



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y
USO INTEGRAL DEL AGUA**

**MODELADO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL
RÍO MIXTECO EN EL ESTADO DE OAXACA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

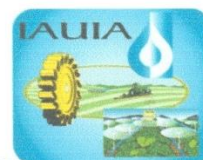
PRESENTA:

RODIBERTO SALAS MARTÍNEZ



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, JULIO 2013



**MODELADO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO EN EL
ESTADO DE OAXACA**

Tesis realizada por **Rodiberto Salas Martínez** bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

ORIENTACIÓN: USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR:


DRA. LAURA A. IBÁÑEZ CASTILLO

ASESOR:


DR. RAMÓN ARTEAGA RAMÍREZ

ASESOR:


DR. MARIO R. MARTÍNEZ MENES

ASESOR:


DR. DEMETRIO S. FERNÁNDEZ REYNOSO

AGRADECIMIENTOS

A dios nuestro señor por estar conmigo en todo momento y por darme la fortaleza y voluntad necesaria para concluir mis estudios de posgrado.

A mi Alma Mater la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

Al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua por haberme dado la oportunidad de formar parte de sus generaciones.

Al Fondo Mundial Para la Naturaleza (WWF), por el financiamiento de la presente tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo de beca para la realización de la maestría.

A mi directora de tesis la Dra. Laura Alicia Ibáñez Castillo por su acertada dirección, consejos y sugerencias hizo posible la culminación de éste trabajo.

Al Dr. Ramón Arteaga Ramírez por las sugerencias y apoyo para realizar éste trabajo.

Al Dr. Mario Martínez Menes, por su amistad y apoyo incondicional para la culminación exitosa del presente trabajo.

Al Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso, por todo el apoyo brindado y por sus acertados consejos para la realización del presente trabajo.

Al. Ing. Carlos Palacios Espinoza, por todo el apoyo brindado para la realización para la culminación del presente trabajo.

A mis padres Albertana Martínez Bautista y Héctor Salas Ruíz por darme la vida el cariño, la comprensión, la fuerza y los consejos necesarios para llegar a ser lo que soy y seguir adelante.

DEDICATORIA

A mi madre: Albertana Martínez Bautista quien con su amor, cariño y comprensión me ha apoyado en todo momento, brindándome consejos y sobre todo su confianza para poder alcanzar este logro, esto es por ti mamá, gracias por todo.

A mi padre: Héctor Salas Ruíz quien es un ejemplo de superación, él me ha enseñado que todas las cosas pueden alcanzarse con empeño y dedicación, me ha brindado su apoyo incondicional en todo momento, gracias a ti he logrado este sueño.

A mi hermano: Edel Salas Martínez por todo el apoyo, cariño y aprecio que me has brindado, muchas gracias.

A mi abuelo: Félix Salas Hernández (†) quien siempre conté con su apoyo, a ti en donde quiera que estés gracias por cuidarme y compartir conmigo momentos inolvidables, gracias.

A mi familia: a todos mis abuelos, tíos, primos y sobrinos por confiar siempre en mí y apoyarme en todo momento, muchas gracias y sigamos siendo una gran familia.

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Rodiberto Salas Martínez nace en el municipio de Tanetze de Zaragoza Villa Alta, Oaxaca el 22 de Mayo de 1893.

Realizó sus estudios de primaria en la escuela Emiliano Carranza de la misma localidad, sus estudios de secundaria los realizó en el Instituto Nacional para la Educación de los Adultos (INEA) con sede en el distrito de Ixtlán de Juárez. Ingresa en el año 2001 a la Universidad Autónoma Chapingo en donde culmina exitosamente sus estudios de nivel medio superior y posteriormente ingresar al departamento de Irrigación para estudiar la carrera de ingeniero en Irrigación en la misma universidad, egresando en el año 2008.

En agosto del 2010 ingreso al posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua en el área de uso integral del agua, trabajando en la línea de investigación de Manejo Integral de Cuencas.

MODELADO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO EN EL ESTADO DE OAXACA

Autor: Rodiberto Salas Martínez

Director: Dra. Laura A. Ibáñez Castillo

RESUMEN

La cuenca del Río Mixteco en el estado de Oaxaca presenta una fuerte degradación de sus recursos naturales, suelo, agua y vegetación.

El objetivo del presente trabajo fue calibrar y validar el modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para predecir la producción de biomasa, escurrimientos y sedimentos en la cuenca del Río Mixteco en el estado de Oaxaca. Los datos utilizados para la calibración y validación de modelo son los medidos en la estación hidrométrica Mariscala y corresponden al periodo de 1986 a 1990, se seleccionaron los tres primeros años para la calibración y para la validación los dos años restantes.

En la calibración de biomasa se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 0.72.

Para la producción de sedimentos solo fue posible realizar la calibración debido a la poca disponibilidad de datos medidos en la estación hidrométrica, para esta variable se obtuvieron valores de 0.71 y 1.18 para r^2 y la pendiente de la recta, respectivamente.

En la calibración de producción de escurrimientos se obtuvieron valores de r^2 de 0.94 y 0.83 para la producción anual y mensual, respectivamente; con respecto a la validación de esta variable se obtuvieron valores de r^2 de 0.93 y 0.82 a nivel anual y mensual respectivamente.

En conclusión, el modelo SWAT subestimó la producción de escurrimientos en un 6% y sobreestimó la producción de sedimentos en un 11.5%

Palabras clave: SWAT, modelado, producción de escurrimientos, producción de sedimentos.

HYDROLOGIC MODELING OF THE BASIN OF THE MIXTECO RIVER OF THE OAXACA STATE

Author: Rodiberto Salas Martínez

Advisor: Dra. Laura A. Ibáñez Castillo

ABSTRACT

The basin of the Mixteco River of the Oaxaca state presents a strong degradation of the its natural resources, soil, water and vegetation.

The objective of the present work was calibrate and validate the SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) hydrologic model to predict the production of the biomass, runoffs and sediments in the basin of the Mixteco River of the Oaxaca state. The data utilized for the calibration and validation of the model are the data measured in the hydrometric station "Mariscala" that correspond to the period of 1986 to 1990, the first three years were selected for the calibration and the other two years were selected for the validation.

In the calibration of biomass a Determination Coefficient (r^2) of 0.72 was obtained.

For the production of sediments only was possible to do the calibration because of the little availability of data measured in the hydrometric station, for this variable were obtained values of 0.71 and 1.18 for r^2 and for the slope of the line, respectively.

In the calibration of production of runoffs were obtained values for r^2 of 0.94 and 0.83 for the production annual and monthly, respectively; respect to the validation of this variable were obtained values of r^2 of 0.93 and 0.82 at level annual and monthly, respectively.

In conclusion, SWAT model underestimated the production of runoffs in 6% and overestimated the production of sediments in 11.5%.

Key words: SWAT, modeling, production of runoffs, production of sediments.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. La cuenca como unidad de manejo	3
2.2. Balance Hidrológico de una cuenca	5
2.3. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.....	8
2.3.1. Factor R.....	9
2.3.2. Factor K.....	10
2.3.3. Factor LS.....	10
2.3.4. Factor C.....	11
2.3.5. Factor P	13
2.4. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE).....	13
2.4.1. Escurrimiento superficial.....	14
2.4.2. Gasto máximo instantáneo	20
2.5. Conceptos Generales sobre Modelos.....	22
2.5.1. Sistemas.....	22
2.5.2. Modelos	23
2.5.3. Calibración, Validación y Verificación de modelos.....	24
2.6. Modelos de Cuenca.....	25
2.6.1. Clasificación de modelos de cuenca	26
2.6.2. El Modelo SWAT	27
3. OBJETIVOS.....	35
3.1. Objetivo general	35
3.2. Objetivos particulares	35

4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
4.1. Descripción del área de estudio	36
4.1.1. Ubicación.....	36
4.1.2. Geología.....	37
4.1.3. Orografía	39
4.1.4. Hidrología	41
4.1.5. Suelos.....	41
4.1.6. Clima	44
4.1.7. Uso de suelo y vegetación.....	44
4.2. Materiales	48
4.2.1. Cartografía y base de datos utilizados	48
4.2.2. Software	49
4.3. Metodología.....	49
4.3.1. Periodo de calibración y validación	50
4.3.2. Recopilación de la información para la alimentación del modelo	51
4.3.3. Procedimiento para la calibración del modelo.....	68
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
5.1. Delimitación de la cuenca.....	70
5.2. Producción de biomasa	72
5.3. Producción de escurrimientos para el periodo de calibración.....	76
5.3.1. Producción de escurrimientos a nivel anual	76
5.3.2. Producción de escurrimientos a nivel mensual	78
5.4. Producción de sedimentos	82
5.5. Balance general de la calibración del modelo	84
5.6. Validación del modelo SWAT	86
5.6.1. Validación de los escurrimientos a nivel anual.....	86
5.6.2. Validación de los escurrimientos a nivel mensual.....	89
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
6.1. Conclusiones	92
6.2. Recomendaciones	93

7. LITERATURA CITADA	94
8. ANEXOS	100
8.1. Anexo 1. Base de datos (factores fisiotécnicos)	100
8.2. Anexo 2. Base de datos (suelos)	102
8.3. Anexo 3. Generadores climáticos	105
8.4. Anexo 4. Base de datos (clima)	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Los principales servicios relacionados con el agua que proveen los ecosistemas en una cuenca típica	4
Cuadro 2. Factor de cobertura vegetal (C) para pastizales, agostaderos y terrenos en descanso	12
Cuadro 3. Valores del CN para Zonas Urbanas.....	16
Cuadro 4 Valores del CN para uso agrícola del suelo	17
Cuadro 5. Modelos de cuenca	26
Cuadro 6. Producción de agua y sedimentos anuales y mensuales, medidos y simulados para la estación G Riesel, Texas	29
Cuadro 7. Tipo de rocas dentro de la cuenca del Río Mixteco	38
Cuadro 8. Unidades de suelos presentes en la cuenca del Río Mixteco	42
Cuadro 9. Uso de suelo y vegetación en la cuenca Río Mixteco	46
Cuadro 10. Uso de suelo y vegetación del área de estudio	53
Cuadro 11. Parámetros fisiotécnicos que requiere el modelo SWAT	55
Cuadro 12. Principales cultivos del Distrito de Desarrollo Rural 104, Huajuapán de León.....	57
Cuadro 13. Paquete tecnológico de maíz aplicado por los productores de la región.....	59
Cuadro 14. Rango de producción de biomasa para los diferentes tipos de vegetación presentes en la cuenca del Río Mixteco	60
Cuadro 15. Puntos de muestreo de suelos dentro de la cuenca del Río Mixteco	61
Cuadro 16. Parámetros de suelos requeridos por el modelo SWAT.....	62
Cuadro 17. Estaciones meteorológicas útiles para la calibración y validación del modelo	65
Cuadro 18. Variables climatológicas para la base de datos del modelo SWAT	65
Cuadro 19. Estaciones hidrométricas presentes en la cuenca del Río Mixteco	66

