostadero	3	San Andrés Lagunas	Cabecera	17.5766	-97.5251	013-189	Rendzina
Agostadero	4	San Marcos Arteaga	Balneario	17.7148	-97.8894	013-199	Rendzina+Litosol
Agostadero	5	San Marcos Arteaga	Cerrito	17.7337	-97.8679	013-200	Regosol Eútrico+Litosol
Agostadero	6	San Marcos Arteaga	Invernaderos	17.7324	-97.8473	013-201	Regosol Eútrico+Litosol
Agostadero	7	San Andrés Lagunas	Panteón	17.5788	-97.5090	013-202	Rendzina+Litosol
Agostadero	8	Huajuapam de León	Rancho Dolores	17.8559	-97.7562	013-203 013-204 013-205	Fluvisol eútrico

En cada suelo muestreado se determinó, en laboratorio, las siguientes propiedades

de suelo: porcentaje de la distribución granulométrica del suelo (arena, arenas

finas, limo, arcilla) por método de la pipeta así como pH, Conductividad Eléctrica (CE), Materia Orgánica (MO) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). En el Anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los procedimientos de laboratorios que fueron empleados en determinar las propiedades del suelo. En el Anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se incluyen los resultados obtenidos por el laboratorio de suelos del Colegio de Postgraduados y en el Mapa 2 se presenta la localización de las parcelas de maíz donde se efectuó muestreo de suelo.

A través del modelo SPAW³ y usando datos de textura y contenido de materia orgánica, reportados por el laboratorio, se infirieron los siguientes parámetros químicos y físicos: albedo del suelo, grupo hidrológico, nitrógeno orgánico, carbono orgánico, conductividad hidráulica saturada, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente (húmeda) y densidad aparente (seca). Para la estimación de la densidad aparente húmeda se consideró un contenido de humedad del 25% de la capacidad de almacenamiento de cada perfil de suelo.

El albedo del suelo (SALB), definido como la reflectividad del suelo con respecto a la radiación solar, se obtuvo con la fórmula propuesta por Baumer, 1990.

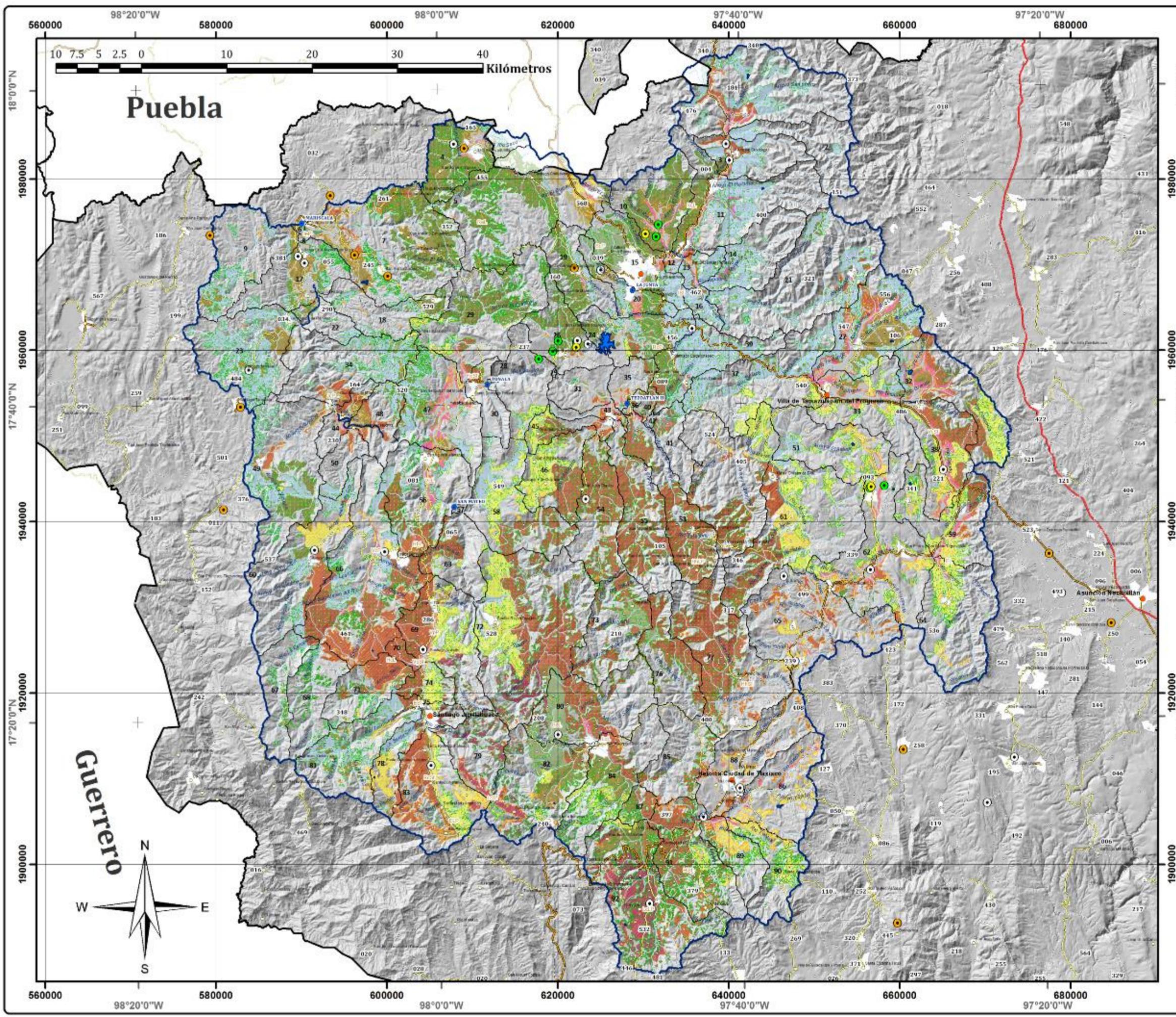
$$SALB = \left[\frac{0.6}{e^{(0.4ORG\text{MAT})}} \right]$$

Dónde: ORGMAT es el por ciento de materia orgánica en la superficie del suelo.

Los perfiles de suelo resultantes, para la aplicación de APEX a nivel de cuenca en terrenos de maíz en ladera y terrenos de agostadero, se reporta en el Anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Cabe mencionar, para la determinación de dichos perfiles de suelo se utilizaron también los resultados de laboratorio reportados en WWF (2012).

³ SPAW (Soil - Plant - Atmosphere – Water Field & Pond Hydrology) es un modelo que define variables hidrológicas del suelo para su uso en riego agrícola, humedales, lagunas y estimación de infiltraciones en estanques y embalses.

<http://hydrolab.arsusda.gov/SPAW/Index.htm>



Leyenda

Muestras de suelo

- Perfiles tipo
- Calibración (Maíz)
- Validación (Maíz)
- Calibración y Validación (Pastos)

Uso de Suelo (Pendiente >5%)

- Pastizal
- Área Agrícola
- Estaciones Hidrométricas

Localidades

- < 500 hab.
- 500 - 5,000 hab.
- > 5,000 hab.
- Cuerpos de Agua
- Ríos
- Límite Estatal
- Límite de la Cuenca
- Subcuencas
- Límite Municipal
- Localidades Urbanas

PRINCIPALES TIPOS DE SUELO (Pendiente > 5%)

- (BcP) Cambisol cálcico/Pedregosa
- (Bcl) Cambisol cálcico/Lítica
- (EhL) Rendzina/Lítica
- (ELP) Rendzina/Lítica Profunda
- (ESf) Rendzina/Sin fase
- (Hcl) Feozem cálcico/Lítica
- (HcSf) Feozem cálcico/Sin fase
- (HhL) Feozem háplico/Lítica
- (HhP) Feozem háplico/Lítica Profunda
- (HhSf) Feozem háplico/Sin fase
- (HISf) Feozem háplico/Sin fase
- (Isf) Litosol/Sin fase
- (JcP) Fluvisol cálcico/Pedregosa
- (JcP) Fluvisol cálcico/Pedregosa
- (JcLP) Luvisol cálcico/Lítica Profunda
- (JcSf) Luvisol cálcico/Sin fase
- (LcL) Luvisol cálcico/Lítica
- (Lcl) Regosol cálcico/Lítica
- (LcP) Regosol cálcico/Pedregosa
- (LcSf) Regosol cálcico/Sin fase
- (Rel) Regosol éutrico/Lítica
- (Vcl) Vertisol cálcico/Lítica
- (VcP) Vertisol cálcico/Pedregosa
- (VcSf) Vertisol cálcico/Sin fase
- (VpP) Vertisol pélico/Pedregosa
- (VpSf) Vertisol pélico/Sin fase

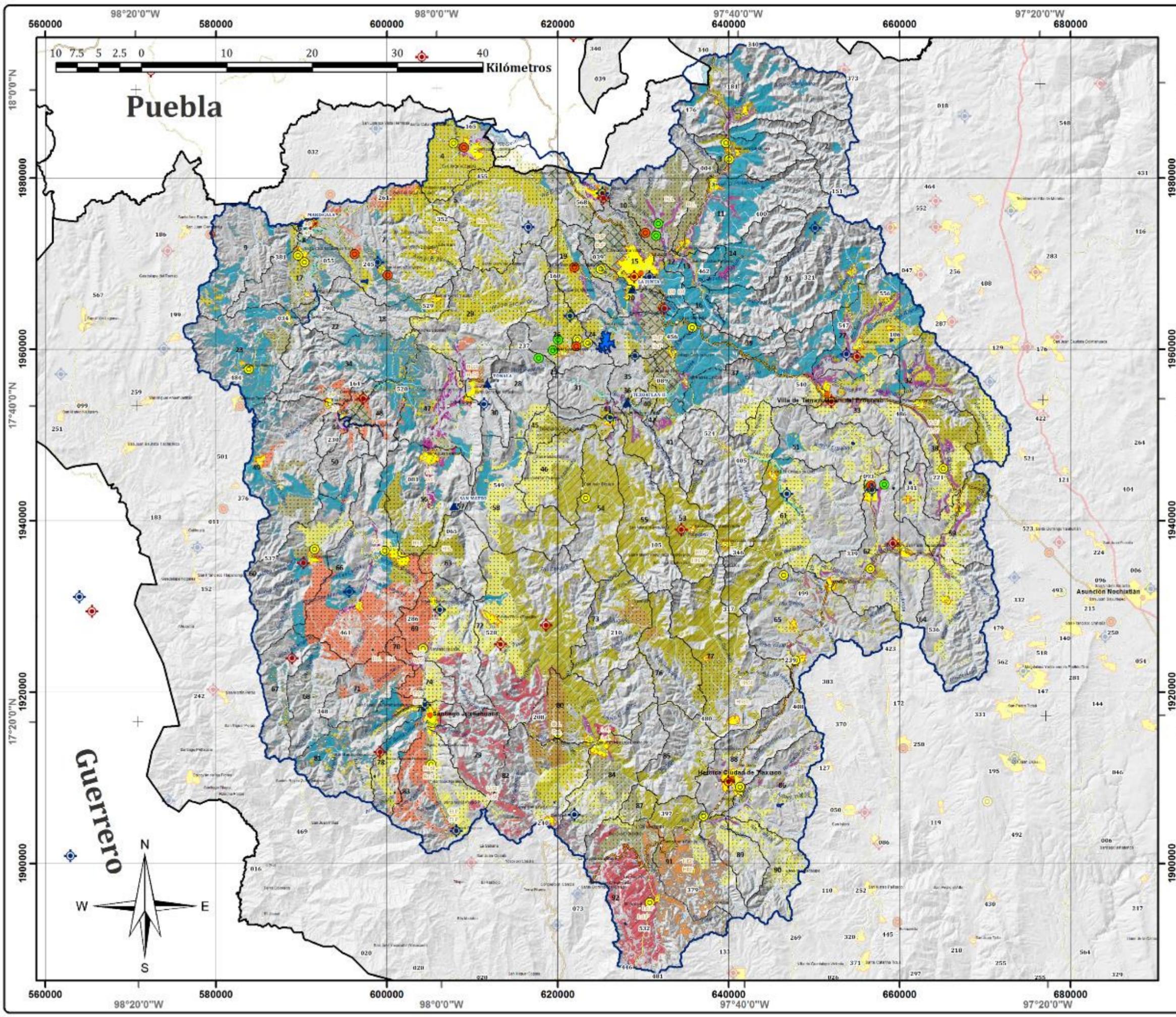
Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000
 Fuente: INEGI. Carta Edafológica. Escala 1:250,000

Proyecto MIXTECA
Convenio de colaboración ON93

Estrategias de manejo para la producción sustentable en laderas de la cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca.

PRINCIPALES SUELOS EN ZONAS DE PASTIZAL Y AGRICULTURA DE LADERA

ESCALA 1:425,000



Leyenda	
Estaciones Climatológicas	Fases
Operando	Lítica
Suspendida	Lítica Profunda
	Pedregosa
	Sin fase
Muestreo de suelos	Suelos dominantes
Perfiles 2012 (SWAT)	(Bc) Cambisol crómico
Perfiles 2013 (Pastos)	(Be) Cambisol eútrico
Perfiles 2013 (Maíz)	(E) Rendzina
	(Hc) Feozem calcárico
	(Hh) Feozem háplico
	(Hl) Feozem lúvico
Localidades	(J) Litosol
< 500 hab.	(Jc) Fluvisol calcárico
500 - 5,000 hab.	(Je) Fluvisol eútrico
> 5,000 hab.	(Lc) Luvisol crómico
Cuerpos de Agua	(Lo) Luvisol órtico
Ríos	(Rc) Regosol calcárico
Límite de la cuenca	(Re) Regosol eútrico
Límite de las subcuencas	(Vc) Vertisol crómico
Límite estatal	(Vp) Vertisol pélico
Límite municipal	
Localidades Urbanas	

Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000
 Fuente: INEGI. Carta Edafológica. Escala 1:250,000

Proyecto MIXTECA
Convenio de colaboración ON93
 Estrategias de manejo para la producción sustentable en laderas de la cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca.
SUELOS DOMINANTES EN ZONAS DE AGOSTADERO Y AGRICULTURA DE LADERA
ESCALA 1:425,000

Identificación de pastos y su manejo.

En la región, los agostaderos se caracterizan por su adaptación a suelos delgados con baja retención de humedad, producto de una topografía abrupta, alta pedregosidad y períodos prolongados de sequías interestivales.

Potencial forrajero de los pastos nativos.

Con base en recorridos de campo, realizados en la época de floración, durante el mes de octubre, se identificaron los pastos que se muestran en el

Cuadro 24. En este cuadro se incluye el nombre científico, nombre común y las coordenadas donde se encontró el pasto y su valor forrajero.

Cuadro 24. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del río Mixteco.

No	Nombre científico	Nombre común	Latitud N	longitud O	Altitud	Valor forrajero
1	<i>Andropogon gerardi</i>	-	17° 50' 17.66"	97° 44' 55.56"	1630	Bueno
2	<i>Andropogon glomeratus</i>	Popotillo matorralero	17° 34' 39.32"	97° 30' 41.15"	2307	Malo
3	<i>Andropogon hirtiflorus</i>	-	17° 51' 23.68"	97° 45' 11.96"	1675	Bueno
4	<i>Aristida californica</i>	-	17° 43' 30.51"	97° 52' 07.97"	1518	Bueno
5	<i>Aristida divaricata</i>	Tres barbas abierto	17° 51' 22.13"	97° 45' 08.92"	1671	Mala a regular
6	<i>Aristida ternipes</i>	Zacate araña	17° 51' 07.54"	97° 45' 29.57"	1668	Regular
7	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	Popotillo plateado	17° 38' 45.36"	97° 33' 37.22"	2338	Regular
8	<i>Bothriochloa laguroides</i>	Cola de zorra	17° 43' 25.95"	97° 51' 58.31"	1510	Bueno
9	<i>Bouteloua radicata</i>	Navajita púrpura	17° 41' 00.21"	97° 34' 52.31"	1981	Bueno
	<i>Bouteloua repens</i>	Navajita rastrera	17° 42' 51.12"	97° 53' 22.26"	1660	Bueno
10	<i>Bouteloua scorpioides</i>	Liendrilla roja	17° 42' 50.73"	97° 53' 22.10"	1656	Regular
11	<i>Bouteloua uniflora</i>	Banderilla simple	17° 42' 52.00"	97° 53' 20.00"	1685	Bueno a excelente
12	<i>Brachiaria brizantha</i>	Pasto insurgente	17° 42' 52.00"	97° 53' 22.00"	1672	Excelente
13	<i>Bromus catharticus</i>	Zacate bromo	17° 43' 51.14"	97° 51' 37.11"	1557	Bueno
14	<i>Cenchrus echinatus</i>	Zacate cadillo	17° 42' 49.81"	97° 53' 29.21"	1658	Bueno
15	<i>Chloris crinita</i>	Papalote	17° 22' 44.47"	97° 36' 27.51"	2389	Bueno
16	<i>Chloris virgata Sw.</i>	Barbas de indio	17° 50' 35.08"	97° 45' 32.21"	1655	Regular
17	<i>Cynodon dactylon</i>	Zacate pata de gallo	17° 42' 53.00"	97° 53' 22.00"	1672	Bueno
18	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Zacate egipcio	17° 42' 51.18"	97° 53' 22.69"	1657	Bueno
19	<i>Eleusine indica</i>	Pata de gallina	17° 42' 50.95"	97° 53' 21.56"	1659	Regular a excelente
20	<i>Eragrostis mexicana</i>	Zacate casamiento	17° 34' 43.07"	97° 30' 30.47"	2385	Malo
21	<i>Heteropogon contortus</i>	Zacate barba negra	17° 51' 13.16"	97° 45' 41.51"	1673	Regular a bueno
22	<i>Hilaria cenchroides</i>	Galleta grama	17° 42' 21.14"	97° 52' 14.58"	1641	Bueno
23	<i>Leptochloa dubia</i>	Zacate gigante	17° 43' 39.31"	97° 41' 00.15"	1889	Regular a bueno
24	<i>Lycurus phleoides</i>	Lobero	17° 34' 41.41"	97° 30' 25.87"	2426	Regular a bueno
25	<i>Melinis repens</i>	Zacate rosado	17° 43' 49.49"	97° 51' 02.82"	1519	Malo a medio
26	<i>Muhlenbergia capillaris</i>	-	17° 34' 22.32"	97° 31' 46.46"	2403	Regular
27	<i>Muhlenbergia gigantea</i>	-	17° 22' 56.09"	97° 36' 57.34"	2364	Bueno

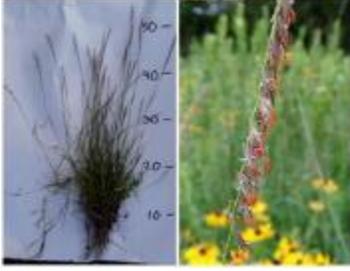
No	Nombre científico	Nombre común	Latitud N	longitud O	Altitud	Valor forrajero
28	<i>Muhlenbergia implicata</i>	-	17° 44' 00.42"	97° 51' 50.29"	1561	Bueno
29	<i>Muhlenbergia rigida</i>	Liendrilla morada	17° 39' 16.96"	97° 32' 07.74"	2281	Regular
30	<i>Opizia stolonifera</i>	Pasto de conejo	17° 42' 28.81"	97° 52' 14.48"	1641	Regular
31	<i>Paspalum dilatatum</i>	Pasto miel	17° 42' 51.28"	97° 53' 22.58"	1658	Bueno
32	<i>Paspalum distichum</i>	Camalote saladillo	17° 32' 50.00"	97° 33' 25.56"	1668	Regular
33	<i>Paspalum notatum</i>	Pasto amargo	17° 43' 03.00"	97° 53' 05.00"	1715	Excelente
34	<i>Paspalum pubiflorum</i>	Camalote velludo	17° 42' 49.81"	97° 53' 29.21"	1689	Regular a bueno
35	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Zacate kikuyo	17° 35' 37.99"	97° 31' 28.33"	2360	Excelente
36	<i>Setaria leucophila</i>	Tempranero	17° 39' 15.25"	97° 32' 16.94"	2226	Bueno a excelente
37	<i>Setaria macrostachya</i>	Pajita tempranera	17° 50' 40.53"	97° 45' 31.46"	1660	Bueno
38	<i>Sorghastrum incompletum</i>	-	17° 35' 18.06"	97° 30' 25.54"	2375	Regular a bueno
39	<i>Sporobolus indicus</i>	Pasto alambre	17° 34' 34.09"	97° 31' 29.26"	2367	Bueno
40	<i>Trachypogon secundus</i>	Zacate barba larga	17° 50' 22.54"	97° 44' 57.34"	1631	Bueno
41	<i>Trisetum deyeuxioides</i>	-	17° 23' 01.51"	97° 37' 18.46"	2301	Malo
42	<i>Vulpia myuros</i>	Greñita común	17° 43' 56.08"	97° 52' 03.94"	1594	Bueno

Entre los pastos de valor forrajero de medio a malo dominan en la cuenca el *Melinis repens* (zacate rosado), *Eragrostis mexicana* (Zacate casamiento), *Chloris virgata* (barbas de indio), *Paspalum distichum* (Camalote saladillo), y *Muhlenbergia capillaris*. De valor forrajero bueno se tienen: *Cynodon dactylon* (zacate pata de gallo), *Paspalum dilatatum* (pasto miel), *Sporobolus indicus* (pasto alambre), *Setaria macrostachya* (pajita tempranera), *Bouteloua repens* (navajita rastrera), *Bothriochloa laguroides* (cola de zorra), *Aristida californica* y *Muhlenbergia implicata*. Los pastos de bueno a excelente producción forrajera sobresalen: *Bouteloua uniflora* (banderilla simple), *Setaria leucophila* (tempranero) y *Brachiaria brizantha* (pasto insurgente). En general en la cuenca dominan los pastos de valor forrajero de medio a bueno (Cuadro 25). De acuerdo a Cruz et al. (2001), en la comunidad de San Pedro y San Pablo

Tequixtepec del municipio de Huajuapán de León, las gramíneas que más abundan son: *Hilaria cenchroides*, *Bouteloua sp.*, *Muhlenbergia sp* y *Cynodon dactylon*.

A continuación se incluye un catálogo de los principales pastos identificados en la cuenca. En el catálogo se proporciona una breve descripción de las características de la planta, del medio donde habita y su valor forrajero.

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco

	N. común: Banderilla simple N. científico: <i>Bouteloua uniflora</i>		N. común: Pasto miel N. científico: <i>Paspalum dilatatum</i>
	Coordenadas		Coordenadas
	Latitud: 17° 42' 52"		Latitud N: 17° 42' 51.28"
	Longitud: 97° 53' 20"		Longitud O: 97° 53' 22.58"
	Altitud (m): 1685		Altitud (m): 1658
Descripción:		Descripción:	
	<p>Hierba perenne, cespitosa y sin estolones. Culmos erectos y delgados de 35 hasta 50 cm de alto que florece de julio a febrero. Es un pasto de valor forrajero de bueno a excelente.</p>		<p>Hierba perenne con rizomas cortos y tallos de hasta 1.50 m de largo. Habita en lugares abiertos (generalmente húmedos o encharcados), en laderas orillas de caminos, claros de bosque de pino-encino, pastizales y matorrales de ladera y es de uso forrajero.</p>
	N. común: Pasto amargo N. científico: <i>Paspalum notatum</i>		N. común: Zacate pata de gallo N. científico: <i>Cynodon dactylon</i>
	Coordenadas		Coordenadas
	Latitud N: 17° 43' 03"		Latitud N: 17° 42' 53"
	Longitud O: 97° 53' 05"		Longitud O: 97° 53' 22"
	Altitud (m): 1715		Altitud (m): 1672
Descripción:		Descripción:	
	<p>Planta perenne, cespitosa de 20 a 75 cm de longitud que habita a campo abierto, zacatal, y a orillas caminos en suelos arenosos y francos. Este pasto florece de primavera a otoño, es muy resistente a la sequía y durante la floración es un excelente forraje.</p>		<p>Planta perenne o anual de 10 a 30 cm de alto, pero puede tener más de largo, ya que crece con estolones. Cuando es anual se encuentra de marzo a diciembre. Este pasto es de uso forrajero y para estabilizar orillas de carreteras y canales.</p>

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común:	Zacate cadillo		N. común:	Pasto insurgente
	N. científico:	<i>Cenchrus echinatus</i>		N. científico:	<i>Brachiaria brizantha</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud:	17° 42' 49.81"		Latitud N:	17° 42' 52"
	Longitud:	97° 53' 29.21"		Longitud O:	97° 53' 22"
	Altitud (m):	1658		Altitud (m):	1672
Descripción:		Descripción:			
	<p>Hierba anual, erecta, de 25 a 60 cm de altura. Habita en potreros, orillas de encinares, cultivos y carreteras, en suelos arenosos, florece en verano; forraje regular cuando ésta tierno).</p>			<p>Forraje excelente en pastoreo, corte y elaboración de heno. En materia seca presenta de 10 a 14% de proteína. Es resistente a plagas, encharcamiento y sequías.</p>	
	N. común:	Camalote velludo		N. común:	Zacate casamiento
	N. científico:	<i>Paspalum pubiflorum</i>		N. científico:	<i>Eragrostis mexicana</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud N:	17° 42' 49.81"		Latitud N:	17° 34' 43.07"
	Longitud O:	97° 53' 29.21"		Longitud O:	97° 30' 30.47"
	Altitud (m):	1689		Altitud (m):	2385
Descripción:		Descripción:			

	Hierba perenne de hasta 1.3 m de largo que habita en áreas perturbadas y orillas de bosques y de uso forrajero. De valor forrajero de regular a bueno.		Planta anual, amacollada, erecta, grisácea, de hasta 1.2 m de alto. Habita en pastizales perturbados, potreros, cultivos y a orilla de los caminos, en suelos secos arenosos y arcillosos, se encuentra en forma vegetativa de marzo a agosto, florece de junio a octubre y fructifica de agosto a diciembre. Es de valor forrajero malo
--	--	--	--

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común: Barbas de indio		N. común: Liendrilla roja		
	N. científico: <i>Chloris virgata</i> Sw.		N. científico: <i>Bouteloua scorpioides</i>		
	Coordenadas		Coordenadas		
	Latitud: 17° 50' 35.08"		Longitud: 97° 45' 32.21"	Latitud N: 17° 42' 50.73"	Longitud O: 97° 53' 22.10"
	Altitud (m): 1655			Altitud (m): 1656	
Descripción:		Descripción:			
	Hierba de vida corta, erecta, amacollada de 10 a 100 cm de alto. Arvense de hábito oportunista, su presencia indica disturbio, que se encuentra en lugares perturbados de matorrales xerófilos, pastizal y bosque de pino-encino. Produce buena cantidad de biomasa pero de valor forrajero regular.		Hierba perenne que habita en colinas rocosas, pastizales (incluso los halófilos), matorrales xerófilos y encinares abiertos. Florece de septiembre a octubre y su valor forrajero es regular.		
	N. común: Navajita rastrera		N. común: Cola de zorra		
	N. científico: <i>Bouteloua repens</i>		N. científico: <i>Bothriochloa laguroides</i>		
	Coordenadas		Coordenadas		
	Latitud N: 17° 42' 51.12"		Longitud O: 97° 53' 22.26"	Latitud N: 17° 43' 25.95"	Longitud O: 97° 51' 58.31"
	Altitud (m): 1660			Altitud (m): 1510	
Descripción:		Descripción:			

	Hierba perenne y cespitosa de 15 a 65 cm de alto; habita lugares perturbados, pastizales y sitios abiertos en climas tropicales secos a templados. Florece y fructifica en la segunda mitad de la época de lluvias. Es un pasto con buenas características forrajeras.		Hierba perenne que forma macollo con tallos de 0.3 hasta 1.3 m de largo, florece durante casi todo el año y habita a orillas de caminos y campos agrícolas. Esta planta produce buen forraje, es resistente al pisoteo y retoña continuamente.
--	--	--	--

