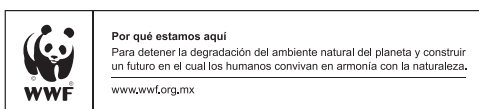




El Proyecto Mixteca fue creado por iniciativa y gestión de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) ante el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), a través del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en coordinación con el Fondo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

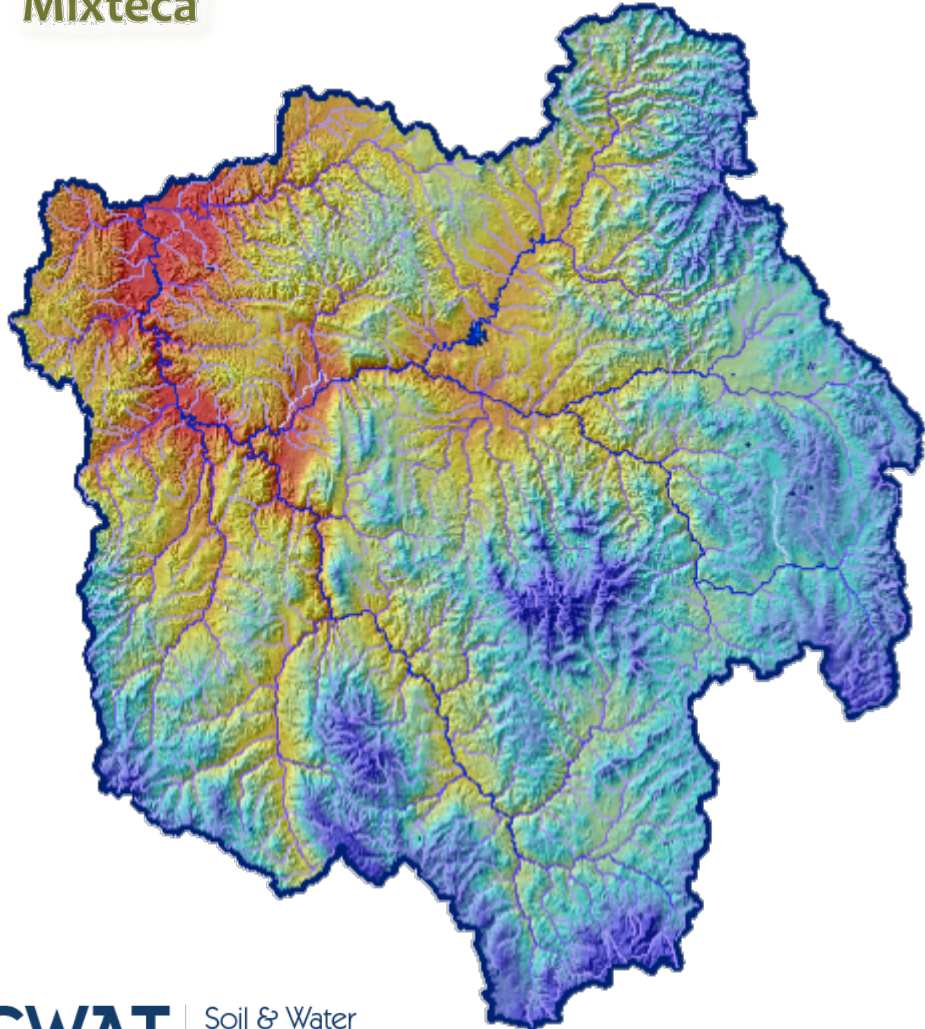
De este modo, el Proyecto Mixteca es el resultado del trabajo conjunto de varias instituciones que logra sus objetivos con la participación y decisión de las comunidades, el apoyo de las instancias de investigación y las organizaciones de la sociedad civil, así como con el respaldo de los tres niveles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





Proyecto financiado por el

FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA



EL MODELO **SWAT**

PARA EL **BALANCE**

HIDROLÓGICO Y EVALUACIÓN DE

PROGRAMAS INTEGRALES EN

MANEJO DE CUENCAS









Antecedentes del modelo SWAT

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), fue desarrollado y probado por el ARS (USDA, Agricultural Research Service) para la simulación y predicción hidrológica de los procesos relacionados con los recursos hídricos en cuencas no instrumentadas.



Modelos que antecedieron al SWAT

-  **CREAMS.** Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems, 1980.
-  **GLEAMS.** Groundwater Loading Efecs on Agricultural Management Systems.
-  **SWRRB.** Simulator for Water Resources in Rural Basins, 1985.
-  **EPIC.** Erosion-Productivity Impact Calculator, 1984.
-  **WEPP.** Water Erosion Prediction Project, 1992.
-  **SWAT.** Soil and Water Assessment Tool, 2000.



Aplicaciones

- Definir el manejo de una cuenca, de acuerdo a su potencial productivo y objetivos.
- Estimación de variables hidrológicas (escurrimiento medio, escurrimiento pico, producción de sedimentos) bajo diferentes escenarios de manejo.
- Determinar el valor de la recarga de acuíferos.
- Apoyar en las disputas de derechos de agua en cuencas no instrumentadas.
- Valoración de la biomasa y rendimiento económico de los cultivos.
- Rastrear los plaguicidas asociados al ciclo hidrológico.

Estructura del SWAT





Procesos internos del modelo SWAT

- 🖥️ Hidrología
- 🖥️ Pérdida por filtración
- 🖥️ Clima (Generador climático CLIGEN)
- 🖥️ Cambio en almacenamiento
- 🖥️ Producción de sedimentos
- 🖥️ Sedimentación
- 🖥️ Escurrimiento superficial
- 🖥️ Plaguicidas
- 🖥️ Percolación
- 🖥️ Ciclo de nutrientes y
- 🖥️ Escurrimiento subsuperficial
- 🖥️ Crecimiento de los cultivos
- 🖥️ Evapotranspiración



Hidrología

El componente hidrológico simula la lámina de escurrimiento superficial y el escurrimiento máximo.

➤ Escurrimiento superficial (Q)

Se calcula utilizando las curvas numéricas por evento de lluvia.

$$Q = \frac{(R - 0.2s)^2}{R + 0.8s}$$

$$R > 0.2s$$

Donde:

Q = Escurrimiento (mm)

R = Lluvia (mm)

s = Retención potencial del suelo (mm)

$$Q = 0$$

$$R \leq 0.2s$$



Escurrimiento máximo

Se estima con el método racional modificado, con la siguiente relación:

$$q_p = \frac{(c)(r)(A)}{360}$$

Donde:

q_p = Escurrimiento máximo (m^3/s)

c = Coeficiente de escurrimiento (Q/P)

r = Precipitación (mm) (mm/h)

A = Área de drenaje (ha)



Producción de sedimentos

La producción de sedimentos se calcula utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo modificada (MUSLE por sus siglas en inglés)



MUSLE (Williams, 1975)

$$Y = 11.8 (Q^* q_p)^{0.56} (K) (C) (P) (LS) (ROKF)$$

Donde:

- Y = Producción de sedimentos (t/ha)
- K = Factor de erosionabilidad del suelo
- CE = Factor de manejo del cultivo
- PE = Factor de prácticas de control
- LS = Factor longitud y grado de la pendiente
- ROKF = Factor de fragmentos de gravas
- Q* = Volumen de escurrimiento (m³)
- q_p = Escurrimiento máximo (m³/s)

Crecimiento de cultivos

El modelo de crecimiento de cultivos del SWAT simula:

- La intersección de energía.
- La conversión de energía a biomasa (raíces, granos y fibras).
- El aprovechamiento del agua.
- El aprovechamiento de los nutrientes.

El crecimiento de las plantas es ajustado por efecto de las carencias (estrés) de:

- Agua
- Nutrientes
- Temperatura

El modelo SWAT simula el crecimiento de cultivos anuales y perennes. La época de cosecha se determina en función a la acumulación de unidades calor.





Crecimiento de cultivos

La componente de manejo agrícola simulan sistemas de labranza, aplicación de agua por irrigación, fertilización, pesticidas y sistemas de pastoreo.

- ❑ Labranza
- ❑ Irrigación
- ❑ Fertilización
- ❑ Aplicación de plaguicidas
- ❑ Pastoreo
- ❑ Fijando unidades de calor
- ❑ Biomasa e índice de cosecha



Labranza

$$RSD = RSD_0 (1 - EF)$$

Donde RSD_0 es el residuo sobre la superficie después de la labranza y EF es la eficiencia de mezclado (0 –1).





Irrigación

$$\text{AIR} = \frac{\text{FC} - \text{SW}}{1 - \text{EFI}}$$



Donde FC es la capacidad de campo en la zona radical en mm, SW es el contenido de agua en la zona radical antes del riego en mm, EFI es la eficiencia, y AIR es la lámina de riego aplicada en mm.



Fertilización

$$ANO3 = FNMX - \sum_{i=1}^{nl} WNO3_i$$

$$WNO3_{fl} = WNO3_{fl} + ANO3$$

Donde **ANO3** es la cantidad de NO_3 aplicado, **FNMX** es la cantidad de NO_3 en el suelo después de la fertilización, **nl** es el número de capas de suelo de la aplicación, **WNO3** es la proporción de NO_3 -N contenido en la capa del suelo.





Aplicación de Plaguicidas

$$\text{PAPE} = (\text{PAPR}) (\text{PAEF})$$

Donde PAPE es la cantidad efectiva de plaguicida aplicado en kg ha^{-1} PAPR es la cantidad actual aplicada en kg ha^{-1} , y PAEF es un factor de eficiencia de aplicación.



Pastoreo

$$B_{AG} = B_{AG} - BMET$$



Donde $BMET$ es la cantidad diaria de biomasa removida por el ganado en Kg h^{-1} , B_{AG} biomasa arriba de la superficie



Datos de entrada

CLIMA

Variable.	Valor mín.	Valor máx.	Descripción
STATION	0	0	Nombre de la estación meteorológica
WLATITUDE	-90	90	Latitud de la estación meteorológica (grados)
WELEV	0	5000	Elevación de la estación meteorológica (m)
RAIN_YRS	5	100	Número de años de datos mensuales para precipitaciones en 30 min
TMPMX	-30	50	Temperatura máxima promedio del aire para el mes (°C)
TMPMN	-40	40	Temperatura mínima promedio del aire para el mes (°C)
TMPSTDMX	0.1	100	Desviación estándar de la temperatura máxima del aire en el mes (°C)
TMPSTDMN	0.1	30	Desviación estándar de la temperatura mínima del aire en el mes (°C)
PCPMM	0	600	Precipitación media que cae en el mes (mm)
PCPSTD	0.1	50	desviación estándar de la precipitación diaria en el mes (mm)
PCPSKW	-50	20	Coeficiente de sesgo para la precipitación diaria en el mes
PR_W1	0	0.95	Probabilidad de que un día húmedo después de un día seco en el mes (fracción)
PR_W2	0	0.95	Probabilidad de un día húmedo después de un día de lluvia en el mes (fracción)
PCPD	0	31	Número promedio de días de precipitación en el mes
SOLARAV	0	750	Radiación solar Promedio diaria en el mes
DEWPT	-50	25	Temperatura del punto de rocío promedio en el mes (°C)
WNDVAV	0	100	Velocidad media del viento en el mes (m/s)



Datos de entrada

SUELOS

Variable	Valor mín.	Valor máx.	Descripción
SNAM	0	0	Nombre del suelo
HYDGRP	0	0	Grupo hidrológico del suelo
SOL_ZMX	0	3500	Máxima profundidad de raíces (mm)
ANION_EXCL	0.01	1	Porosidad del suelo (fracción)
TEXTURE	0	0	Textura del suelo
NLAYERS	1	10	Numero de capas en el perfil de suelo
SOL_Z1	0	3500	Profundidad del suelo en la capa 1 (mm)
SOL_BD1	0.9	2.5	Densidad aparente (g/cm ³)
SOL_AWC1	0	1	Capacidad de agua disponible en el suelo (mm/mm)
SOL_K1	0	2000	Conductividad hidráulica (mm/h)
SOL_CBN1	0.05	10	Contenido de carbono orgánico (%)
CLAY1	0	100	Contenido de arcilla (%)
SILT1	0	100	Contenido de limo (%)
SAND1	0	100	Contenido de arena (%)
ROCK1	0	100	Contenido de rocas (%)
SOL_ALB1	0	0.25	Albedo (fracción)
USLE_K1	0	0.65	Factor K de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)
SOL_EC1	0	100	Conductividad eléctrica (ds/m)



Datos de entrada

VEGETACIÓN

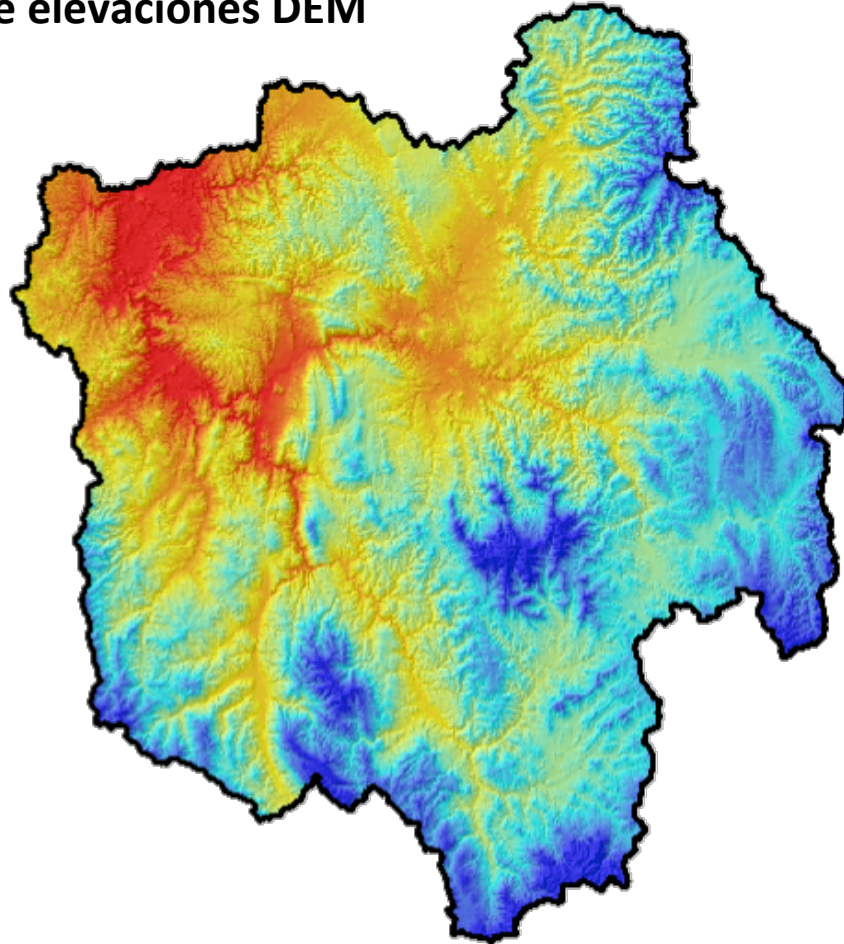
Variable	Valor mín.	Valor máx.	Descripción
CPNM	0	99	Clave para tipo de vegetación
Cropname	0	0	Nombre del cultivo
BIO_E	10	90	Conversión de biomasa (MJ/m ²)
HVSTI	0.01	1.25	Índice de cosecha (kg/ha)
BLAI	0.5	10	Índice de área foliar (m ² /m ²)
RDMX	0	3	Máxima profundidad de raíces (m)
T_OPT	11	38	Temperatura óptima para el crecimiento de la planta (°C)
T_BASE	0	18	Temperatura mínima para el crecimiento de la planta (°C)
CNYLD	0.0015	0.075	Fracción de nitrógeno en la semilla (kg N/kg semilla)
CPYLD	0.0001	0.015	Fracción de fósforo en la semilla (kg N/kg semilla)
WSYF	-0.2	1.1	Límite inferior del índice de cosecha.
USLE_C	0.001	0.5	Valor de l factor C de USLE
CO2HI	300	1000	Concentración de CO ₂ en la atmósfera (uL/L)
OV_N	0.01	30	Valor de n Manning para flujo superficial
BMX_TREES	0	5000	Biomasa máxima para bosques (t/ha)