Cuadro 20. Datos mensuales de escurrimientos (mm) en la estación hidrométrica mariscala.....	68
Cuadro 21. Datos mensuales de producción de sedimentos para la estación hidrométrica Mariscala.....	68
Cuadro 22. Parámetros ajustados para la calibración del modelo SWAT.....	69
Cuadro 23. Comparación entre biomasa esperada y simulada	72
Cuadro 24. Comparacion entre el escurrimiento medido y el simulado por el modelo SWAT.....	76
Cuadro 25. Comparación entre escurrimientos medidos y simulados con el modelo SWAT (1986-1988)	78
Cuadro 26. Comparación mensual de sedimentos medidos y simulados.....	82
Cuadro 27. Resumen de los coeficientes de validación y verificación del modelo SWAT	86
Cuadro 28. Comparación entre escurrimientos medidos y simulados con SWAT para el periodo de calibración y validación (1986-1990).....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de operación del modelo SWAT a nivel diario.....	7
Figura 2. Maneras de estudiar un sistema.....	24
Figura 3. Localización del área de estudio.....	37
Figura 4. Geología del área de estudio.....	40
Figura 5. Tipos de suelos presentes en el área de estudio.....	43
Figura 6. Temperatura media anual del área en estudio	45
Figura 7. Vegetación y usos de suelo del área en estudio.....	47
Figura 8. Metodología para la calibración y validación del modelo SWAT en la cuenca del Río Mixteco.....	50
Figura 9. Modelo digital de elevaciones	52
Figura 10. Uso de suelo y vegetación Serie-II	54
Figura 11. Vegetación observada dentro de la cuenca.....	55
Figura 12. Muestreo de suelos dentro de la cuenca del Río Mixteco.....	61
Figura 13. Unidades de Respuesta hidrológica	71
Figura 14. Producción de biomasa de las asociaciones vegetales presentes en la cuenca del Río Mixteco	73
Figura 15. Comparación entre biomasa esperada y biomasa simulada por el modelo SWAT	74
Figura 16. Producción de biomasa en la cuenca del Río Mixteco.....	75
Figura 17. Dinámica de producción de agua medida y simulada con el modelo SWAT a nivel anual	77
Figura 18. Comparación entre el escurrimiento medido y simulado por el modelo SWAT a nivel anual	78
Figura 19. Dinámica de producción de agua medida y simulada con el modelo SWAT a nivel mensual.....	79
Figura 20. Comparación mensual entre escurrimientos medidos y simulados, estación hidrométrica Mariscala.....	80

Figura 21. Coeficientes de escurrimiento de las HRU presentes en la cuenca del Río Mixteco	81
Figura 22. Dinámica de producción de sedimentos medidos y simulados con el modelo SWAT a nivel mensual	83
Figura 23. Comparación mensual entre escurrimientos medidos y simulados, estación hidrométrica Mariscala.....	84
Figura 24. Comparación entre la precipitación observada en la cuenca y los escurrimientos medidos	88
Figura 25. Comparación entre el escurrimiento medido y simulado por el modelo SWAT a nivel anual para el periodo de calibración y validación	89
Figura 26. Dinámica de los escurrimientos medidos y simulados por el modelo a nivel mensual para el periodo de calibración y validación	90
Figura 27. Comparación entre el escurrimiento medido y simulado por el modelo SWAT a nivel mensual para el periodo de calibración y validación	91

1. INTRODUCCIÓN

En México, la región de la Mixteca abarca los estados de Guerrero, Puebla y Oaxaca, siendo este último el que abarca la mayor parte. Esta región presenta una fuerte degradación de sus recursos naturales, debido a las condiciones geológicas, climáticas, topográficas y del manejo propio de esos recursos. Esta combinación multifactorial hace de la Mixteca Oaxaqueña una de las regiones del país, con altas tasas de degradación del suelo, con problemas recurrentes de escasez de agua para las actividades agropecuarias y donde el Río Mixteco forma la red hidrológica regional.

En gran parte de la región, el origen volcánico del material parental y las condiciones climáticas que favorecen la rápida intemperización de las rocas y el desarrollo de una cubierta vegetal suficiente han propiciado la formación de suelos forestales, con características muy erosionables. Sin embargo, las condiciones topográficas abruptas, producto del volcanismo, y un mal manejo de la cubierta vegetal han favorecido altas tasas de erosión del suelo, crecimiento de los sistemas de drenaje, incremento de los escurrimientos superficiales y una reducción de la percolación que se refleja en el abatimiento de los manantiales. La acción combinada de deforestación y sobre pastoreo, en

estas áreas, han disminuido la vegetación natural que cubría las laderas de la región, provocando que el agua de lluvia no se infiltre al subsuelo para recargar los mantos acuíferos, sino que escurra superficialmente arrastrando la capa de suelo más fértil y formando cárcavas que son un reflejo de la erosión acelerada en algunas partes de la región.

En el presente trabajo se calibró y validó el modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) en la cuenca del Rio Mixteco en el estado de Oaxaca, este modelo fue calibrado y validado satisfactoriamente para la producción de biomasa de las diferentes asociaciones vegetales que se encuentran dentro de la cuenca, además de la producción de escurrimientos y sedimentos que fluyen hasta la estación hidrométrica Mariscala, por lo tanto se recomienda ampliamente su aplicación en estudios futuros que se realicen dentro de las subcuencas que se encuentran dentro de la cuenca en estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La cuenca como unidad de manejo

La cuenca hidrológica es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas, aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad, en donde ocurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboken en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con éstos y el medio ambiente. La cuenca hidrográfica conjuntamente con los acuíferos conforman las cuencas hidrológicas, que se constituyen en la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas (CNA, 1992).

La cuenca hidrográfica brinda múltiples e importantes servicios relacionados con el agua, desde los servicios directos de provisión de bienes o productos,

tales como el abastecimiento de agua para la población y para las actividades productivas, de hábitat y servicios relacionados con el ecoturismo como ha sido propuesto por (Smith *et al.*, 2006), cuadro 1.

Cuadro 1. Los principales servicios relacionados con el agua que proveen los ecosistemas en una cuenca típica

Proporcionar servicios Servicios centrados en proveer directamente productos alimenticios y no alimenticios provenientes de caudales hídricos. - Abastecimiento de agua dulce - Producción de cosechas y frutas - Producción ganadera - Producción de peces - Suministro de madera y de materiales de construcción - Medicinas - Energía hidro-eléctrica	Servicios de regulación Servicios relacionados con la regulación de caudales o con la reducción de riesgos que tienen que ver con caudales hídricos. - Regulación de caudales hídricos (derrames de amortiguación, infiltración de agua en los suelos, recarga de agua subterránea, mantenimiento de caudales base) - Mitigación de riesgos naturales (prevención de inundaciones, reducción de caudales pico, reducción de deslizamientos de tierra) - Protección de suelos y control de la erosión y de la sedimentación
Servicios de apoyo Servicios que se proveen para apoyar a hábitats y al funcionamiento de ecosistemas. - Hábitat de vida silvestre - Régimen de caudales necesarios para mantener el hábitat y los usos río abajo	Servicios culturales y de recreo Servicios relacionados con recreo e inspiración humana. - Recreo acuático - Estética del paisaje - Patrimonio cultural e identidad - Inspiración artística y espiritual

Fuente: Smith *et al.*, 2006

Los servicios que brinda la cuenca hidrográfica usualmente son ignorados por las sociedades que la habitan, en tal sentido estos servicios enfrentan importantes amenazas tales como, la sobreexplotación de los recursos (agua y tierras), la construcción de infraestructura de grandes dimensiones que alteran el funcionamiento natural, la contaminación, etc. (UICN, 2000).

En muchos casos solamente se advierte de la importancia de los servicios ecosistémicos que brinda la cuenca hidrográfica cuando los mismos están en serio peligro de extinguirse o ya han desaparecido (Aguirre, 2011)

2.2. Balance Hidrológico de una cuenca

El modelo matemático SWAT se basa en un balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca. Para la simulación, la cuenca hidrográfica se divide en pequeñas subcuencas con el fin de mejorar la exactitud de los cálculos. Adicionalmente el SWAT trabaja por unidades de respuesta hidrológica (HRU) obtenidas de la interacción de los diferentes tipos de suelo (textura), con el uso y cobertura del suelo. La simulación de la hidrología de la cuenca puede separarse en dos grandes divisiones: la primera es la fase terrestre del ciclo hidrológico que controla la cantidad de agua, sedimento y plaguicidas transportados los cauces de cada subcuenca y la segunda es la del agua o la fase de transporte la cual puede definirse como el movimiento del agua, sedimentos, etc, a través de la red de drenaje hasta el sitio de descarga de la cuenca. Para la simulación del ciclo hidrológico el modelo emplea en la ecuación del equilibrio de agua:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

SW_t : es el contenido final de agua en el suelo ($mm H_2O$)

SW_0 : es el contenido inicial de agua del suelo en un día i ($mm H_2O$)

t : es el tiempo (días)

R_{day} : cantidad de precipitación en un día i ($mm\ H_2O$)

Q_{surf} : cantidad de escurrimiento superficial en un día i ($mm\ H_2O$)

E_a : cantidad de evapotranspiración en día i ($mm\ H_2O$)

W_{seep} : cantidad de agua que percola en el perfil del suelo en un día i ($mm\ H_2O$)

Q_{gw} : cantidad de flujo subterráneo que retorno en un día i ($mm\ H_2O$).

La subdivisión de la cuenca permite al modelo reflejar las diferencias en la evapotranspiración para varias especies vegetales y tipos de suelos. Los escurrimientos son predichos separadamente para cada HRU y dirigidos para obtener los escurrimientos totales para las subcuencas y en la cuenca. Esto aumenta la certeza y da una mejor descripción física del movimiento del agua como parte del ciclo hidrológico.

La Figura 1 muestra la secuencia general de los procesos utilizados por SWAT para modelar la fase terrestre del ciclo hidrológico. Las diferentes entradas y procesos que intervienen en el ciclo hidrológico son: clima, hidrología, nutrientes/plaguicidas, erosión, cobertura vegetal, prácticas de manejo de la tierra, procesos en los cauces naturales y cuerpos de agua en la cuenca.