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común:	Zacate egipcio		N. común:	Zacate barba negra	
	N. científico:	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>		N. científico:	<i>Heteropogon contortus</i>	
	Coordenadas					
	Latitud:	17° 42' 51.18"		Latitud N:	17° 51' 13.16"	
	Longitud:	97° 53' 22.69"		Longitud O:	97° 45' 41.51"	
	Altitud (m):	1657		Altitud (m):	1673	
Descripción:						
	<p>Hierba de vida corta de hasta 50 cm de alto que habita como ruderal y a orillas de caminos. Tolera salinidad y florece casi todo el año. En zonas semiáridas es una de las especies forrajeras más importantes pero en ocasiones puede contener glucósidos cianogénicos tóxicos.</p>				<p>Hierba perenne que florece de agosto a noviembre, de 20 a 80 cm de alto. Se desarrolla como vegetación secundaria en pastizales y lugares perturbados. Su valor forrajero es de regular a bueno, cuando está tierno; pero cuando madura se torna áspera y su inflorescencia repelente.</p>	
	N. común:	Pasto alambre		N. común:	Camalote saladillo	
	N. científico:	<i>Sporobolus indicus</i>		N. científico:	<i>Paspalum distichum</i>	
	Coordenadas					
	Latitud N:	17° 34' 34.09"		Latitud N:	17° 32' 50.00"	
	Longitud O:	97° 31' 29.26"		Longitud O:	97° 33' 25.56"	
	Altitud (m):	2367		Altitud (m):	1668	
Descripción:						

	<p>Planta perenne que forma macollos con una altura de 0.3 a 1.5 m y habita como arvense y ruderal. También se encuentra como vegetación secundaria en terrenos perturbados de pastizal, bosque bajo de pino o encino y bosque tropical caducifolio. Florece de primavera a principios de invierno y presenta valor forrajero bueno.</p>		<p>Hierba perenne estolonífera de 10 a 60 cm de alto, florece en mayo y fructifica en septiembre. Habita como ruderal y arvense en suelos húmedos y bien drenados. Tolera salinidad y metales pesados. Sirve como forraje y heno. Cuando es infectado por un hongo de cornezuelo este pasto se torna tóxico para el ganado.</p>
--	--	--	---

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común:	Zacate kikuyo		N. común:	Popotillo plateado
	N. científico:	<i>Pennisetum clandestinum</i>		N. científico:	<i>Bothriochloa barbinodis</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud:	17° 35' 37.99"		Latitud N:	17° 38' 45.36 "
	Longitud:	97° 31' 28.33"		Longitud O:	97° 33' 37.22"
	Altitud (m):	2360		Altitud (m):	2338
		Descripción:			Descripción:
		<p>Pasto perenne exótico, forrajero estacional en regiones templadas y subtropicales húmedas y subhúmedas con valor forrajero excelente y resistente al pastoreo. Es la invasiva más importante en climas templados y subtropicales.</p>			<p>Hierba nativa de hábito perenne y cespitosa con tallos erectos de 60 a 120 cm de alto. Abundante en áreas con disturbio de pastizales, matorrales y bosques bajos de encino o enebro. Con valor forrajero regular, buena gustosidad cuando esta tierna pero mala al madurar.</p>
	N. común:	Lobero		N. común:	Zacate bromo
	N. científico:	<i>Lycurus phleoides</i>		N. científico:	<i>Bromus catharticus</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud N:	17° 34' 41.41"		Latitud N:	17° 43' 51.14"
	Longitud O:	97° 30' 25.87"		Longitud O:	97° 51' 37.11."
	Altitud (m):	2426		Altitud (m):	1557

	Descripción: Hierba nativa perenne y cespitosa de tallos erectos de 20 a 50 cm de largo. Común en pastizales, escasa en huizachales y claros de bosque de pino-encino. Valor forrajero de buena a regular, de gustosidad moderada, procurada para los bovinos después de las navajitas. Responde a prácticas de resiembra.		Descripción: Hierba exótica anual o bianual con tallos de 10 a 100 cm de altura. Habita como maleza ruderal y en áreas con disturbio de matorrales y pastizales templados no muy húmedos (sobre todo en suelos alcalinos) sin embargo es escasa. Es de valor forrajero bueno.
--	--	--	---

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común: Tempranero		N. común: Popotillo peludo		
	N. científico: <i>Setaria leucophila</i>		N. científico: <i>Andropogon hirtiflorus</i>		
	Coordenadas		Coordenadas		
	Latitud: 17° 39' 15.25"		Longitud: 97° 32' 16.94"	Latitud N: 17° 51' 23.68"	Longitud O: 97° 45' 11.96"
	Altitud (m): 2226		Descripción:		
Descripción: Pastos perennes poco amacollados con tallos de 20 a 100 cm de alto, erectos y simples. Común en matorrales desérticos, menos frecuentes en pastizales cercanos a los matorrales desérticos y en arroyos. Con valor forrajero de excelente a bueno.		Descripción: Hierba perenne y cespitosa con tallos de 60 a 130 cm de largo. Habita en áreas abiertas en pastizales con encinos y bosque de pino-encino. Es un pasto con buen valor forrajero.			
	N. común: Navajita púrpura		N. común: Papalote		
	N. científico: <i>Bouteloua radicata</i>		N. científico: <i>Chloris crinita</i>		
	Coordenadas		Coordenadas		
	Latitud N: 17° 41' 00.21"		Longitud O: 97° 34' 52.31"	Latitud N: 17° 22' 44.47"	Longitud O: 97° 36' 27.51"
	Altitud (m): 1981		Altitud (m): 2389		

	Descripción: Pasto perenne, rimatozo de color verde y con tallos erectos de 40 a 80 cm de altura. Habita comúnmente en pastizales y matorrales xerófitos; es escaso en bosques tropicales caducifolios y bosque bajo de pino y encino. Su presencia indica un agostadero en buenas condiciones. Este pasto presenta buen valor forrajero.		Descripción: Planta perenne de hasta 1.2 m de alto, generalmente en grupos densos con base muy fuerte, rizomas cortos, hojas firmes y planas. Habita en bosques de pino, encino, pino-encino, encino-pino y pastizales. Es un pasto con buen valor forrajero.
--	---	--	---

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común: Zacate gigante		N. común: Agujilla grande		
	N. científico: <i>Leptochloa dubia</i>		N. científico: <i>Achnatherum eminens</i>		
	Coordenadas		Coordenadas		
	Latitud: 17° 43' 39.31"		Latitud N: 17° 34' 38.52"	Longitud O: 97° 41' 00.15"	Longitud O: 97° 31' 43.49"
	Altitud (m): 1889		Altitud (m): 2395	Descripción:	
	Descripción: Planta perenne con tallos erectos de 60 a 125 cm de alto. Habita en pastizales, matorral xerófilo, bosque de pino piñonero, en terrenos de cultivo y orillas de caminos. Responde a prácticas de resiembra y produce cantidades importantes de forraje de regular a buena calidad.		Descripción: Planta perenne, cespitosa, con tallos erguidos de 35 a 120 cm de alto. Abundante en bosque de encino o pino y bosque de pino piñonero; ocasional en matorrales xerófilos y pastizales. En condiciones de pastoreo en ladera produce un forraje de calidad buena a regular.		
	N. común: Pajita tempranera		N. común: Zacate rosado		
	N. científico: <i>Setaria macrostachya</i>		N. científico: <i>Melinis repens</i>		
	Coordenadas		Coordenadas		
	Latitud N: 17° 50' 40.53"		Latitud N: 17° 43' 49.49"	Longitud O: 97° 45' 31.46"	Longitud O: 97° 51' 02.82"



	Altitud (m): 1660		Altitud (m): 1519
	Descripción:		Descripción:
	Zacate perenne, cespitoso, con tallos erectos y glabros de 60 a 120 cm de alto. Común en pastizales, matorrales de gobernadora y bosques tropicales. De valor forrajero bueno y responde de buena forma a prácticas de resiembra.		Zacates perennes, amacollados, con tallos erectos de 60 a 100 cm de alto. Se observa en forma abundante en áreas perturbadas del pastizal. Su presencia indica problemas de sobrepastoreo. Cuando tierno, tiene un valor forrajero regular y gustosidad mediana para el ganado; cuando madura su valor forrajero es malo.

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común:			N. común:	Pata de gallina, pasto amargo,
	N. científico:	<i>Aristida fasciculata</i>		N. científico:	<i>Eleusine indica</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud:	17° 43' 30.51"		Latitud N:	17° 42' 50.95"
	Longitud:	97° 52' 07.97"		Longitud O:	97° 53' 21.56"
Altitud (m):	1518	Altitud (m):	1659		
Descripción:		Descripción:		Descripción:	
 <p>Hierba agrupada que forma matas tupidas peludas de hasta 40 cm de altura en su hábitat de suelos arenosos, generalmente se encuentra como ruderal o arvense en zonas de pastizal. Valor forrajero bueno</p>		 <p>Planta anual de hasta 80 cm de alto y tallos erectos. Crece en terrenos inundables, orillas de cultivo y lugares abiertos. Suele darse uso medicinal. Presenta un valor forrajero de regular a excelente y es un pasto resistente al pisoteo.</p>			
	N. común:	Popotillo matorralero		N. común:	
	N. científico:	<i>Andropogon glomeratus</i>		N. científico:	<i>Sorghastrum incompletum</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud N:			Latitud N:	17° 35' 18.06"
	Longitud O:			Longitud O:	97° 30' 25.54"
Altitud (m):		Altitud (m):	2375		
Descripción:		Descripción:		Descripción:	
 <p>Hierba perenne de 0.6 a 1.5 m de alto, cespitoso y comprimido. Crece en sitios húmedos, es intolerante a la salinidad, requiere sol (tolera muy poco las áreas sombreadas). Es un pasto de valor forrajero malo.</p>		 <p>Pasto anual, decumbente, a veces erecto, de 25 hasta 130 cm de alto; crece en bosques abiertos de encino, pino y pino-encino. Es de uso forrajero regular en áreas de montaña. Su valor forrajero es de bueno a regular.</p>			

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común:			N. común:	Tres barbas abierto
	N. científico:	<i>Muhlenbergia capillaris</i>		N. científico:	<i>Aristida divaricata</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud:	17° 34' 22.32"		Latitud N:	17° 51' 22.13"
	Longitud:	97° 31' 46.46"		Longitud O:	97° 45' 08.92"
	Altitud (m):	2403		Altitud (m):	1671
Descripción:			Descripción:		
	<p>Pasto que puede llegar hasta 1 m de alto, perenne, tolera gran variedad de suelos pero no la sombra, es tolerante a la sequía y salinidad.</p>			<p>Zacate perenne amacollado, con tallos de 25 a 75 cm de alto, simples, erectos o postrados. Común en suelos arenosos de pastizales, matorrales y en áreas abiertas de bosque de encino, pino y enebro. Preferencia forrajera regular, especialmente cuando esta tierna, y mala cuando la planta está madura.</p>	
	N. común:			N. común:	Zacate araña
	N. científico:	<i>Muhlenbergia implicata</i>		N. científico:	<i>Aristida ternipes</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud N:	17° 44' 00.42"		Latitud N:	17° 51' 07.54"
	Longitud O:	97° 51' 50.29"		Longitud O:	97° 45' 29.57"
	Altitud (m):	1561		Altitud (m):	1668
Descripción:			Descripción:		
	<p>Planta anual, cespitosa, de tallos erectos, de 20 hasta 50 cm de altura. Crece en áreas ruderales. Su palatabilidad es buena para el ganado. Suele confundirse con <i>M. tenuifolia</i> y <i>M. microsperma</i> pero difiere de ambas porque posee la lema aristada dentada.</p>			<p>Zacates perennes con tallos de 80 a 150 cm de alto, erectos, panícula de 20 a 50 cm de largo, piramidal. Común en áreas de disturbio en pastizales y matorrales. Presencia escasa en bosques de encino-pino y en el matorral subtropical. Aumenta su abundancia con el sobrepastoreo. Tiene un valor forrajero regular.</p>	

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común:	Zacate barba larga		N. común:	
	N. científico:	<i>Trachypogon secundus</i>		N. científico:	<i>Andropogon gerardi</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud:	17° 50' 22.54"		Latitud N:	17° 50' 17.66"
	Longitud:	97° 44' 57.34"		Longitud O:	97° 44' 55.56"
	Altitud (m):	1631		Altitud (m):	1630
Descripción:		Descripción:			
<p>Planta perenne, tallos erectos de 60 a 120 cm de alto. Crece en praderas arenosas, bosques, colinas rocosas y cañones, en suelos bien drenados de 500-2000 m. Muy buena forrajera en verde pero rara vez suficiente para ser importante en la dieta animal.</p>		<p>Pastos perennes, glaucos, con rizomas; tallos de 1 a 2 m de alto, amacollados. Comunes en bosques de pino-encino, y escasa en pastizales. Preferencia forrajera buena, en condiciones de ganadería en ladera; práctica que no se recomienda por el deterioro que causa a la recuperación del bosque.</p>			
	N. común:			N. común:	
	N. científico:	<i>Trisetum deyeuxioides</i>		N. científico:	<i>Muhlenbergia gigantea</i>
	Coordenadas			Coordenadas	
	Latitud N:	17° 23' 01.51"		Latitud N:	17° 22' 56.09"
	Longitud O:	97° 37' 18.46"		Longitud O:	97° 36' 57.34"
	Altitud (m):	2301		Altitud (m):	2364
Descripción:		Descripción:			
<p>Tallos simples de 50 a 120 cm de largo. Se encuentra en áreas húmedas, matorrales, bosques abiertos y habita como ruderal y arvense. Su valor forrajero es malo pero es palatable para el ganado.</p>		<p>Hierba perenne, cespitosa, con tallos robustos de 1.5 a 3 m de altura. Se encuentran en lomeríos altos, cerros y faldeos de sierra con suelos de textura variable, pedregosos o rocosos</p>			

Cuadro 25. Principales pastos presentes en los agostaderos de la cuenca del Río Mixteco (Continuación).

	N. común: Liendrilla morada		N. común: Galleta grama		
	N. científico: <i>Muhlenbergia rigida</i>		N. científico: <i>Hilaria cenchroides</i>		
	Coordenadas		Coordenadas		
	Latitud: 17° 39' 16.96"		Latitud N: 17° 42' 21.14"		
	Longitud: 97° 32' 07.74"		Longitud O: 97° 52' 14.58"		
	Altitud (m): 2281		Altitud (m): 1641		
Descripción:		Descripción:			
 <p>Zacate perenne, densamente cespitoso con tallos de 50 a 90 cm de alto, erectos. Habita en pastizales, matorrales, bosques abiertos de pino, encino, táscate y pino piñonero, donde es bastante común encontrarla. Planta de calidad forrajera regular y de buena gustosidad cuando esta tierna.</p>		 <p>Zacate perenne formando manchones estoloníferos con tallos de 10 a 60 cm de altura, erectos y estolones con nudos pilosos. Pasto común que habita en pastizales, matorrales, bosques de pino piñonero, y bosques bajos de encino y pino con algo de disturbio. Preferencia forrajera buena.</p>			
	N. común: Pasto de conejo		N. común: Greñita común		
	N. científico: <i>Opizia stolonifera</i>		N. científico: <i>Vulpia myuros</i>		
	Coordenadas		Coordenadas		
	Latitud N: 17° 42' 28.81"		Latitud N: 17° 43' 56.08"		
	Longitud O: 97° 52' 14.48"		Longitud O: 97° 52' 03.94"		
	Altitud (m): 1641		Altitud (m): 1594		
Descripción:		Descripción:			
 <p>Hierba perenne, pequeña, estolonifera, que crece formando grandes tapetes, dioica; de hasta 15 de alto. Común en caminos y sitios pastoreados en el trópico estacional, florece de agosto a octubre. Es un forraje de calidad regular.</p>		 <p>Pasto anual, delicado, amacollado, con tallos de 10 a 50 cm de alto, erectos o ascendentes. Habita en bosques de pino y encino, donde es común. Preferencia forrajera buena, en condiciones de ganadería extensiva de ladera.</p>			

El manejo del agostadero

Se levantaron 28 encuestas a productores de ganado, distribuidos de tal manera que recojan las características distintivas del tipo de explotación ganadera de la región (Cuadro 26). La mayor parte de las entrevistas se realizaron en los módulos donde se capacitó a los productores pecuarios. Esto con la finalidad de establecer un escenario base sobre futuros cambios en las actitudes de los productores hacia el mejoramiento de los agostaderos.

Cuadro 26. Distribución de entrevista a productores de ganado.

Municipio	Frecuencia	
	Número	%
Nochixtlán	1	3.6
San Andrés Lagunas	13	46.4
San Juan y San Pedro Teposcolula	1	3.6
San Marcos Arteaga	6	21.4
San Martín Huamimilulpam	1	3.6
San Martín Intuyuso	1	3.6
San Pedro Mártir Yucuxaco	1	3.6
San Pedro y San Pablo Teposcolula	1	3.6
Santiago Cacaloxtotec	1	3.6
Silacayoapam	2	7.1
Total	28	100.0

Es conveniente mencionar que en la Mixteca Oaxaqueña, la mayoría de los productores combinan la ganadería con la agricultura, el comercio, la albañilería, entre otras; aunque, por las características propias de esta región, predominan las actividades agropecuarias.

De las encuestas se pudieron detectar dos tipos de productores; por un lado los grandes productores cuyos tamaños de hato son superiores a los 100 animales y los pequeños productores cuya actividad más importante es la agricultura y la combinan con la ganadera, con tamaños de hato que no rebasan los 50 animales (Figura 11). Pero ambos tipos de productores tienen en común que los hatos son de propiedad individual y explotan agostaderos de tenencia comunal, donde cada ejidatario tiene la cantidad de ganado que ha podido acumular.

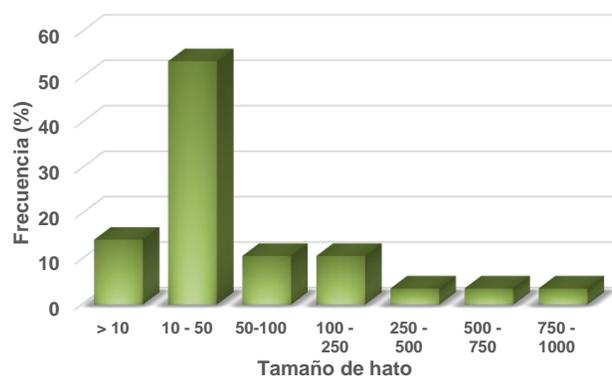


Figura 11. Distribución de los tamaños de hato

De acuerdo con los productores entrevistados, las especies animales que utilizan el agostadero como fuente de alimentación, en orden de importancia, son caprinos, ovinos y bovinos que en conjunto conforman el 99.5% de las existencias de ganado reportadas.

Los entrevistados tienen preferencia por el ganado caprino por su facilidad de manejo, su rusticidad y su adaptabilidad a terrenos degradados, abruptos y de vegetación

arbustiva; que otra especie animal no podría aprovechar.

Casi tres cuartas parte de los hatos son mixtos de bovinos y caprinos. Por sus hábitos de pastoreo los bovinos aprovechan más la vegetación herbácea y los caprinos los arbustos, a través del ramoneo. Los caprinos representan el 84.7% del inventario reportado por los productores, el tamaño de hato varía entre los 8 y 800 animales con un promedio de 179, y un valor modal de 100. La presencia de ovinos se observa en el 35.7% de los productores, el inventario representa el 14.3% de las existencias ganaderas de la zona; los tamaños de hato varían entre 8 y 133 animales, con un tamaño promedio de 37 y un valor modal de 30. La proporción de caprinos es mayor en climas cálidos y semi-cálidos y la de ovinos ocurre principalmente en climas templados (húmedos y subhúmedos).

Los hatos están compuestos, principalmente, por animales criollos; seleccionados por el productor para adaptarse al entorno. Los productores reportan necesidades de asistencia técnica para disminuir la incidencia de enfermedades, aumentar la eficiencia de la producción de carne y de crías, y de prácticas de manejo controlado del agostadero. Se reporta que los hatos realiza caminatas diarias de 2 - 5km en busca de forraje y agua lo que repercute en la ganancia de peso.

Los bovinos y equinos representan un 5% de las existencias de ganado observadas, en la mayoría de los casos su presencia se asocia con el apoyo que brindan a las actividades agrícolas. Los productores que tienen ganado bovino el traslado al agostadero lo hacen diario, durante la época húmeda, para evitar daños a los cultivos en pie y después que se han levantado las cosechas dejan sus animales sueltos (entre enero y junio) y solo los visitan para verificar su presencia. Los productores suplementan su ganado durante la época seca, entre enero y mayo principalmente con rastrojo de maíz.

Algunas entrevistas asocian la disminución productiva de los agostaderos a los cambios en los regímenes de lluvias, asociados a largos períodos de sequía seguidos de lluvias intensas lo que afecta la cobertura vegetal en los agostaderos. Los productores pecuarios tácitamente no reconocen que el uso excesivo de los agostaderos, especialmente en las épocas críticas de producción de forraje, puede contribuir significativamente a reducir la capacidad productiva del agostadero y la calidad del forraje.

Existen pocas actividades realizadas a favor de la conservación del agostadero pero algunos entrevistados afirman que donde ocurre este tipo de manejo hay mayor humedad y un poco más de especies arbustivas y de pastos.

La sequía tiene un impacto importante en la economía del productor ya que los

animales bajan de peso y esto los hace más vulnerables a las enfermedades y al ataque de parásitos externos. Esta situación se hace más crítica en animales pequeños que no resisten las caminatas, durante el estiaje, cada día más largas. Durante las secas el forraje disponible es el pasto seco, el encino (*Quercus sp.*) y el espino (*Acacia berlandieri*), este último el más importante ya que las cabras consumen sus hojas, brotes tiernos y vainas.

Los productores venden en promedio 12 caprinos al año y consume en 2.5 animales al año, principalmente en celebraciones. Para evitar el problema de falta de forraje los productores venden sus animales al final de año, cuando inicia la temporada seca. Desde el punto de vista económico, la producción de ganado menor es de gran importancia para la economía familiar ya que los productores obtienen más ingresos, con menor riesgo, del ganado menor que de la producción de granos básicos.

Los resultados de las encuestas reafirman algunos aspectos que son conocidos del manejo de los agostaderos, en el sentido que no existe reglamentación en el uso del agostadero y las autoridades comunales y civiles no tienen control en el tamaño de los hatos, sistema de producción (extensivo, semi-intensivo, intensivo), restricciones, carga animales, áreas de pastoreo y las especies animales que los productores pueden mantener en su hato.

Han existido algunas iniciativas en la reglamentación del uso del agostadero y del número de animales que se introducen dentro del mismo, pero hasta el momento no se han mostrado efectos importantes sobre la cobertura del agostadero, como es el caso del ejido de Santiago Teotongo. En este sentido Cruz (1988) menciona que para mejorar el porcentaje de cobertura se requieren tiempos de exclusión de ganado superiores a tres años para ver los primeros cambios y a partir del quinto año observar cambios significativos. Es conveniente revisar cuales han sido las estrategias que se han tratado de implementar y conocer los alcances y limitaciones de las mismas, así como la respuesta de los productores a las iniciativas de manejo y mejoramiento del agostadero.

En el Anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta los resultados del análisis de las entrevistas y las encuestas levantadas a cada uno de los productores participantes (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Prácticas para la conservación de suelo, agua y fertilidad.

La captación de agua de lluvia y suelo en diferentes modalidades son alternativas tecnológicas simples, bajos costos y adaptables tecnológicamente a las condiciones del lugar. En esta etapa se identificaron, con base en recorridos de

campo, las principales prácticas de conservación que los habitantes de la cuenca realizan para la conservación de suelo, agua y fertilidad. En la mayoría de las parcelas agrícolas se observan prácticas de conservación de suelos, sin embargo, en las áreas de pastoreo este tipo de prácticas son escasas. Los productores han enfocado sus esfuerzos de conservación y captación de suelos a los terrenos agrícolas mientras en los agostaderos, de tenencia comunal, no se realizan acciones de conservación ni se controla el pastoreo.

Terrenos agrícolas

Las principales acciones que se tienen se observan en las parcelas agrícolas o sobre el cauce de arroyo.

Lama bordo (terrazas en vegas)

Es una propuesta hidráulica realizada por los pobladores de la región para aprovechar agrícolamente la humedad residual del agua de lluvia captada en suelos de arrastre especialmente retenidos sobre las barrancas conocido como “jollas” o “sistema lama-bordo”, para el cultivo anual de los llamados maíces de cajete, cuyos atributos morfológicos y agronómicos los definen como una de las principales estrategias para la obtención de alimentos (Rivas *et al.*, 2008).

El sistema lama-bordo, es una técnica hidráulica para retener, en los lechos de arroyos secos o barrancas, agua y suelo que arrastra consigo la escorrentía al suceder una lluvia torrencial. La

característica distintiva de ésta tecnología es la construcción, con piedras acomodadas o tierra compactada, de una serie de cortinas dentro de los lechos de arroyos secos. El suelo que se retiene dentro de este sistema, la materia orgánica y la humedad residual -que se queda una vez que el agua se ha secado- son el sustrato para el cultivo de maíz (Palerm, 2002).

Las jollas o bordos se pueden hacer de tierra compactada con ayuda de maquinaria o de piedra acomodada en forma totalmente manual. El proceso es, levantar sobre el cauce de una cárcava o barranca, una pared o bordo, en seco. Se va acomodando la piedra o tierra de manera que se cierre la corriente del agua en el cauce de la cañada, de modo que, cuando llueva el mismo suelo que es arrastrado por la corriente del agua de lluvia, se vaya deteniendo ahí, formando un depósito, que posteriormente será el terreno de cultivo, Palerm (2002).

Es un tipo de terraza se construye en una parte estrecha de un cauce de agua efímero, conforme va captando el sedimento se va estructurando una represa de piedra, la cual cada año se va levantando hasta alcanzar alturas de 10 m o más. El suelo depositado en estas represas es de textura limosa, rico en materia orgánica y alto contenido de humedad en su perfil. Esta humedad disponible es aprovechada por los agricultores para iniciar la siembra, con

maíces blancos de ciclo largo, de mayor rendimiento, durante los primeros días del mes de marzo. La siembra en este sistema se realiza en “cajete” con el propósito de acercar la semilla a la humedad remanente. De los terrenos en pendiente, estos fluvisoles son los suelos más fértiles y su productividad duplica al temporal en ladera. Pese altas demandas de mantenimiento, estos terrenos mejoran la seguridad alimentaria de las familias ya que evaden de mejor forma las heladas tempranas que ocasionalmente se presentan en la región.

El material de depósito que conforma este tipo de terrazas proviene de áreas degradadas, donde bajan escurrimientos

que suelen dañar el muro de contención. Este tipo de sistema agrícola requiere de un mantenimiento permanente, sobre todo después de cada evento de lluvia importante. En la cuenca se observan muchos muros destruidos y el material acumulado, por décadas o siglos de deposición, es arrastrado por los escurrimientos. Este problema se torna crítico por el abandono de los productores, por motivos de la emigración, además de la carencia de vertedores y la falta canales de desvío; o en su caso por diseños inapropiados. Su construcción requiere de piedra braza de pepena, entre más angulosa y de mayor tamaño sea, resistirá mejor el empuje del agua.



Figura 12. Sistemas lama bordo (terrazas en vegas) para el manejo de escurrimientos.

Bordos a nivel

Este tipo de bordería se realiza en terrenos con pendiente natural entre el 5 y 15%, con ella se busca conformar gradualmente una terraza, aprovechando la remoción de suelo que inducen las labores agrícolas y los factores que favorecen la erosión

hídrica. Con el fin de frenar las partículas de suelo y formar fajas de terreno estable se forman bordos de tierra los cuales no se cultivan y para incrementar su permanencia se cubren con vegetación; básicamente nopal y maguey.

Su establecimiento propicia la intercepción de sedimentos y escurrentía en superficie, el aumento de la infiltración y retención de humedad para el establecimiento de especies vegetales de interés específico. Esta práctica, al disminuir la longitud de escurrentía, reduce la capacidad erosiva del escurrimiento y el arrastre de partículas de suelo.

Es un sistema lineal que se conforma, siguiendo curvas de nivel, con el producto de la excavación o movimiento lateral de suelo en forma perpendicular a la pendiente del terreno. Su construcción se realiza con los implementos agrícolas de la maquinaria o manualmente con herramientas; procurando la nivelación de

la excavación, para evitar la concentración de escurrimiento en determinados tramos.

El bordo conformado con el material producto de la excavación se compacta para evitar que los escurrimientos, con el transcurso del tiempo, laven el suelo. En promedio los bordos tienen una altura sobre el nivel del terreno, de 0.4 m, base de 1.2 m y corona de 0.6.