Datos de entrada

TOPOGRAFÍA

Modelo digital de elevaciones DEM





Datos de entrada

RED HIDROGRÁFICA





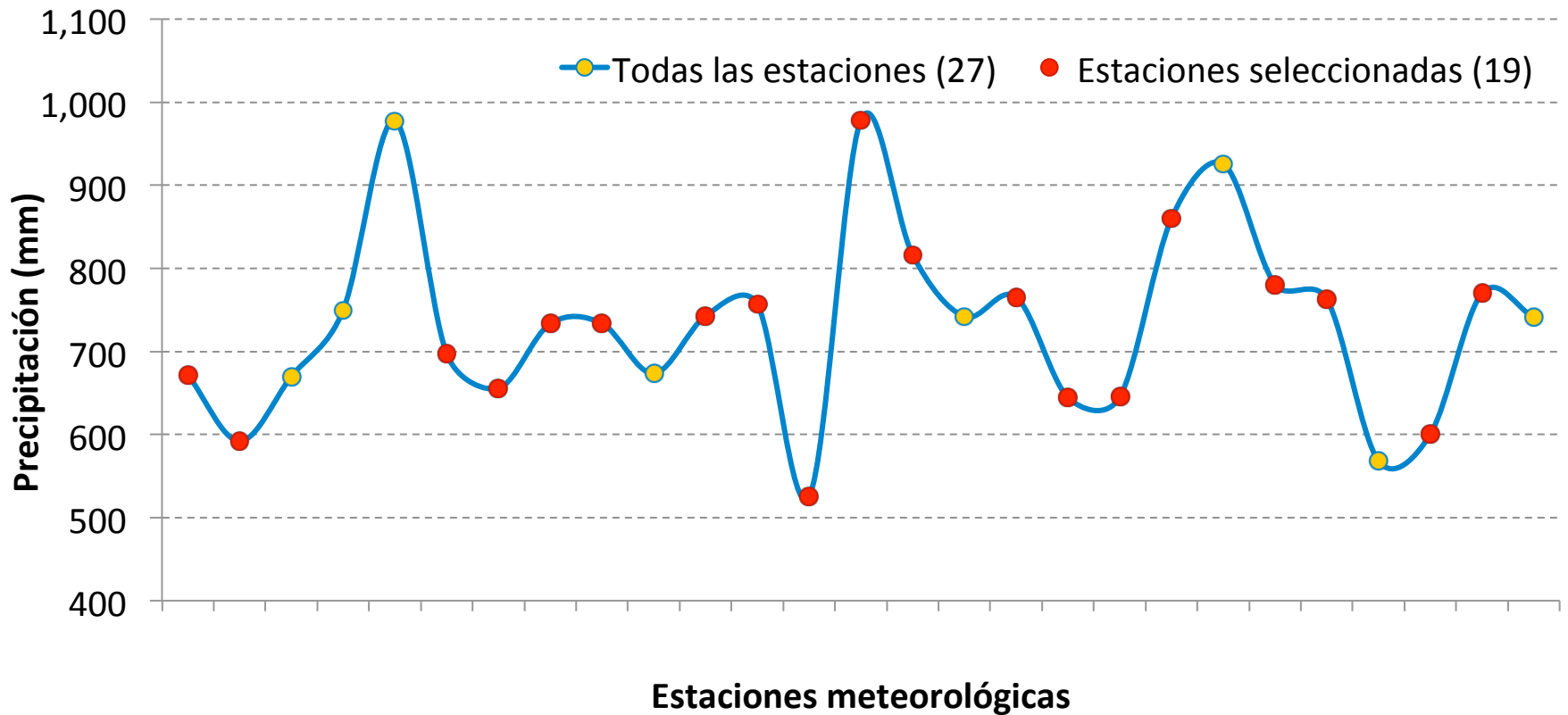
Resultados: (Precipitación media anual)

Estaciones meteorológicas (27 en total)

Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Periodo de registro		Precipitación (mm)
				Inicio	Final	
20013	San Lucas Camotlán	-97.6833	17.9	1963	1995	671.4
20028	Santa María Chilapa de Díaz	-97.6298	17.5847	1970	2000	592.1
20033	La Expiración(El Encino)	-98.0873	17.7956	1970	1988	670
20035	Huajuapán de León (SMN)	-97.776	17.805	1923	1973	749.7
20050	Santiago Juxtlahuaca	-98.0158	17.3413	1944	1986	977.4
20051	Juxtlahuaca	-98.012	17.3333	1963	1992	697
20067	Mariscal de Juárez	-98.141	17.8596	1963	1991	655.4
20103	San Andrés Lagunas	-97.5228	17.5721	1953	2007	733.4
20108	San Francisco	-97.8178	17.7428	1970	2002	733.5
20110	San Jorge Nuchita	-98.1055	17.6565	1965	1988	673.4
20115	Santa Catarina (DGE)	-97.8142	17.5555	1970	2001	742.5
20133	Santiago Chilixtlahuaca	-97.8927	17.9034	1970	2004	756.6
20137	Santiago Teotongo (DGE)	-97.5368	17.7221	1969	2002	525.5
20141	Silacayoapan (SMN)	-98.1437	17.4976	1942	2000	978.4
20142	Silacayoapan (DGE)	-98.14	17.503	1970	1988	816.2
20147	Tamazulapan del Progreso (CFE)	-97.5742	17.6724	1956	1978	741.9
20150	Tejocotes, Santiago Tenango	-97.8935	17.312	1953	2006	765.3
20159	San Pedro y San Pablo Teposcolula	-97.4825	17.5013	1961	1992	644.5
20163	Tezoatlán de Segura y Luna	-97.8	17.3333	1963	2004	645
20167	Santa María Asunción (DGE)	-97.683	17.267	1962	1995	860
20168	Santa María Asunción (SMN)	-97.683	17.267	1926	1992	925.8
20190	Zapotitlán Palmas (SMN)	-97.8079	17.8855	1944	2004	780.5
20275	Huajuapán De León (DGE)	-97.7774	17.8046	1976	2002	762.8
20285	Santiago Chazumba (DGE)	-97.6833	18.2	1976	1984	568
20310	San Miguel Tlacotepec	-98.006	17.454	1980	2001	600.4
20375	Santiago Del Río	-98.089	17.456	1982	2000	770.2
20380	Yodocuno	-97.583	17.85	1982	2000	741.2



Resultados: (Precipitación media anual)



Periodo de observación: 1923 – 2007 Variable por estación meteorológica (Todas)
1986 - 1990 estaciones consideradas



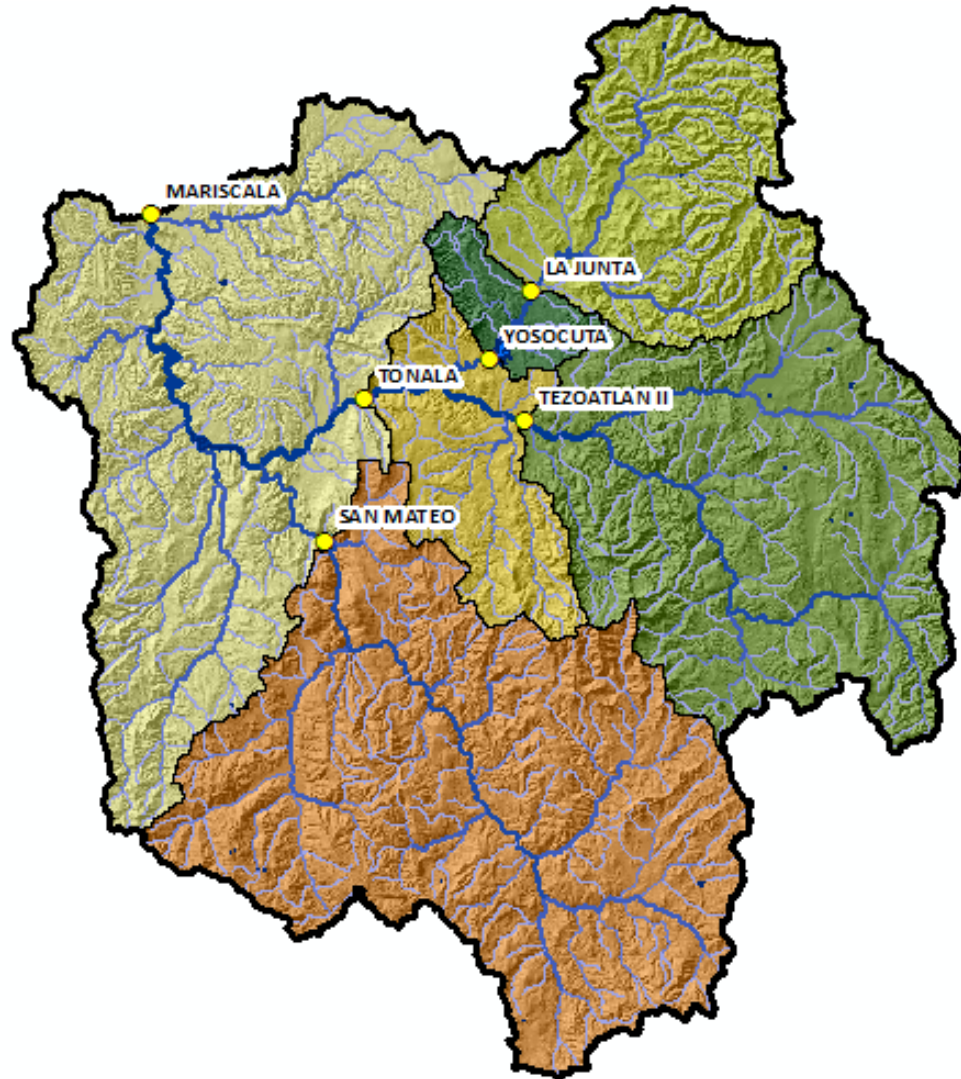
Resultados: (Escurrecimientos y sedimentos)

No.	Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Escurreimientos	Sedimentos
			(grados)	(grados)	(año)	(año)
1	18334	Mariscala	-98.15	17.8583	1966-1980, 1986-1990	1986
2	18337	Camotlán	-97.6875	17.9083	1964, 1965, 1968	Sin datos
3	18338	Xatán	-97.7	17.7833	1967, 1968	Sin datos
4	18341	Tezoatlán	-97.7667	17.6542	1964, 1968, 1971	Sin datos
5	18348	Tonalá	-97.9458	17.6875	1964-1966, 1977-1978, 1981	1986, 1991
6	18365	Huertas	-97.875	17.7	1965-1968	Sin datos
7	18376	Camotlán	-97.6875	17.9083	Sin datos	Sin datos
8	18379	Angostura	-98.0208	17.35	1965-1968	Sin datos
9	18380	La Laguna	-98.0292	17.3833	1965-1968	Sin datos
10	18352	San Mateo	-97.9833	17.5583	1970-1980, 1987-1988	1986 incompleto
11	18398	San Francisco Yosocuta	-97.8208	17.725	1968	Sin datos
12	18485	La Junta	-97.785	17.7858	1970, 1973-1974, 1976-1981, 1986-1987	1986
13	18538	Tezoatlán II	-97.7917	17.6667	1973-1980, 1987-1991	Sin datos

Clave	Nombre	Área Cuenca (ha)	Años	
			Escurreimiento	Sedimentos
18334	Mariscala	653,879.52	1986-1990	1986
18348	Tonalá	277,408.71	1986-1990	1986
18352	San mateo	197,372.25	1986-1990	1986
18485	La junta	76,496.13	1986-1990	1986
18538	Tezoatlán II	144,886.77	1986-1990	Sin datos
18398	Yosocuta	90,383.31	1986	Sin datos

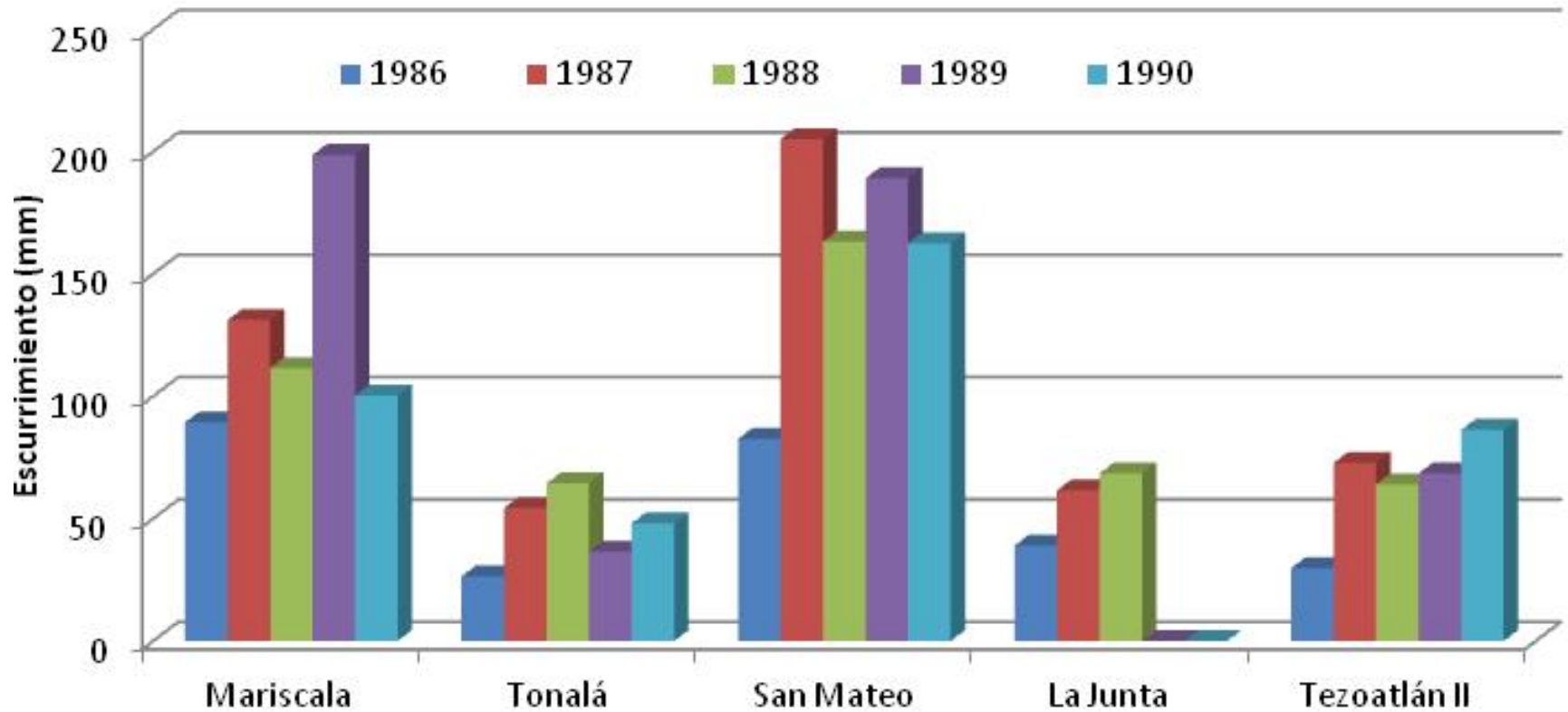


Resultados: (Subcuencas dentro de la cuenca del Río Mixteco)