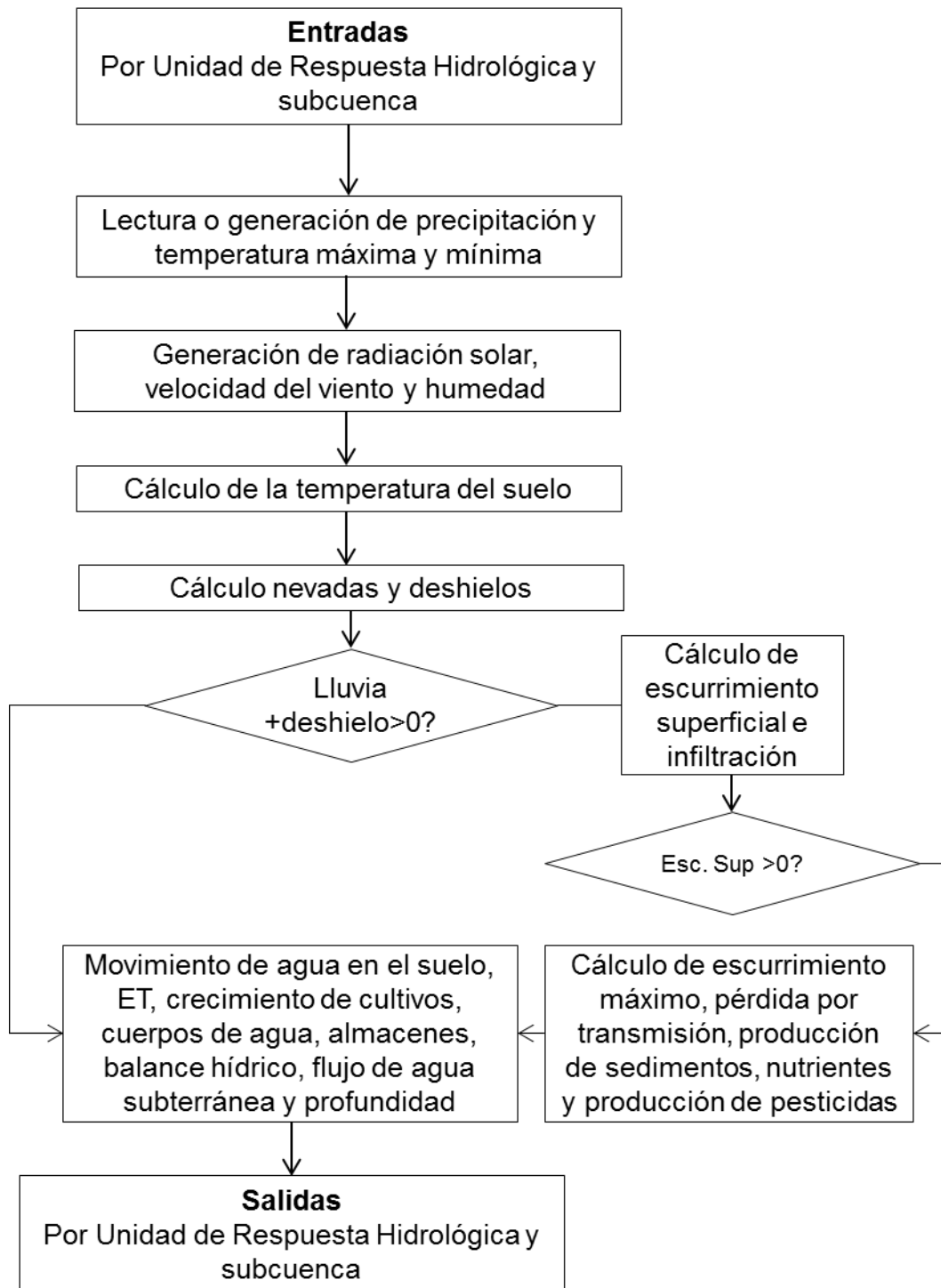


Figura 1. Diagrama de operación del modelo SWAT a nivel diario

2.3. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

La primera aproximación matemática para predecir la erosión del suelo producida por el agua, fué la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés) propuesta por Wischmeier y Smith (1965). La USLE es un modelo empírico, basado en la correlación de la erosión producida en parcelas experimentales, con varios parámetros como topografía, clima, suelo, usos del terreno y prácticas de manejo. Predice las tasas de erosión producidas en condiciones concretas: espacios geográficos uniformes, erosión laminar, erosión por canalillos y dentro de las condiciones climáticas en las que fue diseñado. La USLE se basa en la ecuación:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

A: es el Promedio anual de pérdida de suelo ($t\ ha^{-1}$).

R: representa el factor de erosividad de la lluvia ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$)

K: es el factor de erosionabilidad del suelo ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$)

L: es el factor de longitud de la pendiente (m)

S: representa el factor del grado de pendiente (%)

C: es el factor del manejo del cultivo (adimensional)

P: representa el factor de prácticas mecánicas (adimensional)

Los dos primeros factores son los únicos de la ecuación USLE que tienen dimensiones y por tanto éstos son los que definen las unidades del resultado. Si el factor de erosionabilidad K se expresa en $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ y la erosividad de la lluvia R en $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$ la pérdida media anual A tiene como unidades $t\ ha\ año^{-1}$

2.3.1. Factor R

R es el factor de erosividad pluvial. Se define como el producto de la energía cinética de la lluvia por la intensidad máxima durante 30 minutos. Se determina mediante el índice erosividad de Wischmeier. Este índice representa el total de energía cinética producida por una tormenta y la intensidad máxima de la tormenta en 30 minutos.

$$R = \sum_{j=1}^n (EI_{30j}) \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$)

EI_{30} = Índice de erosividad de Wischmeier ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$)

$$EI_{30} = E_{ct} * I_{30} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

E_{ct} = Energía cinética total de la lluvia ($MJ\ ha^{-1}$)

I_{30} = Intensidad máxima en 30 minutos seguidos ($mm\ h^{-1}$)

2.3.2. Factor K

Este factor se define como el promedio de la pérdida del suelo por cada unidad adicional de El_{30} a partir de un suelo sin vegetación, sin obra de conservación y que ha estado continuamente barbechado y presenta una longitud de la pendiente de 22 m y un gradiente del 9 % y cuando L, S, C y P permanecen constantes y son iguales a 1.

El factor (K) se determina en función de 4 características físicas del suelo: textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad. La ecuación se escribe como sigue:

$$K = \frac{2.1M^{1.14}(10^{-4})(12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3)}{100} \times 0.1317 \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

K = Factor erosionabilidad del suelo ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$)

M = % (Limos + arenas muy finas) (100 - % de arcillas)

a = % de materia orgánica. (sí $MO \geq 4\%$ entonces $a = 4$)

b = Clase de estructura

c = Clase de permeabilidad.

2.3.3. Factor LS

Es el factor topográfico. Representa la tasa de pérdida de suelo por unidad de área de una parcela con determinada longitud y pendiente respecto a la pérdida

en una parcela estándar; considerando iguales el resto de factores. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$LS = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m * (0.065 + 0.045 s + 0.0065 s^2) \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

LS: factor topográfico, adimencional

X: es la longitud de la ladera, m

m: exponente que es función del valor de la pendiente, adimensional

s: pendiente, porcentaje

2.3.4. Factor C

Este factor asociado a la cubierta vegetal, representa la relación entre la pérdida de suelo en una parcela con determinada vegetación y la pérdida en una parcela con barbecho continuo. Los tipos de vegetación tomados en cuenta son:

- Terrenos de cultivo
- Terrenos forestales
- Pastizales

En el Cuadro 2 se reportan algunos valores del factor C

Cuadro 2. Factor de cobertura vegetal (C) para pastizales, agostaderos y terrenos en descanso

Cobertura aérea		Cobertura en contacto con la superficie del suelo						
Tipo y altura	Porcentaje de cobertura	Tipo*	Porcentaje de cobertura					
			0	20	40	60	80	95
Cobertura no apreciable		P	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
		M	0.45	0.24	0.15	0.091	0.043	0.011
Malezas altas o arbustos con altura promedio de caída de gotas de 50 cm	25	P	0.36	0.17	0.09	0.038	0.013	0.003
		M	0.36	0.20	0.13	0.083	0.041	0.011
	50	P	0.26	0.13	0.07	0.035	0.012	0.003
		M	0.26	0.16	0.11	0.076	0.039	0.011
	75	P	0.17	0.10	0.06	0.032	0.011	0.003
		M	0.17	0.12	0.09	0.068	0.038	0.011
Arbustos numerosos con alturas promedio de caída de gotas de 2 m	25	P	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		M	0.40	0.22	0.14	0.087	0.042	0.011
	50	P	0.34	0.16	0.08	0.038	0.012	0.003
		M	0.34	0.19	0.13	0.082	0.041	0.011
	75	P	0.28	0.14	0.08	0.036	0.012	0.003
		M	0.28	0.17	0.12	0.078	0.040	0.011
Arboles sin arbustos. Promedio de caída de gotas de 4 m	25	P	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003
		M	0.42	0.23	0.14	0.089	0.042	0.011
	50	P	0.39	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		M	0.39	0.21	0.14	0.087	0.042	0.011
	75	P	0.36	0.17	0.09	0.039	0.012	0.003
		M	0.36	0.20	0.13	0.084	0.041	0.011

Fuente: Wischmeier y Smith (1978).

* P: Pastos, M: Malezas.

2.3.5. Factor P

Es el factor que valora el efecto de las prácticas y obras de conservación para reducir la erosión y apoya para estimar su eficiencia, relaciona la pérdida de suelo en una parcela con unas determinadas prácticas de conservación y la pérdida de suelo de una parcela sin vegetación y con barbecho continuo. Si no existen prácticas de control de la erosión el valor es igual a la unidad.

El modelo SWAT calcula la producción de sedimentos utilizando los parámetros de la USLE con excepción del factor de energía (R). Los parámetros calculados y ponderados a nivel de subcuenca o Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU) son utilizados para predecir sedimentos utilizando la EUPS modificada.

2.4. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE)

El modelo SWAT simula la producción de sedimentos a nivel de Unidad de Respuesta Hidrológica, con la finalidad de obtener mayor exactitud de los cálculos, para ello emplea la Ecuación Universal Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE). MUSLE es aplicable para el cálculo de sedimentos para tormentas y permite una adecuada predicción ya que el factor de energía y remoción y transporte son los escurrimientos superficiales.

La ecuación universal de pérdida de suelo modificada (Williams, 1995) es:

$$sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot \text{Área}_{hru})^{0.56} \cdot K_{usle} \cdot C_{usle} \cdot P_{usle} \cdot LS_{usle} \cdot CFRG \dots (7)$$

Dónde Sed es Producción de sedimento en un día dado (toneladas métricas), Q_{surf} el volumen del escurrimiento superficial ($\text{mm H}_2\text{O ha}^{-1}$), q_{peak} es el escurrimiento máximo ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), área_{hru} corresponde al área de la Unidad de Respuesta Hidrológica (ha), K_{USLE} es el factor de erodabilidad del suelo ($0.013 \text{ ton m}^2 \text{ h m}^{-3} \text{ ton}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, LS_{USLE} : Factor topográfico de USLE, C_{USLE} es el Factor de cobertura vegetal y manejo de USLE, P_{USLE} es el factor de prácticas mecánicas de la ecuación universal de pérdida de suelo y $CFRG$ es el factor de fragmentos gruesos (Pedregosidad).

2.4.1. Escurrimiento superficial

SWAT utiliza dos métodos para estimar el escurrimiento superficial: el procedimiento de distribución del Número de Curva del SCS (SCS, 1972) y el método de infiltración Green y Ampt (1911)

2.4.1.1. Método de Curvas Numéricas

La ecuación de escurrimiento de SCS es un modelo empírico que se volvió de uso común en los años 50. Fue el producto de más de 20 años de estudios de las relaciones de lluvia y escorrentía en pequeñas cuencas rurales en los Estados Unidos de Norteamérica. El modelo fue desarrollado para generar una base consistente para estimar los escurrimientos de varios usos y tipos de suelos (Rallison y Miller, 1981).