Su mejor funcionamiento ocurre en suelos con más de 60 cm de profundidad, los cuales se encuentran principalmente en áreas de deposición (arrastre hídrico o eólico) con suficiente profundidad de suelo; principalmente en suelos tipo luvisol o feozem.



Figura 13. Bordos a nivel para la conformación de terrazas agrícolas

Terrazas

Las terrazas son un escalonamiento de la ladera, siguiendo curvas de nivel, en que se nivela el terreno, con bulldozer de orugas, por plataformas para su uso agrícola. Esto supone la reducción por completo de la pendiente, con lo que se reduce la

velocidad del escurrimiento, se favorece la infiltración, minimiza la erosión del suelo, se conserva la humedad del suelo, y se facilitan las labores de cultivo. Permiten mecanizar áreas con topografía abrupta, promover el uso intensivo de la tierra, y aumentar los rendimientos.

Requieren de suelos profundos, por lo que se construyen generalmente sobre depósitos de antiguas cenizas volcánicas intemperizadas, los cuales se caracterizan por ser suelos de color rojo (luvisoles) típicos de paisajes con problemas de cárcavas. También se construyen el material de arrastre en las áreas de deposición de abanicos aluviales. El movimiento de tierra que implica su construcción produce suelo de escasa fertilidad que requiere de acciones que

mejoren el contenido de materia orgánica del suelo.

Para facilitar el mantenimiento, la altura vertical de los taludes de la terraza no deben exceder los 2.00 m. Los taludes serán de 1:1 para bancales con maquinaria que utilicen la tierra producto de la excavación (pendiente del terreno entre 10% y 35%). En la región algunas de estas obras se encuentran abandonadas, generalmente por la emigración de los tenedores de los derechos agrarios.



**Figura 14. Formación de terrazas por conformación sucesiva
Bancales de piedra**

Los bancales consisten en el levantamiento de un bordo que se estructura utilizando la piedra que en forma superficial se presenta en la parcela, o se pepeña y acarrea de sitios aledaños. Estos bancales se trazan generalmente en sentido perpendicular a la pendiente o siguiendo los límites de la parcela; lo cual requiere de mayores movimientos de tierra hacia los puntos de cota más baja. La construcción se

estructura con cuatro a cinco “hiladas” de piedra (hasta 1.0 m de altura) se rellenan con suelo de la parcela. Para mejorar la estabilidad del bordo, las piedras se disponen en taludes de 0.5:1. Estos se refuerzan cada año por medio de varios pasos de arado durante la preparación agrícola del terreno, principalmente donde hay concentración de escurrimientos, con la incorporación de una capa de ramas y sobre las que se colocan piedras, así mismo, se siembran

sobre el bordo algunas plantas que se reproducen vegetativamente, como el

chamizo (*Baccharis salicifolia*), carrizo (*Arundo donax*) o pipal (*Erythrina sp.*)



Figura 15. Bancales de piedra acomodada para uso agrícola

Surcado en contorno

El surcado al contorno es una operación común en la región y consiste trazar la trayectoria del surcado en forma transversal a la pendiente del terreno, su uso permite aumentar la infiltración del agua, reducir la erosión hídrica, aumentar la humedad disponible para el crecimiento

de las plantas, y reducir los riesgos de formación de cárcavas y canalillos. Para mantener la funcionalidad de este tipo de práctica mecánica, las operaciones de labranza y de cultivo deberán hacerse siguiendo el contorno establecido. En pendientes superiores al 5%, esta práctica se combina principalmente bordos.



Figura 16. Surcado al contorno en terrenos de ladera

Reforestación.

La reforestación se ha canalizado a los límites de las parcelas agrícolas. No se tiene preferencia por alguna especie y la distancia de siembra entre estas, ya que, en la mayoría de los casos, la reforestación obedece a promociones de entrega de árboles por las instituciones. Las principales especies que se han entregado son: pino, casuarina, cedro blanco y acacia.

Terrenos de agostadero

El manejo de pastizales, consiste en implementar paquetes tecnológicos para las diferentes especies forrajeras, que permitan obtener la mayor producción posible brindando asimismo las condiciones favorables para el buen desarrollo zootécnico de los animales.

Otros aspectos a considerar para mejorar un área destinada para agostadero, son los siguientes:

- El control mecánico, químico, fuego o biológico de especies arbustivas.
- Control de arvenses, matorrales espinoso y/o venenosas.
- Resiembra artificial.
- Sistemas de apacentamiento.
- Modificación de cercos.
- Chapeo
- Control de plagas y depredadores.

Por otra parte, las prácticas mecánicas y culturales que mejoran las condiciones de los pastizales, cuando las condiciones de terreno lo permiten, son el barbecho, poceras, rodillo aireador, desarrollo de

aguajes, desenraice, manejo de microcuencas y surcado lister.

El manejo del pastoreo es otro punto importante para obtener una mayor producción ganadera. Su objetivo es permitir el descanso y manejo de la sucesión vegetal en potreros diversos, lo que se logra con un pastoreo rotacional durante la época de crecimiento y continuo durante los períodos secos y de invierno.

Los sistemas de pastoreo rotacional mejoran la condición del pastizal y el coeficiente de agostadero, lo que a su vez aumentan la producción forrajera dentro de una condición del pastizal, incrementando la producción del ganado y dirigiendo los estadios de sucesión mediante la consecución del policlímax del agostadero en sus componentes bióticos y abióticos.

En el caso de los sistemas de pastoreo continuo, la producción extensiva mantiene a todos los animales en un solo potrero y sin gran inversión para el logro de los beneficios.

Un aspecto importante a considerar para incrementar la producción forrajera es el manejo de los escurrimientos a través de obras de captación de humedad, para mantener mejores contenido de agua del suelo además de reducir la erosión de los suelos. Entre las obras de captación de humedad, que se observan en la región se tienen: terrazas de conservación, zanjas

bordo, pretilos, subsoleo, tinas ciegas, presas de retención de azolves.

Terrazas de conservación

Este tipo de terrazas se construyen para mejorar el establecimiento de especies vegetales perennes de interés pecuario; las cuales se alinean dentro del bordo o zanja que conforman a una terraza. La práctica es recomendada en áreas con pendientes hasta del 15%; arriba de esta inclinación deben combinarse con otra actividad de manejo de conservación de suelos.

Su implementación brinda estabilidad al suelo, reduce la longitud de la pendiente, minimiza los escurrimientos de agua, previene la formación de cárcavas, aumenta la infiltración y logra concentrar la humedad por más tiempo en el suelo para el mejor desarrollo de la vegetación.



En terrenos de pastizal, las terrazas construidas en la región, se ha ubicado en depósitos sedimentarios con capas de caliche (fondos de antiguos lagos expuestos por movimientos tectónicos), difíciles para el enraizamiento de especies vegetales inducidas pero altamente productoras de sedimentos para la conformación paulatina de la terraza. En este tipo de suelo las terrazas suelen requerir el roturado del caliche para mejorar las condiciones de infiltración y disponibilidad de agua en el suelo.

Esta obra se construye con *bulldozer* y subsolador (*ripper*) integrado. Su ubicación corresponde a terrenos comunales, al no ser de interés agrícola, generalmente se encuentran dañadas algunas secciones de la terraza por falta de mantenimiento.



Figura 17. Terrazas de conservación en agostaderos

Zanjas bordo

Consiste en un conjunto de zanjas perpendiculares a la pendiente del terreno

y de una longitud igual al ancho de la parcela. Su función es reducir la erosión laminar, coleccionar los sedimentos arrastrados, interceptar los escurrimientos

superficiales procedentes de las cotas superiores (evitando escurrimientos laterales), e incrementar la infiltración del agua de lluvia.

Estas obras se realizan en terrenos de agostadero con pastizal ralo, asociados principalmente a suelos delgados como litosoles, rendzinas y regosoles. Esta práctica mecánica se adapta a terrenos con pendientes de 5 a 40 %.

Una variante son las zanjas trinchera, donde se dejan tabiques divisores (1.0m) cada 10 metros lineales de zanja para controlar el flujo lateral del agua y facilitar el tránsito de ganado mayor.

Su construcción se realiza con retroexcavadora y consisten de excavaciones, de 0.4 m de profundidad y ancho, que se realizan en forma continua a lo largo de la ladera siguiendo curvas de nivel, donde el volumen excavado se

coloca aguas abajo para conformar un bordo de aproximadamente 30 cm de altura; el cual se debe compactar.

La separación entre zanjas varía entre 10 y 30 m, en función de las características del suelo y la pendiente. Para conocer la separación precisa entre las líneas de zanjas, es necesario conocer la lámina de escurrimiento, que se genera en la ladera, para una eficiencia de captación del 50% y una lluvia máxima en 24 horas para un período de retorno de 5 años.

Este sistema ayuda a la producción pascícola del agostadero en fajas, el cual combina plantaciones de especies nativas (pastos y leguminosas arbustivas) en el interior de la zanja o la cresta del bordo. En términos absolutos la cantidad y calidad del pasto es mejor en los bordos, debido a la acumulación del suelo y humedad en la superficie.



Figura 18. Zanjas bordo en terrenos de agostadero

Pretilos

Es una práctica para manejo de agostaderos que consiste en la colocación

línea de piedra braza cuatrapeadas, siguiendo curvas a nivel, y distribuidas de forma transversa a la pendiente predominante del terreno.

Su implementación disminuye la velocidad de los escurrimientos en terrenos de ladera, incrementa la infiltración de agua y capta los sedimentos producidos. Tienen la ventaja de favorecer la disponibilidad de humedad para los pastos y disminuye la erosión

Es una solución sencilla en predios con pendientes superiores al 10% que se dedican al pastoreo y que disponen de

piedra braza suficiente para su elaboración; como es el caso de los litosoles, regosoles y rendzinas; suelos muy comunes en la cuenca del río Mixteco. El muro al bajar la velocidad del agua favorece la filtración, retiene el suelo y la materia orgánica lo que favorece condiciones para el desarrollo de los pastos.

En función de la pendiente la separación entre líneas va de 10 a 20 m. Los petriles tienen forma cuadrangular o rectangular de 30 a 40 cm de alto por 30 o 40 cm de grosor perpendicularmente a lo largo de todo el terreno.



Figura 19. Petriles de piedra acomodada en terrenos de agostadero.

Subsoleo

Se refiere a la roturación en franjas de ancho variable de una capa compactada, intemperizada o cementada, generalmente de caliche superficial o sub-superficial. Esta práctica facilita la repoblación de especies de interés (introducidas o nativas) o de vegetación

espontánea (principalmente pastos) al permitir a las raíces explorar estratos más profundos y facilitar en la línea de roturación la infiltración.

Su uso más eficiente se observa en terrenos con capas de caliche (estratos de ceniza volcánica cementada). Su

implementación disminuye la longitud y la velocidad del escurrimiento superficial y aumenta la rugosidad, lo que disminuye la movilización de sedimentos ladera abajo.

Estas roturaciones se realizaron con maquinaria (bulldozer con ripper integrado) en áreas desprovistas de vegetación. La distancia entre líneas de roturación depende de la pendiente del terreno.

Esta es una práctica mecánica para el mejoramiento de los agostaderos, generalmente combinadas con sistemas de zanjas o terrazas para efectuar las repoblaciones. No ha sido una práctica muy exitosa para la conversión de terrenos de pastoreo a forestales; sobre todo por la elección de las especies y el pastoreo.

Tinas ciegas

Son excavaciones en curvas de nivel para capturar la escorrentía procedente de las cotas superiores, con el fin de establecer vegetación perenne y controlar la erosión laminar. Su implementación permite interceptar los escurrimientos superficiales, propiciar la infiltración del agua al subsuelo, atenuar las condiciones que propician erosión hídrica y mejorar las

condiciones de humedad para el prendimiento de plantaciones establecidas en laderas.

Esta obra se realiza manualmente con herramientas o con maquinaria y siguiendo una curva de nivel. Sus dimensiones varían según la profundidad del terreno, pero en general se recomienda una profundidad de 0.4 a 0.5 m, un ancho de 0.4 a 0.5 m y una longitud de 2 m (captación de 0.32 a 0.5 m³ de agua por tina). Entre línea de tinas deberán estar separadas por un tabique ciego de 2 metros y distribuidas en forma alterna o al tres bolillo.

La distancia entre hileras está determinada por el escurrimiento superficial que se pretenda captar, lo cual se ve afectado por la vegetación, la pendiente, el tipo y uso del suelo y precipitación del lugar; básicamente para que capte la mitad de los escurrimientos para una precipitación máxima en 24 horas, con un período de retorno de cinco años.

Su uso debe estar condicionado en los suelos tipo luvisol, con paisajes de cárcavas, ya que la saturación hídrica del perfil de suelo puede favorecer los movimientos en masa.



Figura 20. Tinajas ciegas en terrenos de agostadero.

Presas de retención de azolve

Son estructura de gravedad que se colocan transversalmente al flujo del agua o escurrimiento. Para el control de cárcavas, de construcción reciente, se observan presas de retención de azolve de mampostería, piedra acomodada y gaviones (estructura compuesta de bloque conformado por malla metálica hexagonal, de alambre galvanizado con doble torsión). Su uso se restringe a la disponibilidad de piedra para pepena.

Este tipo de obra permite retener sedimentos, incrementar la infiltración en

el cauce, disminuir la velocidad del agua, estabilizar los lechos de cárcavas, y evitar el azolvamiento de estructuras hidro-agrícolas aguas abajo.

Estas estructuras de retención cuentan con un vertedor centrado, generalmente de $1/3$ del ancho del cauce. En la cara inferior de la presa, en caso de no haber un lecho rocoso se acompañan de un delantal de piedra.

Las presas de mampostería y las de gavión se realizan en corriente de segundo orden, es decir en corrientes con mayor caudal, y las presas de piedra acomodada en corrientes de primer orden.



Figura 21. Presas de retención de azolve para la conservación de la humedad

Módulos de trasplante para plantas de interés forrajero

Con la finalidad de orientar nuevas actitudes de los productores hacia sus agostaderos el Proyecto GEF-Mixteca ha establecido tres comunidades para promover, a nivel regional, los beneficios del manejo en agostaderos. Las comunidades seleccionadas se caracterizan por 1) presentar pastoreo extensivo, principalmente con caprinos; 2) ser representadas por autoridades interesadas en la mejora de sus agostaderos; 3) haber realizado alguna obra para la conservación de suelo y humedad en sus agostaderos; y 4) ser localidades representativas, en términos climáticos y edáficos, de las condiciones prevaletentes en la cuenca del Río Mixteco.

Las comunidades participantes son: 1) San Marcos Arteaga, representada por su comisariado ejidal el Sr. Omar Corro Espinosa; 2) Rancho Dolores del municipio de Huajuapán de León, representada por el Ing. Pedro Donaciano Guerrero Cruz; y 3) San Andrés Lagunas, representada por su presidente municipal el Sr. Octavio Ortíz Osorio. En estas comunidades se busca, a mediano plazo: 1) mostrar la capacidad forrajera de otras especies vegetales, 2) que sirvan como foco para la propagación de nueva planta, 3) que los pequeños ganaderos dispongan de forraje suficiente en terrenos cercanos a sus corrales, de preferencia en los pies de monte, y 4) sobretodo, reducir el pastoreo en terrenos cubiertos con vegetación natural.

Asociación Pasto banderita y leucaena

En recorridos por los agostaderos de la cuenca se observa la presencia generalizada de pastos del género *Bouteloua* (*Bouteloua radicata*,

Bouteloua repens, *Bouteloua scorpioides*, *Bouteloua uniflora*) y de guaje rojo (*Leucaena esculenta*). En base a las experiencias en zonas semiáridas del país (ver Anexo **¡Error! No se encuentra el rígen de la referencia.**) se propuso fomentar en la región la propagación del pasto banderita (*Bouteloua Curtipendula*), el cual reporta buena adaptación a la sequía, buenos rendimientos de forraje y aceptable producción de proteína. Por otra parte, el huaje (*Leucaena leucocephala*)⁴ se seleccionó para su propagación por ser una leguminosa con excelentes propiedades forrajeras y por ser nativa de México.

Esta asociación pasto-leguminosa se considera una alternativa para que los pequeños ganaderos dispongan de forraje suficiente en terrenos cercanos sus apriscos, de preferencia en los pies de monte, a fin de reducir el pastoreo en terrenos cubiertos por vegetación natural y disponer de bancos proteicos cercanos a las comunidades.

⁴ Ficha técnica de la CONAFOR disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/939Leucaena%20leucocephala.pdf>
Ficha informativa de la CONABIO disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/mimosaceae/leucaena-leucocephala/fichas/ficha.htm>

A los tres módulos se les otorgó plántula de huaje (*Leucaena leucocephala*) y pasto banderita (*Bouteloua Curtipendula*) para demostrar el beneficio de asociar gramíneas, leguminosas arbustivas y obras de conservación tales como zanja bordo, tinas ciegas, barreras de piedra acomodada y zanjas trinchera. En el Cuadro 27 se muestra la cantidad de material vegetativo que fue entregado, a nombre del Proyecto GEF-Mixteca, a las comunidades o módulos seleccionados.

Cuadro 27. Plántula de huaje (*Leucaena leucocephala*) y pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) recibida por comunidad.

Comunidad	Leucaena	Banderita	Fecha
SMA	1,080	1,000	17/06/13
SMA	108	--	27/06/13
RD	1,224	1,000	27/06/13
SAL	1,152	1,000	27/06/13
SMA	455	--	25/07/13
SAL	432	--	25/07/13
RD	220	310	26/07/13
Totales	4,671	3,310	

SMA (San Márcos Aretaga), RD (Rancho Dolores), SAL (San Andrés Lagunas).

Durante la entrega del material se hizo énfasis a sus representantes del oportuno trasplante de la planta entregada y del compromiso que adquirirían para aprovechar la estación de lluvias para el establecimiento de la planta y de procurar su buen desarrollo, principalmente evitando el pastoreo en el sitio

seleccionado. En el Anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las actas de entrega del material vegetativo correspondiente.

La leucaena, por ser una planta arbustiva, se recomendó su trasplante a una densidad de 5,000 plt/ha (a través de surcos pareados cada 3.5 m) y el pasto banderita, con fines de propagación, se recomendó su plantación cada 0.5 m (entre los surcos pareados y a una densidad de 35,000 plt/ha), ver Figura 22. A fin incrementar las posibilidades de establecimiento estos lotes, el trasplante se ejecutó en sitios donde la comunidad ha realizado alguna práctica de conservación de suelo y humedad, tales como zanja bordo, tinas ciegas o barreras de piedra acomodada o zanjas trinchera. El objetivo de estos sitios es mostrar la capacidad forrajera de la asociación propuesta y que eventualmente sirvan como foco de propagación para nueva planta. Asimismo, busca resaltar la bondad de las prácticas de conservación para incrementar y mejorar la producción de forraje de los agostaderos.

En estos módulos se tomaron muestras de suelo, para conocer sus propiedades físicas y químicas, y se aplicaron en cuevas a los productores pecuarios para conocer sus hábitos de pastoreo.

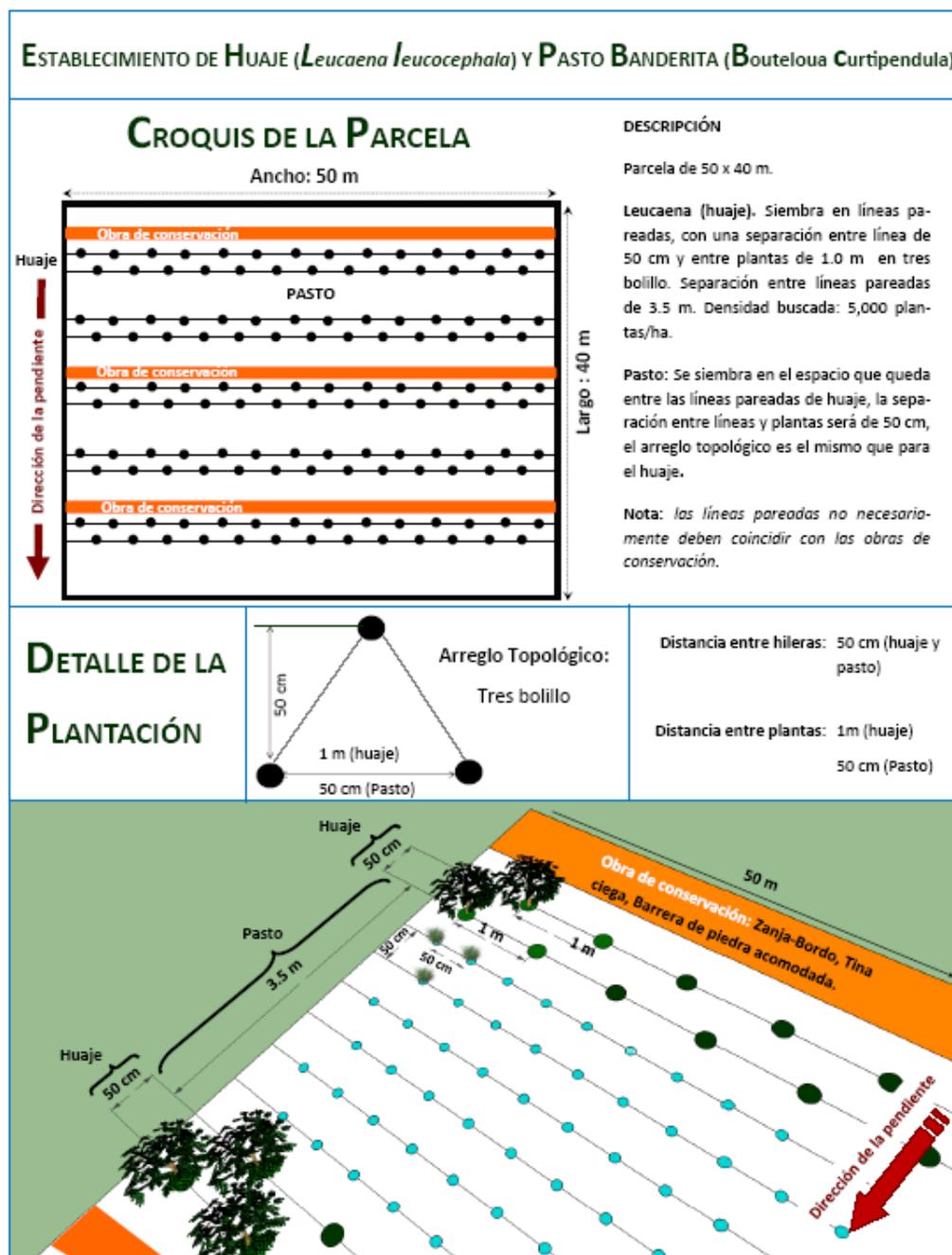


Figura 22. Arreglo topológico para el establecimiento de leucaena (huaje) y pasto bandera.

Lotes para monitorear la producción de forraje

En los tres módulos se establecieron lotes

Para evitar el pastoreo de los animales, en los lotes de observación, de cada módulo, se efectuaron exclusiones de 1m² y

de observación para evaluar la producción de forraje de pastos nativos y de pasto bandera. Estos se ubicaron en laderas usadas para agostar ganado.

protegidas con tela de gallinero de un metro de altura. Se buscó que los lotes (Cuadro 28), dentro de cada módulo, se

ubicaran en sitios con influencia de alguna obra de conservación de agua y suelo previamente establecida (zanjas bordo, tinas ciega, zanjas trinchera, o barrera de piedra acomodada). Dentro de cada lote, la mitad de la superficie se conservó el pasto natural del agostadero y la otra parte se sembró con pasto banderita (*bouteloua curtipendula*), para comparar su rendimiento de forraje respecto a los pastos locales.

Los tratamientos se establecieron en pares, una repetición, bajo diferentes condiciones de manejo, para confirmar los

resultados. Durante la floración se identificaron las especies de pasto que crecieron en su interior y al final del período de lluvias se registró la producción de biomasa de los pastos.

En la Figura 23 a la Figura 27 se muestran los esquemas de monitoreo para cada una de las diferentes prácticas de manejo analizadas. La Figura 17 muestra lotes de San Marcos Arteaga, con dos repeticiones, sin práctica de conservación de suelos y humedad.

Cuadro 28. Lotes para monitorear la producción de biomasa de pastos nativos y pasto banderita.

Módulo	Paraje	Latitud	Longitud	Pasto nativo	Práctica
San Marcos Arteaga	Secundaria	17.72289	-97.87355	<i>Aristida divaricata</i>	Zanjas trinchera
				<i>Aristida divaricata</i>	Sin práctica
	Invernaderos	17.73373	-97.86788	<i>Andropogon jerardi</i>	Sin práctica
	Loma	17.71477	-97.88939	<i>Bouteloua radicata</i>	Sin práctica
Rancho Dolores	Tobalá	17.85588	-97.75622	<i>Melinis repens</i>	Zanjas bordo
				<i>Melinis repens</i>	Sin práctica
	Los Novillos	17.84301	-97.75867	<i>Heteropogon contortus</i>	Zanjas bordo
		17.84301	-97.75867	<i>Bouteloua radicata</i>	Sin práctica
San Andrés Lagunas	Cabecera	17.57875	-97.50896	<i>Aristida divaricata</i>	Tinas ciega
				<i>Bouteloua radicata</i>	Sin práctica
	El Panteón	17.57658	-97.52514	<i>Bouteloua radicata</i>	Piedra acomodada
				<i>Aristida ternipes</i>	Sin práctica

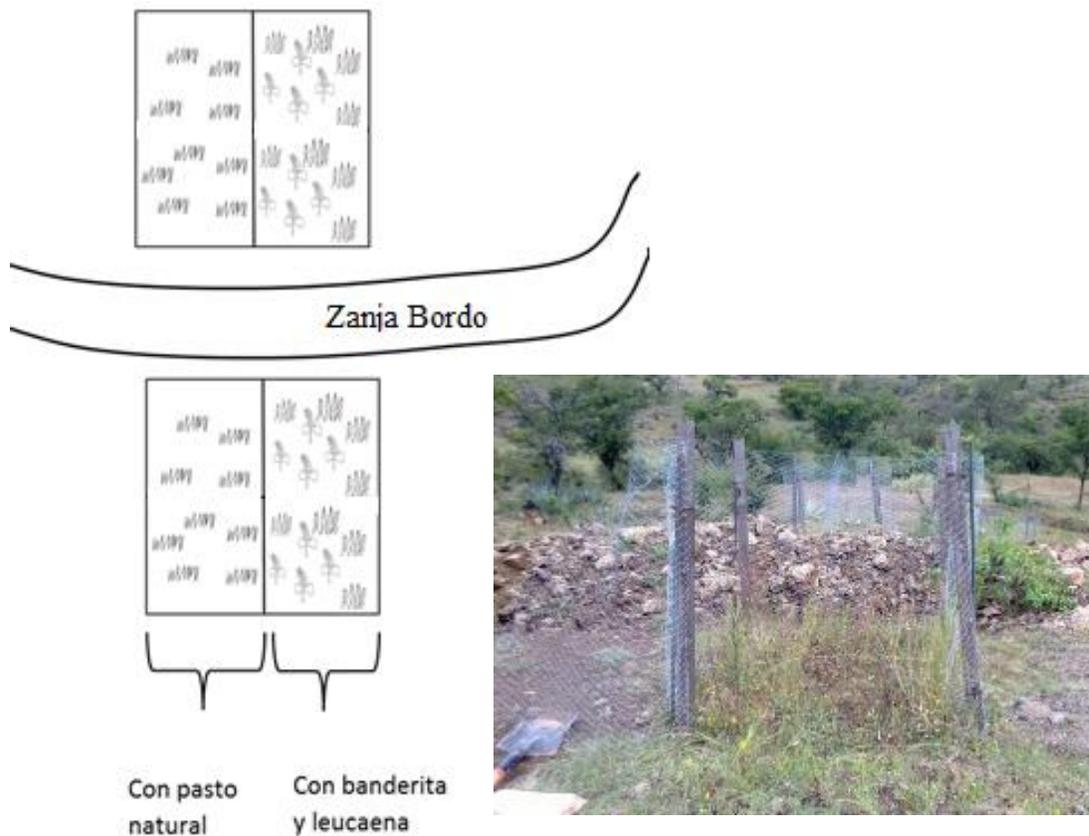


Figura 23. Esquema de monitoreo en zanja bordo. Rancho Dolores.