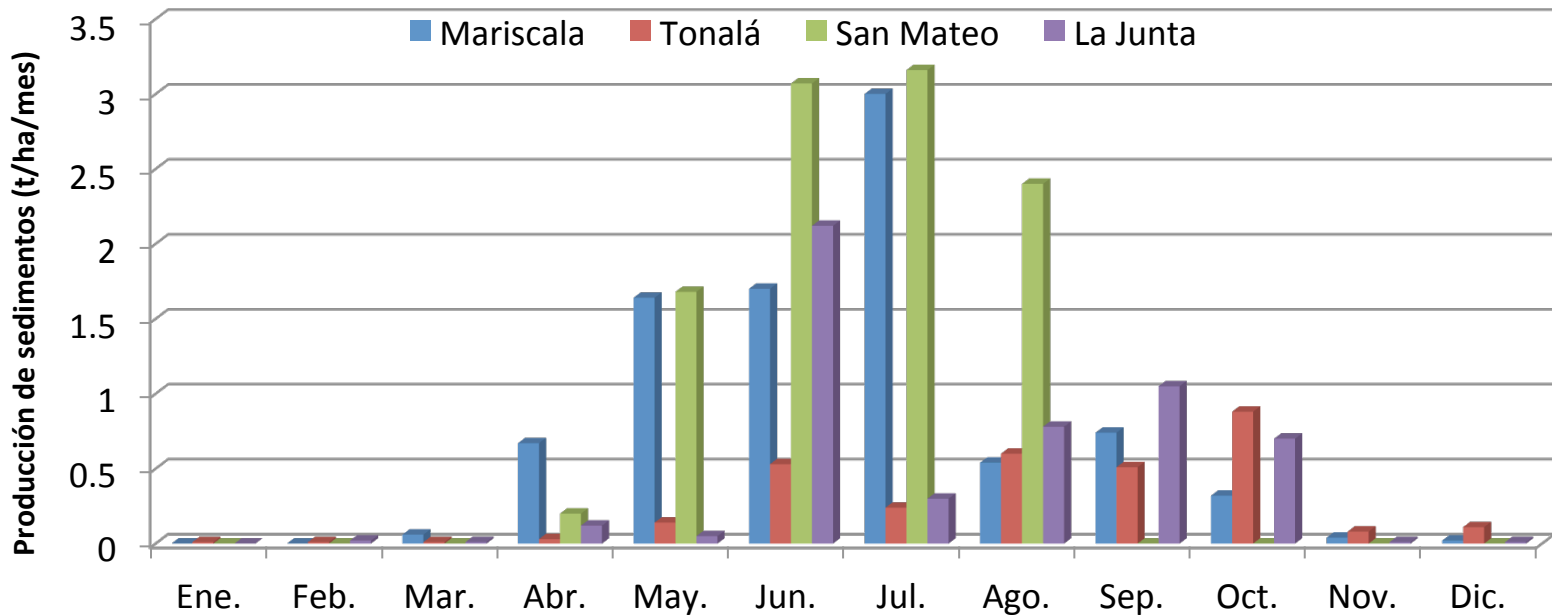
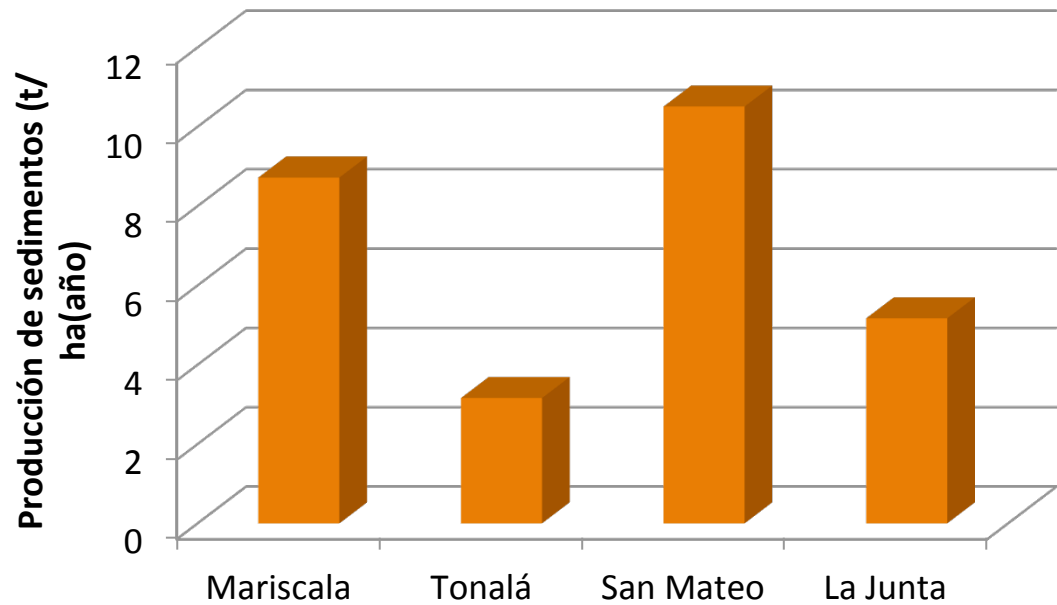


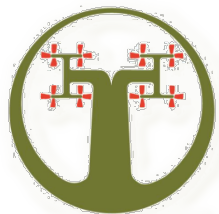
Resultados: (Escurrecimientos anual)





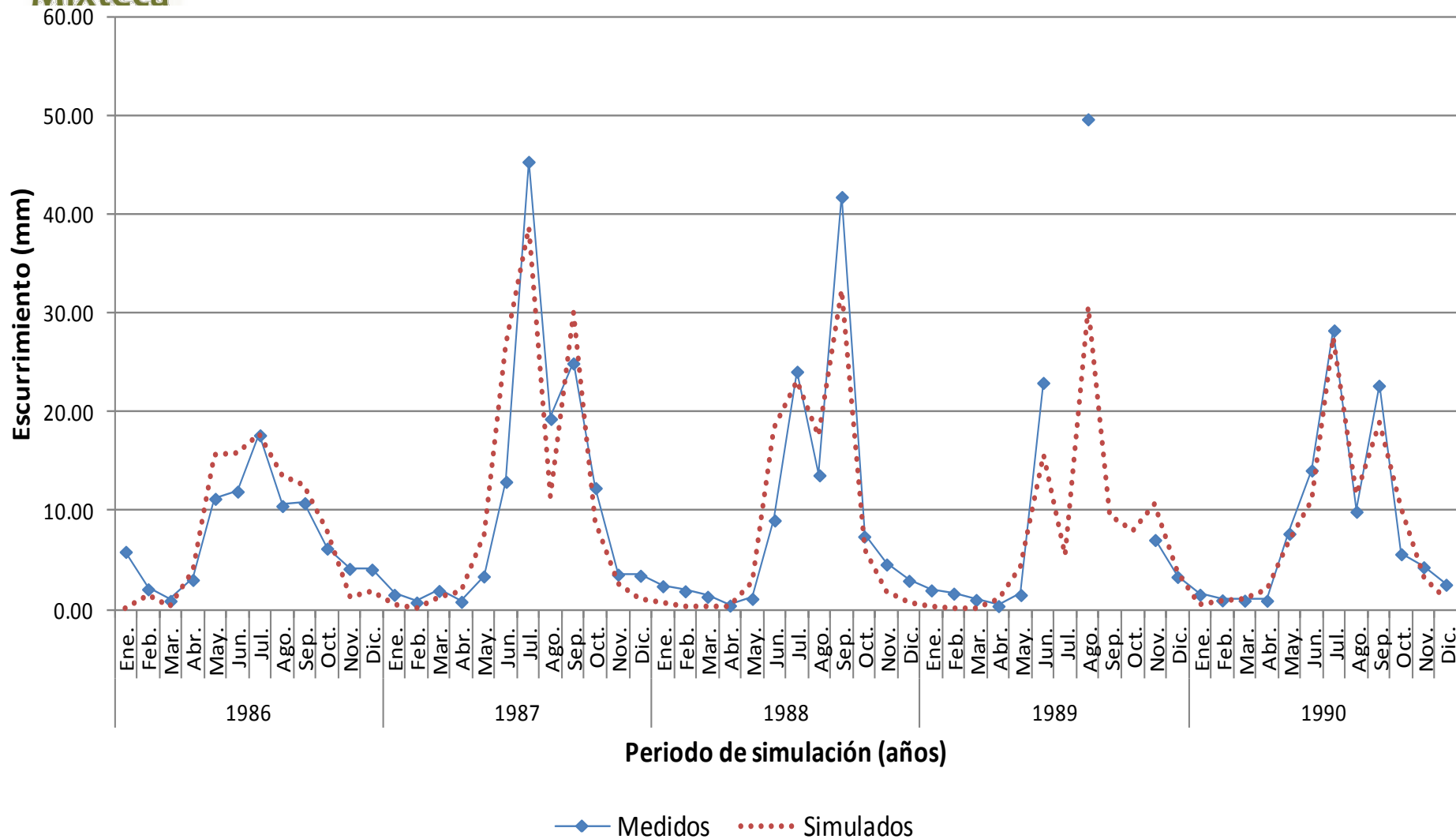
Resultados: (Producción de sedimentos, 1986)





Proyecto
Mixteca

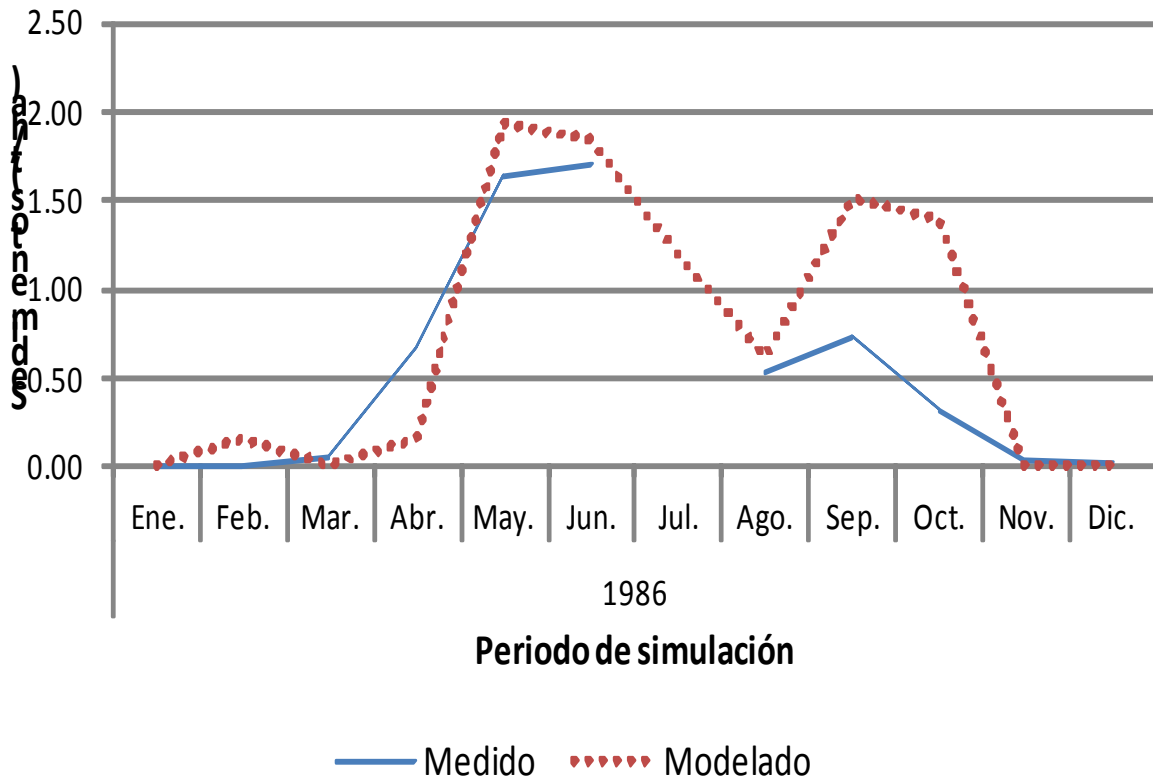
Escurrimiento medido y simulado



Estación Hidrométrica: Mariscal



Sedimentos medidos y simulados

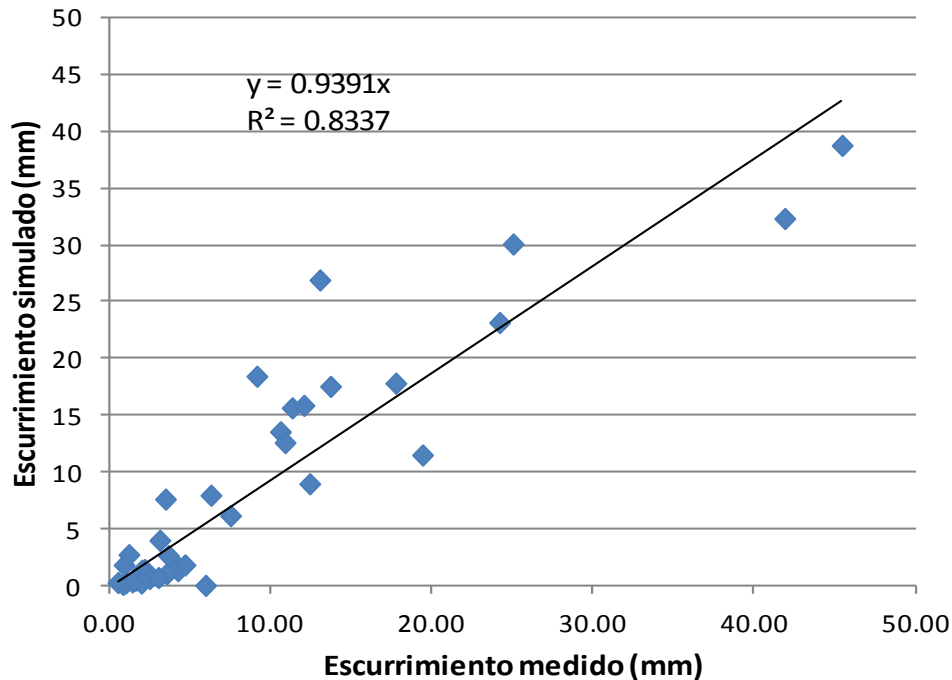
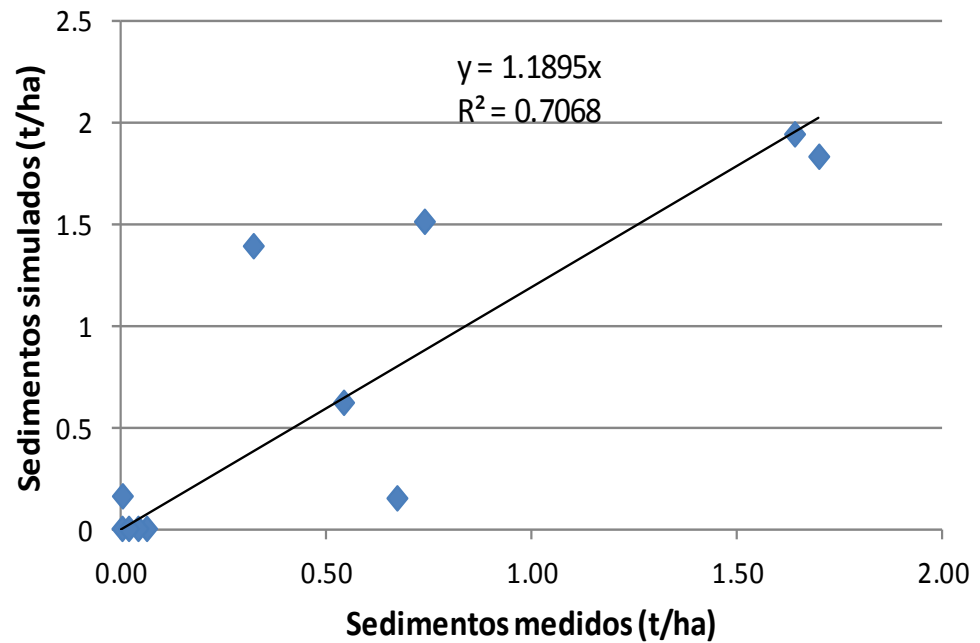


Año	Mes	Mariscala (t/ha)	Simulado (t/ha)
1986	Ene.	0.00	0
	Feb.	0.00	0.16
	Mar.	0.06	0
	Abr.	0.67	0.15
	May.	1.64	1.94
	Jun.	1.70	1.83
	Jul.	3.00*	1.19
	Ago.	0.54	0.62
	Sep.	0.74	1.51
	Oct.	0.32	1.39
	Nov.	0.04	0
	Dic.	0.02	0
	Total	8.72	8.79



PERIODO DE CALIBRACIÓN

Comparación mensual entre el sedimento medido y simulado (1986).