La ecuación de la distribución del número de curva SCS es (SCS, 1972):

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \dots \dots \dots (8)$$

Donde Q_{surf} es el escurrimiento acumulado o el exceso de lluvia (mm H₂O). R_{day} es la precipitación diaria (mm H₂O), I_a es la abstracción inicial que incluye almacenamiento en depresiones de la superficie, intercepción e infiltración antes del escurrimiento (mm H₂O), y S es el parámetro de retención de agua en el suelo (mm H₂O). El parámetro de retención varía espacialmente debido a los cambios en los tipos de suelos, uso de la tierra, manejo, pendiente y temporalmente debido a cambios en el contenido de agua en los mismos. El parámetro de retención se define como:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots \dots \dots (9)$$

donde CN es el número de curva para el día. Las abstracciones iniciales I_a , es comúnmente aproximado como $0.2S$ y la ecuación 8 se convierte en:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \dots \dots \dots (10)$$

El escurrimiento se produce solo cuando $R_{day} > I_a$

El número de curva del SCS es una función de la permeabilidad del suelo, uso de la tierra y condiciones antecedentes de humedad. Los valores de las curvas numéricas para las condiciones humedad II se muestran en el Cuadro 3 y Cuadro 4.

Cuadro 3. Valores del CN para Zonas Urbanas

Descripción del uso del suelo		grupos de suelo hidrológico			
		A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida) ^a Áreas abiertas, parques, césped, campos de Golf, cementerios, etc.					
Óptimas condiciones: cobertura de pastos en 75 % del área o más.		39	61	74	80
Condiciones aceptables: cobertura de pastos de 50 a 75 % del área		49	69	79	84
Condición pobre: cobertura de pastos menor del 50 % del área.		68	79	86	89
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos , etc.		98	98	98	98
Carreteras y caminos					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Basureros		72	82	87	89
	% de impermeabilidad ^b				
Pavimentadas con cunetas abiertas		83	89	92	93
Áreas empresariales y comerciales	85	89	92	94	95
Distritos industriales	72	81	88	91	93
Fraccionamientos, poblados y áreas residenciales con tamaño de 1/8 de acre o menos.	65	77	85	90	92
Residencial: Tamaño promedio del lote					
¼ de acre	38	61	75	83	87
1/3 de acre	30	57	72	81	86
de acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acre	12	46	65	77	82
Áreas urbanas desarrolladas (vegetación no establecida)					
Áreas recientemente clasificadas		77	86	91	94
Áreas urbanas del desierto occidental					
Paisaje del desierto natural (solo área permeable)		63	77	85	88
Paisaje desértico artificial		96	96	96	96

Fuente: McCuen, 2005.

^a Para usos de suelo con áreas impermeables, los números de curva se calcularon asumiendo que 100% de las áreas impermeables son conectadas directamente al sistema de drenaje. Las áreas permeables (césped) son consideradas como equivalente a los céspedes en buenas condiciones. Áreas impermeables tienen un NC de 98.

^b Incluye calles pavimentadas.

Cuadro 4 Valores del CN para uso agrícola del suelo

Descripción del uso del suelo	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Grupo de suelo hidrológico.			
			A	B	C	D
Suelo agrícola cultivado						
Barbecho	Surcos rectos o suelo desnudo	-	77	86	91	94
	Labranza de conservación	Pobre	76	85	90	93
	Labranza de conservación	Buena	74	83	88	90
Cultivos en línea	Surcos continuos	Pobre	72	81	88	91
	Surcos continuos	Buena	67	78	85	89
	Labranza de conservación	Pobre	71	80	87	90
	Labranza de conservación	Buena	64	75	82	85
	Contorneado	Pobre	70	79	84	88
	Contorneado	Buena	65	75	82	86
	Contorneado y cultivos de conservación	Pobre	69	78	83	87
	Contorneado y cultivos de conservación	Buena	64	74	81	85
	Contorneado y terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Contorneado y terrazas	Buena	62	71	78	81
	Contorneados y terrazas con cultivos de conservación	Pobre	65	73	79	81
	Contorneados y terrazas con cultivos de conservación	Buena	61	70	77	80
Granos Pequeños	Surcos continuos	Pobre	65	76	84	88
	Surcos continuos	Buena	63	75	83	87
	Cultivos de conservación	Pobre	64	75	83	86
	Cultivos de conservación	Buena	60	72	80	84
	Contorneado	Pobre	63	74	82	85
	Contorneado	Buena	61	73	81	84
	Contorneado y cultivos de conservación	Pobre	62	73	81	84
	Contorneado y cultivos de conservación	Buena	60	72	80	83
	Contorneado y terrazas	Pobre	61	72	79	82
	Contorneado y terrazas	Buena	59	70	78	81
	Contorneado y terrazas con cultivos de conservación	Pobre	60	71	78	81
	Contorneado y terrazas con cultivos de conservación	Buena	58	69	77	80
Leguminosas o praderas con rotación de cultivos	Surcos rectos	Pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Contorneo	Pobre	64	75	83	85
	Contorneo	Buena	55	69	78	83
	Contorneo y terrazas	Pobre	63	73	80	83
	Contorneo y terrazas	Buena	51	67	76	80

Descripción del uso del suelo	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Grupo de suelo hidrológico.			
			A	B	C	D
Tierra agrícola no cultivada áreas de pastoreo	Tratamiento no mecanizado	Pobre	68	79	86	89
	Tratamiento no mecanizado	Media	49	69	79	84
	Tratamiento no mecanizado	Buena	39	61	74	80
	Contorneado	Pobre	47	67	81	88
	Contorneado	Media	25	59	75	83
	Contorneado	Buena	6	35	70	79
Pradera permanente		—	30	58	71	78
Tierras forestales, césped o huertos siempre verdes o deciduos		Pobre	55	73	82	86
		Media	44	65	76	82
		Buena	32	58	72	79
Matorral		Pobre	48	67	77	83
		Media	35	56	70	77
Bosque o selva		Buena	30	48	65	73
		Pobre	45	66	77	83
		Media	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Fincas		—	59	74	82	86

Fuente: McCuen, 2005.

El Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos de Norteamérica (NRCS, siglas en inglés) clasifica a los suelos en cuatro grupos hidrológicos basados en las características de infiltración de los mismos. La NRCS (1996) define a un grupo hidrológico como un grupo de suelos que poseen potencial de escurrimientos bajo condiciones similares de cubierta y de tormenta. Las propiedades que influyen en el potencial de escurrimiento son aquellas que impactan el índice mínimo de infiltración para un horizonte después de una humedad prolongada. Estas propiedades son profundidad a nivel freático alto estacional, conductividad hidráulica saturada, y profundidad de una capa permeable. El suelo puede ser clasificado en uno de cuatro grupos, A, B, C y D o en tres clases dobles, A/D, B/D, y C/D.

Las definiciones de las clases son:

A: potencial de escurrimiento bajo. Los suelos tienen un alto índice de infiltración aun cuando estén húmedos. Principalmente son arenas bien drenados o excesivamente drenados. Tienen un índice alto de transmisión o permeabilidad del agua.

B: Los suelos tienen un índice moderado de infiltración cuando se humedecen completamente. Son suelos que varían de moderadamente profundos a profundos, están de moderada a bien drenados, tienen texturas medias y un índice lento de transmisión de agua.

C: Los suelos tienen una tasa de infiltración lenta cuando están húmedos. Tienen principalmente una capa que impide el movimiento hacia abajo del agua y son de textura media a moderadamente fina. Tienen una tasa lenta transmisión de agua.

D: Potencial de Alto escurrimiento. Los suelos tienen un índice muy lento de infiltración cuando están húmedos. Principalmente son suelos pesados de texturas finas los cuales tienen un bajo potencial de transmisión de agua.

2.4.1.2. Método de infiltración Green y Ampt

La ecuación Green y Ampt fue desarrollada para predecir la infiltración asumiendo agua en exceso y constante sobre la superficie (Green y Ampt, 1911). La ecuación asume que el perfil del suelo es homogéneo y la humedad antecedente es distribuida uniformemente en el perfil. A medida que el agua se

infiltra en el suelo, el modelo asume que está completamente saturado y que hay un cambio de los contenidos de humedad en el frente húmedo del perfil.

Mein y Larson (1973) desarrollaron una metodología para determinar el tiempo de almacenamiento asociado con la infiltración utilizando la ecuación de Green y Ampt. Al método de lluvia de exceso de Green- Ampt y Mein-Larson se incorporó a SWAT como una opción alternativa para mejorar la predicción de del escurrimiento superficial. Este método requiere que el usuario utilice datos de precipitación a diferentes duraciones en el día.

El índice de infiltración Green-Ampt y Mein-Larson se define como:

$$f_{inf,t} = K_e * \left(\frac{\psi_{wf} * \Delta \theta_v}{F_{inf,t}} \right) \dots\dots\dots (11)$$

Donde F_{inf} es el índice de infiltración en el tiempo t (mm h^{-1}). K_e es la conductividad hidráulica efectiva (mm h^{-1}), ψ_{wf} es el potencial del frente húmedo (mm), $\Delta \theta_v$ es el cambio de contenido volumétrico de humedad a través del frente húmedo (mm mm^{-1}) y F_{inf} es la infiltración acumulada en el tiempo t ($\text{mm H}_2\text{O}$).

2.4.2. Gasto máximo instantáneo

El gasto pico o máximo del escurrimiento q_p , es el máximo flujo de escurrimiento que ocurre para un evento de lluvia dado; es un indicador de la capacidad de arrastre de sedimentos de una avenida y se usa para predecir la

pérdida de suelo. SWAT calcula el gasto pico con el método racional modificado.

El Método Racional asume que si una lluvia de intensidad I inicia en un tiempo $t=0$ y continúa indefinidamente, el caudal se incrementará hasta el tiempo de concentración $t = t_{conc}$, y cuando el área de la cuenca entera esté contribuyendo al flujo de salida, Para su estimación se emplea la siguiente fórmula:

$$q_p = \frac{C_e * I * A_c}{3.6} \dots \dots \dots (12)$$

Donde q_p , es el gasto máximo de escurrimiento ($m^3 s^{-1}$), C_e es el coeficiente de escurrimiento (adimensional), I es la intensidad de lluvia ($mm h^{-1}$), A_c es el área de la cuenca (km^2) y el factor 3.6 es para la conversión de unidades.

El q_p depende del tiempo de concentración t_{conc} , que es el tiempo que tarda en llegar el agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida de la misma; este tiempo se obtiene sumando el tiempo que tarda el flujo en ir desde el punto más alejado de la cuenca hasta el cauce principal t_{ov} y adicionando el tiempo que tarda el flujo en el cauce principal t_{ch} , según la expresión (13), en la que todos los términos están dados en h.

$$t_{conc} = t_{ov} + t_{ch} \dots \dots \dots (13)$$

El t_{ov} se obtiene de la expresión (14), en la que L_s es la longitud de la pendiente de la cuenca o subcuenca (m); n es el coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional) y t_{ch} , de la expresión (15), en la que L_c es la longitud del cauce

principal de la cuenca (km) y v_c , es la velocidad promedio del flujo en el cauce (en m s^{-1}), y 3.6 es un factor de conversión de unidades.

$$t_{ov} = \frac{Ls^{0.6} * n^{0.6}}{18n^{0.3}} \dots\dots\dots(14)$$

$$t_{ch} = \frac{L_c}{3.6v_c} \dots\dots\dots(15)$$

2.5. Conceptos Generales sobre Modelos

Entre los conceptos generales más relevantes en modelos se tienen: sistemas, modelos, calibración, validación y verificación.