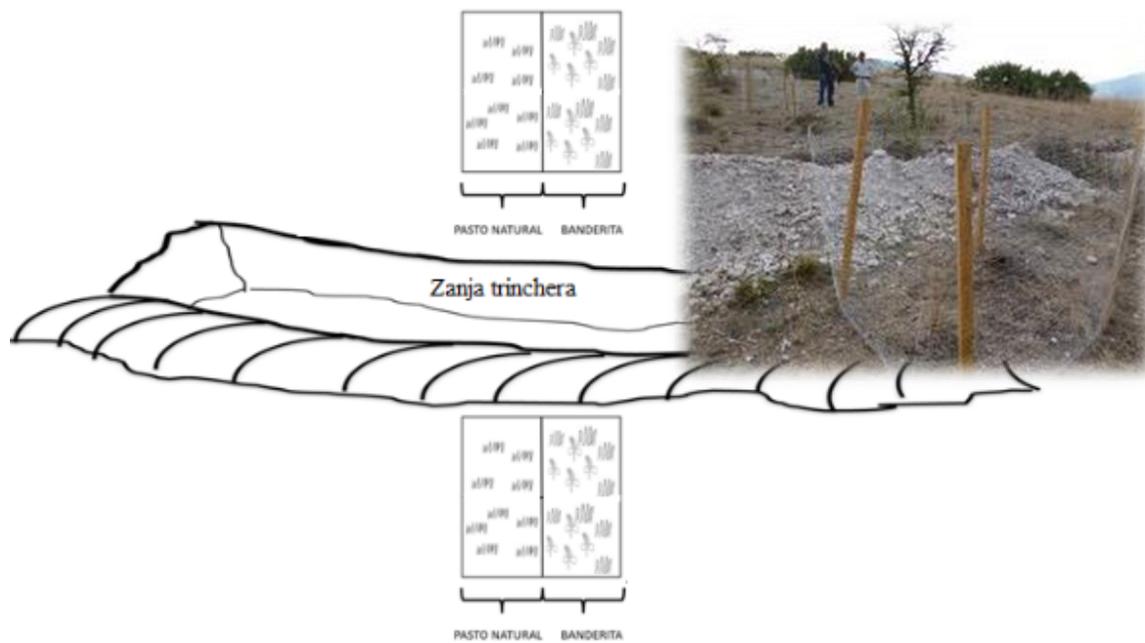


Figura 24. Esquema de monitoreo en zanja trinchera. San Marcos Arteaga.



Figura 25. Esquema de monitoreo en Tinas ciegas. San Andrés Lagunas.

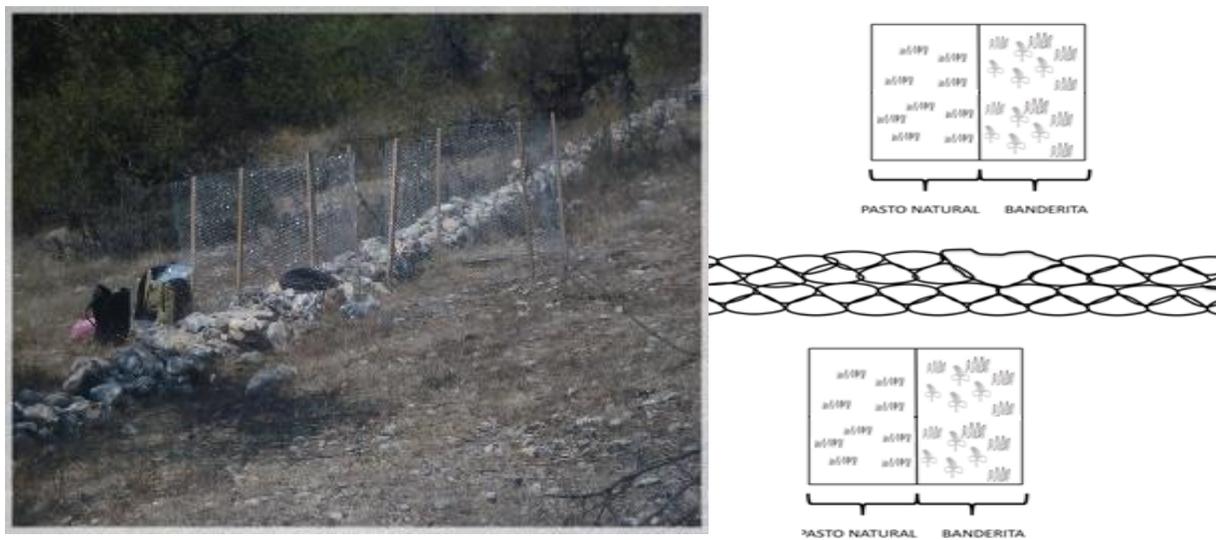


Figura 26. Esquema de monitoreo en barreras de piedra acomodada. San Andrés Lagunas.

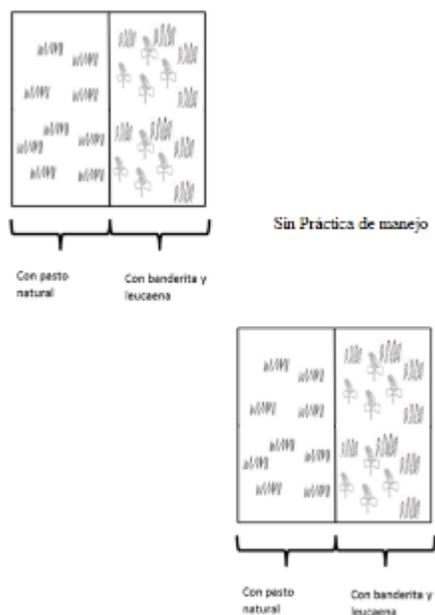


Figura 27. Esquema experimental en sitios sin prácticas de manejo. San Marcos Arteaga.

Estimación de biomasa por unidad de superficie: método directo.

Originalmente se planteó registrar el incremento de biomasa del pasto banderita, sin embargo el inicio de la temporada de lluvias fue muy irregular y la planta no desarrolló satisfactoriamente. Se considera que un ciclo adicional será suficiente para que la planta enraíce de mejor forma y las estimaciones de biomasa sean más representativas de la capacidad productiva de *Bouteloua Curtipendula*.

En la última semana del mes de octubre se procedió a estimar la producción de biomasa en los terrenos de agostadero. Par este fin se midió la superficie del área a muestrear, generalmente esta correspondió a la superficie de los lotes de seguimiento (1.0 m²). En las áreas de muestreo, fuera de los lotes, se buscó que los sitios estuvieran cubiertos de pasto lo

más homogéneamente posible. De cada sitio se obtuvo la ubicación, práctica de conservación asociada, se cortó el pasto con todo y raíz y se colocó este en sobres de papel. El contenido de cada sobre fue deshidratado en estufa durante 3 días a 60 °C. Una vez secas las muestras se pesó por separado la raíz y el forraje (biomasa aérea). Con los datos medidos de biomasa aérea y la superficie de cada muestra se procedió a determinar el rendimiento de materia seca por hectárea (t/ha) como se muestra en el Cuadro 29. En el Cuadro 30 se presenta un resumen, por módulo, de los pastos observados, su ubicación relativa, respecto a las obras de conservación asociada, y los rendimientos de forraje observados.

Cuadro 29. Características de los sitios donde se evaluó la producción de biomasa en pastos naturales.

Loc.	Módulo	Nombre científico	Área (m ²)	Planta (g)		Ubicación en el módulo	Biomasa (t/ha)			Ubicación		Práctica de Conservación	Valor Forrajero
				Raíz	Forraje		Raíz	Forraje	Total	Latitud	longitud		
Rancho Dolores	Exclusión	<i>Heteropogon contortus</i>	0.5	31.5	145.6	Abajo de la obra	0.32	1.46	1.77	17.843296	-97.758734	Zanja Bordo	Regular a bueno
		<i>Bouteloua radicata</i>	0.5	12.2	53.1	Arriba de la obra	0.12	0.53	0.65	17.843278	-97.758744		Bueno
	Tobalá	<i>Melinis repens</i>	1	39.8	190.8	Arriba de la obra	0.40	1.91	2.31	17.848524	-97.762577		Malo a medio
		<i>Melinis repens</i>	1	81.2	273.4	Media	0.81	2.73	3.55	17.848508	-97.762574		Malo a medio
		<i>Melinis repens</i>	1	102.3	387.4	Baja	1.02	3.87	4.90	17.848522	-97.762563		Malo a medio
		<i>Melinis repens</i>	1	349.4	640.4	Sobre la zanja bordo	3.49	6.40	9.90	17.848572	-97.762565		Malo a medio
		<i>Melinis repens</i>	1	600.2	775.7	Arriba del bordo	6.00	7.76	13.76	17.848502	-97.762586		Malo a medio
		<i>Melinis repens</i>	1	151.3	452.9	Media	1.51	4.53	6.04	17.848599	-97.762619		Malo a medio
		<i>Melinis repens</i>	1	111.8	401.6	Baja	1.12	4.02	5.13	17.848615	-97.762624		Malo a medio
		<i>Melinis repens</i>	1	125.7	249.2	Sobre la zanja bordo	1.26	2.49	3.75	17.848615	-97.762624		Malo a medio
Zanja Bordo	<i>Heteropogon contortus</i>	0.5	37.3	113.2	Arriba	0.37	1.13	1.51	17.843296	-97.758742	Regular a bueno		
	<i>Andropogon jerardi</i>	0.5	32.2	90.4	Baja	0.32	0.90	1.23	17.843288	-97.758741	Bueno		
RR	-----	<i>Heteropogon contortus</i>	1	31.8	581.4	Dominante	0.32	5.81	6.13	17.853824	-97.771872		Regular a bueno
San Andrés Lagunas	Exclusión	<i>Bothriochloa laguroides</i>	1	64	163.4		0.64	1.63	2.27	17.573305	-97.515898		Bueno
	Exclusión	<i>Bothriochloa laguroides</i>	1	94.8	241.6		0.95	2.42	3.36	17.573305	-97.515898		Bueno
	Módulo	<i>Andropogon hirtiflorus</i>	1	93.7	317.3	Dominante	0.94	3.17	4.11	17.573043	-97.51583	Piedra acomodada	Bueno
		<i>Aristida californica</i>	0.25	47.5	72.2	Dominante	0.48	0.72	1.20	17.578205	-97.525259		Bueno
	-----	<i>Melinis repens</i>	1	72.4	138.4	Dominante	0.72	1.38	2.11	17.652406	-97.562124		Malo a medio
		<i>Aristida divaricata</i>	1	75.2	224.5	Dominante	0.75	2.25	3.00	17.634445	-97.541476	Camino	Mala a regular
	Pretilles	<i>Bouteloua radicata</i>	1	51.6	46.1	Arriba	0.52	0.46	0.98	17.57798	-97.508833	Piedra acomodada	Bueno
		<i>Bouteloua radicata</i>	0.5	14.7	22.1	Media	0.15	0.22	0.37	17.577984	-97.508839		Bueno
		<i>Aristida ternipes</i>	0.5	0.3	10.6	Baja	0.00	0.11	0.11	17.578303	-97.508962		Regular
	Tinas Ciegas	<i>Aristida divaricata</i>	0.25	34.4	33.1	Arriba	0.34	0.33	0.68	17.577771	-97.525306	Tinas ciega	Mala a regular
<i>Bouteloua radicata</i>		0.25	29.8	20.1	Media	0.30	0.20	0.50	17.57666	-97.523607	Bueno		
<i>Aristida divaricata</i>		0.25	42.4	40.1	Abajo	0.42	0.40	0.83	17.577789	-97.523607	Mala a regular		
sereno		<i>Andropogon jerardi</i>	0.25	45.7	78.5	Arriba	0.46	0.79	1.24	17.732663	-97.867838	Ninguna	Bueno

Loc.	Módulo	Nombre científico	Área (m ²)	Planta (g)		Ubicación en el módulo	Biomasa (t/ha)			Ubicación		Práctica de Conservación	Valor Forrajero
				Raíz	Forraje		Raíz	Forraje	Total	Latitud	longitud		
	Cerro	<i>Aristida ternipes</i>	1	32.5	73.4	Abajo	0.33	0.73	1.06	17.733211	-97.867632	Zanjas trinchera	Regular
		<i>Andropogon jerardi</i>	0.5	98.8	251.5	Dominante	0.99	2.52	3.50	17.732982	-97.865711		Bueno
		<i>Bouteloua radicata</i>	0.5	56.5	60.4		0.57	0.60	1.17	17.722438	-97.891777		Bueno
		<i>Bouteloua uniflora</i>	0.5	70.7	268.2		0.71	2.68	3.39	17.723103	-97.892429		Bueno excelente ^a
		<i>Eleusine indica</i>	1	-	217.9			2.18	2.18	17.73347	-97.86787		Regular a bueno
	Telesecundaria	<i>Aristida divaricata</i>	1	20	364.4	Dominante	0.20	3.64	3.84	17.72308	-97.87405		Mala a regular
		<i>Aristida californica</i>	1	64.5	100.5	Arriba	0.65	1.01	1.65	17.72309	-97.87407		Bueno
		<i>Bouteloua radicata</i>	1	57.4	205.3	Abajo	0.57	2.05	2.63	17.72310	-97.87409		Bueno
			1	27.1	164.3	Media	0.54	1.64	2.19	17.72311	-97.87411		
		<i>Aristida divaricata</i>	1	46.3	105.1	Arriba	0.93	1.05	1.98	17.72312	-97.87413		Mala a regular
		<i>Aristida ternipes</i>	1	170.5	375.2	Abajo	3.41	3.75	7.16	17.72313	-97.87415		Regular
		<i>Aristida californica</i>	1	76.4	212.8	Media	1.53	2.13	3.66	17.72314	-97.87417		Bueno
		<i>Aristida divaricata</i>	1	9.72	133.4	Dominante	0.19	1.33	1.53	17.72315	-97.87421		Mala a regular
	Promedio							0.88	2.07	2.93			

Cuadro 30. Producción de biomasa de pastos dominantes en módulos establecidos con obras de conservación de suelo y agua.

Localidad	Módulo	Dominante	Práctica	Interpretación del inventario de biomasa
Rancho Dolores	Tobalá	<i>Melinis repens</i>	Zanjas bordo	En la exclusión del módulo, la producción de biomasa total de <i>bouteloua uniflora</i> fue de 0.65 t/ha/año. En éste módulo el pasto dominante es <i>melinis repens</i> y su producción de biomasa arriba, en medio, abajo y sobre el bordo de las zanjas es de 2.31, 3.55, 4.9 y 9.90 t/ha/año, respectivamente. De una repetición del muestreo de <i>melinis repens</i> en el módulo se obtuvo una producción de biomasa de 3.76, 6.04, 5.13 y 3.75 t/ha/año, respectivamente. Por lo tanto, se observa que la producción de biomasa se relaciona directamente con la conservación de humedad de las zanjas bordo; mientras que el mayor registro de producción de biomasa se explica por la mayor profundidad de las raíces en el bordo de la zanja.
Rancho Dolores	Zanjas bordo	<i>Heteropogon contortus</i>	Zanjas bordo	El pasto dominante en el módulo es <i>Heteropogon contortus</i> , la producción de biomasa total en el sitio fue de 6.13 t/ha/año. En la exclusión arriba y entre las zanjas bordo se encontró <i>Heteropogon contortus</i> con una producción de biomasa total anual de 1.51 y 1.54 t/ha y en exclusión debajo de la obra <i>Andropogon jerardi</i> con 1.23 t/ha/año. Nota: No se tomaron muestras de las <i>Boutelouas</i> spp en las exclusiones porque no se desarrollaron. Es importante destacar que la producción de biomasa no es real porque el sitio fue pastoreado.
San Andrés Lagunas	El Panteón	<i>Aristida divaricata</i>	Tinas ciegas	El pasto dominante en el módulo es <i>Aristida divaricata</i> con una producción de biomasa de 1.2 t/ha/año. Arriba y abajo de las tinas ciegas el pasto dominante es <i>A. divaricata</i> , mientras que entre las tinas ciegas es <i>Bouteloua radicata</i> , la producción de biomasa total anual de estos pastos es 0.33, 0.4 y 0.2 t/ha. Se

				observa que para <i>A. divaricata</i> la producción de biomasa es mayor debajo de las tinas ciegas por la concentración de humedad.
San Andrés Lagunas	Cabecera	<i>Andropogon hirtiflorus</i>	Piedra acomodada	El pasto dominante en el módulo es <i>Andropogon hirtiflorus</i> con una producción de biomasa total anual de 3.17 t/ha/año. Arriba y entre los bordos de piedra la producción de biomasa que corresponde a <i>Bouteloua radicata</i> es de 0.46 y 0.22 t/ha/año, en esta muestra no hay correlación entre la producción de biomasa por dos razones: la protección del área de exclusión fue <u>eliminado</u> y además fue pastoreada.
San Marcos Arteaga	Santa Cecilia	<i>Andropogon jerardi</i>	-	Los pastos dominantes en el sitio es <i>Andropogon jerardi</i> , con una producción de biomasa total anual de 3.5 t/ha. Arriba del área de exclusión domina <i>A. jerardi</i> con una producción de biomasa total anual de 1.24 t/ha y en la parte baja <i>Aristida ternipes</i> con 1.06 t/ha de biomasa total anual. Destaca que el sitio de muestreo es pastoreado continuamente por ganado ovino.
San Marcos Arteaga	Cerro		-	En este sitio se consideró a los pastos dominantes: <i>Bouteloua radicata</i> , <i>Bouteloua uniflora</i> y <i>Eleusine indica</i> , la producción total de biomasa anual de estos pastos fue 1.17, 3.39 y 2.18 t/ha, respectivamente. En el sitio no existe evidencia de pastoreo.
San Marcos Arteaga	Telesecundaria	<i>Aristida divaricata</i>	Zanjas trinchera	El pasto dominante en el módulo es <i>Aristida divaricata</i> , con una producción anual de biomasa de 3.84 t/ha. Arriba de la obra la biomasa total anual de <i>Aristida californica</i> es de 1.65 t/ha, entre las zanjas trinchera <i>A. divaricata</i> con 2.19 t/ha y abajo <i>Bouteloua radicata</i> con 2.63 t/ha; se realizó una repetición del muestreo y se obtuvo que arriba de las zanjas trincheras domina <i>A. divaricata</i> , en la parte media <i>A. californica</i> y abajo <i>A. ternipes</i> con una producción de biomasa total anual de 1.05, 2.13 y 3.75 t/ha, respectivamente.

Los pastos dominantes en los módulos de Rancho Dolores son: *Heteropogon contortus* y *Melinis repens*, en ambos módulos existen zanjas trincheras, con una producción de biomasa aérea anual de 5.81 y 7.76 t/ha en la parte baja de las zanjas trincheras, respectivamente; mientras que en la parte de arriba de las mismas y donde no existe influencia de las zanjas trincheras la producción de biomasa aérea anual es menor en donde las zanjas trincheras no tienen influencia, 1.13 y 1.91 t/ha para *H. contortus* y *M. repens*, respectivamente.

En el camino de Tamazulapan del Progreso a San Andrés Lagunas, los pastos dominantes son *M. repens* y *Aristida divaricata* con una producción de biomasa aérea de 1.38 y 2.25 t/ha, respectivamente. En el módulo donde existen tinajas ciegas el pasto dominante es *A. divaricata* y en los bordos de piedra acomodada *Andropogon hirtiflorus*, la producción de biomasa aérea anual de estos pastos es de 0.72 y 3.17 t/ha. Con base en estos resultados, la menor producción de biomasa de *A. divaricata*, en los bordos de piedra, es por el efecto de la temperatura y suelos muy delgados.

En San Marcos Arteaga, el pasto dominante en el módulo de Santa Cecilia es *Andropogon jerardi* con una producción de biomasa aérea anual de 2.52 t/ha; en el módulo de la telesecundaria es *Aristida divaricata* con una biomasa 3.64 y 1.33 t/ha, la mayor producción de biomasa se explica por la influencia de las zanjas trincheras. Nota: el segundo muestreo de *A. divaricata*

se realizó en el tanque de agua donde existen zanjas trincheras.

La mayor cantidad de biomasa aérea de *M. repens* se registró en Rancho Dolores donde el clima es semicálido y se comparó con San Andrés Lagunas donde el clima es templado (y también es dominante), la cantidad de biomasa es menor por efecto en el descenso de la temperatura. Destaca que *M. repens* es el pasto dominante como ruderal, arvense, en pastizales perturbados y claros de bosques en la cuenca de estudio.

Biomasa asociada a las prácticas de conservación

Para los pastos nativos se encontraron diferencias significativas en la producción de materia seca, tanto para raíz como para forraje, de acuerdo al tipo de prácticas de conservación utilizada; la mayor producción de materia seca se alcanza en las áreas que están trabajadas con sistemas de zanja bordo y zanja trincheras (Cuadro 31), donde se puede alcanzar rendimientos promedio superiores a 4 t/ha. Contrario a lo que se esperaba, la producción de biomasa es mayor en aquellas áreas que no se trabajan con prácticas de conservación⁵ en comparación con las que se trabajan con tinajas ciegas y/o pretilas, este comportamiento no necesariamente refleja ineficiencia de las prácticas, sino la calidad

⁵ La producción de forraje para los sitios sin prácticas de conservación se hace sin considerar aquellas áreas que están marcadas con exclusión.

de los sitios (profundidad de los suelos y lo cálido de la temperatura ambiental) donde se establecen las mismas, tal como lo

demuestra el rendimiento de biomasa de raíz en los sitios con barreras de piedra (Figura 28).

Cuadro 31. Producción de materia seca de pasto

Práctica	Rendimiento de materia seca (t/ha)		
	Raíz	Follaje	Total
Pretilos	0.222 A ⁶	0.263 A	0.485 A
Tinas Ciegas	0.355 A	0.311 A	0.666 A
Sin práctica	0.411 A	1.397 B	1.808 B
Promedio	0.990 B	2.003 C	2.993 C
Z. Trinchera	1.271 C	1.939 C	3.210 C
Zanja-Bordo	1.483 C	3.250 D	4.733 D

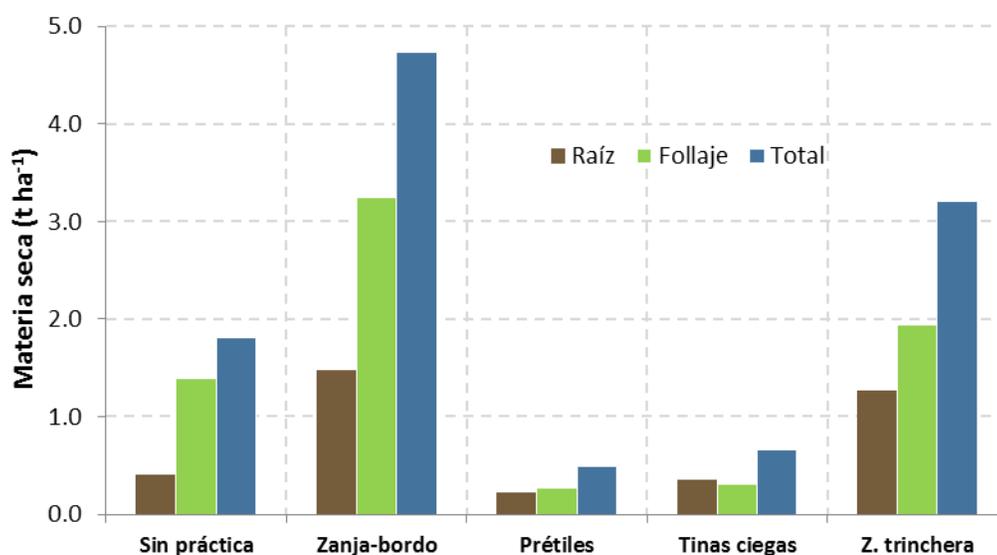


Figura 28. Producción de materia seca de raíz y forraje por tipo de práctica.

⁶ Letras diferentes significan diferencias estadísticamente significativas con una probabilidad del 5%.

Por otro lado es conveniente mencionar que la profundidad del suelo es un factor importante en la producción de biomasa, como se muestra en San Andrés Lagunas y San Marcos Arteaga, donde las obras de conservación están localizados en zonas de regosoles compuestos de arrastres sedimentarios de gran profundidad, producción que es similar a la que se alcanza en las áreas con Zanjas Trincheras y en algunas áreas con zanjas bordo.

Con respecto a la posición se observa que existe un comportamiento diferencial de la producción de materia seca de acuerdo a la presencia de condiciones más propicias para el almacenamiento de humedad y sustrato para el crecimiento de la planta, este aspecto se ve claramente reflejado en el caso del Rancho Dolores, donde, en suelos profundos de textura media y sobre el bordo pueden alcanzar una producción de forraje alrededor de 8 t/ha. La producción más baja se localiza en la zona media de las prácticas de conservación, donde es altamente probable que se tenga menos influencia de la práctica en la captación de humedad y consecuentemente en la captación de sedimentos (Figura 29).

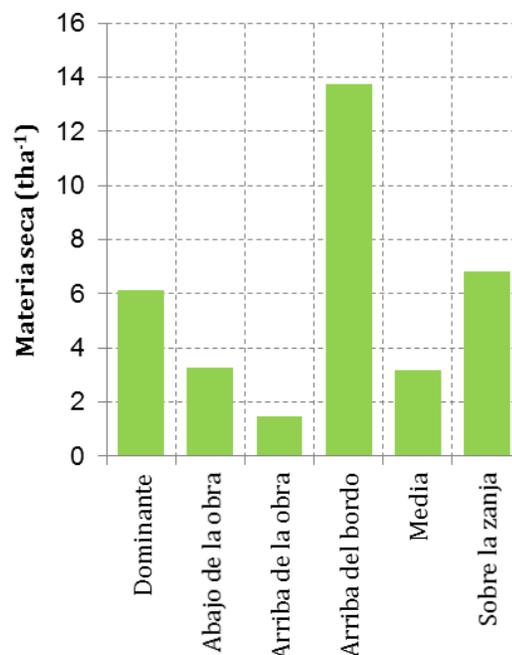


Figura 29. Producción de Biomasa total en zanjas bordo de acuerdo con la posición del muestreo (Rancho Dolores).

Una situación similar a la anterior se presenta en San Marcos Arteaga, en la zona con zanjas trincheras, que sin alcanzar los niveles de producción del Rancho Dolores, muestran un perfil diferencial marcado por el área de influencia de la obra, los menores rendimientos se muestran en la parte arriba y los más altos en la parte baja.

Capacitación a productores

Como parte de los objetivos del Proyecto GEF-Mixteca en materia de conservación de servicios ecosistémicos, específicamente los relacionados al recurso suelo, para mostrar los procesos de desertificación y exponer los factores que causan la degradación de los agostaderos; se realizaron tres talleres sobre Técnicas para el Manejo Sustentable de los

Agostaderos. La capacitación tuvo como meta a hacer conciencia en los productores para un aprovechamiento sustentable de sus pastos, que detenga el deterioro ambiental de sus agostaderos. El taller se realizó en tres comunidades con productores pecuarios y técnicos. La temática general del taller se orientó en la presentación de alternativas para la conservación de los agostaderos en términos de organización comunitaria, asociación de gramíneas y leguminosas leñosas, y control mecánico de procesos de degradación. Alternativas que permitan la planeación del pastoreo, mejoren la producción de biomasa en el pie de monte y mejoren la dieta del ganado, reduzcan la erosión e incrementen la retención de humedad en el suelo y, sobre todo, se reduzca significativamente el pastoreo en áreas de vegetación natural.

En el taller se hizo énfasis en el proceso erosivo y como el sobrepastoreo ha actuado reduciendo la densidad de plantas deseables, proliferando plantas no apetecidas por el ganado, reduciendo la productividad del agostadero, favoreciendo la invasión de plantas no deseables, incrementando el escurrimiento superficial, aumentando las pérdidas de suelo y finalmente acrecentando la rusticidad del agostadero con espinosas. Esta pérdida de la cubierta vegetal ha provocado en sus agostaderos que el agua de lluvia no infiltre, sino que escurra superficialmente arrastrando la capa de suelo más fértil y formando cárcavas. Como parte de las alternativas se les mostró a los productores pecuarios como obtener y tratar la semilla para que estén

en posibilidad, por sí mismos, de propagar estos materiales vegetativos, en forma paulatina, al resto de sus agostaderos. Asimismo, la importancia de las prácticas de conservación, orientadas a captar humedad y suelo; para mejorar las posibilidades de propagación natural de plantas con potencial forrajero.