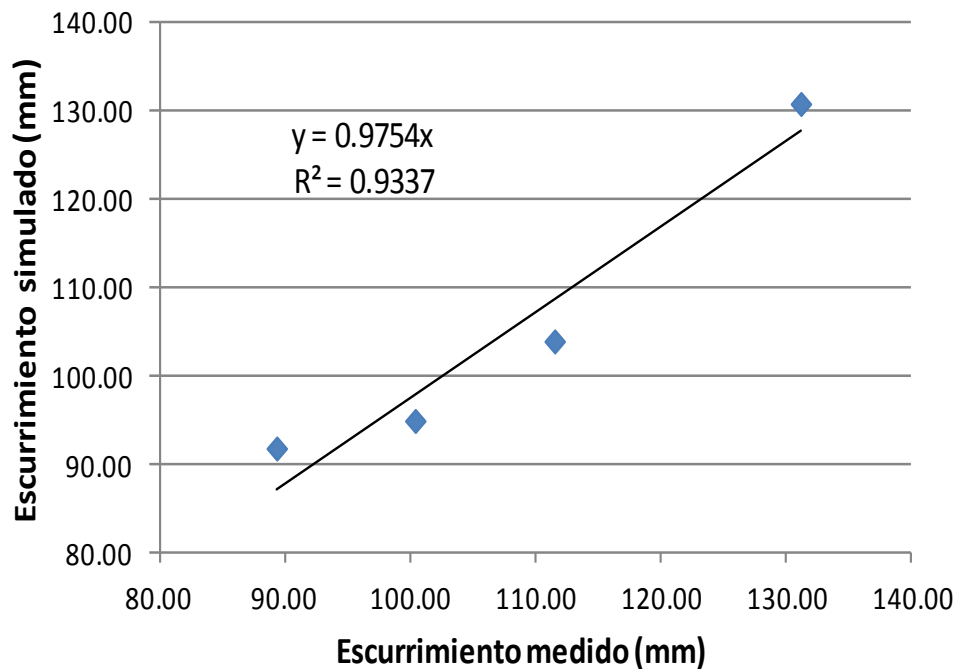
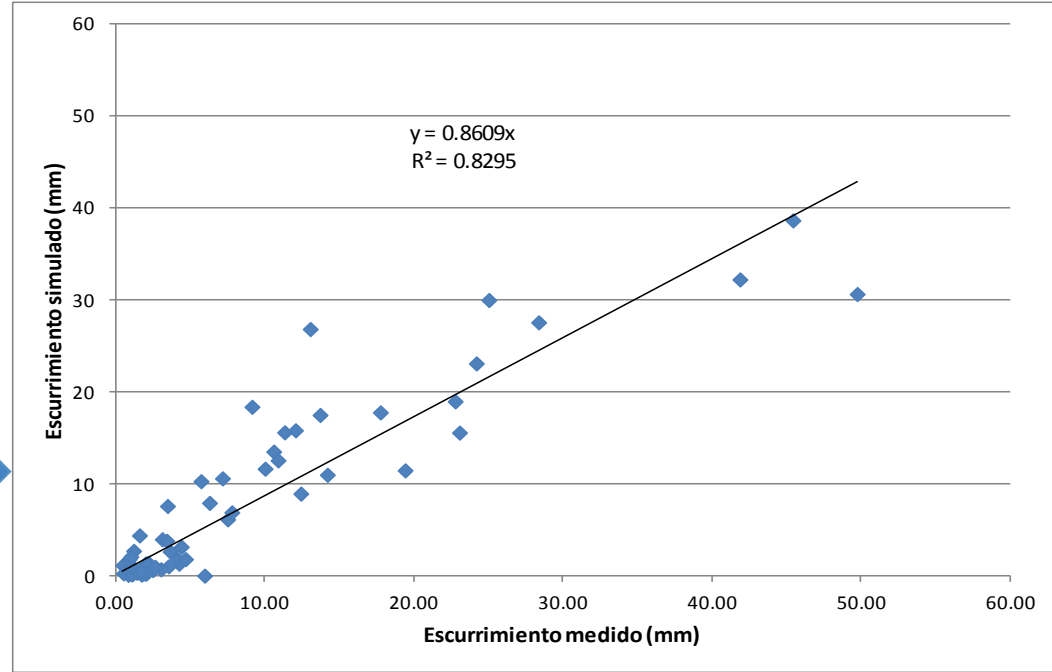


Comparación mensual entre escurrimiento medido y simulado (1986-1988).



PERIODO DE VALIDACIÓN

Comparación entre escurrimiento mensual medido y simulado (1986-1990).

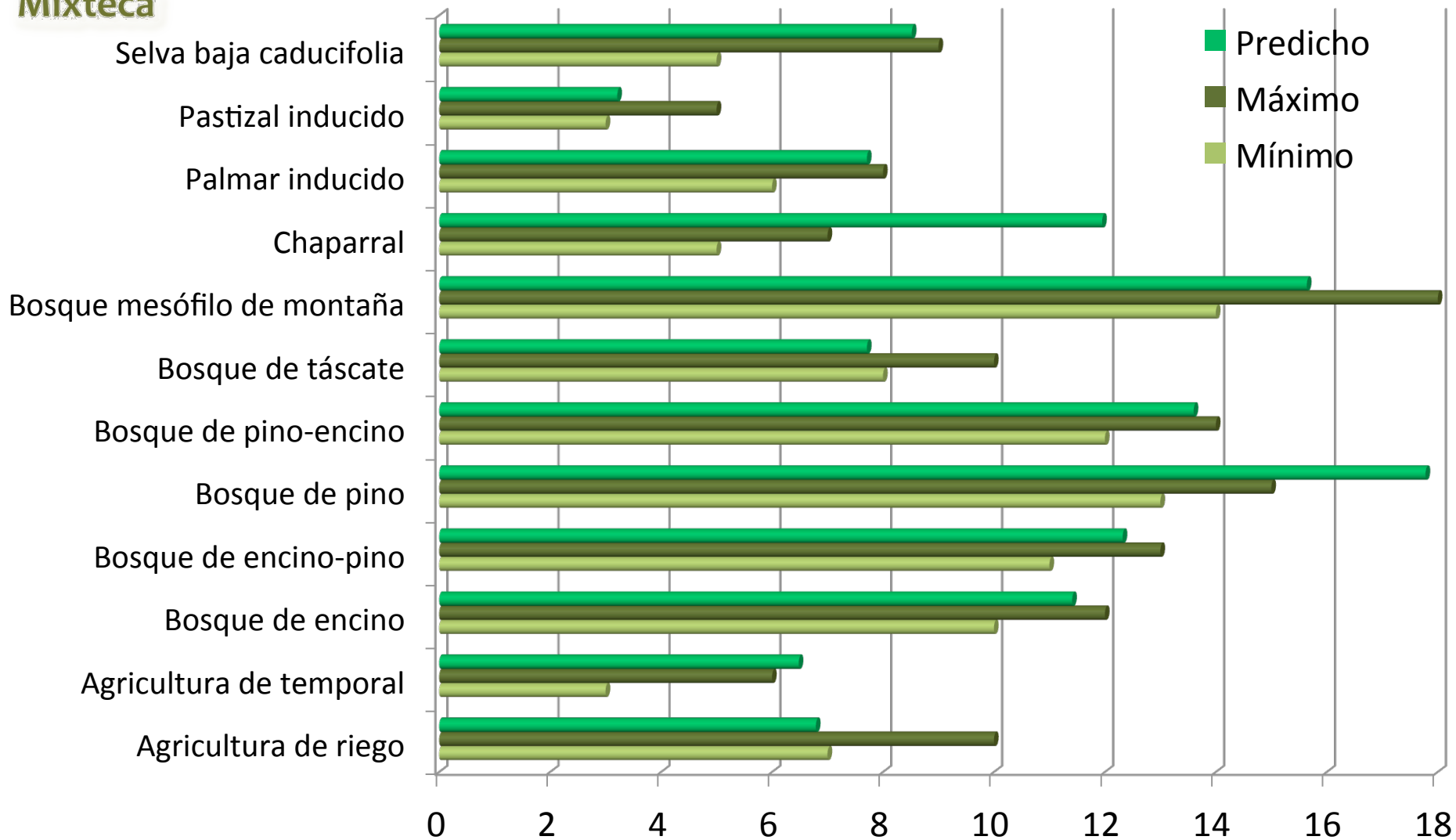


Comparación anual entre escurrimiento medido y simulado (1986-1990).

Estación Hidrométrica: Mariscala



Resultados (Calibración y validación) (Producción de Biomasa)

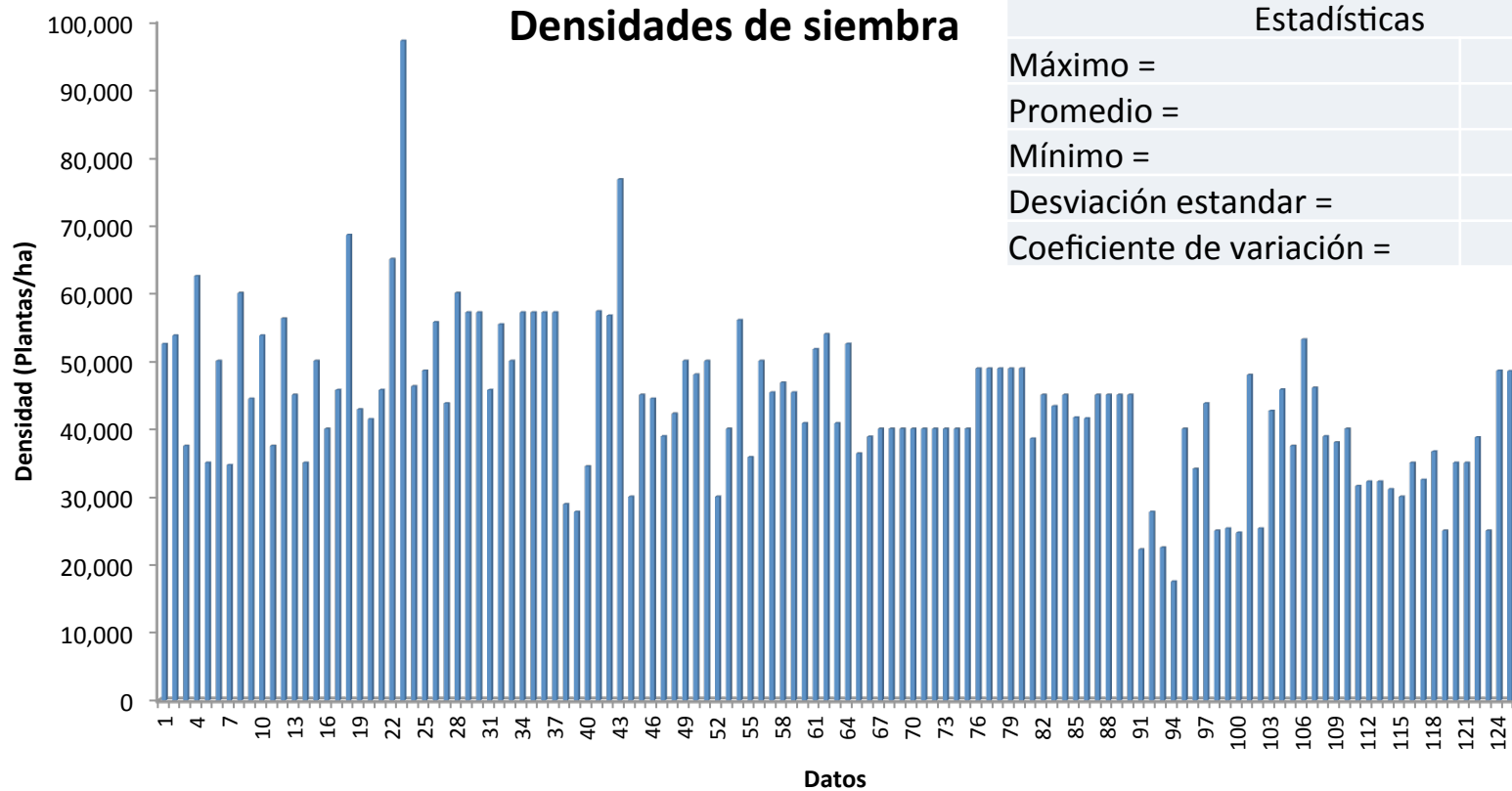


Producción de Biomasa (t MS/ha/año)



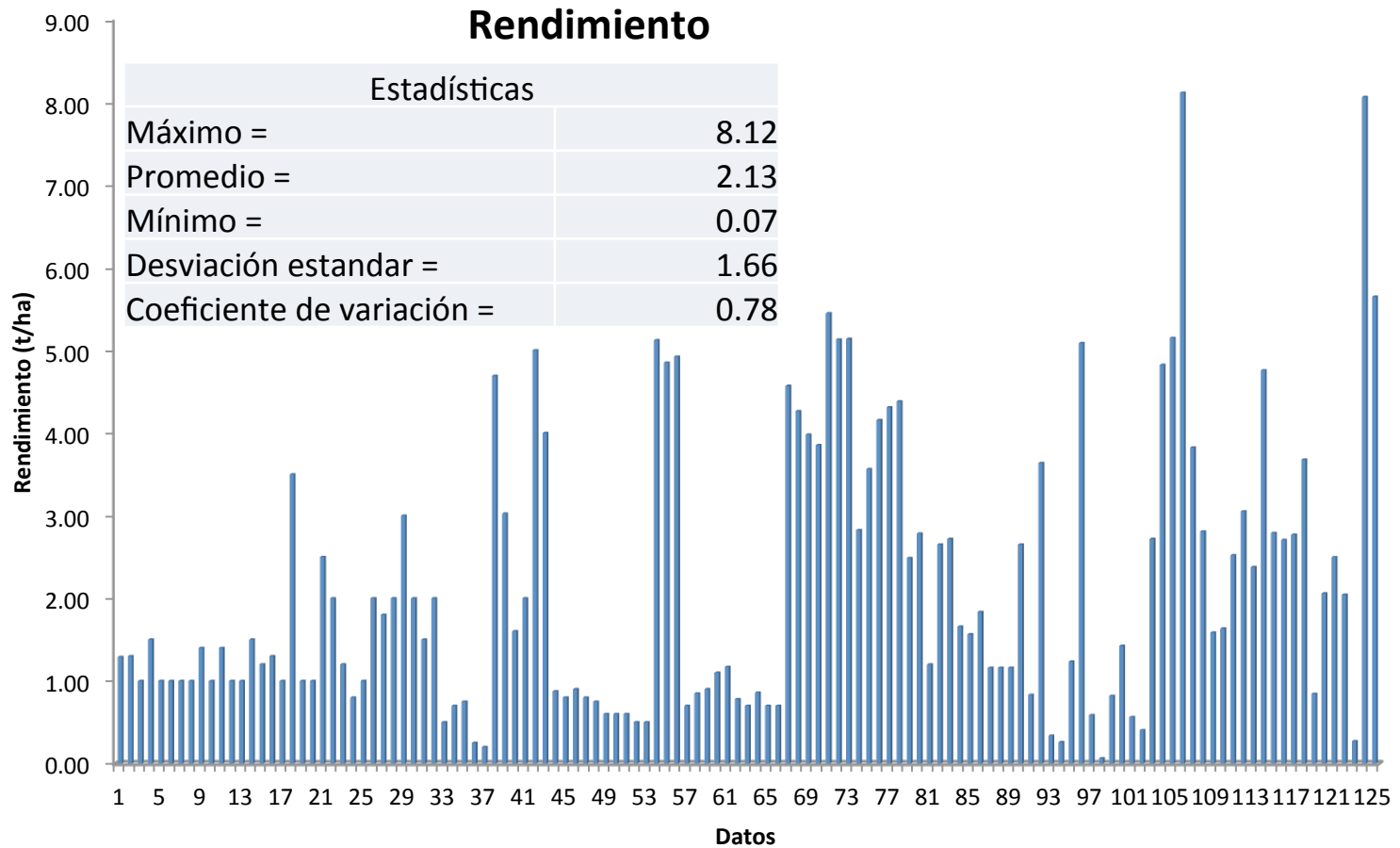
Resultados (Análisis de actividades productivas)