2.5.1. Sistemas

De acuerdo a algunos autores, antes de dar una definición de un modelo es importante abordar el concepto de sistema (Law and Kelton, 2000). Un sistema está definido como una colección de partes que actúan y se relacionan entre sí para lograr un fin lógico. Ejemplos de sistemas: una persona, una máquina, un ecosistema, un río, una cuenca, una ciudad, una presa, un invernadero, un distrito de riego, etc., (Law and Kelton, 2000; Ibáñez, 2012). Algunas veces un subsistema forma parte de un sistema más grande, pero de acuerdo al interés de quien estudia el sistema, elegirá cuál será su sistema de estudio, sus elementos de análisis y sus límites en la escala del tiempo.

2.5.2. Modelos

Law and Kelton, (2000), definen un modelo como la representación de un sistema, el cual se utiliza como una representación del sistema real, con la finalidad de estudiarlo y conocerlo mejor, con fines de predicción. Dado que los objetivos o propósitos del sistema pueden ser múltiples, puede ser que un sistema tenga modelos diferentes. Por ejemplo, una cuenca pudiera tener varios modelos; uno pudiera tener el enfoque lluvia-escurrimiento, otro de producción de sedimentos o de movimientos de contaminantes, o en el mejor de los casos, aunque difícil, un único modelo que integre todo el sistema (Ibáñez, 2012).

Salgado y Guitrón, (2012), tienen la siguiente definición: “un modelo se define como la representación de una parte de un sistema que conceptualiza las interrelaciones y respuestas de las condiciones reales, y que es capaz de hacer pronósticos bajo un conjunto de condiciones propuestas”. Ambos trabajos citados anteriormente coinciden en que una de las grandes ventajas de los modelos es que una vez calibrados pueden ser usados para predecir lo que va a pasar ante un nuevo conjunto de condiciones que definen al modelo.

Las maneras de estudiar un sistema, y en las cuales se enmarca el concepto de la modelación, son ilustradas en la Figura 2.

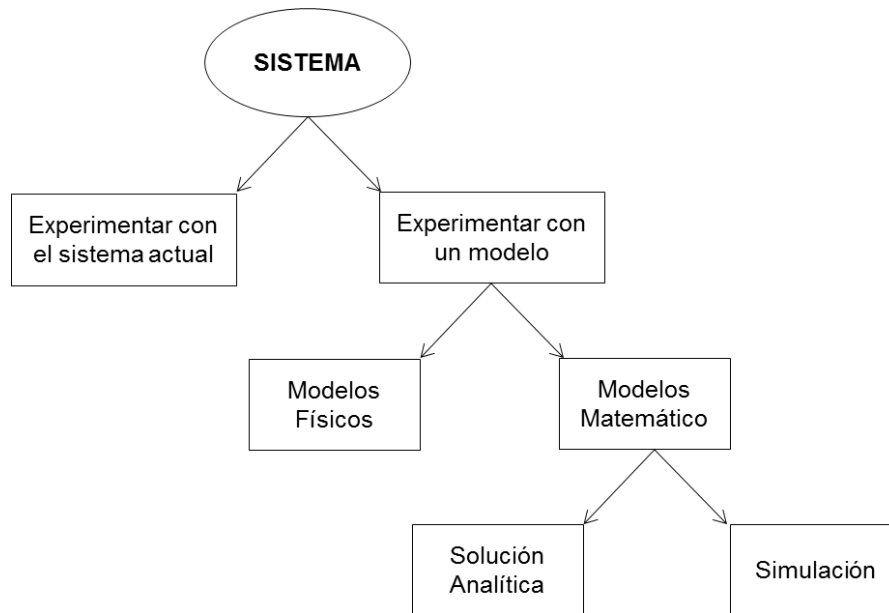


Figura 2. Maneras de estudiar un sistema (Fuente: Law and Kelton, 2000)

2.5.3. Calibración, Validación y Verificación de modelos

De acuerdo a Neitsch *et al.*, (2001a), las siguientes definiciones son aplicadas en el contexto de la modelación de cualquier sistema:

Calibración: probar el modelo con datos de entrada y salida conocidos para ajustar o estimar los factores o parámetros que intervienen en el modelo.

Validación: Comparación de los resultados con datos de entradas independientes y sin ajustes posteriores.

Verificación: Examinar la técnica numérica en el código fuente del programa de cómputo para decir con certeza que realmente representa los conceptos del modelo y que no hay problemas numéricos dentro del código fuente.

Bedient *et al.*, (2012), señala que es muy importante calibrar los modelos antes de usarlos para predecir otros eventos y que precisamente la desventaja de los modelos es la falta de calibración cuando no hay datos para hacerlo.

2.6. Modelos de Cuenca

Los modelos de cuenca simulan procesos naturales del flujo de agua, sedimentos, sustancias químicas, nutrientes y organismos microbiológicos dentro de las cuencas y cuantifica el impacto humano en estos procesos (Singh and Frevert, 2005). Entre los modelos de cuenca, los modelos hidrológicos, y en particular los de lluvia-escurrimiento, se distinguen por sus intentos de sistematizar su desarrollo (Todini, 1988; McCuen, 2005; Loague, 2010; Bedient *et al.*, 2012; Salgado y Guitron, 2012).

Todini, 1988, señala que los orígenes de los modelos lluvia-escurrimiento datan de la segunda mitad del siglo XIX, surgiendo como respuesta a tres tipos de problemas de la Ingeniería: a) Diseño del drenaje de aguas negras de las ciudades, b) Sistemas de drenaje para la apertura de nuevas tierras ganadas al mar, o simplemente para desagüar el exceso de agua de las tierras agrícolas y/o ganaderas, y, c) el diseño de vertedores de presas. En los tres problemas citados, el caudal diseño fue el principal parámetro de interés. Todini, (1988), señala también que el concepto del hidrograma unitario revolucionó la Hidrología Superficial, porque esto permitió no solamente conocer el caudal pico, sino que todo el hidrograma, es decir el detalle de la variación del caudal en el tiempo de duración del evento.

2.6.1. Clasificación de modelos de cuenca

De acuerdo a Bedient *et al.*, (2012), para el análisis de una cuenca los modelos pueden ser clasificados con las siguientes categorías principales: parámetros agregados versus parámetros distribuidos, evento único versus continuo, y estocástico versus determinístico. El Cuadro 5 muestra algunos modelos de cuenca existentes que han sido llevados a software para computadora.

Cuadro 5. Modelos de cuenca

TIPO DE MODELO	EJEMPLO DE MODELO
Parámetros agregados	HEC-HMS
Parámetros distribuidos	Vflo, MIKE URBAN, MIKE FLOOD, SWAT**
Evento único	HEC-HMS*, SWMM, SCS TR20, SWAT**
Continuos	SWMM, HSPF, Vflo, SWAT**
Físicamente basado o determinístico	HEC-HMS*, SWMM, HSPF, Vflo, SWAT**
Estocástico	Generación sintética de caudales

Fuente: Bedient *et al.*, 2012

*Aunque a principios del 2013 ya se agregó la versión de evento continuo.

** Aunque, Bedient *et al.*, 2012, no lo menciona, el software SWAT se clasifica como un modelo de parámetros distribuidos, modela evento único y eventos continuos, y es físicamente basado o determinístico.

Salgado y Guitrón, (2012), analizan algunos modelos hidrológicos que han sido computarizados y se consideran entre más importantes: MIKE BASIN y MIKE SHE de Dinamarca, HYDROTEL de Francia, VIC de Washington University, SWAT, HEC-HMS, TOPMODEL y TOPFLOW de Estados Unidos de Norteamérica y WATFLOOD de Canada.

Salgado y Guitrón, (2012), y Todini, (1988), consideran que el gran futuro de los modelos hidrológicos se encuentra en los modelos distribuidos más que en los de parámetros agregados; ambos análisis consideran que el desarrollo de

los Sistemas de Información Geográfica (SIG) llevará a trabajar más en modelos distribuidos. Esos modelos en lugar de obtener un parámetro hidrológico único que represente a una subcuenca, llevará a dividir las subcuencas en mallas, en donde a cada cuadrado de la malla se le asigne un parámetro hidrológico (textura, uso de suelo, infiltración, etc.) lo que llevará a tener un modelo más real y preciso, que está más de acuerdo con el mayor desarrollo tecnológico existente.

2.6.2. El Modelo SWAT

SWAT son las siglas para *Soil and Water Assessment Tool*, un modelo de Cuenca desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) a través del Servicio de Investigación Agrícola (ARS). SWAT fue desarrollado para: a) predecir el impacto de las prácticas de manejo de los suelos, b) predecir sedimentos y c) predecir los residuos químicos que provienen de las zonas con agricultura tecnificada. Todos estos objetivos principales son considerados en grandes cuencas complejas con una diversidad de suelos, usos de la tierra y condiciones de manejo sobre periodos largos de tiempo (Neitsch *et al.*, 2001b).

El modelo SWAT para describir las relaciones de las variables de entrada y salida se basa en las características físicas de la cuenca, en lugar de ser un modelo de caja negra basado solamente en ecuaciones de regresión lineal. El modelo SWAT requiere información sobre clima, suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo que ocurren en la cuenca. Entre los procesos modelados

se encuentran los asociados con el movimiento del agua, movimiento de sedimento, crecimiento de cultivos, ciclo de nutrientes y otros.

Entre las ventajas que Neitsch, (2001b), cita en la aplicación del modelo y que son aplicables a México (esta es la opinión del autor de esta tesis) se encuentran los siguientes:

Se pueden predecir los impactos del cambio de prácticas de manejo, de cambio de clima y de cambio de vegetación.

Es computacionalmente eficiente ya que simula grandes cuencas con una amplia variedad de estrategias de manejo, ejecutándolas sin mucha inversión de tiempo y dinero. Permite revisar impactos a largo tiempo, como por ejemplo el de contaminantes de un río, aun cuando estos actualmente están iniciando.

SWAT es un modelo continuo para análisis de largo plazo y aunque da la opción para realizar un análisis por evento, eso no es su mayor fortaleza. De hecho, SWAT no se recomienda para transitar una avenida de un evento único de lluvia.

SWAT acumula la experiencia de otros modelos previos desarrollados por ARS tales como SWRRB, CREAMS, GLEAMS y EPIC.

2.6.2.1. Validación del modelo SWAT

El modelo SWAT ha sido probado bajo dos diferentes escalas espaciales de cuencas controladas por el ARS de los Estados Unidos, la primera en Riesel, Texas con una superficie de 17.7 km² y la otra en Lower Río Colorado con una

superficie de 9000 km². Con el objetivo de planear, evaluar y conservar los recursos suelo y agua vinculados a los proyectos económicos nacionales se aplica SWAT para determinar el suministro y calidad del agua en 18 cuencas, de los principales ríos de los Estados Unidos de Norteamérica.