Objetivo general

Dar a conocer alternativas, a productores de ganado menor de la Mixteca Oaxaqueña, para el manejo sustentable de los agostaderos.

Objetivos específicos

1. Conocer los beneficios de un plan de manejo para los agostaderos.
2. Identificar técnicas para colectas de semillas de especies forrajeras de interés.
3. Motivar a los usuarios del agostadero para que implementen módulos de propagación de planta.
4. Incentivar a los productores pecuarios para que realicen en sus agostaderos acciones de trasplante de especies forrajeras y obras.
5. Resaltar la bondad de las prácticas de conservación para mejorar la producción de forraje, controlar el escurrimiento y conservar los suelos en los agostaderos.
6. Hacer conciencia en los productores para que realicen aprovechamiento sustentable de las áreas de agostadero.

Temática desarrollada

Cuadro 32. Taller sobre Técnicas para el Manejo Sustentable de los Agostaderos.

HORA	TEMA	PONENTE	OBJETIVO
10.00 10.10	Presentación del taller y asistentes	Proy. Mixteca	Dar palabras de bienvenida y explicar aspectos generales del taller
10.10 11:00	Conservación del suelo y la humedad	Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso	Importancia de las obras de conservación para mejorar la producción de forraje.
11:20 11:40	Manejo del pastoreo	Dr. Adrián R. Quero Carrillo	Mostrar las diferentes formas de manejo de pastoreo
11:40 12:00	Importancia del pastoreo controlado	Dr. Adrián R. Quero Carrillo	Mostrar a los habitantes de los beneficios de tener un pastoreo controlado
12:00 12:15	Receso		
12:15 12:30	Flujo de energía y pastoreo	Dr. Adrián R. Quero Carrillo	Conocer los tiempos del agostadero
12:30 12:45	Especies forrajeras valiosas	Dr. Adrián R. Quero Carrillo	Identificar sus características.
12:15 13:00	La tragedia de los comunes	Dr. Adrián R. Quero Carrillo	Valorar los recursos Naturales y su importancia en la producción.
13:15 13:30	El sol y la lluvia son gratis	Dr. Adrián R. Quero Carrillo	Potencial de los recursos naturales
13:40 14:00	Cómo ayudar al pastizal	Ing. Carlos Palacios Espinosa	Mostrar diferentes actividades para poder ayudar al pastizal para tener una mayor producción.
14:15 14:30	Eficiencia de hato	Dr. Adrián R. Quero Carrillo	Alternativas de manejo
14:30 15:00	Fin del Taller	Proy Mixteca	

Participantes

Los participantes fueron productores de ganado menor, representantes ejidales y técnicos de instituciones públicas o privadas con interés en el manejo

sustentable de los agostaderos. En las tres sedes donde se desarrolló el taller se tuvo la asistencia de 91 personas procedentes de 23 comunidades de la región (Cuadro 33).

Cuadro 33. Estructura de los asistentes a los tres talleres de capacitación.

Fecha	Taller	Asistentes					Subtotal	Total
		Lugar de procedencia	Téc.	Prod.	Otro*			
17 de Junio	San Marcos Arteaga	San Marcos Arteaga, San Marcos Arteaga		12	8	20	27	
		Santiago Asunción, Silacayoapan		1	2	3		
		San Juan Trujano, Silacayoapan		2	2	4		
26 de Junio	Chocho Dolore	Huajuapan, Huajuapan	3	1	5	9	34	
		El Castillo, Huajuapan		1		1		

Fecha	Taller	Asistentes					Total
		Lugar de procedencia	Téc.	Prod.	Otro*	Subtotal	
		El Espinal, Santiago Huajolotitlán		1		1	
		La Unión, Soyaltepec		1		1	
		Rancho Ramírez, Huajuapán		1		1	
		Rancho Dolores, Huajuapán		7	1	8	
		San Juan Bautista Suchitepec, San Juan Bautista Suchitepec		3	1	4	
		Guadalupe Cuauhtepic, San Juan Bautista Suchitepec		1		1	
		Tamazulapan, Tamazulapan	2			2	
		Santa María, Yuxichi		1		1	
		San Luis Morelia, Santiago Tamazola		4	1	5	
13 de Septiembre	Santo Domingo Yanhuitlán	Santo Domingo Yanhuitlán, Santo Domingo Yanhuitlán		2	4	6	30
		Tooxí, Santo Domingo Yanhuitlán		2		2	
		Xaacahua, Santo Domingo Yanhuitlán		1		1	
		El Jazmín, Santo Domingo Yanhuitlán		1		1	
		Xacañi, Santo Domingo Yanhuitlán		1	1	2	
		San Andrés Lagunas, San Andrés Lagunas		5		5	
		Santa María Tiltepec	1	1	3	5	
		Santo Domingo Tonaltepec, Santo Domingo Tonaltepec		5	2	7	
		San Francisco Río Blanco, Santo Domingo Tonaltepec		1		1	
23 comunidades		6	55	30	91	91	

*Autoridades, ponentes, personal Proyecto GEF-Mixteca

Material impreso

Para el taller se preparó un tríptico, titulado “Reproducción y Trasplante de Pasto Banderita y Huaje (leucaena)”. Este tríptico se distribuyó a los asistentes al taller como material de consulta para asistir a los productores pecuarios en la reproducción de las plantas forrajeras nativas, ahí recomendadas, para los agostaderos de la región.

Figura 30. Tríptico sobre técnicas de reproducción y trasplante de pasto banderita y huaje.

El almácigo se riega cada tercer día con mucho cuidado por las orillas, tratando de no sacar o tirar la plántula.

Trasplante en tubines o bolsas de polietileno. Se riegan las plántulas muy bien y se humedece el suelo donde se va trasplantar; por cada tubín se coloca una plántula, esté se coloca en el portatubín. El riego debe ser diario debido a que es poco suelo el que está en el tubín y se seca rápido.



Trasplante en campo. El trasplante se lleva a cabo en temporada de lluvias, cuando el pasto está amacollando y el huaje empieza a tener un tallo leñoso. Se colocan 30 macollos de banderita por metro cuadrado, en el caso del huaje solo 3 plantas por metro cuadrado, en seguida se realiza un riego. Es recomendable que el trasplante se realice en la tarde cuando ya no haya mucho sol.



CONCEPTOS

AGOSTADERO. Superficie que se encuentra compuestas por especies nativas: gramíneas, hierbas y arbusto de valor forrajero, que por sus características físicas, como topografía abrupta y drenaje deficiente, es inadecuada para la agricultura pero es útil como fuente de forraje para la fauna y animales domésticos en libre pastoreo, además proporciona servicios ambientales.

CAPACIDAD DE CARGA. Es el máximo número de animales que pueden pastorear sin dañar la vegetación o el suelo.

ESCARIFICACIÓN. Técnica que se lleva a cabo para acortar el tiempo de germinación, y que permite que el corazón de la semilla (endospermo) quede en contacto con el aire, y el agua.

DORMANCIA. Una semilla entra en dormancia cuando sus actividades metabólicas se suspenden por un cierto periodo de tiempo hasta que haya condiciones ambientales óptimas para la germinación.

MANEJO DE AGOSTADEROS. Es la planeación y programación del uso múltiple del agostadero a través de **tecnologías alternativas** que permitan obtener una óptima producción animal, para poder lograr la permanencia y mejoramiento de los recursos naturales.

Metas del manejo de agostadero

- Mantener el agostadero cubierto con especies forrajeras de calidad.
- Mantener una reserva de forraje
- Aumentar la producción pecuaria y fauna silvestre
- Regular el flujo de agua
- Controlar la erosión del suelo.

SUSTRATO. Mezcla de materiales simples, de origen natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que se utiliza para producir plantas en contenedores, donde cumple funciones de soporte, de aireación y de retención y aporte de agua. Un buen sustrato permite un desarrollo óptimo de las raíces.

Elaboró: Socorro Arianna Botello Aguirre
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables



Mixteca

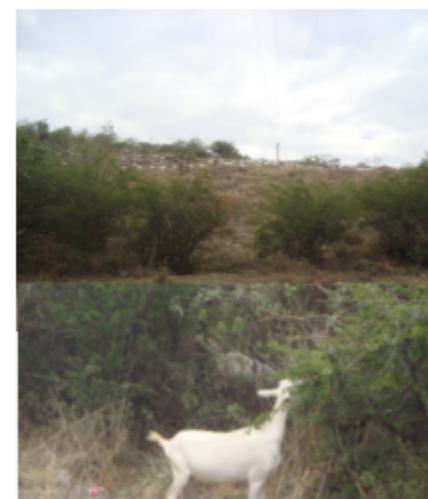
PROYECTO MIXTECA

Oaxaca, Méx.



ESTRATEGIAS DE MANEJO EN LAS ERAS
PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE LA
CUENCA DEL RÍO MIXTECO

REPRODUCCIÓN Y TRASPLANTE DE PASTO BANDERITA Y HUAJE (LEUCAENA)



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Monteclillo,
Texcoco 56230, Estado de México.

INTRODUCCIÓN

En la cuenca del Río Mixteco la principal razón de degradación en los agostaderos es la erosión hídrica y el sobrepastoreo, sobre todo por el ganado caprino. Estudios del 2012 relacionados con la degradación de suelos en la cuenca del Río Mixteco, demuestran que existe erosión que supera las 10 ton/ha en las zonas de pastizales con pendientes superiores al 5 %.

Es necesario realizar un manejo adecuado del pastizal o agostadero, evaluando su capacidad de carga y realizando algunas actividades para mitigar su degradación, como son las prácticas de manejo para la conservación de suelo y retención de humedad, así como la producción de especies de pastos nativos.

OBRAS DE CONSERVACIÓN SUELO Y RETENCIÓN DE HUMEDAD

El objetivo de las obras de conservación y retención de humedad del suelo, es tener una mayor cobertura vegetal, disminuir la velocidad del agua y al mismo tiempo retenerla para que se pueda infiltrar, lo que ayuda a la recarga de acuíferos.

Ventajas de la implementación de las obras de conservación de suelo y retención de humedad:

- Reduce el movimiento del suelo por lluvias, viento y las pendientes abruptas (erosión hídrica y eólica).
- Aumenta la infiltración de la lluvia.
- Reduce la pérdida de humedad por evaporación.
- Mantiene la temperatura.
- Mejora las condiciones de germinación.
- Mejora la fertilidad y condición del suelo
- Estimula la actividad biológica del suelo.

Recorridos anteriores en la cuenca del río Mixteco demuestran que existen algunas prácticas que se han realizado como: zanjas trincheras, zanjas bordos, bordo-lama y petriles, las cuales a simple vista se ve que han dado resultado ya que en los lugares donde están establecidas hay más humedad en el suelo y por lo tanto mayor cobertura de especies vegetales.

Zanja-Bordo. Sirve para la retención de humedad, consiste en un conjunto de zanjas perpendiculares a la pendiente y de una longitud igual al ancho de la parcela, diseñada y construida para interceptar la escorrentía procedente de las partes altas de las laderas. Se construye siguiendo las curvas de nivel.

Zanja-Trinchera. También llamadas tinas ciegas, son excavaciones discontinuas, perpendiculares a la pendiente del terreno, siguiendo la curva de nivel, diseñadas para captar el agua escurrida de las partes altas y controlar la erosión laminar.

Petriles. Son pequeños muros de piedra acomodada que miden de largo aproximadamente 20 a 50 m que tienen 30 cm de alto y 40 cm de ancho, colocados cada 30 m aproximadamente; sirve para la retención de humedad y disminuir la velocidad de la escorrentía.

Bordo-lama. Son terrazas construidas por una serie de bancales, tienen un muro de contención de gaviones, diques de mampostería o piedra acomodada, con esto se logra un mejor diseño del terreno. El bordo-lama (cooo yuu) tiene suelos muy fértiles debido a la humedad que capta, además disminuye la velocidad de la escorrentía.

PRODUCCIÓN Y TRASPLANTE DE ESPECIES DE VALOR FORRAJERO

Muchas especies forrajeras tienen dormancia en la semilla, lo cual hace que su establecimiento en campo sea poco exitoso, debido a esto es necesario desarrollar técnicas de reproducción y tratamiento de las plantas, para poder tener éxito en el establecimiento de especies en los agostaderos.

Escarificación de la semilla de huaje (*Leucaena*). Se sumerge la semilla en agua a 85 °C por 5 minutos (cuando empieza a saltar el primer hervor); y se pone a secar.



Limpieza de la semilla de pasto banderita. Es necesario limpiar la semilla hasta llegar al cariósipide, esto se realiza con un tapete de aberturas horizontales y un cojín, se coloca un poco de semilla en el tapete y con el cojín se talla, el cariósipide debe quedar dentro de las aberturas; después se coloca en unos coladores para quitar la basura.



Sustrato. Para el sustrato se pueden hacer mediante la mezcla de algunos materiales fáciles de conseguir como es aserrín, corteza de arboles, tezontle y composta.



Siembra en almácigo. Para esto es necesario tener unas charolas de plástico o hacer cajas de madera de 1 x 1 x 1 m. Se coloca tierra en la charola y se humedece muy bien, se riega la semilla (de huaje o banderita) de manera uniforme; el cubrimiento se hace con una capa de tierra seca de un espesor de 3 cm para el caso de banderita y 5 cm para huaje.



Capacitación a técnicos de las instituciones.

Se realizó un taller de dirigido a técnicos de las distintas instituciones federales y estatales que concurren en la cuenca del río Mixteco. El taller se dividió en dos fases, la primera enfocada a los tomadores de decisiones, con el propósito de dar a conocer los resultados obtenidos y las metodologías aplicadas. La segunda fase se orientó en capacitar a técnicos operativos sobre la ejecución del modelo APEX, la manipulación de las bases de datos generadas y manipular escenarios de manejo a nivel de sub-cuenca o micro-cuenca.

Objetivos generales

- Proporcionar a los técnicos las habilidades suficientes para orientar de forma más racional las inversiones gubernamentales de programas existentes de reducción de la pobreza, seguridad alimentaria, y conservación de recursos naturales.
- Integrar una herramienta de servicios ecosistémicos en programas federales y estatales de apoyo, con el fin de lograr beneficios ambientales significativos a nivel regional.

Objetivos

- Conocer los fundamentos básicos de modelo APEX.
- Conocer la operación, alimentación y resultados del modelo APEX.

Software

- Microsoft .NET Framework
- ArcGIS 10.0 SP5 (Build 4400)
- ArcAPEX 0806.10_0.3 Beta 2, liberado el 20/05/2013

Requisitos mínimos del sistema

- Sistema operativo: Windows (a partir de XP)
- Procesador: Velocidad 2.2 GHz como mínimo; preferentemente procesadores multinúcleo.
- Memoria RAM: Mínimo 2 GB.

Contenido temático

Título: Capacitación a técnicos institucionales sobre el Modelo APEX para la operación y planeación de escenarios de manejo en agricultura de ladera y agostaderos

Cuadro 34. Temario del taller dirigido a técnicos de las instituciones.

Día uno

Sesión matutina: Temas para tomadores de decisiones y técnicos		
Temas	Duración (min)	Horario
Condiciones climáticas y edáficas de la cuenca del río Mixteco	15	10:00 - 10:15
Manejo y rendimiento del cultivo de maíz en ladera	15	10:15 - 10:30
Manejo del agostadero, pastos y su producción forrajera	15	10:30 - 10:45
Prácticas de conservación en terrenos agrícolas y de agostaderos.	15	10:45 - 11:00
Antecedentes del modelo APEX	10	11:00 - 11:10
Estructura del modelo de simulación	10	11:10 - 11:20
Parámetros de entrada	10	11:20 - 11:30
Análisis de procesos internos	15	11:30 - 11:45
Receso	30	11:45 - 12:15
Estado que guarda la erosión del suelo y la productividad en terrenos de agricultura en ladera y de agostaderos.	30	12:15 - 12:45
Generación de escenarios en áreas agrícolas y de agostadero	15	12:45 - 13:00
Acuerdos de trabajo	30	13:00 - 13:30

Sesión vespertina: Preparación de equipo de cómputo		
Temas	Duración (min)	Horario
Instalación de software y bases de datos	60/PC	14:00 - 19:00

Día 2

Temas para técnicos (manipulación de bases de datos)		
Temas	Duración (min)	Horario
Inicio de proyecto en APEX (parámetros de entrada)	30	10:00 - 10:30
Delimitación de sub-áreas	60	10:30 - 11:30
Factores fisiotécnicos y paquetes tecnológicos	45	11:30 - 12:15
Receso	30	12:15 - 12:45
Factores edáficos y climáticos	45	12:45 - 13:30
Generación de escenarios	60	13:30 - 14:30
Comida	90	14:30 - 16:00
Preguntas y respuestas	60	16:00 - 17:00
Conclusiones	15	17:15 - 17:30
Evaluación del taller	30	17:30 - 18:00

Instituciones participantes

1. Proyecto GEF-Mixteca
2. Fondo Mundial para la Naturaleza, WWF por sus siglas en inglés
3. Dirección de regulación Ambiental Agropecuaria, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT
4. Delegación Federal en Oaxaca, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT
5. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA
6. Gerencia Estatal Oaxaca, Comisión Nacional Forestal, CONAFOR
7. Comisión Nacional del Agua, CONAGUA
8. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP
9. Comisión Nacional de Zonas Áridas, CONAZA
10. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal Pesca y Acuacultura, SEDAFPA
11. Secretaría de Desarrollo Social y Humano, SEDESOPH
12. Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable, Oaxaca
13. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca
14. Colegio de Posgraduados, COLPOS
15. Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oax.
16. Unidad Técnica Nacional (FAO) en el Estado de Oaxaca.
17. Comité de Plantación para el Desarrollo del Estado de Oaxaca (COPLADE).
18. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS). Estado de Oaxaca.

7. RESULTADOS.

La producción de maíz en laderas

Con la finalidad de conocer a nivel municipal, la oscilación de los rendimientos de grano (máximo, promedio y mínimo) se usaron los generadores climáticos de la región para un período de veinte años. En el Cuadro 35 se presentan los rendimientos de grano simulados por APEX, ordenados en base al promedio simulado. En dicha cuadro también se incluyen, a nivel municipal, la oscilación de los rendimientos de grano (máximo, promedio y mínimo) reportados por SIAP entre 2006 y 2012. Cabe señalar que el SIAP reporta también rendimientos medios municipales de producción de maíz para los años 2003, 2004 y 2005 sin embargo estos tres años no fueron considerados en el análisis ya que todos los municipios de la cuenca, para un mismo año, reportan rendimientos similares.

El propósito de estos resultados, a nivel municipal, fue conocer en términos generales la distribución espacial de APEX en base a la información de rendimientos disponible. En general se observa que los datos reportados por SIAP se encuentran dentro del rango simulado (Figura 32). Como puede observarse también en la Figura 31, aún eliminando un 33% de los municipios con datos extremos, no se logra

una buena correlación aceptable, sin embargo se observa que los datos simulados siguen una tendencia parecida a los reportados por SIAP; como lo muestra la pendiente ($S=1.0613$) de la línea de regresión.

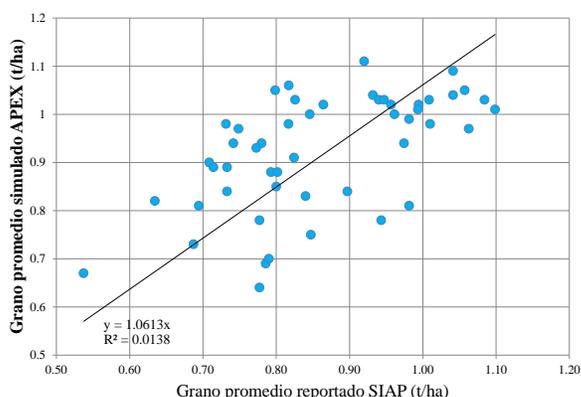


Figura 31. Rendimientos medios municipales de grano de maíz reportado y simulado.

A nivel de cuenca APEX simula, para un período de 20 años, un rendimiento medio

de 0.93 t/ha (± 0.151 t/ha) y el SIAP para un período de seis años reporta una producción de 0.848 t/ha (± 0.185 t/ha) de grano de maíz. En general las desviaciones estándar sugieren que los rendimientos de maíz en ladera no presentan grandes variaciones de rendimiento entre los distintos municipios que cubren la cuenca del río Mixteco.

La baja correlación puede explicarse por: 1) los datos simulados corresponden a pendientes superiores al 5%, 2) los valores del SIAP incluyen terrenos de aluvial de topografía plana y muchos de ellos bajo riego, 3) las metodologías de muestreo aplicadas por el SIAP, 4) la precisión de los mapas edafológicos, 5) que ArcAPEX trabaja con datos climáticos de una sola estación, la más cercana al centroide de la cuenca, produciendo mayores distorsiones en aquellos municipios cercanos al parteaguas de la cuenca.

Cuadro 35. Rendimientos municipales de maíz: simulados y reportados por el SIAP.

Clave	Municipio	Superficie (Ha)	Rend. Simulado (t/ha)			Rend. SIAP (t/ha)		
			Máx.	Min.	Prom.	Máx.	Min	Prom.
20446	Santa María Yucuhiti	33	1.04	0.35	0.64	0.82	0.75	0.78
20073	Putla Villa de Guerrero	287	1.06	0.36	0.65	1.70	1.00	1.18
20105	San Antonino Monte Verde	939	1.21	0.38	0.67	0.70	0.21	0.54
20346	San Sebastián Nicananduta	375	1.21	0.38	0.67	1.69	0.17	0.93
20317	San Pedro Mártir Yucuxaco	1,347	1.3	0.39	0.68	1.20	0.81	0.99
20239	San Martín Huamelúlpam	1,044	1.31	0.39	0.68	1.30	0.81	1.06
20532	Santo Tomás Ocotepec	1,899	1.1	0.38	0.69	0.86	0.75	0.79
20408	Santa María del Rosario	161	1.33	0.39	0.69	1.36	1.00	1.13
20370	Santa Catarina Tayata	0	1.34	0.39	0.69	1.10	0.89	0.96
20480	Santiago Nundiche	1,416	1.31	0.4	0.7	1.06	0.65	0.79
20455	Santiago Ayuquílilla	566	1.15	0.43	0.73	0.82	0.40	0.69
20032	Fresnillo de Trujano	2	1.52	0.38	0.73	1.30	0.60	1.05
20240	San Martín Itunyoso	609	1.24	0.43	0.75	1.00	0.80	0.85
20405	Villa de Chilapa de Díaz	2,108	1.25	0.46	0.78	1.20	0.18	0.78

Clave	Municipio	Superficie (Ha)	Rend. Simulado (t/ha)			Rend. SIAP (t/ha)		
			Máx.	Min.	Prom.	Máx.	Min.	Prom.
20055	Mariscala de Juárez	1,143	1.45	0.42	0.78	1.24	0.59	0.94
20381	Santa Cruz Tacache de Mina	851	1.51	0.41	0.78	0.87	0.40	0.50
20261	San Miguel Amatitlán	1,325	1.29	0.49	0.81	0.84	0.40	0.69
20034	Guadalupe de Ramírez	51	1.41	0.46	0.81	1.20	0.50	0.98
20352	San Simón Zahuatlán	658	1.28	0.49	0.82	0.74	0.45	0.63
20290	San Nicolás Hidalgo	157	1.5	0.45	0.83	0.91	0.78	0.84
20165	San José Ayuquila	334	1.31	0.49	0.84	0.85	0.48	0.73
20210	San Juan Ñumí	2,947	1.35	0.5	0.84	1.20	0.66	0.90
20245	San Martín Zacatepec	1,030	1.32	0.51	0.85	1.07	0.60	0.80
20121	San Bartolo Soyaltepec	4	1.28	0.52	0.86	0.69	0.22	0.57
20106	San Antonio Acutla	904	1.41	0.52	0.86	0.59	0.40	0.56
20529	Santos Reyes Yucuná	183	1.3	0.52	0.88	0.82	0.76	0.80
20484	Santiago Tamazola	473	1.39	0.5	0.88	1.01	0.30	0.79
20004	Asunción Cuyotepeji	721	1.31	0.52	0.89	1.03	0.40	0.71
20321	San Pedro Nopala	488	1.34	0.53	0.89	0.81	0.40	0.73
20549	Tezoatlán de Segura y Luna	3,405	1.35	0.53	0.9	0.86	0.45	0.71
20524	Santo Domingo Yodohino	128	1.23	0.53	0.91	0.94	0.70	0.82
20237	San Marcos Arteaga	349	1.37	0.53	0.93	0.84	0.50	0.77
20528	Santos Reyes Tepejillo	328	1.31	0.56	0.94	0.85	0.55	0.78
20397	Heroica Ciudad de Tlaxiaco	6,273	1.37	0.55	0.94	1.60	0.70	0.97
20287	San Miguel Tulancingo	85	1.43	0.55	0.94	0.81	0.50	0.74
20339	San Pedro y San Pablo Teposcolula	2,446	1.37	0.57	0.97	0.98	0.30	0.75
20568	Zapotitlán Palmas	1,262	1.52	0.55	0.97	1.30	0.83	1.06
20536	San Vicente Nuñú	420	1.28	0.61	0.98	0.88	0.31	0.73
20269	San Miguel el Grande	22	1.31	0.62	0.98	2.50	1.29	1.66
20093	San Andrés Lagunas	976	1.34	0.6	0.98	0.90	0.60	0.64
20501	Santiago Yucuyachi	389	1.34	0.56	0.98	0.90	0.76	0.82
20537	Silacayoápam	4,234	1.64	0.54	0.98	1.20	0.60	1.01
20065	Ixpantepec Nieves	1,200	1.72	0.55	0.99	1.23	0.40	0.98
20341	San Pedro Yucunama	251	1.33	0.6	1	0.75	0.22	0.63
20050	Magdalena Peñasco	157	1.33	0.63	1	0.98	0.80	0.85
20379	Santa Cruz Nundaco	642	1.36	0.6	1	1.04	0.80	0.96
20230	San Lorenzo Victoria	610	1.63	0.55	1	0.77	0.59	0.66
20221	San Juan Teposcolula	2,112	1.4	0.6	1.01	0.80	0.60	0.72
20520	Santo Domingo Tonalá	2,281	1.51	0.58	1.01	1.50	0.81	0.99
20348	San Sebastián Tecomaxtlahuaca	5,120	1.77	0.56	1.01	1.60	0.70	1.10
20039	Heroica Ciudad de Huajuapán de León	2,700	1.43	0.59	1.02	1.20	0.60	0.99
20133	San Esteban Atlatlahuca	193	1.47	0.61	1.02	1.03	0.50	0.86
20286	San Miguel Tlacotepec	2,428	1.76	0.56	1.02	1.20	0.59	0.96
20462	Santiago Huajolotitlán	1,064	1.41	0.59	1.03	1.12	0.77	0.95

Clave	Municipio	Superficie (Ha)	Rend. Simulado (t/ha)			Rend. SIAP (t/ha)		
			Máx.	Min.	Prom.	Máx	Min	Prom.
20469	Santiago Juchitahuaca	6,686	1.43	0.62	1.03	1.26	0.86	1.08
20089	San Andrés Dinicuiti	266	1.45	0.64	1.03	0.86	0.80	0.83
20164	San Jorge Nuchita	1,256	1.64	0.57	1.03	1.20	0.80	1.01
20461	Santiago del Río	1,150	1.83	0.56	1.03	1.20	0.60	0.94
20400	Santa María Camotlán	196	1.42	0.59	1.04	0.90	0.70	0.76
20081	San Agustín Atenango	1,039	1.57	0.58	1.04	1.45	0.18	0.93
20242	San Martín Peras	170	1.81	0.57	1.04	1.20	0.84	1.04
20540	Villa de Tamazulápam del Progreso	1,667	1.44	0.62	1.05	1.19	0.24	0.80
20160	San Jerónimo Silacayoapilla	269	1.44	0.6	1.05	1.30	0.76	1.06
20486	Villa Tejúpam de la Unión	3,041	1.45	0.62	1.05	1.00	0.36	0.77
20181	San Juan Bautista Suchitepec	653	1.41	0.62	1.06	0.86	0.80	0.82
20127	San Cristóbal Amoltepec	286	1.5	0.64	1.09	1.81	0.68	1.04
20547	Teotongo	1,604	1.53	0.67	1.09	1.00	0.29	0.80
20476	Santiago Miltepec	463	1.42	0.67	1.11	1.12	0.69	0.92
20340	San Pedro y San Pablo Tequixtepec	7	1.46	0.71	1.16	0.79	0.40	0.50
20423	Santa María Nduayaco	385	1.81	0.72	1.16	0.90	0.53	0.78
20556	La Trinidad Vista Hermosa	479	1.6	0.75	1.2	1.18	0.40	0.66
20047	Santa Magdalena Jicotlán	2	1.6	0.75	1.2	0.69	0.40	0.58
20456	Santiago Cacaloxtepec	76	1.6	0.75	1.21	0.80	0.60	0.72
20499	Santiago Yolomécatl	1,579	1.82	0.77	1.27	1.84	0.38	0.89
		Media	1.419	0.543	0.930	1.085	0.583	0.848
		Desv est.	0.173	0.102	0.152	0.322	0.226	0.185