Base de datos PROMAF



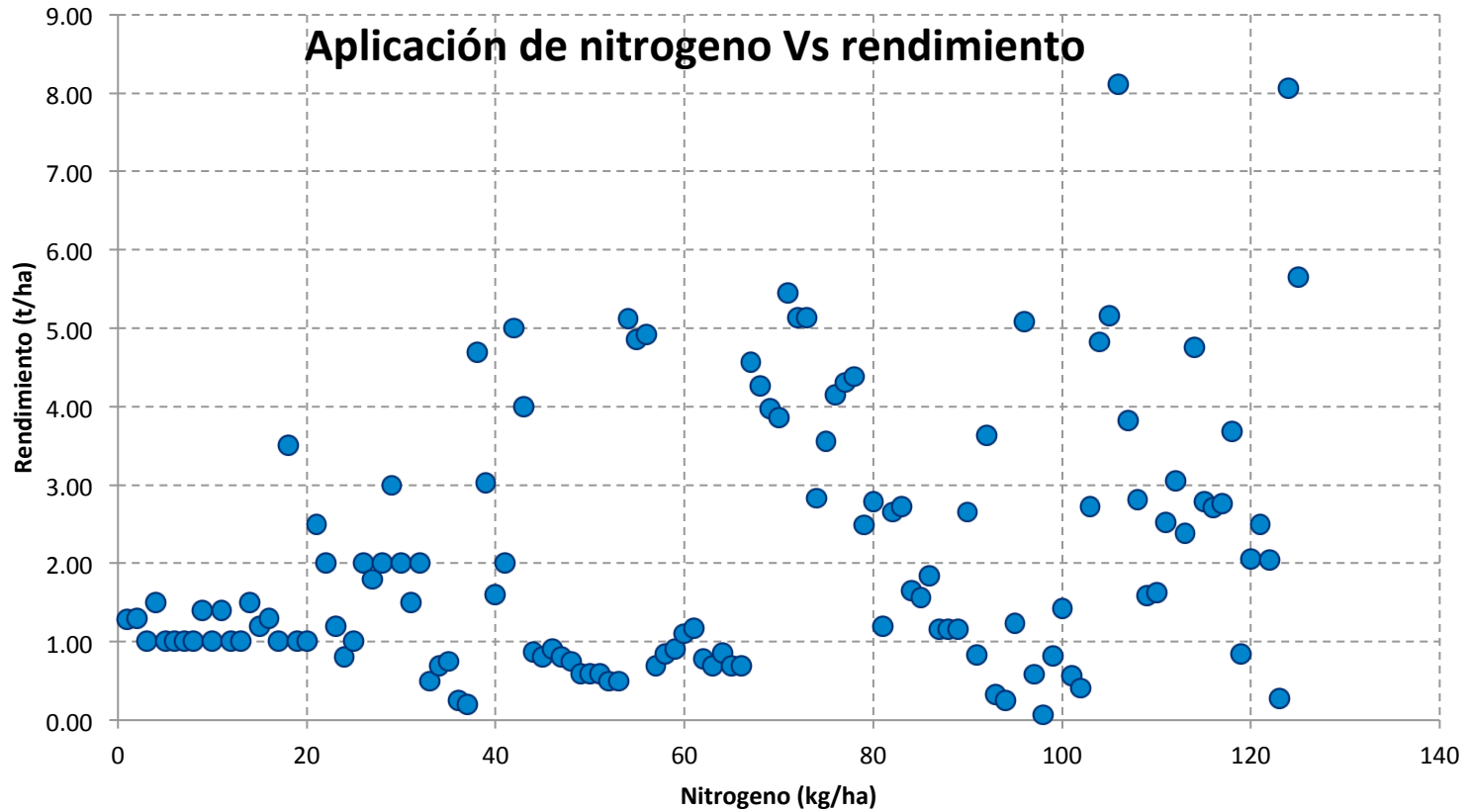


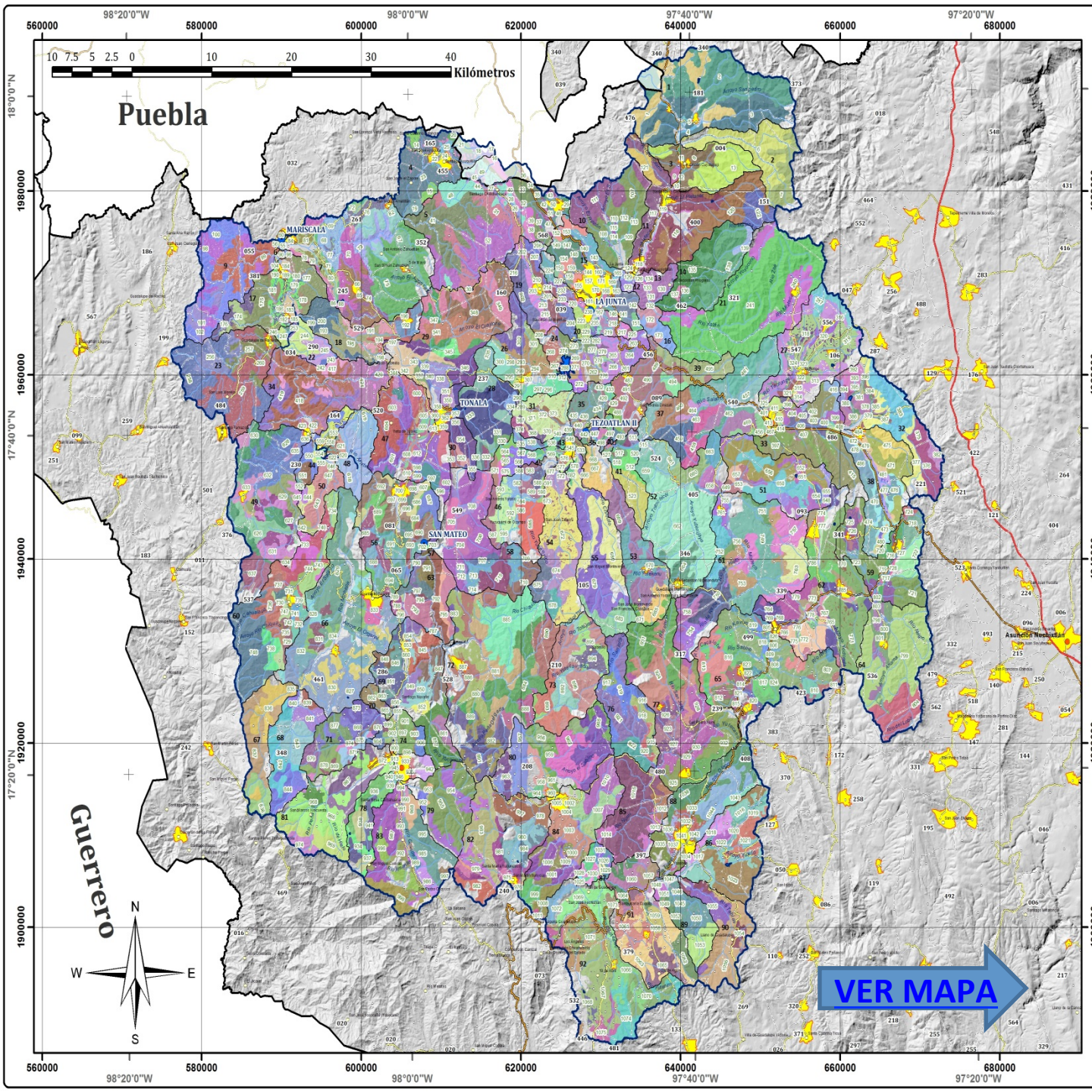
Resultados (Análisis de actividades productivas)





Resultados (Análisis de actividades productivas)





Leyenda

- Estaciones Hidrométricas
- Cuerpos de Agua
- Ríos
- Límite Estatal
- Límite de la Cuenca
- Subcuencas
- Límite Municipal
- Localidades Urbanas

Localidades

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

Unidades de Respuesta Hidrológica

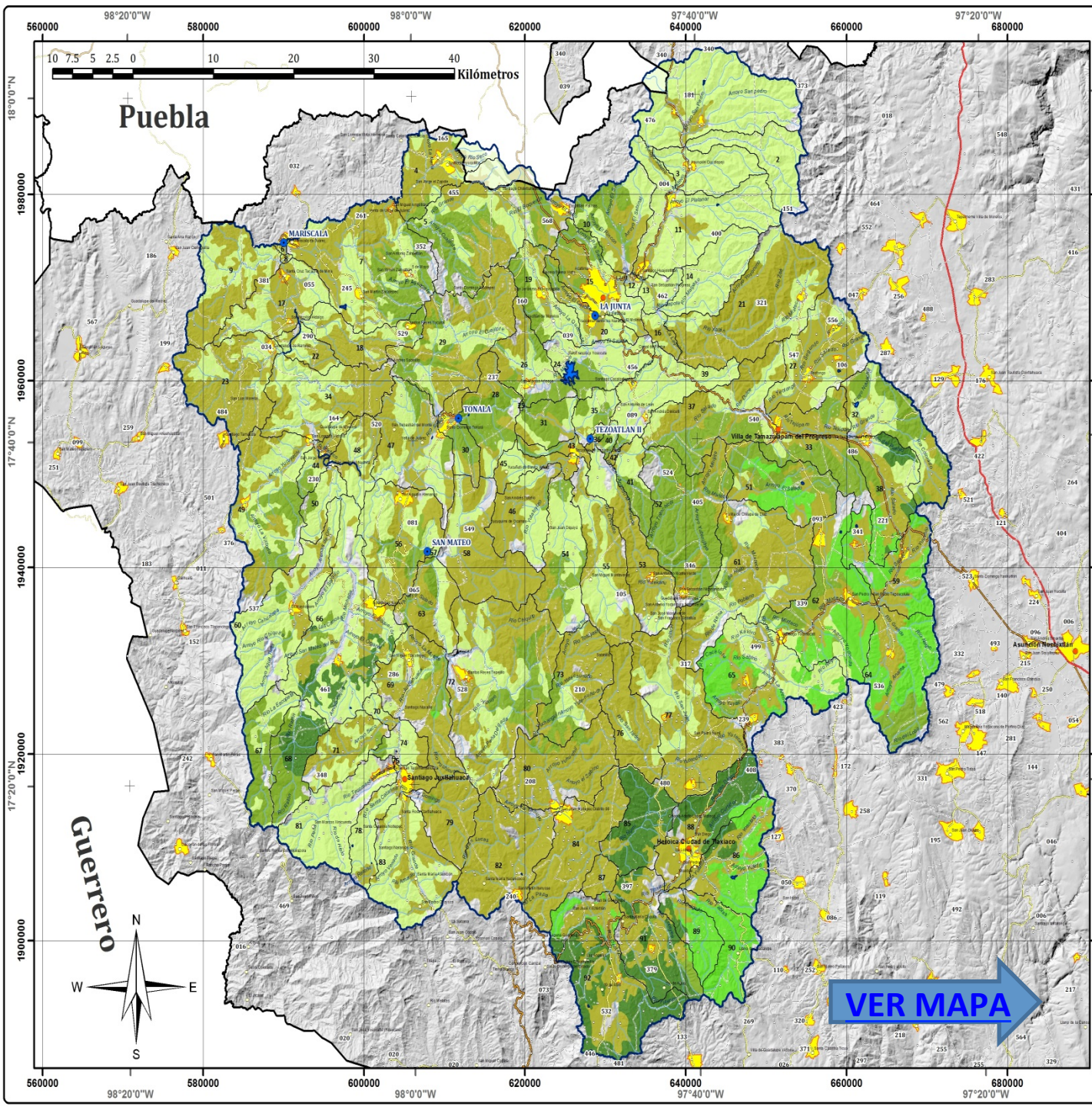
Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000
 Fuente: Resultado del Modelo SWAT

Proyecto MIXTECA
 Convenio de colaboración OM30

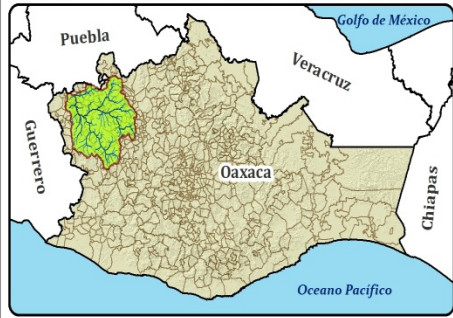
Priorización hidrológica de las principales
 asociaciones suelo-vegetación presentes
 en la cuenca del Río Mixteco, estado de Oaxaca

**MAPA 15: UNIDADES DE
 RESPUESTA HIDROLÓGICA**

CONDICIÓN ACTUAL



LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO



Legenda

- Estaciones Hidrométricas
- Cuerpos de Agua
- Ríos
- Límite Estatal
- Límite de la Cuenca
- ⊞ Subcuencas
- Límite Municipal
- ⊞ Localidades Urbanas

Biomasa (t/ha)

- <math>< 5</math>
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- >30

Localidades

- <math>< 500</math> hab.
- 500 - 5.000 hab.
- > 5.000 hab.

Biomasa (t/ha)	Porcentaje (%)
0-5	33.15
5-10	43.33
10-20	13.81
20-30	5.54
30-40	4.54

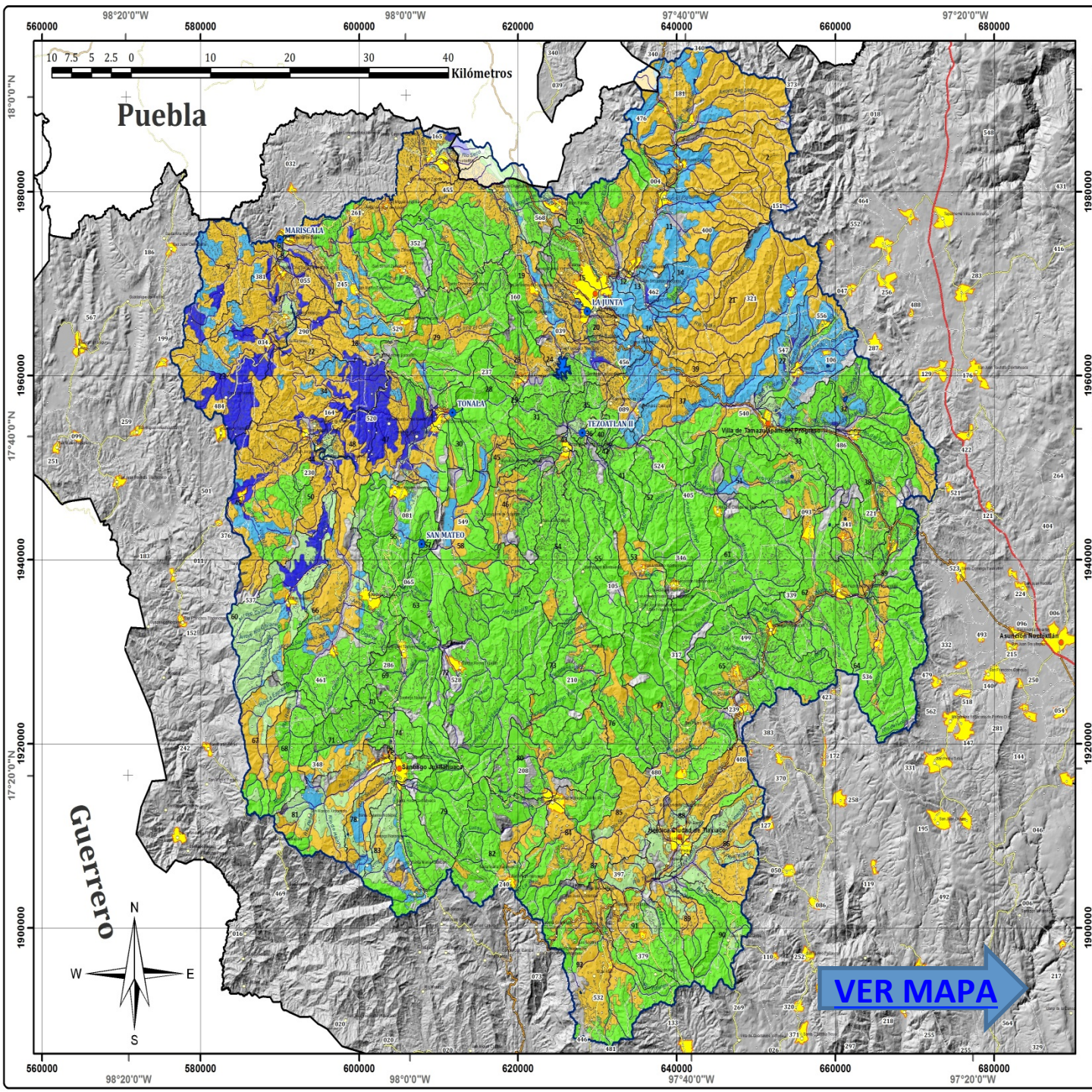
Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000
 Fuente: Resultado del Modelo SWAT