En el Cuadro 6, se muestran los resultados de la producción de agua y sedimentos anuales y mensuales medidos y simulados en la validación del modelo SWAT, en la estación G Riesel, Texas del ARS de los Estados Unidos de Norteamérica.

Cuadro 6. Producción de agua y sedimentos anuales y mensuales, medidos y simulados para la estación G Riesel, Texas

	Medidos	Simulados	Desv. Est. Medida	Desv. Est. Simulada	r ²	Pendiente de la regresión	Índice de Nash
Anual							
Producción de agua (mm)	171.20	151.70	128.70	128.70	0.85	1.33	0.79
Producción de sedimentos (mm)	1.46	1.33	0.93	0.93	0.78	1.15	0.75
Mensual							
Producción de agua (mm)	14.30	12.60	26.60	21.40	0.80	1.13	0.77
Producción de sedimentos (mm)	0.12	0.11	0.30	0.21	0.75	1.10	0.73

En el cuadro 6 se observa que las producciones de agua y sedimentos, tanto anuales como mensuales medidas y simuladas, tienen una buena distribución de frecuencias entre ambos valores. Así mismo, los valores del coeficiente de determinación (r^2), y la pendiente de la línea de regresión tienden a la unidad, lo que manifiesta la eficiencia de predicción del modelo de regresión.

2.6.2.2. Índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe

Este índice se calcula mediante la ecuación 16, produce resultados menores o iguales a 1, si el resultado es 1 el ajuste es perfecto, si es cero el error es del

mismo orden de magnitud que la varianza de los datos observados por lo que la media de los datos observados tendrá una capacidad de predicción similar al modelo. Valores inferiores a cero implican que la media tiene una capacidad de predicción más alta que el modelo, lo que implica desde luego que el modelo es muy malo.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - m_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

O_i son los valores observados, $\bar{O}$ es la media de los valores observados y m_i son los valores calculados por el modelo.

Este índice no es sensible al efecto de los valores proporcionales pero sigue siendo sensible a los valores extremos.

2.6.2.3. Datos de Entrada Requeridos por SWAT

Al revisar los manuales teóricos y de usuario de SWAT (Neitsch, 2001a; Neitsch 2001b) se aprecia que los datos de entrada son: modelo digital de elevación, datos diarios de precipitación para periodos desde 1 año hasta varios años, datos diarios de temperatura máxima y mínima, mapas en formato grid de tipos y usos de suelo. Al modelo también se le pueden suministrar datos diarios de velocidad de viento, humedad relativa, intensidades de lluvia en 30 minutos y radiación solar. En caso de no tener estos últimos, mínimamente se le proporcionan algunos valores tipo “normales climatológicas” que se considere

que son representativos de la cuenca. El modelo pide datos detallados de las características de los suelos para una o varias capas; cuando se consideran varias capas se requieren las características por capa. En Estados Unidos, tanto los datos meteorológicos como las características de los suelos están reportadas por las agencias federales de Estados Unidos de Norteamérica y están disponibles; de hecho esas bases de datos ya están integradas a las bases de datos de SWAT. Desde luego que esto último no ocurre en México.

2.6.2.4. Principales procesos modelados en el SWAT

Entre los principales procesos modelados en el SWAT, a nivel cuenca, se encuentran los siguientes: (1) clima, (2) hidrología, (3) nutrientes/plaguicidas, (4) erosión, (5) cobertura vegetal, (6) prácticas de manejo de la tierra, (7) procesos en los cauces naturales, y, (8) cuerpos de agua en la cuenca. Sin embargo en todos los casos, la principal fuerza que mueve todos los procesos modelados es el balance de agua. Todos estos procesos son modelados a nivel cuenca, pero adicionalmente son analizados a nivel subcuenca y a nivel HRU.

En el caso de la modelación de la producción de sedimentos, esta es estimada con USLE y con MUSLE.

2.6.2.5. Trabajos Previos de SWAT en México y en el mundo

Torres *et al.*, (2005), modeló el Rio la Laja, Guanajuato en la Región Hidrológica No. 12 del Rio Lerma; la cuenca cubre una superficie de 7016 km². Sin embargo el énfasis de la calibración y validación fue solo en los escurrimientos.

En el periodo comprendido entre el 2007-2010 se intentó calibrar la parte de producción de sedimentos el SWAT con modelos de cuencas Mexicanas, sin embargo, se notó que el modelo SWAT (Ibáñez, 2012) no calculaba bien la parte de sedimentos y en cuencas con una alta pendiente media de subcuenca, el modelo parecía dar resultados erróneos. Dada esa situación se decidió calcular la pérdida de suelo con álgebra de mapas en ArcView en cuencas que incluían en su superficie pendientes altas (Figueroa-Jáuregui *et al.*, 2011) para evitar caer en el problema de mal cálculo de la longitud de pendiente por parte del SWAT.

Rivera-Toral *et al.*, (2012), revisó la aplicabilidad del modelo de simulación hidrológica SWAT en cuencas de México, aplicándolo a la cuenca Ixtapan del Oro, Estado de México, para estimar la pérdida de suelo, comparando los resultados con los valores estimados mediante la técnica del álgebra de mapas. La versión de SWAT utilizada fue aquella para ArcView 3.2. Rivera-Toral *et al.*, (2012), encontró que SWAT subestima el factor topográfico en las subcuencas, sobre todo cuando la pendiente es mayor de 25 %, ya que realiza una mala estimación de la longitud de la pendiente, asignándoles valores constantes de 0.05 m. Ese valor se puede corregir si se estima fuera del modelo y se introduce manualmente. Se calculó que 88.7 % (13 138.8 ha) de la cuenca se encuentra en las clases de erosión incipiente y ligera, lo cual muestra una buena conservación de su vegetación y sus suelos; además 75.4 % (11 150.7 ha) de su superficie está cubierta por bosque. Con estas consideraciones, Rivera-

Toral, (2012), concluye que el modelo SWAT se puede usar para estimar la pérdida de suelo en las cuencas de México. Cabe mencionar que en la versión de SWAT para ArcGIS 9.3., se creó una interface más amigable para realizar las correcciones necesarias en parámetros donde el modelador no esté satisfecho de cómo son calculados por SWAT (Stone Environmental Inc and Texas A&M Spatial Sciences Laboratory, 2011).

Existen otros trabajos con SWAT en otras partes del mundo. Shen *et al.*, 2009, usaron el modelo SWAT para representar la erosión. Lo aplicaron a la cuenca que drena hacia la presa Three Gorges en China, la cual tiene una superficie de 40,005 km². El modelo fue calibrado y validado solamente a la salida, pero calibraron escurrimientos y sedimentos. Los parámetros para medir la calibración fueron la raíz del cuadrado medio del error, la desviación estándar y la eficiencia del modelo. El periodo analizado fue de Mayo 2004 a Diciembre del 2005. El proceso de calibración y validación fue a nivel mensual. El SWAT subestimó los escurrimientos en un 4.1% durante la calibración y los sobrestimó en un 11% durante la validación. También aplicaron el modelo WEPP y este sobreestimó los escurrimientos en un 9.2 % y durante la validación los sobrestimó un 11.1%. En el caso de los sedimentos, el software WEPP estimó mejor los sedimentos que SWAT. El SWAT durante la calibración subestimó los sedimentos en un 24.8% y en la validación subestimó un 31% los sedimentos. El WEPP durante la calibración sobrestimó los sedimentos en un 6% y en la validación los subestimó un 4%. En general, SWAT y WEPP estiman los

escurrimientos, pero en los sedimentos el WEPP tiene mejor capacidad de predicción que el SWAT por los principios teóricos que utiliza en su estimación. Los autores explican que las diferencias en la estimación de sedimentos entre SWAT y WEPP a que los aspectos teóricos del WEPP para estimar la producción de sedimentos son más robustos. Otra posible razón para creer que SWAT opera peor que el WEPP se cita textualmente de Shen *et al.*, (2009): “una razón importante para las diferencias entre SWAT y WEPP es que WEPP usa como base la ecuación de continuidad de sedimentos para predecir pérdida de suelo, mientras que el corazón de SWAT es el modelo MUSLE, una versión modificada de USLE.” Shen *et al.*, (2009) continua: “Algunos estudios han explicado los defectos de USLE para la predicción de erosión. USLE es un modelo empírico desarrollado para evaluar la erosión a nivel parcela, y no modela bien el desprendimiento y transporte de sedimentos a nivel cuenca.”

De manera adicional el SWAT ha sido utilizado para medir los efectos de urbanización sobre los escurrimientos en una cuenca de Florida en Estados Unidos cuya superficie es de 855 km² (Dixon and Earls, 2012). El SWAT también ha sido utilizado para detectar las áreas con mayores problemas de erosión y para modelar las alternativas de prácticas agrícolas para disminuir dicha pérdida de suelo; dicha aplicación fue en una cuenca de 375 km² en Tailandia. El modelo fue calibrado y validado con éxito para el periodo comprendido entre 1997 y 2002 (Phomcha *et al.*, 2012).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Calibrar y validar un modelo hidrológico para la estimación de producción de biomasa, producción de escurrimientos y sedimentos en la cuenca del Río Mixteco en el estado de Oaxaca.

3.2. Objetivos particulares

- ✓ Calibrar y validar el modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), con la finalidad de recomendar su aplicación en las subcuencas que se encuentran dentro de la cuenca del Río Mixteco.
- ✓ Estimar la producción de biomasa de los diferentes tipos de vegetación que se encuentran dentro de la cuenca del Río Mixteco.
- ✓ Estimar, los volúmenes de escurrimiento en la cuenca del Río Mixteco y los caudales que fluyen hasta la estación hidrométrica Mariscala.
- ✓ Estimar, la producción de sedimentos en la cuenca del Río Mixteco que fluyen hasta la estación hidrométrica Mariscala.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

4.1.1. Ubicación

La Mixteca Oaxaqueña es una de las ocho regiones del estado de Oaxaca y está ubicada al noroeste del estado. Tiene una superficie aproximada de 1,709,482 ha, localizada en 7 distritos del estado (Coixtlahuaca, Juxtlahuaca, Nochixtlán, Teposcolula, Tlaxiaco, Huajuapán y Silacayoapam) con un total de 155 municipios. Dentro de este territorio, de acuerdo con el censo 2010 realizado por el INEGI, se tiene una población de 522,390 habitantes.

El área de interés del proyecto se encuentra ubicada en el área de drenaje de la corriente del Río Mixteco delimitada, en la parte baja, por la estación hidrométrica Mariscala (clave: 18344). La cuenca del Río Mixteco, a la altura de la estación hidrométrica Mariscala (

Figura 3), tiene una superficie de 653,879.52 ha y abarca 91 municipios siendo los más importantes: Huajuapán de León, San Pablo y San Pedro Teposcolula, Villa de Tamazulapán del Progreso, Heroica ciudad de Tlaxiaco, Santiago Juxtlahuaca, San Bartolo Soyaltepec, Putla Villa de Guerrero y Silacayoapán.