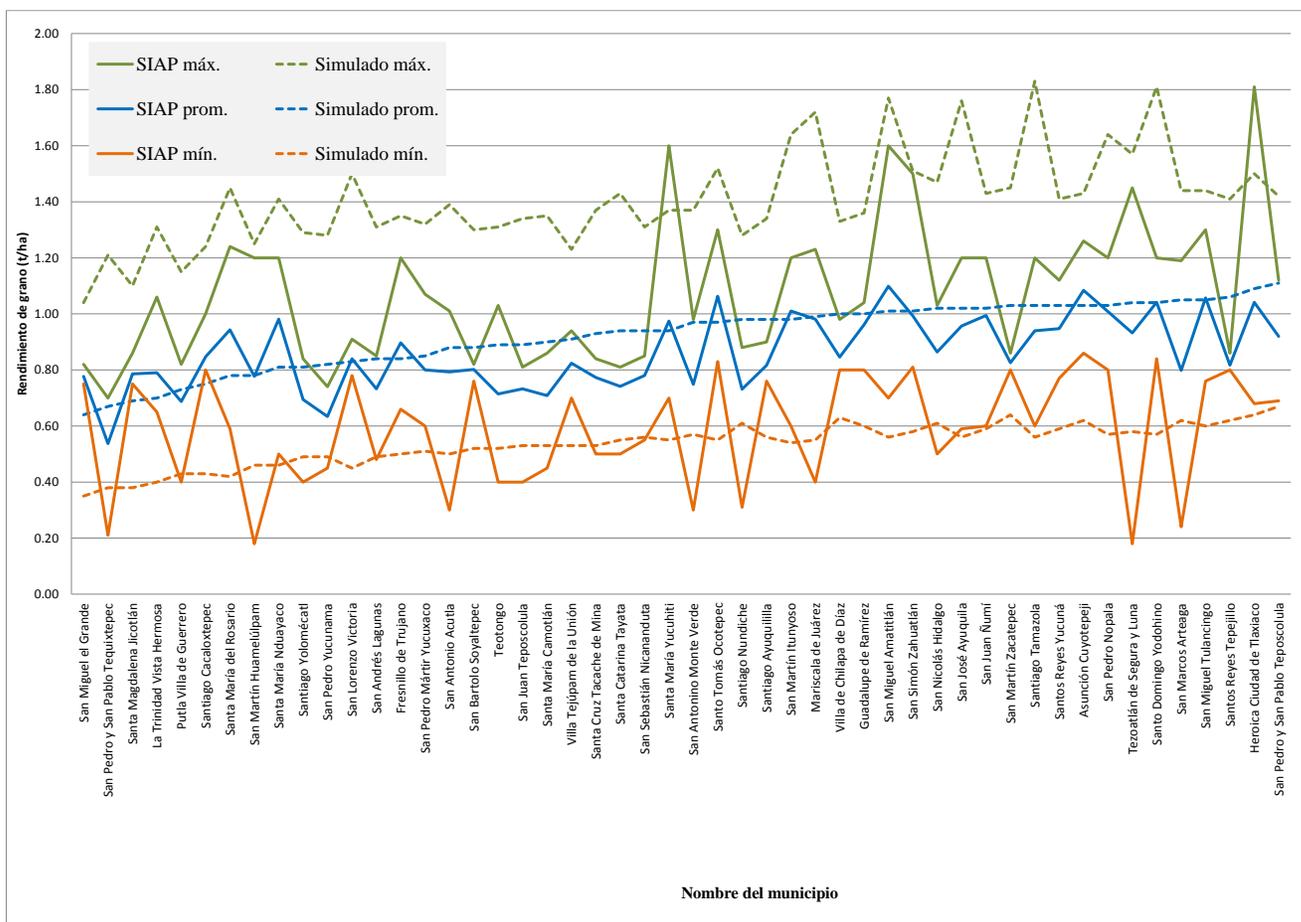


Figura 32. Rendimiento municipal de grano (máximo, promedio y mínimo) simulado para un período de veinte años y rendimiento de grano reportado por SIAP entre 2006-2012.

En el Mapa 4 se muestran los rendimientos de grano promedio, para un período de simulación de veinte años. En general se observa que el 56% de la superficie agrícola de ladera tiene rendimientos de maíz inferiores a 1.0 t/ha y el 40% de la superficie presenta rendimientos de grano entre 1.0 a 1.25 t/ha (Figura 33).

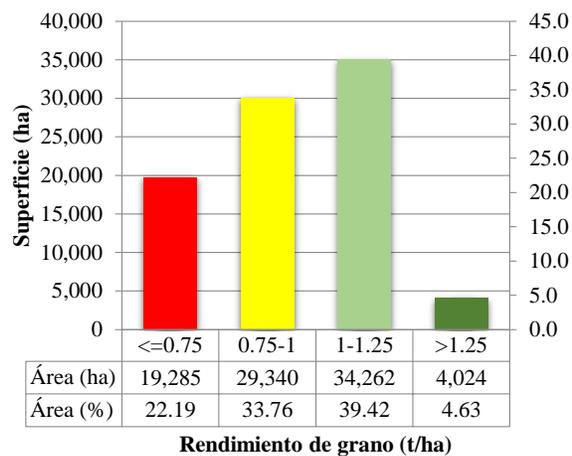
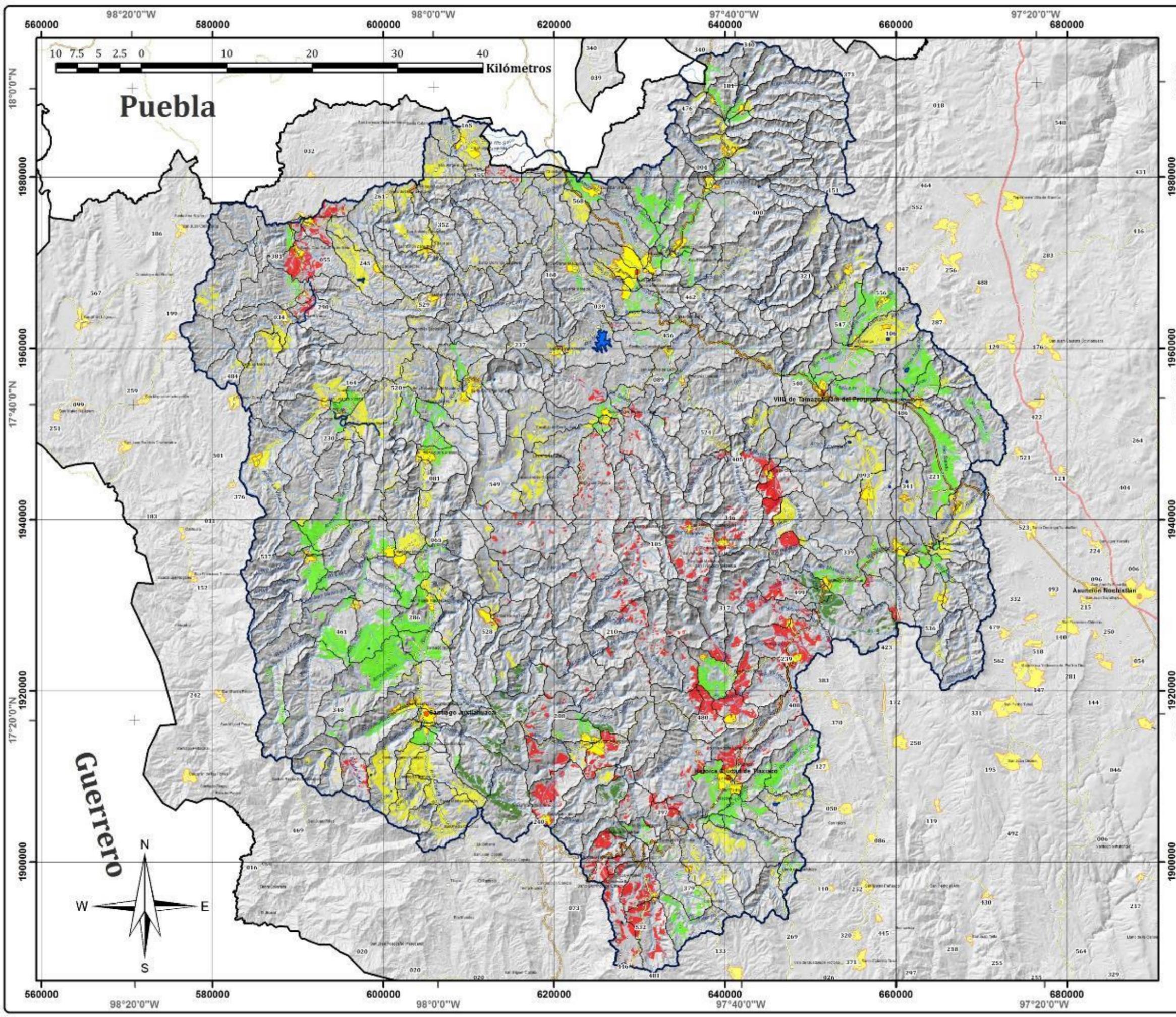


Figura 33. Distribución de los rendimientos medios simulados dentro de la cuenca del río Mixteco.



Leyenda

Límites	Rendimiento (t/ha)*
□ Límite de la cuenca	■ < 0.75
□ Límites de las subcuencas	■ 0.75 - 1
□ Límite municipal	■ 1 - 1.25
□ Límite estatal	■ > 1.25
● Localidades urbanas	
■ Cuerpos de agua	
— Ríos	
Localidades	
● < 500 hab.	
● 500 - 5,000 hab.	
● > 5,000 hab.	

* Rendimiento promedio obtenido mediante simulación de la producción de maíz durante 20 años, con el modelo ArcAPEX 10.0.3 B2 (<http://apex.tamu.edu/software/>).

Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000

Fuentes:
 Área Agrícola. WWF. Uso de suelo y vegetación 2010.
 Mapa Base. INEGI. Marco Geostadístico Nacional 2013 V.6.

Proyecto MIXTECA
Convenio de colaboración ON93

Estrategias de manejo para la producción sustentable en laderas de la cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca.

RENDIMIENTO DE MAÍZ GRANO (t/ha)
(Resultados del modelo APEX)

ESCALA 1:425,000

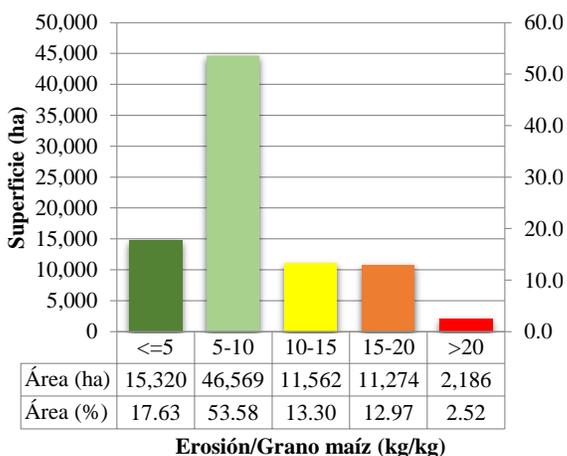
La erosión en terrenos agrícolas de ladera.

Para las áreas agrícolas en ladera el modelo APEX, usando RUSLE, estimó los niveles de erosión hídrica. A partir de los rendimientos de grano reportados en el Mapa 4 y la erosión hídrica estimada se elaboró el Mapa 5, el cual establece la relación entre rendimiento de grano y la degradación que causa al suelo su cultivo.

Tomando como base una tolerancia de pérdida de suelo de 10.0 t/ha/año (norma internacional que supuestamente equilibra la pérdida de suelo con los procesos que intervienen en su formación) y un rendimiento medio para la cuenca de 1.0 t/ha, en términos generales, se observa (Figura 34) que el 28.8% de la superficie agrícola en ladera pierde más de 10 kg de suelo por cada kilogramo de maíz producido. Esta superficie afectada, 25,022 ha, puede mejorar su relación Erosión/Productividad a través de prácticas de manejo que incrementen el rendimiento de grano o acciones de conservación de suelo que reduzcan la erosión hídrica.

Figura 34. Distribución de la relación erosión/rendimiento dentro de la cuenca del río Mixteco.

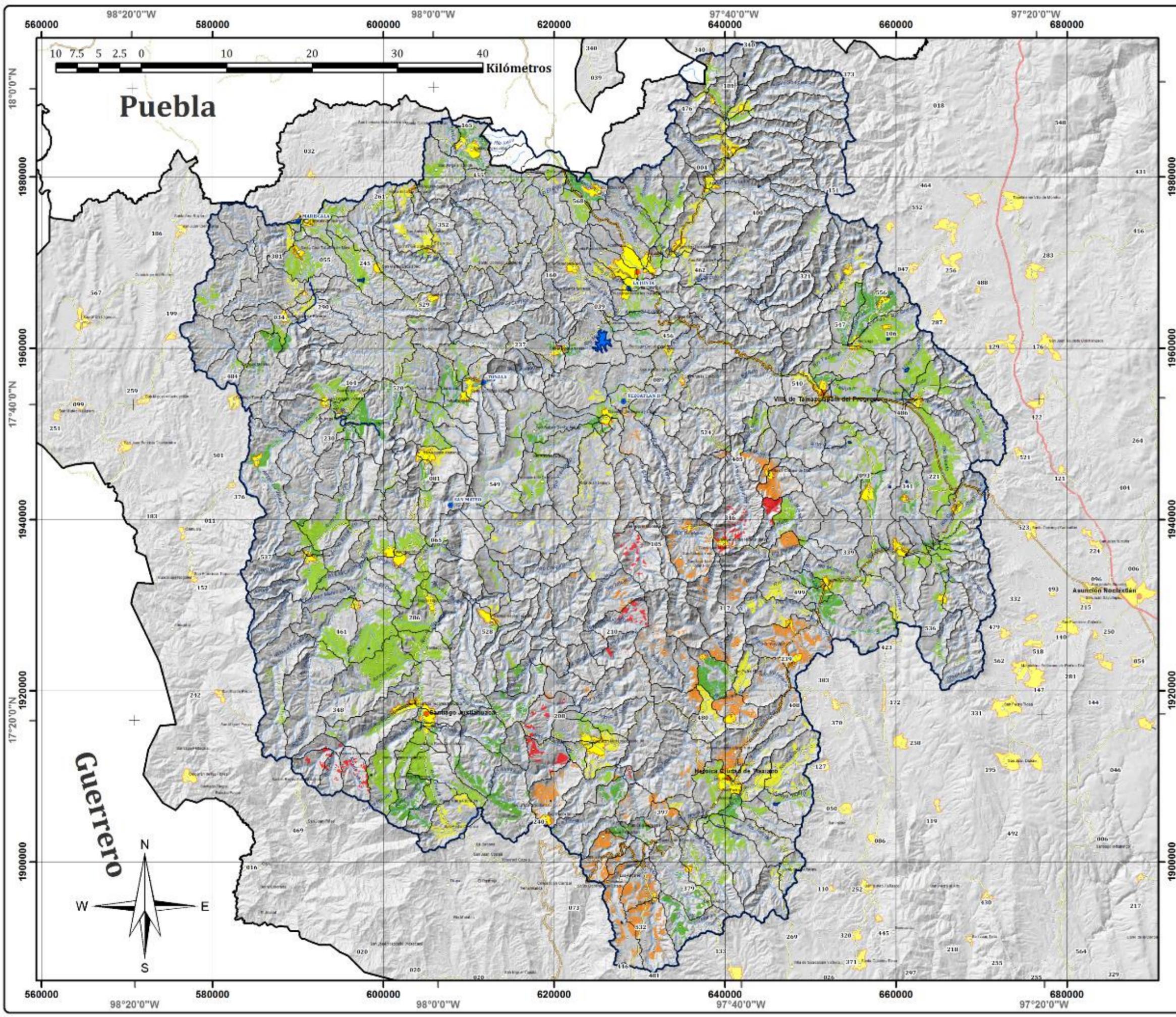
En el



Cuadro 36 se presentan los 30 ejidos con los mayores problemas de degradación de suelo que causa el cultivo de maíz. Entre los ejidos más críticos, arriba de 20 kg de suelo perdido por kg de maíz producido, sobresalen Guadalupe Nundaca, San Martín Duraznos, Santo Domingo Yosoñama y San Sebastián Nicananduta.

Cuadro 36. Los ejidos con las mayores tasas Erosión/Rendimiento de la cuenca del río Mixteco.

Núm.	Municipio	Ejido	Superficie (ha)	Erosión/rendimiento (kg/kg)
1	San Sebastián Tecomaxtlahuaca	Guadalupe Nundaca	84	25.09
2	San Sebastián Tecomaxtlahuaca	San Martín Durazos	339	23.76
3	San Juan Ñumí	Santo Domingo Yosoñama	757	21.22
4	San Sebastián Nicananduta	San Sebastián Nicananduta	396	20.06
5	Santiago Juxtlahuaca	Santa Catarina Noltepec	647	19.22
6	San Antonino Monte Verde	San Antonino Monteverde	906	17.87
7	Santiago Juxtlahuaca	San Miguel Cuevas	668	17.70
8	Heroica Ciudad de Tlaxiaco	San Miguel Del Progreso	411	17.36
9	Santa María Yucuhiti	Santa María Yucuhiti	33	16.34
10	Villa de Chilapa de Díaz	Santo Domingo Nundo	92	16.26
11	San Juan Ñumí	San Juan Ñumi	1445	16.14
12	Santa María del Rosario	Santa María Del Rosario	146	15.40
13	San Martín Huamelúlpam	San Martín Huamelúlpam	951	15.24
14	Tezoatlán de Segura y Luna	Santa Catarina Yutandu	96	14.94
15	San Juan Mixtepec -Dto. 08 -	San Juan Mixtepec	4450	14.68
16	Santiago Juxtlahuaca	Santa María Yucunicoco	607	14.64
17	San Pedro Mártir Yucuxaco	San Pedro Mártir Yucuxaco	1247	14.49
18	Santiago Nundiche	Santiago Nundiche	1378	14.44
19	Santa Catarina Tayata	Santa Catarina Tayata	0	14.41
20	Santo Tomás Ocotepec	Santo Tomás Ocotepec	1867	13.85
21	Santiago Huajolotitlán	Santa María el Zapote	76	13.82
22	San Juan Ñumí	San Antonio Nduaxico	743	13.79
23	Tezoatlán de Segura y Luna	San Juan Diquiyu	237	13.79
24	San Juan Bautista Suchitepec	San Juan Suchitepec	36	13.58
25	Santiago Huajolotitlán	San Sebastián Progreso	89	12.65
26	Tezoatlán de Segura y Luna	Santa María Tindu	244	11.99
27	Putla Villa de Guerrero	San Andrés Chicahuaxtla	342	11.76
28	Villa de Chilapa de Díaz	Santa María Chilapa de Díaz	1493	11.69
28	Huajuapán de León	Rancho Jesús	85	11.26
30	Tezoatlán de Segura y Luna	San Juan Cuitito	53	11.01



Leyenda

Límites	Suelo perdido por kg de maíz*
Límite de la cuenca	<math>< 5</math>
Límite de las subcuencas	5 - 10
Límite estatal	10 - 15
Límite municipal	15 - 20
Localidades	> 20
<math>< 500</math> hab.	
500 - 5,000 hab.	
> 5,000 hab.	
Localidades urbanas	
Cuerpos de Agua	
Ríos	

* Índice calculado con los resultados arrojados por el modelo ArcAPEX. Se calculó dividiendo la cantidad de suelo erosionado entre la cantidad de maíz producido.

Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000

Fuente:
 Mapa Base. INEGI. Marco Geostatístico Nacional.
 Área Agrícola. WWF. Uso de suelo y vegetación 2010.

Proyecto MIXTECA
Convenio de colaboración ON93

Estrategias de manejo para la producción sustentable en laderas de la cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca.

PÉRDIDA DE SUELO POR CADA KILO DE MAÍZ PRODUCIDO

ESCALA 1:425,000

La producción de forraje en los agostaderos.

Con la finalidad de comparar los resultados simulados por el modelo APEX, se procedió a analizar la información de requerimientos de forraje a nivel municipal. Estos requerimientos de forraje se estimaron en base al último censo agrícola y ganadero de INEGI (2007). Una vez conocidas las necesidades totales de forraje y con el área de agostadero de cada municipio, se derivó el rendimiento unitario medio, en t/ha, de los agostaderos de cada municipio. Fue este rendimiento, por unidad de superficie, que se comparó con los rendimientos medios, también a nivel municipal, que simula APEX.

Requerimientos de forraje según censo ganado.

De los 74 municipios que total o parcialmente ocurren dentro de la cuenca se seleccionaron, para análisis de rendimientos de forraje, 50 municipios. La selección de los municipios se realizó en base a la relación entre consumo de forraje, correspondiente al hato (convertido en UA) reportado por INEGI (2007), y la superficie de agostadero de cada municipio. Para la depuración de los datos se eliminó el 33% de los registros extremos, los cuales pueden corresponder a un hato muy superior o inferior al que los agostaderos realmente pueden sostener. Se considera que estos valores extremos, que fueron eliminados del análisis, pueden estar asociados 1) a importación de forraje, 2) el censo de INEGI (2007) no reportó

completamente el universo de animales, y/o 3) existe un fuerte componente de pastoreo en áreas forestales. En el Anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la composición del hato ganadero municipal reportado por el INEGI para 2007.

Para los 50 municipios seleccionados, para el análisis, en la Figura 35 se muestra la correlación que existe entre la superficie de agostadero estimada a nivel municipal, que ocurre dentro de la cuenca, y las unidades animal que reporta INEGI (2007). Para estos municipios, el análisis de regresión, muestra una capacidad de carga de 0.3089 UA/ha (índice de agostadero de 3.2373 UA/ha)⁷ con un coeficiente de determinación de $r^2=0.77$.

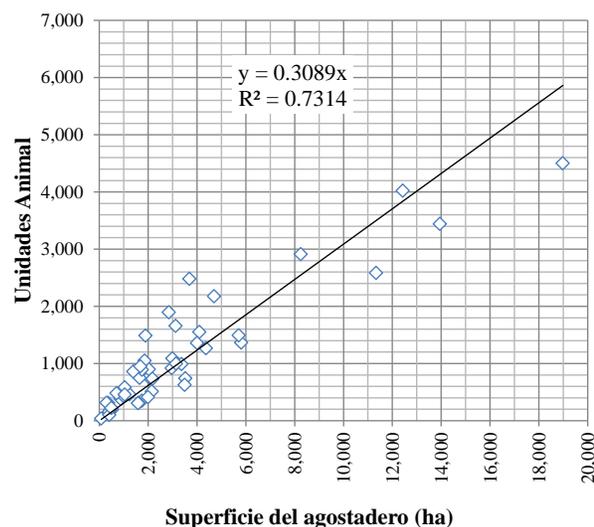


Figura 35. Correlación entre la superficie de agostadero y unidades animal censadas.

⁷ Este índice de agostadero está por debajo del valor ponderado (4.12 ha/UA/año) reportado por la COTECOCA para todo el estado de Oaxaca (Cuadro 10).

En el

Cuadro 37 se presenta, a nivel municipal: número de cabezas de ganado (en UA), superficie de agostadero estimada, consumo de forraje estimado y rendimiento mínimo de forraje esperado para sostener el hato municipal reportado por INEGI (2007).

Para el análisis de la información, del censo se realizaron los siguientes supuestos:

- El ganado lechero (estabulado) se alimenta básicamente de forraje producido en áreas de riego, por ello se excluyó del presente análisis.
- El agostadero se aprovecha con una eficiencia de pastoreo de 70%

- En los meses más críticos del estiaje los pies de cría (caprinos, ovinos y bovinos) y animales de trabajo se alimentan básicamente de rastrojo de maíz y de forraje de áreas forestales.
- Se considera la UA de 425 kg y un consumo diario del 3% de peso vivo.
- Se considera un factor, en UA, de 1.0 para ganado bovino (trabajo y engorda), caballar y mular; de 0.6 para ganado asnal; y 0.3 para caprino y ovinos.

En el

Cuadro 37, última columna, se muestra la producción de forraje simulada con el modelo APEX.

Cuadro 37. Producción de forraje, a nivel municipal, estimada según censo ganadero del INEGI (2007) y simulada con APEX.

Nombre del Municipio	Censo 2007	Superficie Municipal en cuenca	UA en el agostadero	Superficie Agostadero	Índice de agostadero (censo)	Producción forraje (Censo)	Producción forraje (APEX)
	UA	%	UA	ha	ha/UA	t/ha	t/ha
Asunción Cuyotepeji	762.0	99.9	761.0	2,030	2.67	2.50	2.00
Guadalupe de Ramírez	483.4	100.0	483.4	903	1.87	3.56	3.01
Huajuapán de León	5096.6	78.9	4023.3	12,425	3.09	2.15	2.98
Mariscal de Juárez	1531.7	22.8	349.2	1,748	5.00	1.33	1.74
San Agustín Atenango	748.4	100.0	748.4	1,656	2.21	3.01	2.81
San Antonino Monte Verde	1366.7	100.0	1366.7	5,810	4.25	1.57	3.69
San Antonio Acutla	190.0	100.0	190.0	519	2.73	2.44	2.01
San Jerónimo Silacayoapilla	897.8	100.0	897.8	2,030	2.26	2.94	2.71
San Jorge Nuchita	381.0	100.0	381.0	877	2.30	2.89	1.83
San José Ayuquila	530.7	81.4	431.9	987	2.28	2.91	2.56
San Juan Bautista Suchitepec	542.5	94.5	512.4	2,151	4.20	1.59	1.79
San Juan Mixtepec	3439.2	100.0	3439.2	13,950	4.06	1.64	3.54
San Juan Ñumi	2912.6	100.0	2912.6	8,250	2.83	2.35	3.70
San Juan Teposcolula	1072.4	92.3	989.5	3,368	3.40	1.96	3.46
San Lorenzo Victoria	308.3	100.0	308.3	362	1.18	5.66	3.20
San Martín Itunyoso	595.3	77.5	461.2	1,238	2.68	2.48	3.52

Nombre del Municipio	Censo 2007	Superficie Municipal en cuenca	UA en el agostadero	Superficie Agostadero	Índice de agostadero (censo)	Producción forraje (Censo)	Producción forraje (APEX)
	UA	%	UA	ha	ha/UA	t/ha	t/ha
San Martin Peras	1891.9	16.7	315.2	302	0.96	6.95	1.62
San Martin Zacatepec	479.7	100.0	479.7	707	1.47	4.52	1.74
San Miguel Amatitlán	2489.1	62.3	1551.0	4,097	2.64	2.52	2.76
San Miguel Tlacotepec	889.8	100.0	889.8	1,742	1.96	3.40	3.64
San Pedro Martir Yucuxaco	919.7	100.0	919.7	2,971	3.23	2.06	3.69
San Pedro Nopala	1049.8	100.0	1049.7	1,854	1.77	3.77	1.83
San Pedro Y San Pablo Teposcolula	1089.4	100.0	1089.4	2,998	2.75	2.42	3.41
S.Pedro y S.Pablo Tequixtepec	2185.6	1.7	37.2	81	2.17	3.07	1.84
San Pedro Yucunama	179.2	100.0	179.2	442	2.47	2.70	3.42
San Sebastián Nicananduta	313.5	100.0	313.5	1,603	5.11	1.30	3.67
San Sebastián Tecomaxtlahuaca	2270.6	95.8	2175.2	4,698	2.16	3.08	2.49
San Simon Zahuatlán	412.3	100.0	412.3	1,999	4.85	1.37	2.62
Santa Cruz Nundaco	861.4	100.0	861.4	1,392	1.62	4.12	3.69
Heroica Ciudad De Tlaxiaco	6128.8	98.3	6024.6	9,701	1.61	4.13	3.59
Santa María Camotlán	740.9	100.0	740.9	3,527	4.76	1.40	1.99
Villa De Chilapa De Díaz	626.8	100.0	626.8	3,494	5.57	1.19	3.15
Santa Maria Nduayaco	672.2	45.3	304.8	1,591	5.22	1.27	3.72
Santiago Ayuquillilla	1448.1	68.9	998.0	3,143	3.15	2.11	2.65
Santiago del Río	584.8	100.0	584.8	1,037	1.77	3.75	3.72
Santiago Huajolotitlán	1492.7	100.0	1492.7	5,714	3.83	1.74	1.84
Santiago Juxtlahuaca	4097.8	33.2	1358.8	4,003	2.95	2.26	2.95
Santiago Miltepec	242.4	64.7	156.7	397	2.53	2.63	1.82
Santiago Tamazola	2248.8	56.3	1267.0	4,369	3.45	1.93	1.66
Villa Tejupam De La Unión	1657.5	100.0	1656.7	3,121	1.88	3.53	3.25
Santiago Yolomecatl	734.3	100.0	734.3	2,182	2.97	2.24	3.56
Santo Domingo Tonalá	2480.1	100.0	2480.1	3,687	1.49	4.48	2.21
Santo Tomas Ocotepec	1855.6	80.3	1489.5	1,892	1.27	5.24	3.57
San Vicente Nuñu	459.7	98.9	454.5	1,037	2.28	2.92	3.37
Silacayoapam	2659.0	97.1	2581.6	11,338	4.39	1.52	2.78
Tamazulapam Del Progreso	1894.7	100.0	1894.7	2,849	1.50	4.43	2.50
Teotongo	950.9	100.0	950.9	1,676	1.76	3.78	1.92
Tezoatlán De Segura Y Luna	4500.0	100.0	4500.0	18,981	4.22	1.58	3.61
La Trinidad Vista Hermosa	99.2	100.0	99.2	413	4.17	1.60	1.93
Zapotitlán Palmas	240.9	92.8	223.6	496	2.22	3.00	3.44
					Promedio	2.78	2.80

Comparación entre forraje estimado y simulado.