Proyecto MIXTECA
 Convenio de colaboración OM30

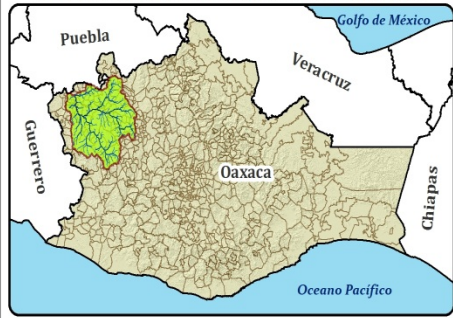
Priorización hidrológica de las principales asociaciones suelo-vegetación presentes en la cuenca del Río Mixteco, estado de Oaxaca

MAPA 11: BIOMASA (t/ha)

PERIODO DE CALIBRACION

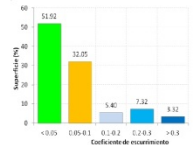


LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO



Legenda

<ul style="list-style-type: none"> Límite Estatal Límite Municipal Localidades Urbanas Límite de la Cuenca Subcuencas Estaciones Hidrométricas Cuerpos de Agua Ríos Localidades < 500 hab. 500 - 5,000 hab. > 5,000 hab. 	<p>Unidades de Respuesta Hidrológica</p> <p>Coefficientes de Escurrimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> < 0.05 0.05 - 0.10 0.10 - 0.20 0.20 - 0.30 > 0.30
--	---



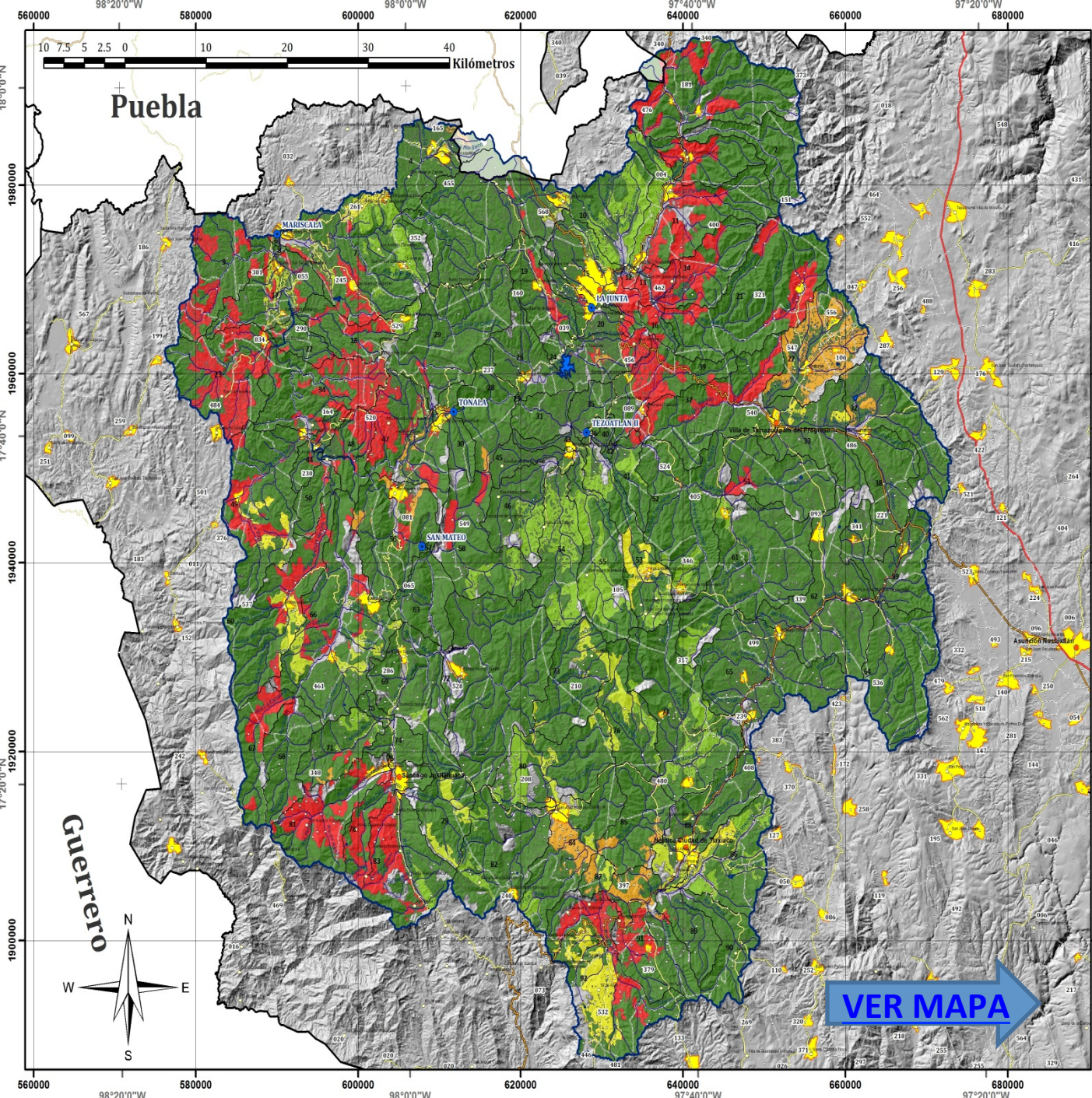
Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000
 Fuente: Resultado del modelo SWAT

Proyecto MIXTECA
 Convenio de colaboración OM30

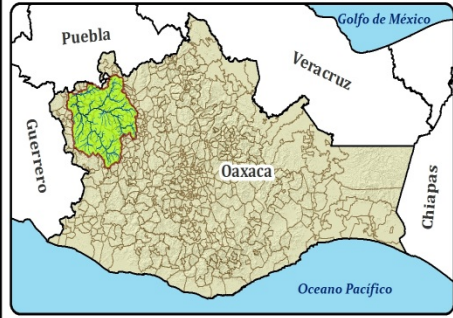
Priorización hidrológica de las principales asociaciones suelo-vegetación presentes en la cuenca del Río Mixteco, estado de Oaxaca

MAPA 12:
COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
CONDICIÓN ACTUAL

VER MAPA



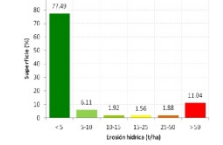
LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO



Leyenda

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

Unidades de Respuesta Hidrológica



Datum Horizontal: WGS84
 Proyección: UTM Zona 14N
 Cuadrícula UTM cada: 20,000 m
 Escala: 1:425,000
 Fuente: Resultado del modelo SWAT

Proyecto MIXTECA
 Convenio de colaboración OM30

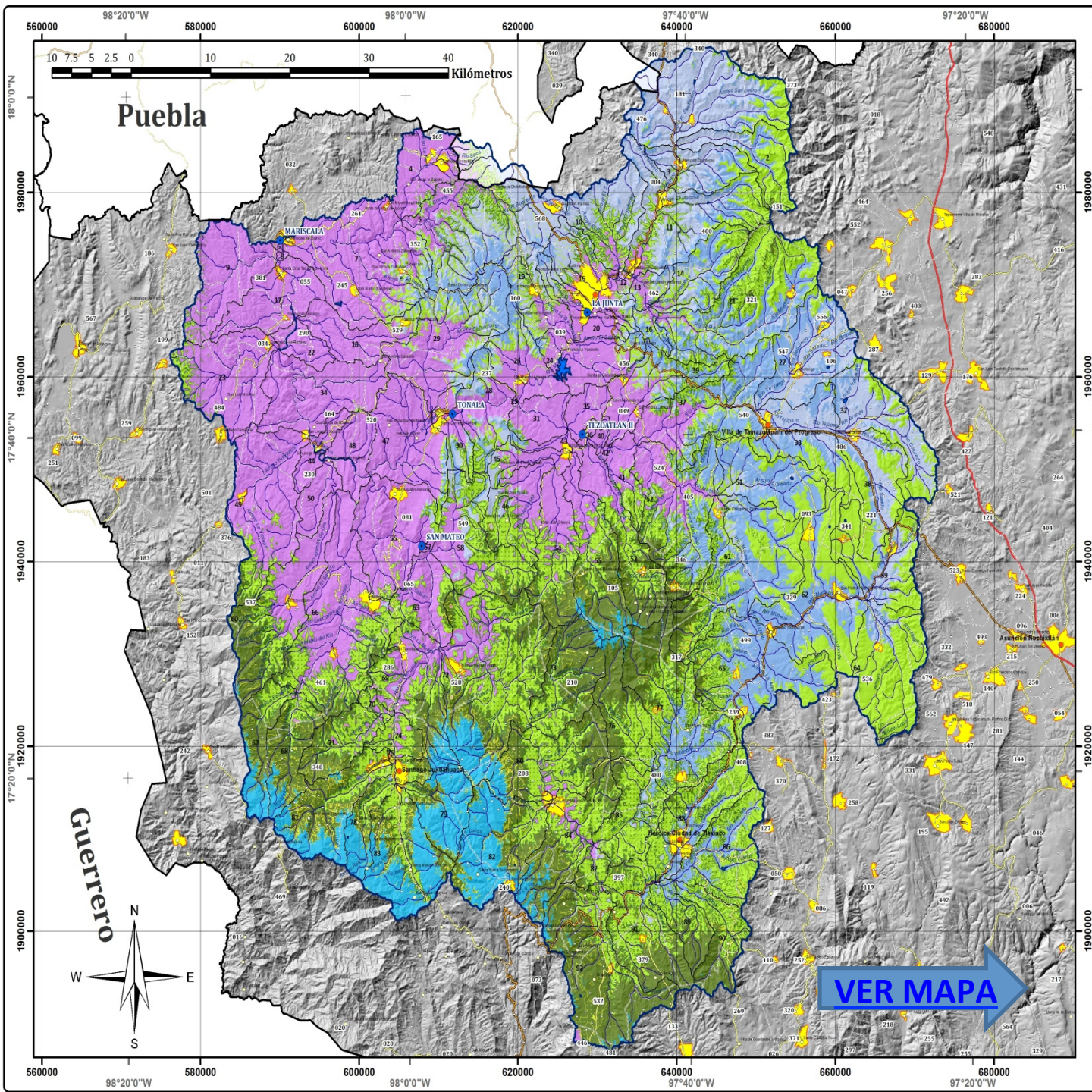
Priorización hidrológica de las principales
 asociaciones suelo-vegetación presentes
 en la cuenca del Río Mixteco, estado de Oaxaca

MAPA 13: EROSIÓN HÍDRICA
CONDICIÓN ACTUAL

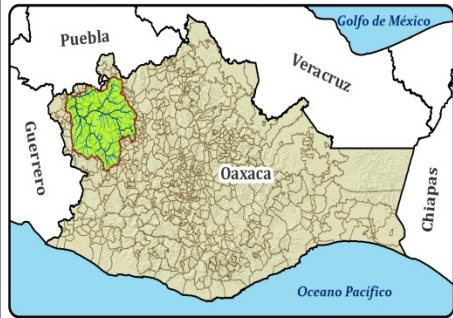


Escenario de manejo a base de vegetación potencial

- Este escenario de vegetación potencial se construyó únicamente para las URH con pastizales y tasas de erosión hídrica superior a las **10.0 t/ha**; las áreas agrícolas no se incluyeron en el análisis, ya que difícilmente los productores agrícolas aceptarían su reconversión a uso forestal.
- Este escenario se corrió a nivel de cuenca para las 46 URH de pastizal inducido y con problemas de erosión hídrica.



LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO



Leyenda

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Límite Estatal Límite Municipal Localidades Urbanas Límite de la Cuenca Subcuencas Estaciones Hidrométricas Cuerpos de Agua Ríos | <p>Vegetación Potencial</p> <ul style="list-style-type: none"> Bosque de tascate Bosque encino Bosque mesófilo de montaña Bosque pino Chaparral Encino-pino Pino-encino Selva baja caducifolia |
|---|---|
- Localidades**
- < 500 hab.
 - 500 - 5,000 hab.
 - > 5,000 hab.

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

Proyecto MIXTECA
 Convenio de colaboración OM30

Priorización hidrológica de las principales asociaciones suelo-vegetación presentes en la cuenca del Río Mixteco, estado de Oaxaca

MAPA 14:
VEGETACIÓN POTENCIAL
POSIBLE ESCENARIO



Escenario de manejo a base de vegetación potencial

	Unidad	Uso Actual	Vegetación Potencial
Escurrimiento superficial	mm	44.82	37.81
Escurrimiento lateral	mm	64.55	65.72
Flujo base	mm	30.64	34.59
Percolación	mm	29.24	34.05
Humedad suelo	mm	1.19	1.34
Producción de agua	mm	135.45	133.84
Producción de sedimentos	t/ha	17.04	10.11

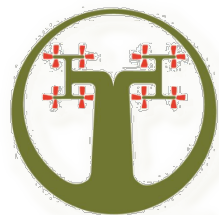


URH's Críticas (Pastizal)

HRU	Subcuenca	Municipio	Ejido	Área (ha)	Escorrentamiento actual (mm)	Erosión actual (t/ha)	Cobertura propuesta	Escorrentamiento (mm)	Erosión (t/ha)
191	18	Santos Reyes Yucuná	Santos Reyes Yucuná	678.2	134.6	300.5	Selva baja caducifolia	50.7	94.4
191	18	Santos Reyes Yucuná	San Pedro Atoyac	104.4	134.6	300.5	Selva baja caducifolia	50.7	94.4
66	7	San Martín Zacatepec	San Martín Zacatepec	835.3	135.2	260.2	Selva baja caducifolia	50.9	82.4
66	7	San Martín Zacatepec	Santos Reyes Yucuná	293.2	135.2	260.2	Selva baja caducifolia	50.9	82.4
98	9	San Juan Cieneguilla	San Juan Cieneguilla	678.9	135.5	243	Selva baja caducifolia	50.9	76.7
98	9	San Juan Cieneguilla	San Sebastián Zoquiapam	550.4	135.5	243	Selva baja caducifolia	50.9	76.7
98	9	San Juan Cieneguilla	Mariscala de Juárez	312.5	135.5	243	Selva baja caducifolia	50.9	76.7
98	9	San Juan Cieneguilla	San José de la Pradera	102.5	135.5	243	Selva baja caducifolia	50.9	76.7
730	60	Silacayoápam	Propiedad Privada	314.7	259.6	238.2	Selva baja caducifolia	107.1	78
730	60	Silacayoápam	San Jerónimo Progreso	220.4	259.6	238.2	Selva baja caducifolia	107.1	78
256	23	Santiago Tamazola	San Juan Ihualtepec	605.9	135.4	236.4	Selva baja caducifolia	50.9	75.6
256	23	Santiago Tamazola	San Idelfonso Salinas	183.9	135.4	236.4	Selva baja caducifolia	50.9	75.6

VER CUADRO

399	33	Villa Tejúpam de la Unión	Propiedad Privada	272.8	100.2	17.5	Bosque tascate	36.9	5
399	33	Villa Tejúpam de la Unión	Tamazulápam	164.6	100.2	17.5	Bosque tascate	36.9	5
29	5	Zapotitlán Palmas	Zapotitlán Palmas	128	41.9	14.4	Bosque tascate	5.8	1
729	60	Silacayoápam	Propiedad Privada	214.9	87.7	13.8	Bosque encino	20.6	2.3
729	60	Silacayoápam	San Jerónimo Progreso	111	87.7	13.8	Bosque encino	20.6	2.3
731	60	Silacayoápam	Propiedad Privada	162.5	72.7	12.4	Selva baja caducifolia	12.5	1.2
			Total	44896.3	128.6	118.9		48.1	36.7



Proyecto
Mixtec

URH's Críticas (Agricultura)

HRU	Subcuenca	Municipio	Ejido	Área (ha)	Escorrentamiento actual (mm)	Erosión actual (t/ha)
604	47	Santo Domingo Tonalá	San Sebastián del Monte	1250.8	213.7	185.8
604	47	Santo Domingo Tonalá	Santo Domingo Tónala	523.2	213.7	185.8
604	47	Santo Domingo Tonalá	Propiedad Privada	340	213.7	185.8
619	48	Santo Domingo Tonalá	San Sebastián del Monte	995.6	230.1	182.4
619	48	San Jorge Nuchita	San Jorge Nuchita	188.4	230.1	182.4
553	44	San Jorge Nuchita	San Jorge Nuchita	298.2	230.2	168.9
259	23	Santiago Tamazola	Propiedad Privada	1254.5	183.8	166.6
259	23	Silacayoápam	San Juan Trujano	927.3	183.8	166.6
259	23	Santiago Tamazola	San Luis Morelia	842.8	183.8	166.6

VER CUADRO

954	79	San Juan Mixtepec -Dto. 08 -	San Juan Mixtepec	289.5	16.6	11
832	66	San Sebastián Tecomaxtlahuaca	San Sebastián Tecomaxtlahuaca	451.7	33.2	10.5
832	66	Silacayoápam	San Miguel Aguacates	386.6	33.2	10.5
832	66	San Miguel Tlacotepec	San Miguel Tlacotepec	252.6	33.2	10.5
832	66	Silacayoápam	Propiedad Privada	208.2	33.2	10.5
832	66	Silacayoápam	San Jerónimo Progreso	135.2	33.2	10.5
1002	84	San Juan Mixtepec -Dto. 08 -	San Juan Mixtepec	424.7	33.8	10.3
959	80	San Juan Mixtepec -Dto. 08 -	San Juan Mixtepec	754.2	34.3	10.3
959	80	San Juan Ñumi	Santo Domingo Yosoyama	174	34.3	10.3
			Total	45033.4	123.9	77.7



CONCLUSIONES

En términos de las producciones agua, sedimentos y biomasa el modelo SWAT fue calibrado y validado satisfactoriamente para la cuenca del Río Mixteco.