La estación hidrométrica de Mariscala se localiza en las coordenadas $17^{\circ}51'45.32''\text{N}$ $98^{\circ}08'58.20''\text{O}$, las coordenadas extremas de la cuenca de Río Mixteco a partir de esta estación hidrométrica son, al norte $18^{\circ}02'57.69''\text{N}$, al Oeste $98^{\circ}16'48.23''\text{O}$, al Sur $17^{\circ}03'36.37''\text{N}$ y al este $97^{\circ}22'25.59''\text{O}$.

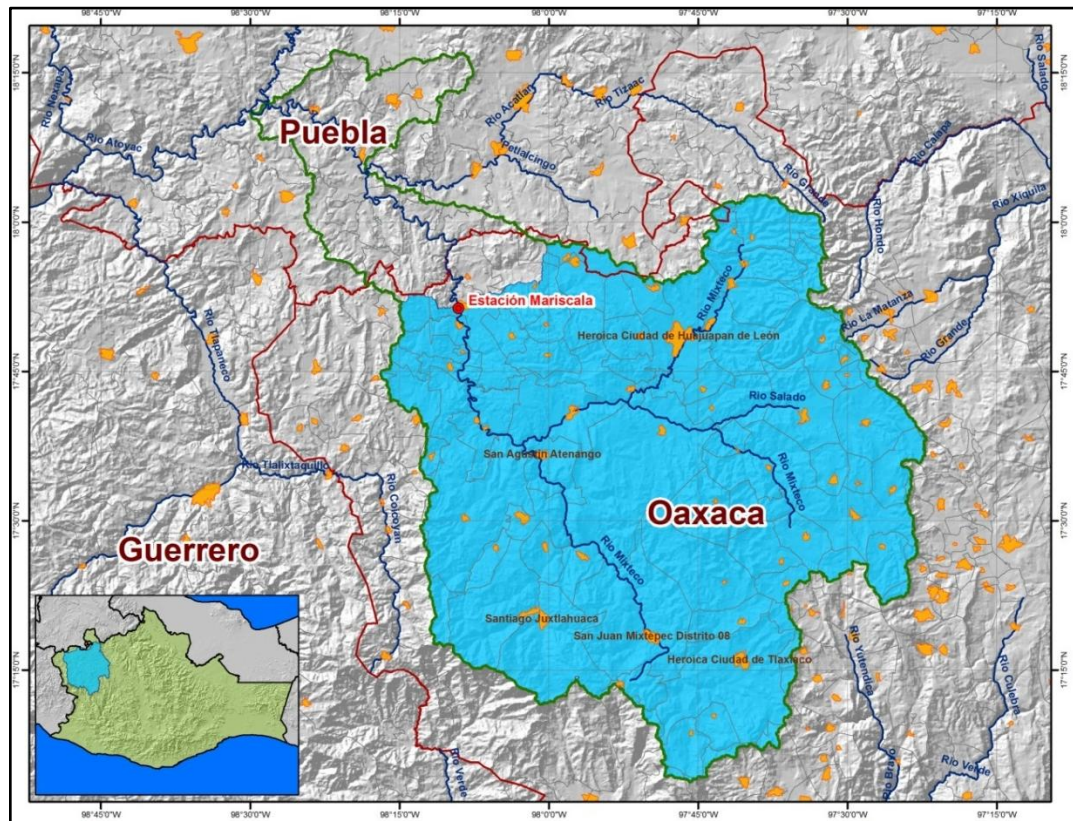


Figura 3. Localización del área de estudio

4.1.2. Geología

En el Cuadro 7 se presentan los principales tipos de roca que se encuentran dentro del área de estudio. En general se observa que la actividad volcánica del periodo terciario cubre el 36.2% del área de la cuenca, misma que está vinculada a efectos metamórficos en un 16.5% adicional de la superficie en

estudio (Figura 4). Esta actividad volcánica durante el terciario (periodos plioceno, mioceno, oligoceno, eoceno y paleoceno) también está relacionado con la presencia de rocas sedimentarias (limonitas, areniscas y tobas), muy susceptibles a la erosión hídrica, que cubren un 19.3% de la superficie. Por otro lado, las rocas sedimentarias de la era Mesozoica, periodo Jurásico, están asociadas con explotaciones de carbón mineral. En los depósitos aluviales más recientes (Cuaternario) se localizan básicamente las áreas agrícolas más productivas de la cuenca, muchas de ellas bajo riego.

Cuadro 7. Tipo de rocas dentro de la cuenca del Río Mixteco

Clase	Era	Periodo	Tipo de roca	Superficie		Edad (Mill. de años)
				ha	%	
Ígnea extrusiva	Cenozoico	Cuaternario	Basalto	217.40	0.03	1.8-presente
Ígnea extrusiva	Cenozoico	Neógeno	Andesita, Basalto, Arenisca-Toba intermedia,	25,920.30	3.96	23.8-1.8
			Basalto-Brecha volcánica básica			
Ígnea extrusiva	Cenozoico	Paleógeno	Volcano clástico	43,300.90	6.62	65-23.8
Ígnea extrusiva	Cenozoico	Terciario	Andesita, Andesita-Brecha volcánica intermedia,	166,891.80	25.52	33.7-5.3
			Toba ácida, Toba intermedia			
Ígnea intrusiva	Cenozoico	Terciario	Sienita	147.30	0.02	65-1.8
Metamórfica	Paleozoico		Esquito, Metagranito, Esquisto-Gneis	107,795.60	16.49	544-248
Suelo	Cenozoico	Cuaternario	Aluvial	18,651.70	2.85	1.8-presente
Sedimentaria	Cenozoico	Cuaternario	Arenisca-Conglomerado	4,678.60	0.72	1.8-presente
Sedimentaria	Cenozoico	Neógeno	Limolita-Arenisca, Conglomerado,	9,427.60	1.44	23.8-1.8
			Arenisca-Conglomerado			
Sedimentaria	Cenozoico	Paleógeno	Limolita-Arenisca, Caliza, Conglomerado,	116,719.40	17.85	65-23.8
			Arenisca-Conglomerado, Arenisca			
Sedimentaria	Mesozoico	Cretácico	Caliza, Caliza-Lutita, Caliza-Yeso, Yeso	82,007.80	12.54	145-65
Sedimentaria	Mesozoico	Jurásico	Caliza-Lutita, Caliza, Lutita-Arenisca	78,121.12	11.95	213-145
Total				653,879.52	100	

Fuente: INEGI, 1980. Carta Geológica, serie I, escala 1:250,000

4.1.3. Orografía

La región Mixteca se encuentra dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y dentro de las subprovincias Mixteca alta, cordillera costera del sur, sierras centrales de Oaxaca, sierras orientales y sierras del sur de Puebla.

Se ubica en la confluencia de las Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre del Sur, razón por la cual la región es montañosa, estas cadenas montañosas que se entrecruzan en la región han generado un relieve abrupto, en el cual la existencia de valles es casi nula. Esa serie de montañas casi ininterrumpidas ha recibido el nombre de Nudo Mixteco.

La Mixteca Baja es una zona en la que predominan los lomeríos, con altitudes que van de los 1200 a los 1700 m, mientras que la Mixteca Alta presenta elevaciones que van de entre 1700 a 2300 m

. Las sierras más importantes dentro de la Mixteca son: la de Tamazulapan, la de Nochixtlán y la de Peñoles en la zona oriental; la de Coicoyán al poniente y la de Tlaxiaco en el centro

Las mayores elevaciones se encuentran al sur de Tlaxiaco, en el lugar conocido como “Cerro Piedra de Olla” con 3350 msnm en la porción occidental de San Pedro Tidaá en el lugar conocido como Cerro Negro con 3250 msnm ambos en la Mixteca Alta Oaxaqueña (Figura 4).

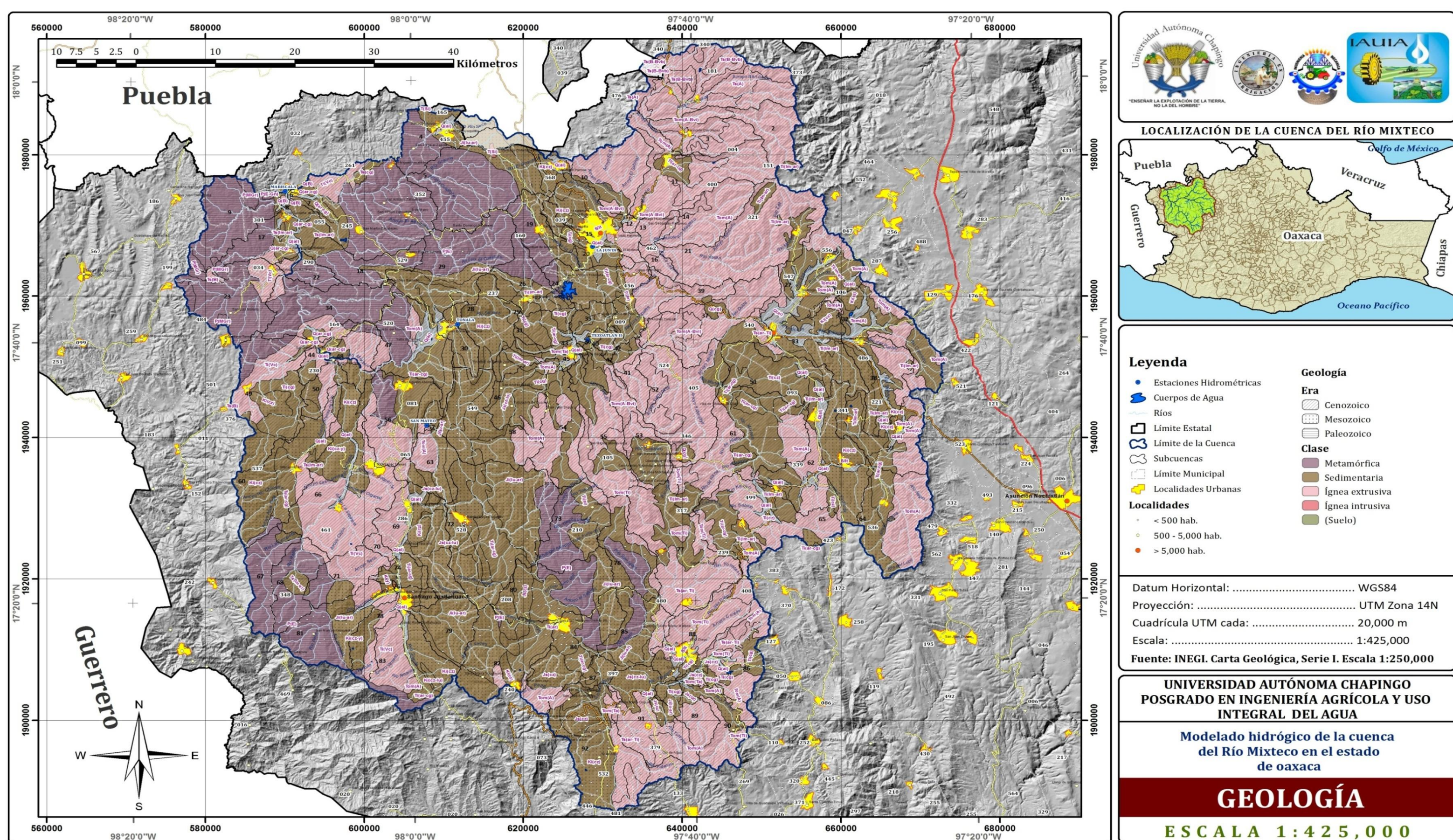


Figura 4. Geología del área de estudio

4.1.4. Hidrología

El área de estudio se encuentra en la región hidrológica 18 (Balsas), dentro de la cuenca del Rio Atoyac y en la subcuenca del Río Mixteco.