Con el propósito de observar los rangos en que se mueve el consumo de forraje, estimada según el tamaño de hatos reportado por INEGI (2007) y los valores simulados por APEX, en Figura 36 se

grafican ambos valores. A nivel de cuenca se observa un rendimiento promedio estimado de forraje, en base al censo, de 2.78 t/ha (± 1.24) y simulado con APEX de 2.8 t/ha (± 0.74). De este modo se observa que las simulaciones con APEX tienen menos dispersión que los valores provenientes del censo agrícola y pecuario.

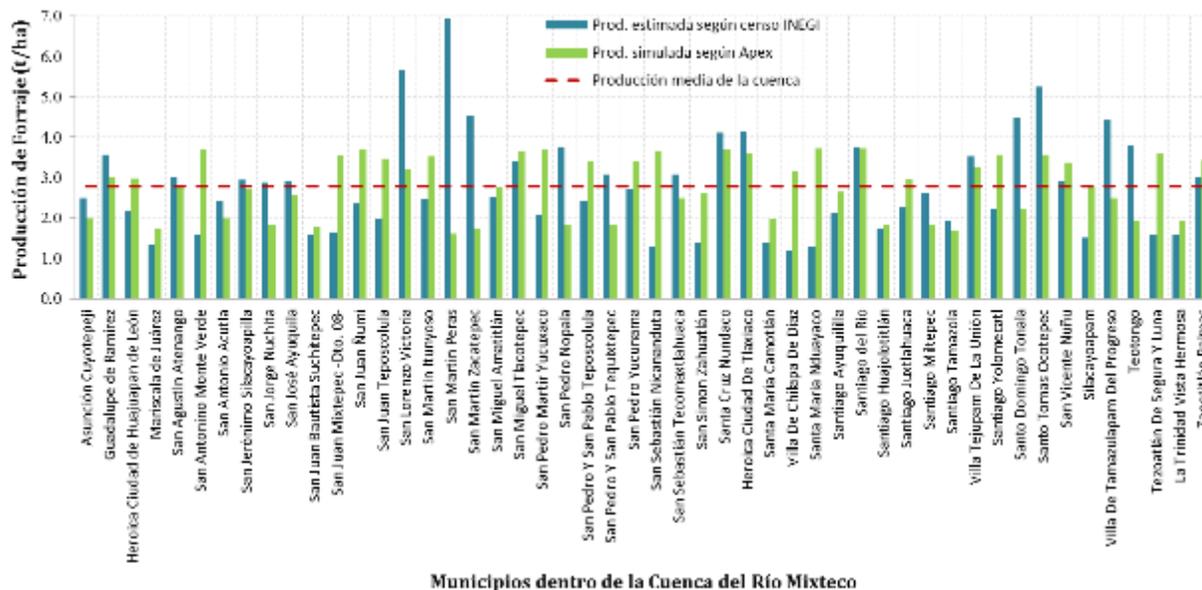


Figura 36. Producción de forraje estimado, según hatos ganaderos reportados por INEGI (2007) y rendimiento de forraje simulado con APEX.

En el Mapa 6 se muestra la producción de forraje promedio, para un período de simulación de 20 años, según el comportamiento estadístico del clima en la cuenca. Se observa que los rendimientos de forraje más bajos (<2.0 t/ha) se localizan básicamente en los litosoles de origen ígneo (51,607.5 ha), los cuales tienen escasa capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo; debido a lo delgado de su perfil (<15 cm) y alta pedregosidad que los caracteriza.

Los suelos tipo regosol y feozem presentan los mejores rendimientos. Estos últimos pueden alcanzar, por lo fino de su textura y la profundidad del perfil (arrastre/depositación), un rendimiento de hasta 3.8 t/ha (Figura 37).

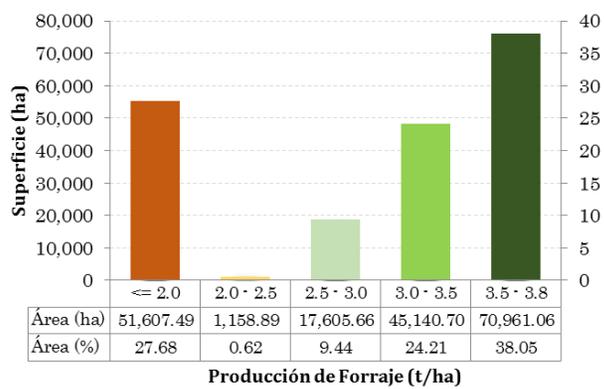
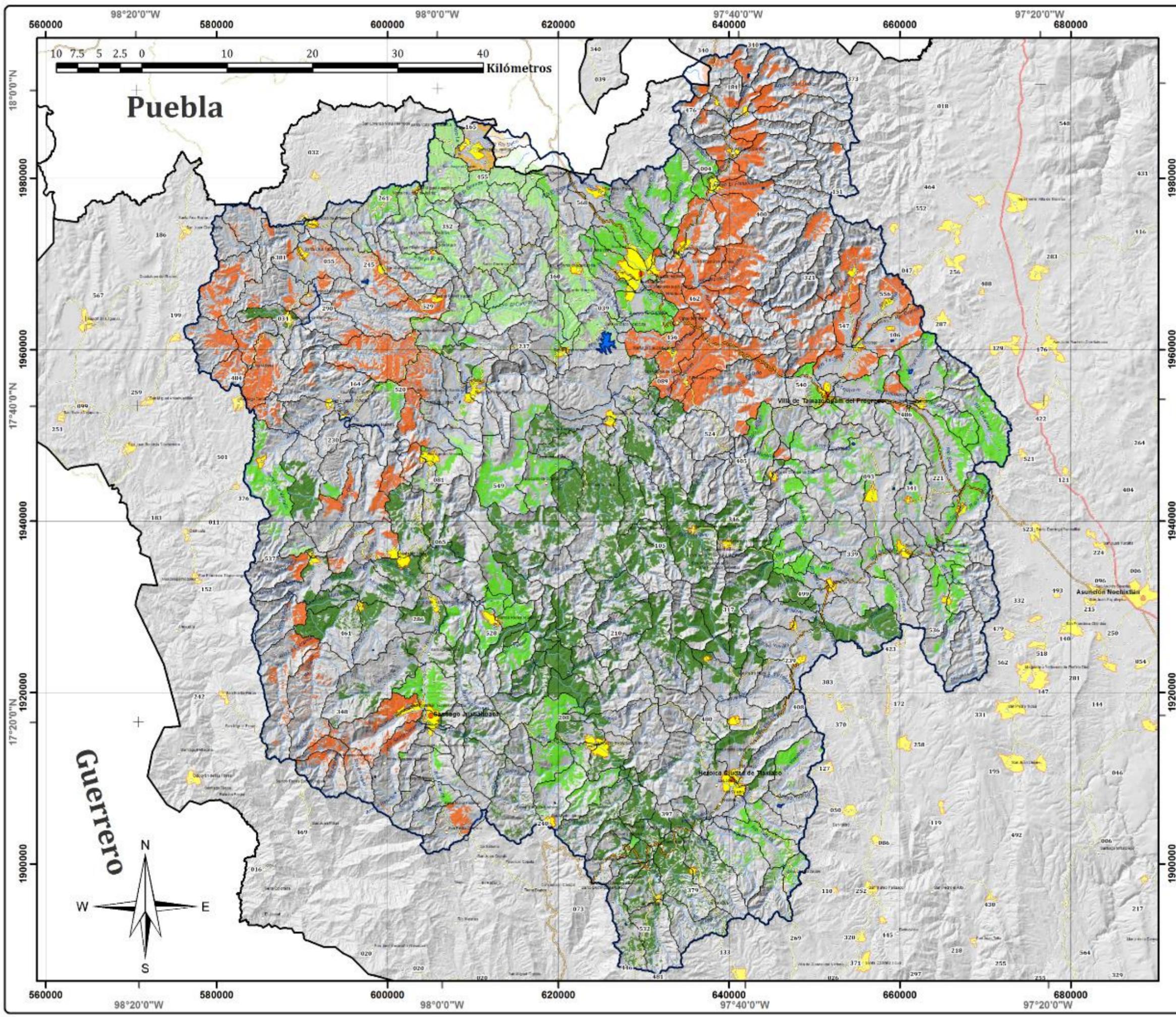


Figura 37. Distribución de la producción de forraje en la cuenca del río Mixteco.



Leyenda

□ Límite de las subcuencas	Biomasa (t/ha)*
□ Límite de la Cuenca	1.5 - 2.0
□ Límite Municipal	2.0 - 2.5
□ Límite Estatal	2.5 - 3.0
■ Localidades Urbanas	3.0 - 3.5
■ Cuerpos de Agua	3.5 - 3.75
~ Ríos	

Localidades

- < 500 hab.
- 500 - 5,000 hab.
- > 5,000 hab.

* Rendimiento promedio de Biomasa aérea de pastos, en pendientes >5°, obtenido por simulación con el modelo ArcAPEX 10.0.3 B2 (<http://http://apex.tamu.edu/software>).

Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000

Fuente:
 Mapa Base. INEGI. Marco Geoestadístico Nacional.
 Área de pastizales. WWF. Uso de suelo y vegetación 2010.

Proyecto MIXTECA
Convenio de colaboración ON93

Estrategias de manejo para la producción sustentable en laderas de la cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca

BIOMASA DE PASTIZALES EN LADERAS (Resultados del modelo APEX)

ESCALA 1:425,000

La capacidad de carga de los agostaderos.

Para el cálculo de la capacidad de carga, en unidades animal (UA), se tuvo en cuenta el consumo de materia seca por UA, la eficiencia de su aprovechamiento, y la producción de forraje del agostadero calculada en cada sub-área por APEX (Mapa 6).

Para definir el consumo de forraje (materia seca) por UA, se estimó un consumo diario de MS del 3% del peso corporal. Es decir que para una unidad animal de 425 kg de peso vivo, el consumo diario de MS sería de 12.75 kg y el anual de 4.65 ton.

Con fines de cálculo se asumió una eficiencia, para el aprovechamiento del forraje, del 70%. Este valor es alto ya que considera que el hato ganadero, compuesto principalmente por cabras, hace un buen aprovechamiento del forraje producido.

La producción de forraje del agostadero (MS/ha) está determinada por la pendiente del terreno, por el tipo de suelo y el clima de cada sitio, que APEX considera para su estimación a través de sub-áreas. A nivel de cuenca, para un rendimiento de forraje (MS) medio en la cuenca de 2.8 t/ha se tendría un aprovechamiento de MS de: 1.96 t/ha (70% de eficiencia). Por otro lado, para un consumo anual de MS/UA: 4.65 ton se tendría una capacidad de carga de 0.42 UA/ha/año (MS aprovechada/consumo anual UA). Así, para una capacidad de carga de 0.42 UA/ha/año y un tamaño del

agostadero en la cuenca de 179,726 ha se podrían sostener teóricamente 75,694 UA.

Esta carga animal teórica, si la comparamos con la del censo municipal del INEGI (hato total equivalente a 71,108 UA), APEX estaría sobrestimado la producción de forraje un 6.4%.

En el Mapa 7 se presentan la distribución de las capacidades de carga (en UA/ha) para la cuenca. El 40% de la superficie (73,575 ha) presentan capacidades de carga inferiores a 0.7 UA/ha (Figura 38) que corresponden básicamente a litosoles y rendzinas, mientras que el 60% restante, con agostadero de mejor potencial productivo, corresponden a suelos tipo feozem y regosol.

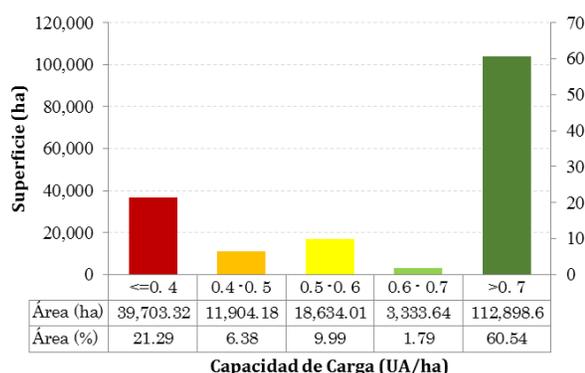
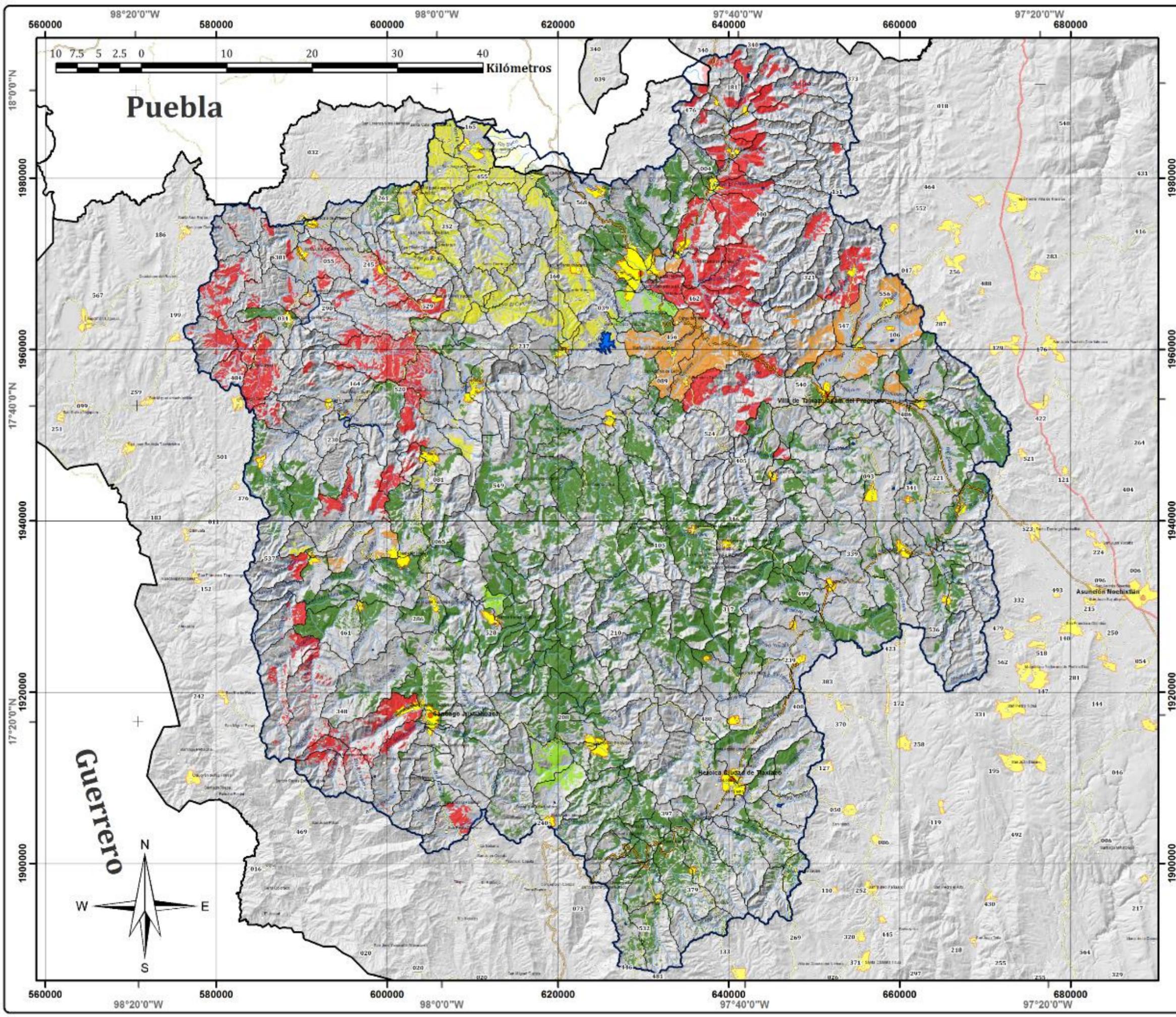


Figura 38. Distribución de la capacidad de carga animal en la cuenca del río Mixteco.

El Cuadro 38 presenta la carga animal, en UA, estimada en base a la superficie de agostadero y capacidad de carga animal ponderada de cada ejido, presente en la cuenca del río Mixteco. Sobre salen, por el tamaño de su hato ganadero (>2,000 UA), los ejidos de San Juan Mixtepec, San Antonino Monteverde y Santo Domingo

Yosoñama. La importancia de este cuadro es que permite al técnico comparar las existencias ganaderas con la carga animal estimada. En base al análisis del censo agropecuario, se estima que esta carga animal teórica debe ser cercana al tamaño del hatu presente en cada ejido. De este modo se infiere que la carga animal, presente en la cuenca, es producto de procesos degradativos históricos y se encuentra en equilibrio dinámico con la capacidad productiva remanente del agostadero. Esta productividad remanente puede ser equilibrada con la expansión de las áreas de pastoreo, a costa de otras coberturas vegetales, o por cambios tecnológicos en el sistema productivo. Cambios tecnológicos sucesivos que suelen suceder de un pastoreo trashumante, a semi-estabulado y a uno intensivo estabulado.



Leyenda

Límite de la cuenca	Capacidad de carga (UA/ha/año)
Límite de las subcuencas	
Límite estatal	
Límite municipal	
< 0.4	Localidades
0.4 - 0.5	
0.5 - 0.6	
0.6 - 0.7	
> 0.7	
< 500 hab.	Cuerpos de agua
500 - 5,000 hab.	
> 5,000 hab.	
Cuerpos de agua	
Ríos	Localidades urbanas
Localidades urbanas	

Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000

Fuente:
 Mapa Base. INEGI. Marco Geoestadístico Nacional.
 Área de pastizales. WWF. Uso de suelo y vegetación 2010.

Proyecto MIXTECA
Convenio de colaboración ON93

Estrategias de manejo para la producción sustentable en laderas de la cuenca del Río Mixteco, Estado de Oaxaca

CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL (UA/ha/AÑO)

ESCALA 1:425,000

Cuadro 38. Carga animal en base a la producción de forraje y la superficie de agostadero ejidal.

Núm.	Nombre del Ejido	Superficie (ha)	Biomasa Forraje (t/ha)	Cap. De Carga UA/ha	Carga Animal (UA)
1	San Juan Mixtepec	15,752.26	3.55	0.53	8,407
2	San Antonino Monteverde	6,347.61	3.69	0.56	3,524
3	Santo Domingo Yosofñama	4,527.91	3.71	0.56	2,524
4	San Juan Ñumi	3,275.56	3.69	0.56	1,819
5	San Sebastián Tecomaxtlahuaca	4,114.78	2.71	0.41	1,679
6	Tezoatlán de Segura y Luna	2,914.82	3.68	0.55	1,616
7	San Pedro Mártir Yucuxaco	2,885.34	3.69	0.55	1,600
8	San Juan Diquiyu	2,850.62	3.70	0.56	1,588
9	Yucuquimi de Ocampo	2,646.28	3.57	0.54	1,422
10	Santos Reyes Tepejillo	2,720.61	3.44	0.52	1,407
11	Santa María Chilapa de Díaz	2,910.93	3.11	0.47	1,360
12	Santa María Cuquila	2,499.63	3.60	0.54	1,354
13	Santa María Tindu	2,259.65	3.52	0.53	1,198
14	San Miguel Tlacotepec	2,177.88	3.62	0.54	1,185
15	Santiago Juxtlahuaca	2,497.50	2.96	0.45	1,112
16	San Andrés Dinicuiti	3,318.20	2.08	0.31	1,037
17	Tamazulapam	2,812.44	2.44	0.37	1,032
18	Santiago Ayuquillilla	2,567.32	2.64	0.40	1,021
19	Santiago Cacaloxtotec	3,095.61	2.15	0.32	1,002
20	Santa María Camotlán	3,242.33	1.98	0.30	964
21	Santa Cruz Nundaco	1,684.97	3.69	0.55	935
22	San Marcos Monte de León	1,759.21	3.52	0.53	931
23	Santo Tomas Ocotepec	1,649.81	3.56	0.54	883
24	San Sebastián Nicananduta	1,521.58	3.66	0.55	838
25	Santo Domingo Tonaltepec	1,549.69	3.48	0.52	811
26	San Simón Zahuatlan	2,018.51	2.62	0.39	797
27	Santa Catarina Yutandu	1,384.84	3.70	0.56	771
28	San Juan Teposcolula	1,480.40	3.42	0.51	762
29	Santos Reyes Yucuna	2,220.53	2.21	0.33	739
30	San Andrés Yutatio	1,421.86	3.42	0.51	731
31	Ixpantepec Nieves	1,349.82	3.37	0.51	685
32	San Jerónimo Silacayoapilla	1,656.64	2.70	0.41	674
33	San Agustín Atenango	1,510.81	2.82	0.42	640
34	San Marcos Arteaga	1,534.53	2.75	0.41	634
35	Asunción Cuyotepeji	2,029.56	2.00	0.30	611
36	Teposcolula	1,116.45	3.39	0.51	569
37	Santiago del Río	1,214.28	3.00	0.45	548
38	San José Ayuquila	1,316.03	2.59	0.39	513
39	San Juan Huaxtepec	1,358.13	2.43	0.37	497
40	San Vicente Nuñu	963.55	3.37	0.51	488

Núm.	Nombre del Ejido	Superficie (ha)	Biomasa Forraje (t/ha)	Cap. De Carga UA/ha	Carga Animal (UA)
41	San Sebastián del Monte	1,420.06	2.23	0.34	476
42	Teotongo	1,578.79	1.95	0.29	463
43	San Miguel Aguacates	803.80	3.72	0.56	450
44	Santa María Natividad Nieves	804.78	3.69	0.56	447
45	San Pedro Nopala	1,600.04	1.81	0.27	436
46	San José de Gracia	718.12	3.70	0.56	400
47	Venta Uribe de Juárez	844.20	3.11	0.47	395
48	Santa María Xochitlapilco	812.85	3.15	0.47	385
49	Santo Domingo Yolotepec	928.09	2.69	0.41	376
50	San Sebastián Progreso	1,341.28	1.84	0.28	371
51	Huajuapam de León	733.14	3.19	0.48	352
52	Santa María Tutla	1,220.40	1.90	0.29	348
53	San Miguel Papalutla	828.87	2.69	0.40	335
54	San Jerónimo Progreso	819.39	2.65	0.40	327
55	Santo Domingo Ticu	566.00	3.70	0.56	315
56	San Miguel del Progreso	587.46	3.55	0.53	314
57	San Andrés Lagunas	574.15	3.38	0.51	292
58	Rancho de el Rincon	524.46	3.41	0.51	269
59	Santa María el Zapote	961.72	1.83	0.28	265
60	San Andrés Montaña	691.51	2.50	0.38	261
61	Santiago Asunción	462.06	3.71	0.56	258
62	San Juan Cuitito	515.26	3.32	0.50	257
63	San José Xochitlán	474.14	3.57	0.54	254
64	San Juan Reyes	476.50	3.48	0.52	250
65	Guadalupe de Ramírez	565.12	2.89	0.44	246
66	Santa María Asunción	417.29	3.70	0.56	233
67	San Miguel Tulancingo	636.71	2.41	0.36	231
68	Santa María Yucunicoco	421.43	3.49	0.52	221
69	San Juan Suchitepec	802.62	1.77	0.27	214
70	San Juan Ihualtepec	839.17	1.64	0.25	206
71	San Martín Huamelulpam	369.49	3.70	0.56	205
72	San Luis Morelia	745.77	1.63	0.24	182
73	Santo Tomás Tecolotitlán	353.67	3.39	0.51	181
74	San Sebastián Zoquiapam	721.66	1.64	0.25	178
75	San Pedro Yucunama	340.32	3.42	0.51	175
76	San Pedro Atoyac	702.04	1.61	0.24	170
77	San Martín Zacatepec	634.64	1.78	0.27	170
78	San Francisco El Chico	619.87	1.82	0.27	170
79	Presidente López Mateos	320.73	3.44	0.52	166
80	San Francisco El Grande	583.57	1.78	0.27	156
81	San Andrés Sabinillo	626.83	1.66	0.25	156
82	San Idelfonso Salinas	337.29	3.04	0.46	154

Núm.	Nombre del Ejido	Superficie (ha)	Biomasa Forraje (t/ha)	Cap. De Carga UA/ha	Carga Animal (UA)
83	Santiago Huajolotitlán	515.80	1.90	0.29	147
84	San Antonio Acutla	446.06	2.01	0.30	135
85	Guadalupe Cuahutepec	484.19	1.79	0.27	130
86	Guadalupe la Huertilla	409.61	2.10	0.32	129
87	Santa María Nduayaco	227.07	3.73	0.56	127
88	Santo Domingo Tonalá	480.34	1.72	0.26	124
89	San Martín Duraznos	492.01	1.67	0.25	124
90	Guadalupe de Morelos	501.53	1.59	0.24	120
91	Santo Domingo Nundo	213.70	3.68	0.55	118
92	Santa María Pozoltepec	228.14	3.42	0.52	118
93	San Martín Itunyoso	217.01	3.55	0.53	116
94	La Trinidad Vista Hermosa	395.56	1.92	0.29	114
95	Santiago Tamazola	462.14	1.64	0.25	114
96	Magdalena Cañadaltepec	225.46	3.35	0.50	114
97	San Juan Trujano	456.94	1.63	0.25	112
98	San Miguel Tixa	194.94	3.38	0.51	99
99	San Francisco Paxtlahuaca	232.59	2.83	0.43	99
100	Santiago Nundiche	166.99	3.71	0.56	93
101	Santa Magdalena Jicotlán	310.09	1.92	0.29	90
102	San Antonio Nduaxico	155.95	3.67	0.55	86
103	San Esteban Atlatluhuaca	156.30	3.66	0.55	86
104	Guadalupe Nundaca	349.88	1.62	0.24	85
105	San Martín Peras	328.31	1.62	0.24	80
106	San Jorge Nuchita	196.44	2.64	0.40	78
107	Zapotitlán Palmas	145.66	3.40	0.51	75
108	San Andrés Chichahuaxtla	136.76	3.57	0.54	73
109	San Bartolo Salinas	296.48	1.64	0.25	73
110	San Antonio Zahuatlán	186.06	2.58	0.39	72
111	Guadalupe Tixa	135.21	3.40	0.51	69
112	Rancho Jesús	128.15	3.36	0.51	65
113	San José Chapultepec	161.44	2.66	0.40	65
114	San Jerónimo Nuchita	163.10	2.61	0.39	64
115	Santa María Yucuhiti	118.55	3.56	0.54	63
116	San Francisco Higos	254.91	1.62	0.24	62
117	San Pedro y San Pablo Tequixtepec	215.98	1.81	0.27	59
118	Santa Catarina Noltepec	204.47	1.81	0.27	56
119	San Juan Copala	185.79	1.71	0.26	48
120	Santa Catarina Río Delgado	87.84	3.40	0.51	45
121	La Estancia	108.41	2.73	0.41	45
122	Santiago Naranjas	85.29	3.34	0.50	43
123	San Felipe Ixtapa	79.93	3.39	0.51	41
124	Rosario Nuevo	70.93	3.53	0.53	38

Núm.	Nombre del Ejido	Superficie (ha)	Biomasa Forraje (t/ha)	Cap. De Carga UA/ha	Carga Animal (UA)
125	El Vergel	63.10	3.69	0.56	35
126	Mariscal de Juárez	126.51	1.54	0.23	29
127	San Juan Cieneguilla	116.95	1.64	0.25	29
128	San Francisco Teopan	106.79	1.76	0.27	28
129	San José de la Pradera	106.49	1.57	0.24	25
130	Santa Cruz Tacache de Mina	92.06	1.72	0.26	24
131	Chila de las Flores	46.01	3.38	0.51	23
132	San Lorenzo Victoria	102.18	1.48	0.22	23
133	San Nicolás Hidalgo	89.43	1.63	0.25	22
134	Santa María del Rosario	38.58	3.71	0.56	22
135	San Miguel el Grande	42.73	3.32	0.50	21
136	San Jerónimo Otlá	33.71	3.50	0.53	18
137	Ojo de Agua	31.68	3.45	0.52	16
138	Lázaro Cárdenas	48.82	1.88	0.28	14
139	San Cristóbal Amoltepec	25.75	3.36	0.51	13
140	San Miguel Cuevas	35.04	2.24	0.34	12
141	Magdalena Yodocono de Porfirio Díaz	19.98	3.31	0.50	10
142	Cañada Santa María	17.60	3.38	0.51	9
143	Santa María Ayu	16.84	3.33	0.50	8
144	San Cristóbal Suchixtlahuaca	7.61	3.36	0.51	4
145	Santiago Nejapilla	7.26	3.31	0.50	4
146	Nuevo Tenochtitlan	6.09	3.40	0.51	3
147	Santa María Nativitas	3.73	3.50	0.53	2
148	Santa Catarina Estancia	3.48	2.66	0.40	1
149	Santiago Nuyoo	1.99	3.54	0.53	1
150	Santos Reyes Zochiquilazala	0.27	1.61	0.24	0

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN:

Los resultados obtenidos en la cuenca, a través de la modelación con APEX, debe considerarse una aproximación a la realidad, confirmada a través de censos, que sirven para entender el comportamiento del sistema agropecuario en terrenos de ladera, priorizar áreas de manejo y definir estrategias de intervención a nivel de sub-cuenca o micro-cuenca a fin de lograr beneficios ambientales significativos a nivel regional.