- Los buenos resultados en la calibración de SWAT permiten con una certeza ($r^2 > 0.84$) identificar problemas de degradación en 49,864.1 ha de terrenos agrícolas de temporal y en 47,012.6 ha terrenos de pastizal inducido bajo condiciones de sobre pastoreo.
- Cualquier escenario de intervención en los terrenos agrícolas y de pastizal debe buscar un coeficiente de escurrimiento superficial inferior al 20% para garantizar una erosión hídrica inferior a las 10.0 t/ha/año (mínima tolerable).



CONCLUSIONES

- Del total de los terrenos de pastizal inducido, con problemas de degradación (erosión hídrica superior a 10 t/ha/año), el 31.5% de la superficie podría reconvertirse a selva baja caducifolia, el 27.6% a bosque de táscate, el 21.9% a bosque de encino, el 6.6% a bosque mesófilo de montaña, el 7.4% a bosque de pino y el 4.8% a chaparral.
- Actualmente la cuenca presenta una degradación específica de 17.04 t/ha/año (producción de sedimentos) pero un buen manejo de los terrenos agropecuarios, en términos de conservación de suelos, podría bajar la degradación a un nivel aceptable de 2.0 – 3.0 t/ha/año; lo cual además de mejorar las condiciones productivas de la cuenca permitiría prolongar por varias veces la vida útil de la infraestructura hidroagrícola de la región.



MANEJO DEL MODELO SWAT



BASE DE DATOS DEL SWAT

- **Archivo Soilrng**
- **Archivo Usersoil**

C:\Swat\ArcSWAT\Databases-SWAT2009.mdb

SUELOS

(VcSf) Vertisol crómico Sin fase	(RcL) Regosol calcárico Lítica
(EL) Rendzina Lítica	(RcP) Regosol calcárico Pedregoso
(ReL) Regosol Eútrico Lítica	(ELP) Rendzina Lítica Profunda
(LcSf) Luvisol crómico Sin fase	(VcL) Vertisol crómico Lítica
(JeP) Fluvisol eutrico Pedregosa	(VpP) Vertisol pélico Pedregosa
(ISf) Litosol Sin fase	(VpSf) Vertisol pélico Sin Fase
(HhLP) Feozem háplico Lítica Profunda	(HcL) Feozem calcárico Lítica
(BcP) Cambisol crómico Pedregosa	(HhL) Feozem háplico Lítica
(VcP) Vertisol crómico Pedregosa	(HISf) Feozem lúvico sin fase
(HhSf) Feozem háplico Sin fase	(RcSf) Regosol calcárico sin fase
(JcP) Fluvisol calcárico Pedregoso	(BeL) Cambisol Eútrico Lítica
(LcLP) Luvisol crómico Lítica Profunda	(HcSf) Feozem calcárico sin fase
(LoL) Luvisol órtico Lítico	



BASE DE DATOS DEL SWAT

VEGETACIÓN

- **Archivo Croprng** C:\Swat\ArcSWAT\Databases-SWAT2009.mdb
- **Archivo Crop**

CLAVE	DESCRIPCIÓN
PASI	Pastizal inducido
RNGB (range-brush)	Bosque de tascate
FRSD	Selva baja caducifolia
BENC	Bosque de encino
ENPI	Bosque encino-pino
TEMP	Agricultura de temporal (Maíz)
PIEN	Bosque de pino-encino
RIEG	Agricultura de riego (Maíz)
PINO	Bosque de pino
BERM	Zona urbana
AGUA	Cuerpos de agua
MATO	Matorral xerofito
FRSE	Bosque mesófilo de montaña



BASE DE DATOS DEL SWAT

CLIMA

- **Archivo wgnrng** C:\Swat\ArcSWAT\Databases-SWAT2009.mdb
- **Archivo Userwgn**

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS			
1	20013	10	20141
2	20028	11	20142
3	20051	12	20159
4	20067	13	20163
5	20103	14	20167
6	20108	15	20190
7	20125	16	20275
8	20133	17	20310
9	20137	18	20375



NUEVO PROYECTO EN SWAT

SWAT PROJECT SETUP

SWAT Project Setup ▾ Watershed Delineator ▾ HRU Analysis ▾ Write Input Tables ▾ Edit SWAT Input ▾ SWAT Simulation ▾

New SWAT Project ...
Open SWAT Map Document ...
Save SWAT Project ...
Copy SWAT Project ...
Delete SWAT Project...
ArcSWAT Help ...
About ArcGIS ArcSWAT ...

New SWAT Project: Este comando crea un nuevo proyecto de SWAT.

Open SWAT Map Document: Permite abrir un proyecto SWAT existente.

Save SWAT Project: Este guarda el proyecto que actualmente se está trabajando.

Copy SWAT Project: Copia todo el contenido del proyecto, para una nueva carpeta de proyecto.

Delete Project: Elimina el proyecto ArcSWAT.

ArcSWAT Help: Este despliega el manual de usuario de ArcSWAT.

About ArcGIS ArcSWAT: Abre un cuadro que describe la versión de ArcSWAT utilizada.



DELIMITACIÓN DE CUENCA

WATERSHED DELINEATOR MENU

DEM Setup

Modelo Digital de Elevaciones
DEM projection setup

Mask Burn In

Outlet and Inlet Definition

Subbasin outlet
 Inlet of draining watershed
 Point source input
 Add point source to each subbasin

Definición de puntos de salida y entrada

Add by Table

Edit manually

ADD DELETE REDEFINE

Stream Definition

DEM-based
 Pre-defined streams and watersheds

DEM-based

Definición de corrientes
accumulation

Area: [Ha]
Number of cells:

Watershed Outlets(s) Selection and Definition

Whole watershed

Cancel

Definición de la salida de la cuenca

SELECT

Delineate

Pre-defined

Watershed dataset:

Stream dataset:

Calculation of Subbasin Parameters

Reduced report output
 Skip longest flow path calculation

Calculate subbasin parameters

Cálculo de los parámetros de las subcuencas

Add or delete

ADD DELETE

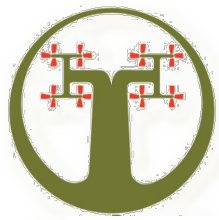
Number of Outlets:
Number of Subbasins:

Exit Minimize

Stream network

Create streams and outlets

Red de drenaje




DEFINICIÓN DE LAS HRU's

HRU ANALYSIS MENU

M Land Use/Soils/Slope Definition

Land Use Data | Soil Data | Slope

Land Use Grid

 no location

Choose Grid Field

LookUp Table Table Grid Values ----> Land Cover Classes

SWAT Land Use Classification Table

Create HRU Feature Class

HRU Definition

HRU Thresholds | Land Use Refinement (Optional)

HRU Definition

Dominant Land Use, Soils, Slope
 Multiple HRUs

Threshold

Percentage
 Area

Land use percentage (%) over subbasin area

%

0 60

Soil class percentage (%) over land use area

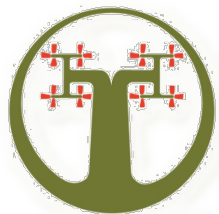
%

0 100

Slope class percentage (%) over soil area

%

0 100



Proyecto
Mixteca

DEFINICIÓN DE LAS HRU's

Distribución del Uso y los Suelos

Por ejemplo, asuma que existe una subcuenca que contiene:

30% Pastos

21% Bosques

35% Maíz

10% Huertas, y

4% Zona Urbana.

Si el nivel mínimo para el uso es del 20%, HRUs deberían ser creadas para pastos, Bosques y Maíz y las aéreas para ser modeladas se modificarían de la siguiente forma:

Pastos: $(30\% / 86\%) \times 100\% = 35\%$

Bosque: $(21\% / 86\%) \times 100\% = 24\%$

Maíz: $(35\% / 86\%) \times 100\% = 41\%$

Donde el 86% fue el % de área de la subcuenca originalmente cubierta por Pastos, Bosques y Maíz.

El nivel mínimo ajustado para múltiples HRUs está en función de las metas del proyecto y el aumento del detalle deseado para ser modelado.



DEFINICIÓN DE LAS HRU's

HRU Definition

HRU Thresholds Land Use Refinement (Optional)

Land Use Split

Select New Land Use to Split:

Select Split Land Use to Edit:

	Landuse	Sub-Lu	Percent
*			

Add Sub-Lu

Delete Sub-Lu

Remove Split

Cancel Edits Save Edits

Land Use Threshold Exemptions

New Exempt Land Use

ENPI
FRSD
FRSE
MATO

Exempt Land Uses

AGUA
URMD

Add Delete

Write HRU Report

Create HRUs Cancel

HRU Analysis Reports

Select Report

Land Use, Soils, Slope Distribution

Final HRU Distribution

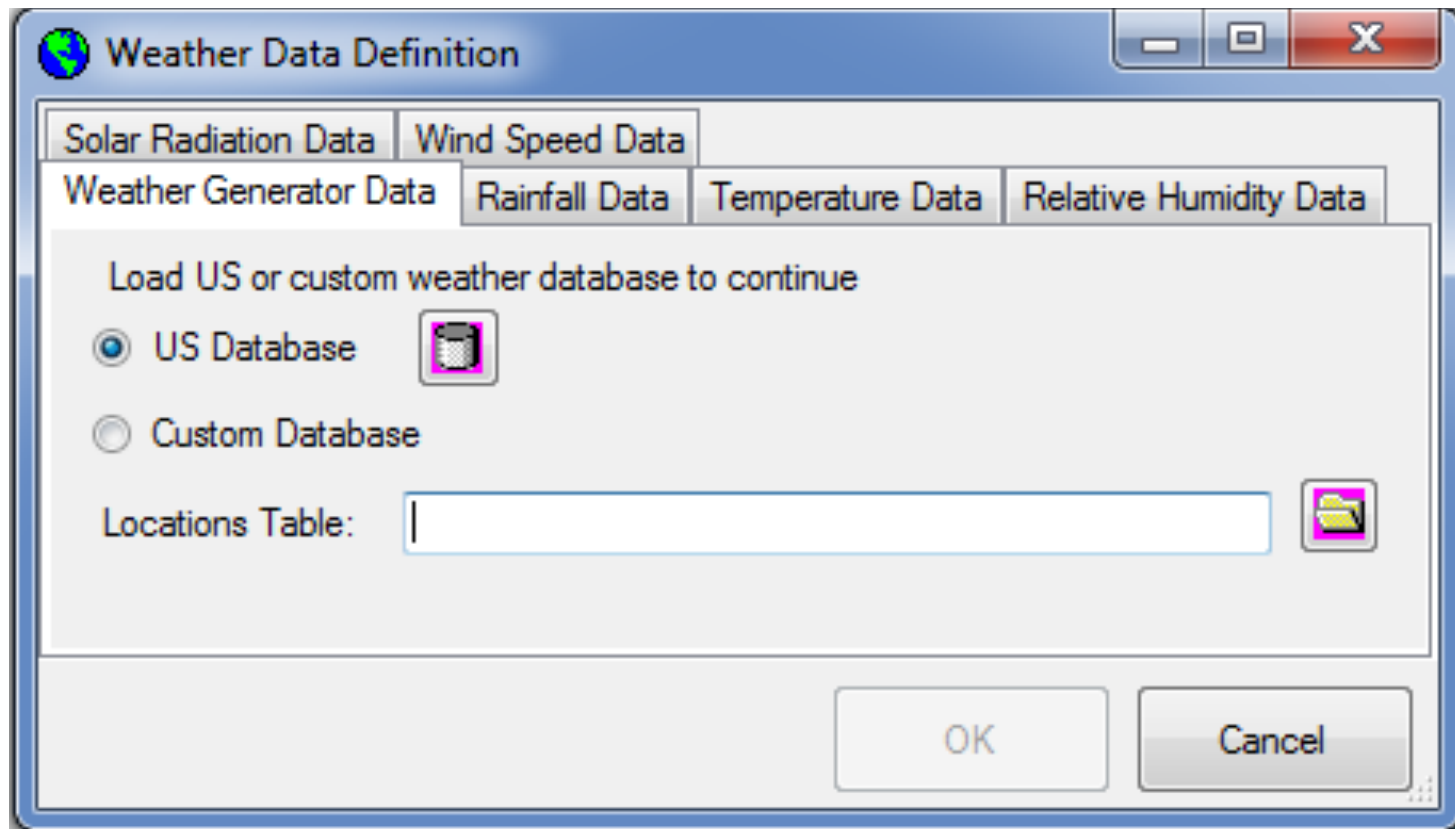
OK Cancel



DATOS METEOROLÓGICOS

Weather Stations

- Generadores climáticos
- Datos diarios de precipitación
- Datos diarios de temperatura máxima y mínima





DATOS METEOROLÓGICOS

Bases de datos de datos

- generadores.dbf
- Pcpfork.dbf
- Tmpfork.dbf

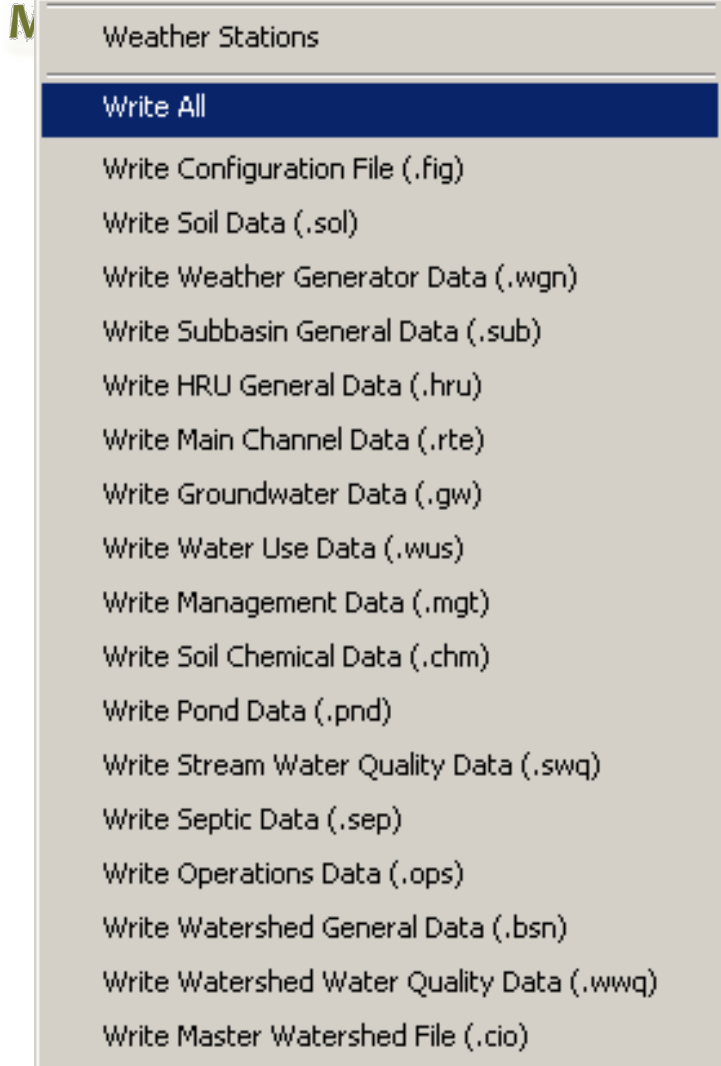
- Pcp013.dbf
- Pcp028.dbf
- Pcp051.dbf

- Tmp013.dbf
- Tmp028.dbf
- Tmp051.dbf



ESCRIBIR ARCHIVOS DE ENTRADA

Archivos

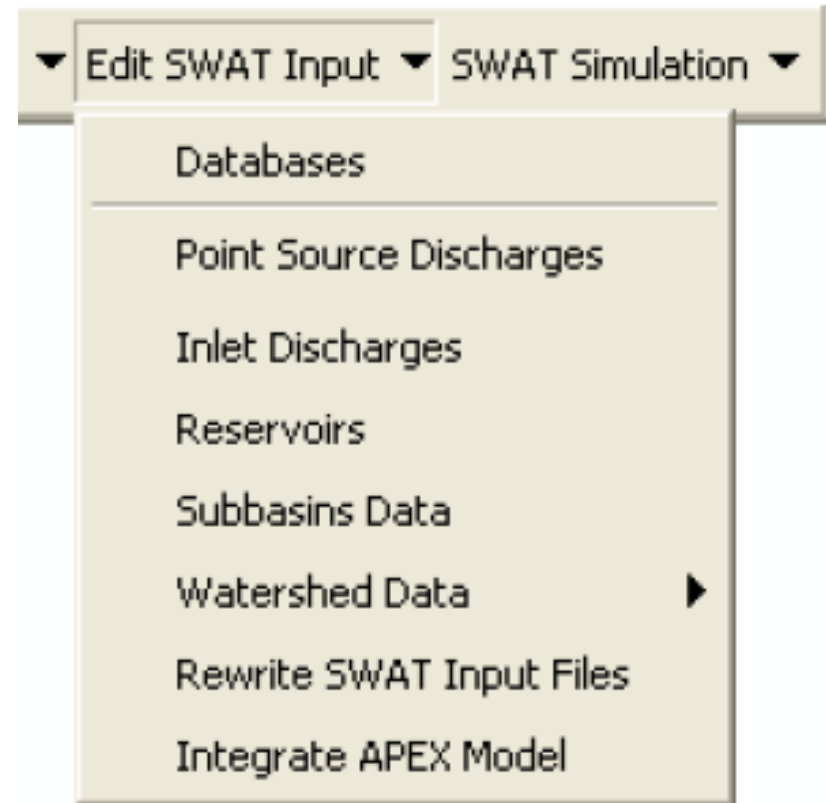


1. Datos de suelos (.sol)
2. Generadores climáticos (.wgn)
3. Subcuencas (.sub)
4. Unidades de respuesta hidrológica (hru)
5. Cauces o corrientes (.rte)
6. Agua Subterránea (.gw)
7. Usos del agua (.wus)
8. Manejo de cultivos (.mgt)
9. Propiedades químicas del suelo (.swq)
10. Cuerpos o estanques de agua (.pnd)
11. Calidad del agua en las corrientes (.swq)
12. Agua negras (.sep)
13. Operaciones (.ops)
14. Datos generales de la cuenca (.bsn)
15. Calidad del agua en la cuenca (.wwq)
16. Archivo general de la cuenca (.cio)



MODIFICACIÓN DE ARCHIVOS DE ENTRADA

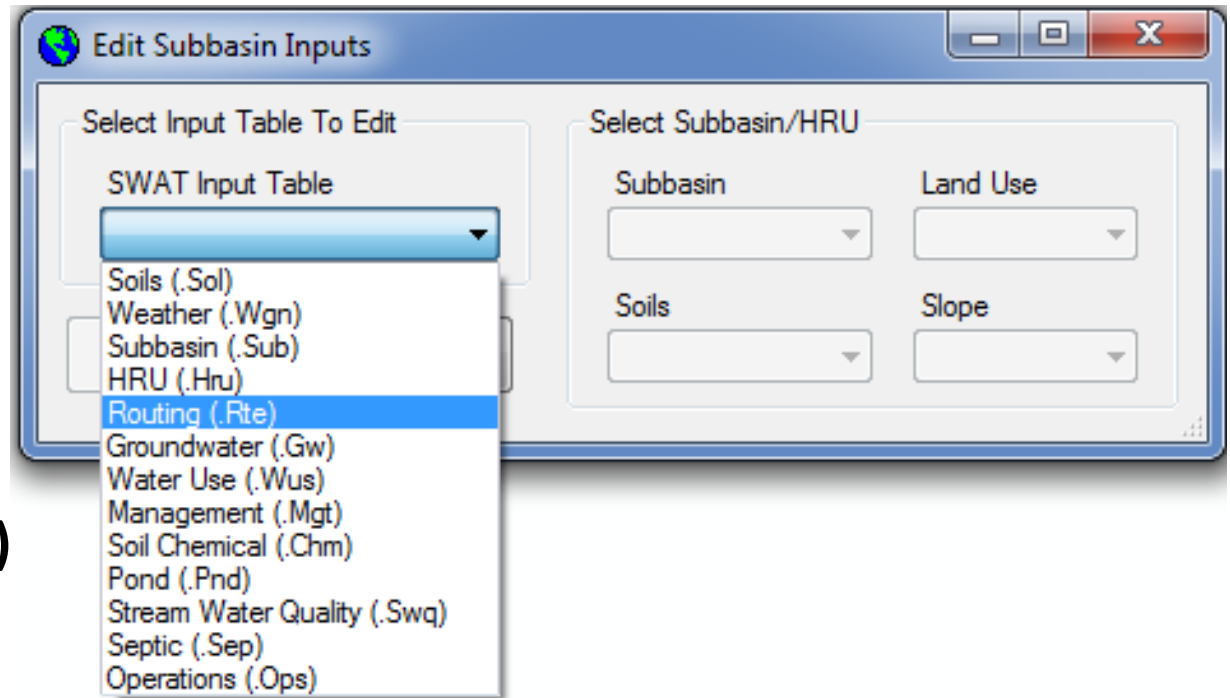
El menú ***Edit SWAT Input*** le permite al usuario editar las bases de datos del modelo SWAT. Seleccione el menú Editar SWAT de entrada con el ratón. Seis puntos que permiten cambiar los datos de entrada, son listados en el menú Edición de entrada.





MODIFICACIÓN DE ARCHIVOS DE ENTRADA

- Reservoir
- Subbasin (.Sub)
- HRU (.Hru)
- Routing (.Rte)
- Management (.Mgt)



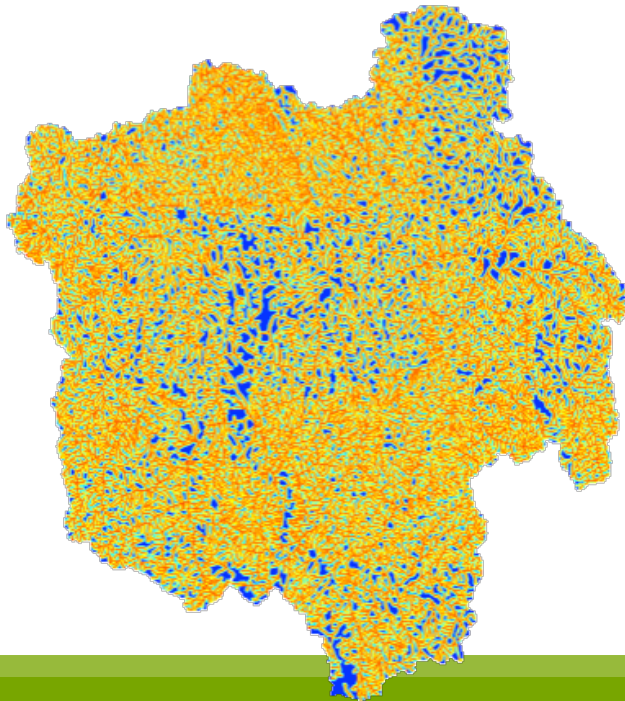


MODIFICACIÓN DE ARCHIVOS DE ENTRADA

➤ HRU (.Hru) Variable longitud de la pendiente

Es definida como la distancia horizontal desde el origen de un flujo hasta el punto, donde el escurrimiento llega a ser concentrado en un canal definido.

Esta variable se determinó utilizando el raster de distancias de un punto hasta el cauce mas cercano, posteriormente hizo una corrección por pendiente utilizando la siguiente función:



$$y = -1.8793x + 166.75$$



MODIFICACIÓN DE ARCHIVOS DE ENTRADA

➤ Management (.Mgt) Parámetros generales

Edit Management Parameters: Subbasin 1, Land Use TEMP, Soil (ISf), Slope 5-9999

General Parameters | Operations | HRU Info

Initial Plant Growth

Initial Land Cover	LAI_INIT	BIO_INIT	PHU_PLT
AGRICULTURA TEMPORAL	0	0	1400

General Management

BIOMIX	CN2	USLE_P	BIO_MIN	FILTERW
0.2	88	0.5	0	0

Urban Management

Urban Land Cover	Urban Simulation Method
No Urban Use	

Irrigation Management

Irrigation Source	Subbasin ID	FLOWMIN (m ³ /s)	DIVMAX (+mm/-10 ⁴ m ³)	FLOWFR
No Irrigation		0	0	0

Tile Drain Management

DDRAIN (mm)	TDRAIN (hr)	GDRAIN (hr)
0	0	0

Special Management Options

- Adjust Curve Numbers for Slope
- Model as Bare Soil

Edit Values

Cancel Edits

Save Edits

Exit

Extend Parameter Edits

- Extend ALL MGT General Parameters
- Extend Management Operations
- Extend Edits to Current HRU
- Extend Edits to All HRUS
- Extend Edits to Selected HRUS

Selected HRUs

Subbasins	Land Use	Soils
		Slope



MODIFICACIÓN DE ARCHIVOS DE ENTRADA

➤ Management (.Mgt) Operaciones

Agricultura de temporal

Add Year

Delete Year

Add Operation

Delete Operation

Edit Operation

Current Management Operations					
	Year	Month	Day	Operation	Crop
▶	1	6	1	Tillage operation	
	1	6	3	Fertilizer application	
	1	6	10	Tillage operation	
	1	6	15	Plant/begin. growing se	TEMP
	1	7	20	Tillage operation	
	1	10	25	Harvest and kill operati	
*					

Load Schedule

Save Schedule

Agricultura de riego

Add Year

Delete Year

Add Operation

Delete Operation

Edit Operation

Current Management Operations					
	Year	Month	Day	Operation	Crop
	1	3	1	Tillage operation	
	1	3	3	Fertilizer application	
	1	3	6	Tillage operation	
	1	3	9	Irrigation operation	
	1	3	10	Irrigation operation	
▶	1	3	11	Irrigation operation	
	1	3	15	Plant/begin. growing se	RIEG
	1	4	20	Tillage operation	
	1	4	22	Fertilizer application	

Load Schedule

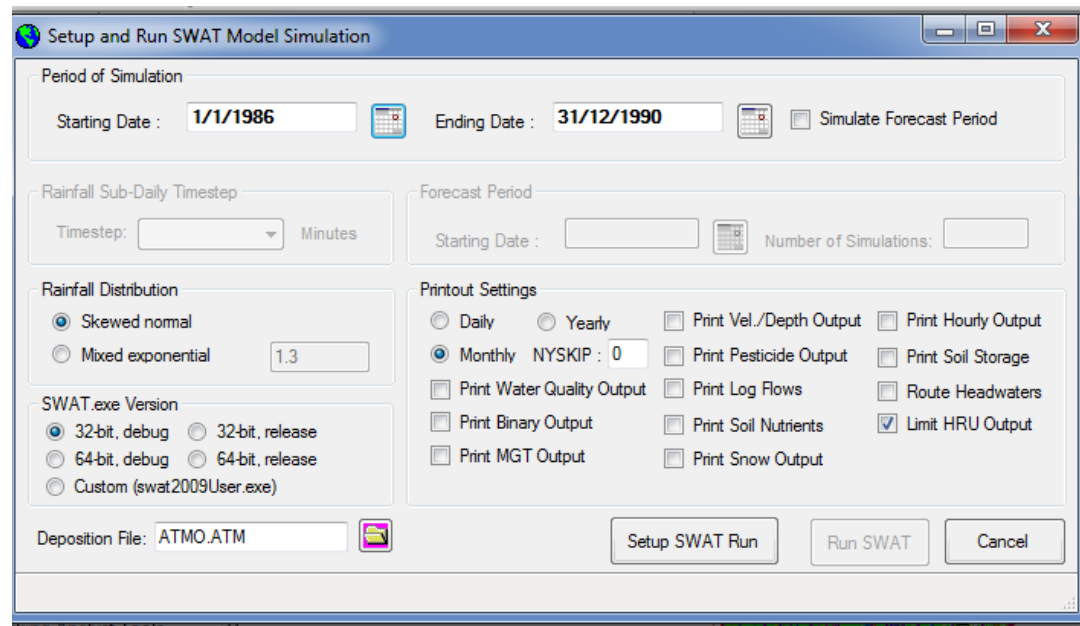
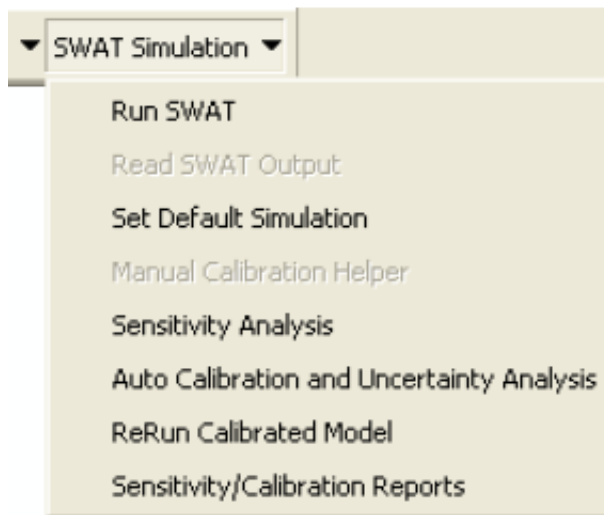
Save Schedule



SWAT SIMULACIÓN

➤ SWAT SIMULATION MENU

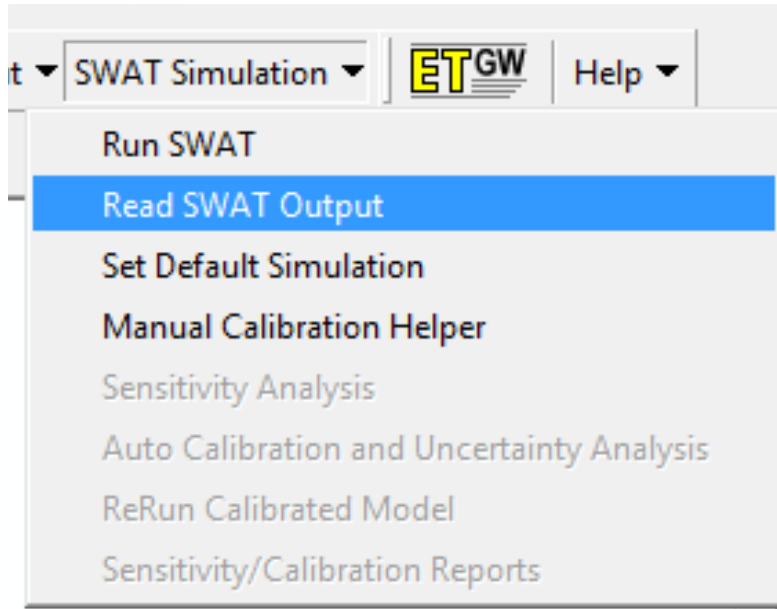
Run SWAT es utilizado para construir los archivos de entrada y ejecutar el modelo SWAT.





SWAT RESULTADOS

➤ Read SWAT output



- ✓ *Open input.std*
- ✓ *Open output.std*
- ✓ *Import Files to Database*