Agricultura en ladera

El cultivo de maíz en la Mixteca (80,941 ha, 12.4% de la cuenca) es una actividad íntimamente ligada al régimen de lluvia y su inicio está sujeto a la disponibilidad de humedad en el suelo para la siembra.

A nivel de cuenca el rendimiento medio es de 0.93 t/ha de maíz en ladera y no presenta grandes variaciones entre los distintos municipios (± 0.151 t/ha) que cubren la cuenca del río Mixteco. El 56% de la superficie agrícola de ladera tiene rendimientos de maíz inferiores a 1.0 t/ha y el 40% de la superficie presenta rendimientos de grano entre 1.0 a 1.25 t/ha.

El 29% de la superficie agrícola en ladera pierde más de 10 kg de suelo por cada kilogramo de maíz producido. Esta superficie afectada, 25,022 ha, puede mejorar su relación Erosión/Productividad a través de prácticas de manejo que incrementen el rendimiento de grano o acciones de conservación de suelo que reduzcan la erosión hídrica y mejoren la captación de humedad.

El cultivo de maíz en ladera se basa en el establecimiento de la temporada de lluvias para la siembra, el uso de semillas criollas, la preparación del terreno con tractor, el empleo de animales para la siembra y el uso de fertilizantes inorgánicos. El sistema productivo muestra poca variación respecto en sus técnicas de manejo y escasa variación fisiotécnica.

La producción de maíz no es rentable, en términos monetarios, ya que invierten más de los que obtienen. Sin embargo, el cultivo de maíz, es una actividad imprescindible para los productores, dada su importancia en la seguridad alimentaria de las familias; por lo que la venta de grano casi no ocurre.

La mecanización de las actividades, principalmente en la preparación del suelo, ha desplazado al sistema tradicional de producción en cajetes, con efectos en la vulnerabilidad de los rendimientos y la degradación del suelo. Existe una alta dependencia del sistema a la aplicación de fertilizantes, ya que el 84.8% de los productores aplican algún producto de esa naturaleza. El elemento más generalizado es el nitrógeno cuya dosis promedio es de 45 kg/ha. El 50%, de los productores que fertilizan, aplican fósforo en una dosis media de 30 kg/ha.

Una variante productiva del cultivo de maíz, que se observa en la cuenca, es el sistema lama bordo. Este sistema es una tecnología que conforma terraplenes que mejoran el rendimiento de grano ya que aumentan la humedad del suelo (al concentrar los

escurrimientos en los bancales) y permiten las siembras de semillas de ciclos largos sin problemas de heladas tempranas.

Ante el problema de degradación de suelo que sufre la cuenca, por el cultivo de maíz en ladera, las alternativas tecnológicas que pueden favorecer el uso sustentable del recurso y garanticen la autosuficiencia, pueden ser:

1. Manejo de sistemas de labranza de conservación que permitan mejorar la calidad del suelo, especialmente en lo relacionado con la retención de humedad y protección contra los fenómenos erosivos.
2. Manejo de las densidades de población, especialmente el arreglo topológico, tratando de mantener una distribución más uniforme de la plantas sobre el terreno.

Los agostaderos o pastizal inducido

En la región, los agostaderos (179,726 ha, 27.5% de la cuenca) se caracterizan por su adaptación a suelos delgados con baja retención de humedad, producto de una topografía abrupta, alta pedregosidad y períodos prolongados de sequías interestivales. En general en la cuenca dominan los pastos de valor forrajero de medio a bueno.

El 52% de los productores cuenta con hatos de ganado, predominantemente cabras (85%), y tamaño medio de 30 (± 20) animales. Los hatos están compuestos, principalmente, por animales criollos; seleccionados por el productor para adaptarse al entorno. El ganado caprino es preferido por su adaptabilidad a terrenos abruptos, su facilidad de manejo, su rusticidad y ramoneo de

vegetación arbustiva; que otra especie animal no podría aprovechar. La proporción de caprinos es mayor en climas cálidos y semi-cálidos y la de ovinos ocurre principalmente en climas templados (húmedos y subhúmedos). Los hatos realizan caminatas diarias de 2 - 5km en busca de forraje y agua lo que repercute en la ganancia de peso.

En general no existe reglamentación en el uso del agostadero y las autoridades comunales y civiles no tienen control en el tamaño de los hatos, sistema de producción (extensivo, semi-intensivo, intensivo), restricciones, carga animales, áreas de pastoreo y las especies animales que los productores pueden mantener en su hato.

Desde el punto de vista económico, la producción de ganado menor es de gran importancia para la economía familiar ya que los productores obtienen más ingresos, con menor riesgo, del ganado menor que de la producción de granos básicos. En general, los productores anualmente venden en promedio 12 caprinos al año y consume en 2.5 animales, principalmente para celebraciones.

A nivel de cuenca se observa un rendimiento promedio de forraje de 2.8 t/ha (± 0.74). Los rendimientos de forraje más bajos (< 2.0 t/ha) ocurren en 51,607.5 ha y se localizan básicamente en suelos con escasa capacidad de almacenamiento de humedad, litosoles de origen ígneo. Los mejores rendimientos, hasta de 3.8 t/ha, se presentan en suelos más profundos del tipo regosol y feozem.

La capacidad de carga media, a nivel de cuenca, es de 0.42 UA/ha/año y se podrían sostener teóricamente 75,694 UA en las 179,726 ha de pastizal inducido (índice de agostadero de 2.38 UA/ha). El 40% de la superficie (73,575 ha) presentan capacidades de carga inferiores a 0.7 UA/ha y corresponde a suelos tipo feozem y regosol.

Las áreas con mayor grado de deforestación y degradación se encuentran alrededor de los núcleos de población donde se realizan actividades de sobre pastoreo. Por ello es importante establecer leguminosas arbustivas, cercanas a las poblaciones, que abastezcan las necesidades de forraje y de leña para autoconsumo. Una opción para mantener el nivel productivo de los agostaderos, y de seguridad alimentaria, son las obras de conservación de humedad, como tinas ciegas o zanjas bordo; alternativas que aseguran reservas de humedad en periodos de sequías críticas y aumenten (condiciones climáticas medias) el rendimiento de forraje al menos un 30%.

En general se observa que la profundidad del suelo y su pedregosidad son factores críticos en la producción de materia seca (forrajes, rastrojos y maíz.) de la región; ya que son aspectos determinan la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo. De este modo, los suelos pedregosos y/o escasa profundidad (<50 cm) afectan a las plantas por sus escasas reservas de humedad para esperar el siguiente evento de lluvia. Esta situación se hace crítica en los pastizales con sobre pastoreo. Pero en caso de cambios en los regímenes de lluvias, asociados a incrementos

en el intervalo de lluvias, seguidos de lluvias intensas, que favorecen el escurrimiento superficial, afectan de manera importante la producción de grano y forraje; de ahí la importancia de establecer acciones de manejo que favorezcan la captación de agua en el suelo y reduzcan su pérdida.

9. LECCIONES APRENDIDAS:

La recurrencia de las precipitaciones, durante la estación de lluvias, y la limitada capacidad de almacenamiento de humedad de los suelos (por su escasa profundidad, pedregosidad y/o pisoteo) han hecho que los pastos y los maíces presentes sean producto de una adaptación selectiva a las condiciones ambientales de la cuenca. De este modo los maíces de la región, en su proceso de selección, tienden a mostrar parámetros fisiotécnicos con escasos márgenes de variación. Del mismo modo, el manejo del cultivo de maíz, principalmente en terrenos de ladera, y a pesar de las variaciones climáticas dentro de la cuenca, es básicamente homogéneo ya que su cultivo está sujeto al establecimiento de la temporada de lluvias.

En la región el pastoreo se concentra alrededor de los núcleos de población. Sin embargo los productores con hatos mayores a la media suelen pastorear, dentro de los terrenos comunales más alejados, por usos y costumbres, áreas de uso exclusivas. Los productores suelen tomar posesión de estos terrenos de agostadero a través de instalaciones pecuarias rústicas denominadas ranchitos. Las cuales son acompañadas de pequeñas superficies cultivadas con maíz,

básicamente para la producción de forraje que eventualmente, en los años de mejores lluvias, la producen de grano. De este modo los productores de maíz en ladera basan sus actividades en torno a la alimentación del hato ganadero, ya que es la principalmente fuente de ingresos económicos. Un proyecto como el realizado, que ponga a la vista de todos los resultados de sus propuestas y que durante el proceso capacitación a los involucrados, deja ver un alto potencial de cambio en las conciencias y en la recuperación del medio ambiente.

El tamaño del hato presente en cada comunidad de la cuenca, a través de siglos de explotación ganadera, es producto de las condiciones climáticas medias y la capacidad de almacenamiento de los suelos. De este modo, la cuenca se encuentra en equilibrio dinámico, entre el avance de la rusticidad del agostadero y el número de animales que puede sostener.

Al ganado caprino se le culpa de ser el principal causante de la degradación de los agostaderos de la Mixteca; sin embargo esto obedece más al sistema de manejo practicado y la falta de una cultura orientada a la mejora del agostadero y la estabulación del ganado.

Los productores cuando se involucran en obras y prácticas de conservación se tornan más dispuestos a implementar prácticas vegetativas alternativas que mejoren el potencial productivo de los sitios en recuperación.

Los pastizales presentan problemas de erosión principalmente en terrenos sedimentarios de ladera.

Gran parte de la fertilización del maíz en ladera proviene del uso de estiércol de animales que se alimentan de rastrojo y del forraje del agostadero.

Además del forraje, otro de recurso importante que se extrae del agostadero es la leña y no se observa esfuerzos de reforestación con especies de doble propósito: ramoneo y producción de leña.

10. LIMITACIONES U OBSTÁCULOS AL PROYECTO

El monitoreo del crecimiento, en especies perennes, requiere lapso de tiempo superior a un ciclo anual y para observar los primeros cambios en las áreas de exclusión se hacen necesarios tiempos superiores a tres años y más de cinco años observar cambios significativos.

11. CONTINUIDAD

La principal fuente de sedimentos proviene de las áreas de depósitos sedimentarios dedicados a la producción agrícola y al pastoreo. Para reducir la erosión en este tipo de paisajes se recomienda analizar el crecimiento de las cárcavas para establecer áreas de exclusión en los frentes de avance y favorecer la captación de sedimentos a través del sistema lama bordo.

Para los sistemas lama bordo se recomienda establecer una metodología que permita el diseño adecuado de los vertederos, en función de los escurrimientos probables, ya que los bordos existentes están siendo arrastrados por escurrimientos torrenciales; en este caso se sugiere la calibración regional del modelo Kíneros para la estimación de las avenidas de diseño hidráulico. Así mismo, para los lama bordo, se recomienda fortalecer el funcionamiento estructural de las estructuras de desfogue; a través de la cementación de los materiales pétreos en puntos donde ocurre la mayor concentración del escurrimiento. Con la finalidad de obtener el máximo beneficio de la humedad, que este sistema proporciona, se recomienda que la terraza, que conforma el lama-bordo, sea cultivada en cajetes y maíces de ciclo largo.

En las áreas de ladera se recomienda establecer módulos con parcelas demostrativas de labranza mínima, labranza de conservación y de labranza cero con el fin de incrementar la retención de humedad en el suelo y reducir las pérdidas de evaporación del suelo. Con una mayor humedad disponible, analizar en estos módulos mayores densidades de población y dosis más altas de fertilización.

A fin de reducir la presión en los agostaderos de la región, el sobre pastoreos alrededor de las comunidades y la colonización de los terrenos forestales se recomienda establecer módulos caprinos (para hatos de hasta 20 animales) que demuestren los beneficios de la rotación de potreros, la siembra de bancos de proteína y la estabulación del ganado menor en apriscos. Estos módulos intensivos de

producción de cabras buscarán aprovechar el potencial de estos animales para la producción de carne y leche en ambientes con riesgo de sequía. En su diseño deberán procurarse exclusiones de praderas asociadas con leucaena (*leucocephala* o *esculenta*) y pastos del género *Bouteloua*. La siembra de estos pastos deberá procurarse en suelos de más de un metro de profundidad y asociados a prácticas mecánicas de captación de humedad. Una vez establecidas las praderas, se buscará la rotación del hato a través de cercos eléctricos y en estabulaciones o apriscos que permitan el reciclado de la caprinaza y purines para la fertilización de bancos de proteína. Estos módulos deberán contar con capacitación técnica sobre el establecimiento y manejo de praderas (densidad de plantación, alturas de corte, tiempo de pastoreo, ensilaje, balanceo dietas, etc) manejo animal (organización de instalaciones, descornado, castración, arreglo de pezuñas, desparasitación, cruza) toma de registros (aretado, destetes, evolución de pesos, producción de leche) y de valor agregado (pasteurización de leche y elaboración de quesos).

Aparentemente la leña para autoconsumo es uno de los recursos que en las comunidades rurales extrae principalmente de los agostaderos de la cuenca, por ello se hace necesario conocer de manera más precisa las necesidades de leña de las comunidades y sus principales fuentes de abastecimiento para autoconsumo y venta. Dado que el agostadero es el área de mayor intervención, por su cercanía a los núcleos de población, se hace necesario identificar especies vegetales con

potencial productivo para el ramoneo y producción de leña.

12. AGRADECIMIENTOS.

A la CONAGUA, por proporcionar la información meteorológica necesaria para el desarrollo del presente proyecto.

A la SAGARPA por proporcionar información estadística de manejo agrícola y de la composición del hato ganadero en la región.

A continuación se incluye el nombre de las personas que participaron en la elaboración del presente trabajo: Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso (coordinador), Dr. Mario R. Martínez Menes (Conservación de suelos), Dr. Adrián Quero Carrillo (Manejo de pastizales), M.C Erasmo Rubio Granados (Manejo agrícola), Ing. Carlos Palacios Espinosa (Procesamiento de información).

13. LITERATURA CITADA

Aguirre R., N. 1967. Metodología para determinar tipos vegetativos, sitios y productividad de sitios. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). México D.F.

Baumer, O.W. 1990. Prediction of soil hydraulic parameters. In: WEPP Data Files Indiana. SCS. National Soil Survey Laboratory, Lincoln, NE.

Beltrán L., S.; Loredó, O.C.; Núñez Q., T.; González E., L.A.; García D., C.A.; Hernández A., J.A.; Urrutia M., J.; Gámez V., H.G. 2007. Navajita Cecilia y Banderilla Diana pastos

nativos sobresalientes para el altiplano de San Luis Potosí (Establecimiento y Producción de semilla). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Regional del Noroeste. Campo experimental San Luis. Folleto Técnico Núm. 33 San Luis Potosí, S.L.P., México. ISBN 978-970-43-0308-2.

Bustamante J.; Allés A.; Espadas M., 2007. Evolución del porcentaje de materia seca del forraje verde a lo largo del año. Centro de Capacitación y Experiencias Agrarias de Mahón (Menorca).

Chávez S., J.L.; Diego F., P.; Carrillo R., J. 2011. Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. Revista Ra Ximhai 7(1): 107-115.

Contreras H., J.R; Volke H., V.; Oropeza M., J.L.; Rodríguez F., C.; Martínez S., T.; Martínez G., A. 2003 Estado actual y causas de la degradación de los agostaderos en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca. TERRA Latinoamericana, 21(3): 427-430.

Contreras H., J.; Volke H., V.; Oropeza M., J.L.; Rodríguez F., C.; Martínez S., T.; Martínez G., A. 2005. Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuitlán, Oaxaca, México, TERRA Latinoamericana, 23(3): 399-408.

Cox, J.R.; Martin, M.H.; Ibarra F., F.A.; Morton, H.L. 1986. Establishment of range grasses on various seedbeds at creosotebush (*Larrea tridentata*) sites in Arizona USA and Chihuahua México. J Range Manag. 39: 540-546.

- Cruz C., E. 1988. Áreas de exclusión: una alternativa en la recuperación del suelo y vegetación en la Mixteca Oaxaqueña. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia, UACH. Chapingo, México. 93 p.
- Cruz C., E. 1992. Los agostaderos comunales de Tiltepec: un caso típico del deterioro ambiental de la Mixteca Oaxaqueña. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, 213 p.
- Cruz C., E.; García M., E.; Contreras H., J.R. 2001. El deterioro de los agostaderos comunales de la mixteca oaxaqueña, Oaxaca. Informe final. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Mixteca Oaxaqueña. México.
- Diego F., P.; Chávez S., J.; Carrillo R., J.; Pérez L., M.I. 2011. Variación fenotípica de una muestra de maíces Mixtecos, en Santa Catarina Ticua. Oaxaca. Revista Ra Ximhai, 7(1): 107-115.
- Engstrom, B.; Marshfield, V. 2004. *Bouteloua curtipendula* (Michaux) Torrey, Sideoats Grama. Conservation and Research Plan for New England. New England Wild Flower Society.
- Gassman, P.W.; Williams, J.R.; Benson, V.W.; Izaurrealde, R.C.; Hauck, L.M.; Jones, C.A.; Atwood, J.D.; Kiniry, J.R.; Flowers, J.D. 2005. Historical Development and Applications of the EPIC and APEX Models. Center for Agricultural and Rural Development Iowa State University. Working Paper 05-WP 397
- Gassman, P.W.; Williams J.R.; Wang, X.; Saleh, A.; Osei, E.; Hauck, L.M.; Izaurrealde, R.C.; Flowers, J.D. 2010. The Agricultural Policy/Environmental Extender (Apex) Model: An Emerging Tool For Landscape And Watershed Environmental Analyses. Transactions of the ASABE 53(3): 711-740.
- Gay, C.W.; Dwyer, D.D; Steger, RE. 1970. New Mexico range plants. New Mexico State University. Coop. Ext. Serv. Cir. 374 p.
- Gould, F.W.; Shaw, R.B. 1992. Gramíneas. Clasificación sistemática. Texas A&M University Press. ISBN:968-463-058-1. Pag 3.
- Hernández G, F.J. 2013. Estrategias para establecer pastos de temporal en zonas semiáridas de México. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. México.
- Herrera, A.; Peterson, P.M.; De la Cerda, M.L. 2004. Revisión de *Bouteloua* Lag. (POACEAE). Editorial Filo del Agua. CIIDIR, CONABIO. Durango, Dgo.
- Herrera A., Y.; Pámanes G., D.S. 2010. Guía de Pastos de Zacatecas. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR IPN. Unidad Durango. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. ISBN 968-5269-27-0.
- INEGI. 2006. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico (continuo nacional), serie II, escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <http://www.inegi.org.mx/>
- INEGI. 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Instituto Nacional de Estadística,

Geografía e Informática. México.
www.inegi.org.mx/

INEGI. 2008. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación serie IV, escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/>

INEGI. 2010. Censo de población y vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.censo2010.org.mx/>.

INIFAP-CIMMYT. 1993. El potencial de la labranza de conservación en la Mixteca, Oaxaqueña. Reporte técnico. Oaxaca, México.

Jaramillo V., V. 1969. Coeficientes de agostadero en México. Unidad de Enseñanza e Investigación de Fitotecnia. Chapingo, México.

Katz, E.; Vargas L., A. 1990. Cambio y continuidad en la alimentación de los Mixtecos. Anales de Antropología 27(1): 15-51.

Kumar, S; Udawatta, R.P.; Anderson, S.H. 2011. APEX model simulation of runoff and sediment losses for grazed pasture watersheds with agroforestry buffers. Agroforestry Systems 83(1): 51-62.

Larsen, S.U.; Bybby, B.M. 2005. Use of Germination Curves to Describe Variation in Germination Characteristics in Three Turfgrass Species. Crop Sci. 44: 891-899.

López C., C.; Richards, R.A.; Farquar, G.D.; Williamson, R.E. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor in early vigor temperate cereals. Crop Sci. 36: 1257-1266.

Morales N., C.R. 2006. Caracterización morfológica, citológica y molecular de los recursos genéticos de *Bouteloua curtipendula*. Recolección del germoplasma de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], en las zonas áridas y semiáridas de México. Tesis de Doctorado del Colegio de Postgraduados. Campus Montecillos.P-8-26.

Morales N., C.R., Quero C., A.R., Pérez P., J.; Hernández G, A.; Le-B, O. 2008. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (michx.) torr.]. Agrociencia 42: 767-775.

Newell, L.C.; Staten, R.D.; Jackson, E.B.; Conard, E. C. 1962. Side-oats grama in the central Great Plains. Nebr. Agric. Res. Bull. 207, Lincoln, NE.

Palerm V., J. 2002. Antología sobre pequeño riego. Sistemas de riego no convencionales. Vol. III. Colegio de Postgraduados. México.

PRODRIMO. 1989. Programa de Desarrollo

Rural Integral de las Mixtecas Oaxaqueñas Alta y Baja 1984-1988. Gobierno del Estado de Oaxaca. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.

Ramanarayanan, T.S.; Williams, J.R.; Dugas, W.A.; Hauck, L.M.; McFarland, A.M.S. 1997. Using APEX to Identify Alternative Practices for Animal Waste Management. ASAE, 2950 Niles Rd., St Joseph, MI 49085-9659 USA.

Rivas, G.M. 2008. Caracterización del manejo del suelo y uso del agua de lluvia en la Mixteca

Alta: jollas y maíces de cajete. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados, México.

Saleh, A.; Williams J.R.; Wood, J.C.; Hauck, L.M.; Blackburn W.H. 2004. Application of Apex For Forestry. Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers 47(3): 751-765.

Saleh, A.; Gallego O. 2007. Application of SWAT and APEX Models Using the SWAPP (SWAT-APEX) program for the Upper North Bosque River watershed in Texas. Transactions of the ASABE 50: 1177-1187.

Schellenberg, M.P.; Biligetu, B.; McLeod, G.J.; Wang, Z. 2012. Phenotypic variation of side-oats grama grass [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] collections from the Canadian prairie. Canadian Journal of Science. 92: 1043_1048 doi: 10. 4141/CJPS2011-142.

SEIDRUS. 2009. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2008. Sistema Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de Oaxaca. Disponible en: http://www.oeidrusportal.gob.mx/oeidrus_oax/, consultada el 15 de Octubre de 2013.

SIAP. 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA - Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. México. <http://www.siap.gob.mx/>

Steffen R., M.C. 2001. Los comerciantes de Huajuapán de León, Oaxaca, 1920-1980. Plaza y Valdez Eds. México.

Tripathi, C.N.; Gosain, A.K. 2013. Comparative study on the performance of SWAT and APEX model for simulating water yield in Dudhi micro watershed in Madhya Pradesh, India. International Journal of Recent Scientific Research 4(4): 371-375.

Tuppad, P.; Santhi, C.; Wang, X.; Williams, J.R.; Srinivasan, R.; Gowda, P.H.. 2010. Simulation of conservation practices using the APEX model. Applied Engineering in Agriculture Vol. 26(5): 779-794.

Wang, E.; Xin, C.; Williams, J.R.; Xu, C. 2006. Predicting Soil Erosion for Alternative Land Uses. J. Environ. Qual. 35: 459-467.

Wang, X.; Saleh, A.; McBroom, M.W.; Williams, J.R.; Yin, L. 2007. Test of APEX for Nine Forested Watersheds in East Texas. J. Environ. Qual. 36:983-995.

Wang, X.; Gassman, P.W.; Williams, J.R.; Potter, S.; Kemanian, A.R. (2008) Modeling the impacts of soil management practices on runoff, sediment yield, maize productivity, and soil organic carbon using APEX. Soil & Tillage Research 101: 78-88.

Willard, E.E.; Schuster, J.L. 1971. An evaluation of an interseeded sideoats grama stand four years after establishment. J. Range Manag. 24: 223-226.

Williams, J.R.; Jones, C.A.; Kiniry, J.R.; Spanel, D.A. 1989. The EPIC Crop Growth Model. *Trans. ASAE* 32(2): 497-511.

Williams, J.R.; Arnold, J.G.; Srinivasan, R. 2000. The APEX Model. BRC Report No. 00-06. Temple, TX: Texas A&M University, Texas Agricultural Extension Service, Texas Agricultural Experiment Station, Blacklands Research Center.

Williams, J.R.; Harman, W.L.; Magre, M.; Kizil, U.; Lindley, J.A.; Padmanabhan, G.; Wang, E. 2006. Apex Feedlot Water Quality Simulation. *Transactions of the ASAE* 49(1): 61-73.

Williams, J.R.; Izaurralde, R.C. 2006. The APEX model. In *Watershed Models*, pp. 437-482. Singh, V.P.; Frevert, D.K., eds. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis. Capítulo 18. Página 437- 472.

Williams, J.R.; Izaurralde, R.C.; Steglich, E.M. 2012. Agricultural Policy/Environmental eXtender Model. Theoretical Documentation.

WWF. 2012. Priorización Hidrológica de las Principales Asociaciones Suelo-Vegetación Presentes en la Cuenca del Rio Mixteco, Estado de Oaxaca. Informe técnico OM30 Proyecto GEF-Mixteca. World Wildlife Fund. México.