La corriente principal dentro es el río Mixteco, tiene sus orígenes en la vertiente oriente de la sierra oaxaqueña cerca de Tlaxiaco, (donde se le conoce con el nombre de río Santo Domingo); por su margen derecha recibe flujos de los ríos Tlaxiaco y Mixtepec; 30 kilómetros aguas abajo recibe por la margen izquierda al río Juxtlahuaca, nace en la sierra de Coicoyán a 2000 msnm; a esa altura recibe el nombre río Santa Catarina, mismo que 49 kilómetros adelante recibe agua del río Salado. Desde esta confluencia, el río toma el nombre de Mixteco.

El río Salado por su parte se forma en la sierra de Tlaxiaco, a una altura aproximada de 2,300 msnm, de donde baja hacia el noreste, recibiendo los afluentes del río Tamazulapan o del Oro y las corrientes del río Huajuapán.

En resumen, la cuenca del río Mixteco y sus afluentes se encuentran localizados en los distritos de Huajuapán, Silacayoapan, sur y occidente de Coixtlahuaca, norte y occidente de Tlaxiaco, algo más de la mitad norte de Juxtlahuaca y la mayor parte de Teposcolula (centro, occidente y norte).

4.1.5. Suelos

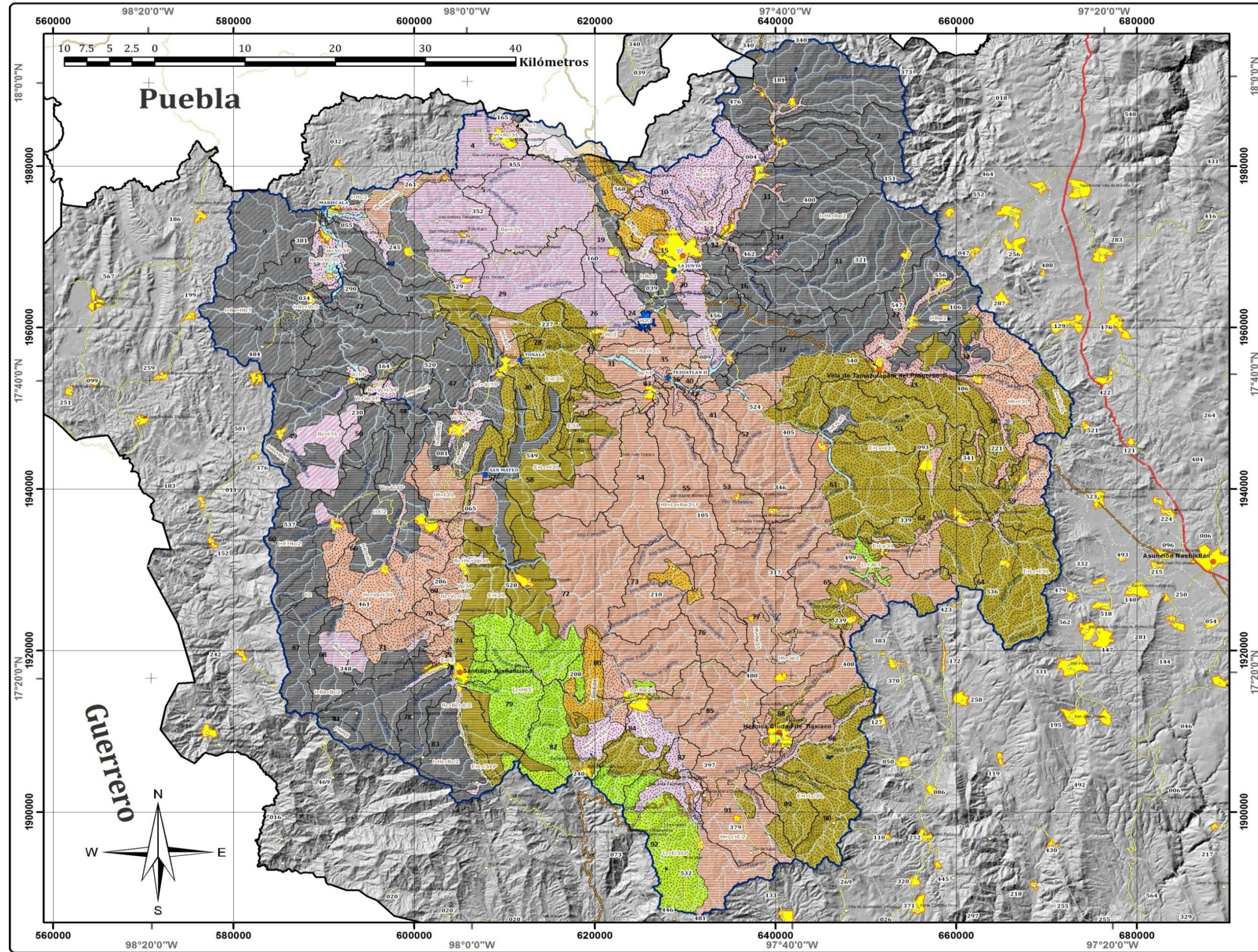
La región Mixteca define sus tipos de suelos por su fisiografía y geología, y en menor medida por su clima, lo que hace que la mixteca sea un tanto uniforme en cuanto a unidades de suelos se refiere.

Dentro del área de estudio, que comprende la cuenca del Río Mixteco, se encontraron 8 unidades de suelo, 7 sub-unidades y 3 fases físicas (Figura 5), en el Cuadro 8 se presentas las 26 combinaciones presentes en la cuenca y su superficie.

Cuadro 8. Unidades de suelos presentes en la cuenca del Río Mixteco

No.	Clave	Unidad	Sub-unidad	Fase	Área (ha)	% Área
1	Bc-P	Cambisol	Crómico	Pedregosa	4,137.91	0.63
3	Be-L	Cambisol	Éutrico	Lítica	4,243.68	0.65
4	E-L	Rendzina		Lítica	123,508.86	18.89
5	E-LP	Rendzina		Lítica Profunda	677.57	0.10
6	Hc-L	Feozem	Calcárico	Lítica	19,749.17	3.02
7	Hc-Sf	Feozem	Calcárico	Sin fase	1,445.86	0.22
8	Hh-L	Feozem	Háplico	Lítica	31,497.28	4.82
9	Hh-LP	Feozem	Háplico	Lítica Profunda	121,703.50	18.61
10	Hh-Sf	Feozem	Háplico	Sin fase	285.09	0.04
11	HI-Sf	Feozem	Lúvico	Sin fase	10,532.68	1.61
12	I-Sf	Litosol		Sin fase	205,576.45	31.44
13	Jc-P	Fluvisol	Calcárico	Pedregosa	170.17	0.03
14	Je-P	Fluvisol	Éutrico	Pedregosa	2,455.84	0.38
15	Lc-LP	Luvisol	Crómico	Lítica Profunda	8,953.32	1.37
16	Lc-Sf	Luvisol	Crómico	Sin fase	20,105.88	3.07
17	Lo-L	Luvisol	Órtico	Lítica	358.83	0.05
18	Rc-L	Regosol	Calcárico	Lítica	27,481.62	4.20
19	Rc-P	Regosol	Calcárico	Pedregosa	4,282.36	0.65
20	Rc-Sf	Regosol	Calcárico	Sin fase	1,606.33	0.25
21	RE-L	Regosol	Éutrico	Lítica	43,844.26	6.71
22	Vc-L	Vertisol	Crómico	Lítica	1,002.89	0.15
23	Vc-P	Vertisol	Crómico	Pedregosa	1,301.18	0.20
24	Vp-P	Vertisol	Pélico	Pedregosa	104.35	0.02
25	Vc-Sf	Vertisol	Crómico	Sin fase	16,723.05	2.56
26	Vp-Sf	Vertisol	Pélico	Sin fase	309.38	0.05
27	H ₂ O	Cuerpos de agua			19.53	0.00
28	ZU	Zona urbana			1,802.48	0.28
Total					653,879.52	100.00

Fuente: INEGI 2006. Carta Edafológica, serie II, escala 1:250,000



LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO

Leyenda

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

Localidades

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

Clase textural

- Fina
- Media
- Gruesa

Principales suelos

- (BcP) Cambisol crómico pedregosa
- (BeL) Cambisol éutrico lítica
- (EL) Rendzina lítica
- (EL) Rendzina sin fase
- (ELP) Rendzina lítica profunda
- (HcL) Feozem calcárico lítica
- (HcSf) Feozem calcárico sin fase
- (HhL) Feozem háplico lítica
- (HhLP) Feozem háplico lítica profunda
- (HhSf) Feozem háplico sin fase
- (HISf) Feozem lúvico sin fase
- (ISf) Litosol sin fase
- (JcP) Fluvisol calcárico pedregosa
- (JeP) Fluvisol éutrico pedregosa
- (LcLP) Luvisol crómico lítica profunda
- (LcSf) Luvisol crómico sin fase
- (LoL) Luvisol órlico lítica
- (RcL) Regosol calcárico lítica
- (RcP) Regosol calcárico pedregosa
- (RcSf) Regosol calcárico sin fase
- (ReL) Regosol éutrico lítica
- (VcL) Vertisol crómico lítica
- (VcP) Vertisol crómico pedregosa
- (VcP) Vertisol pélico pedregosa
- (VcSf) Vertisol crómico sin fase
- (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, Serie II. Escala 1:250,000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Modelado hidrógeno de la cuenca del Río Mixteco en el estado de Oaxaca

EDAFOLOGÍA

ESCALA 1:425,000

Figura 5. Tipos de suelos presentes en el área de estudio

4.1.6. Clima

La región de la mixteca presenta una variedad de climas, en la Mixteca baja en el distrito de Huajuapán de León y Silacayoápam se tiene un clima Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura oscila de 16 a 24°C con una precipitación de 700 a 1200 mm, otro distrito que se localiza en la parte baja es Juxtlahuaca, presenta el mismo clima, aunque el rango de precipitación es mayor va de 800 a 3000 mm, se caracteriza por ser una zona muy lluviosa.

En la región conocida como Mixteca alta que corresponde a los distritos de Tlaxiaco y Teposcolula presentan un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura oscila de 10 a 22°C con una precipitación de 700 a 1500 mm.

4.1.7. Uso de suelo y vegetación

La superficie del país está cubierta por 51 tipos de vegetación (INEGI, 2005. Serie III. Carta de Uso de Suelo y Vegetación. México), pero prevalecen cuatro formaciones vegetales principales: Bosques, Selvas Mexicanas, Matorrales y Pastizales. La vegetación de la Mixteca Oaxaqueña contiene una importante riqueza y diversidad biológica representada en diferentes asociaciones de plantas (Figura 7).

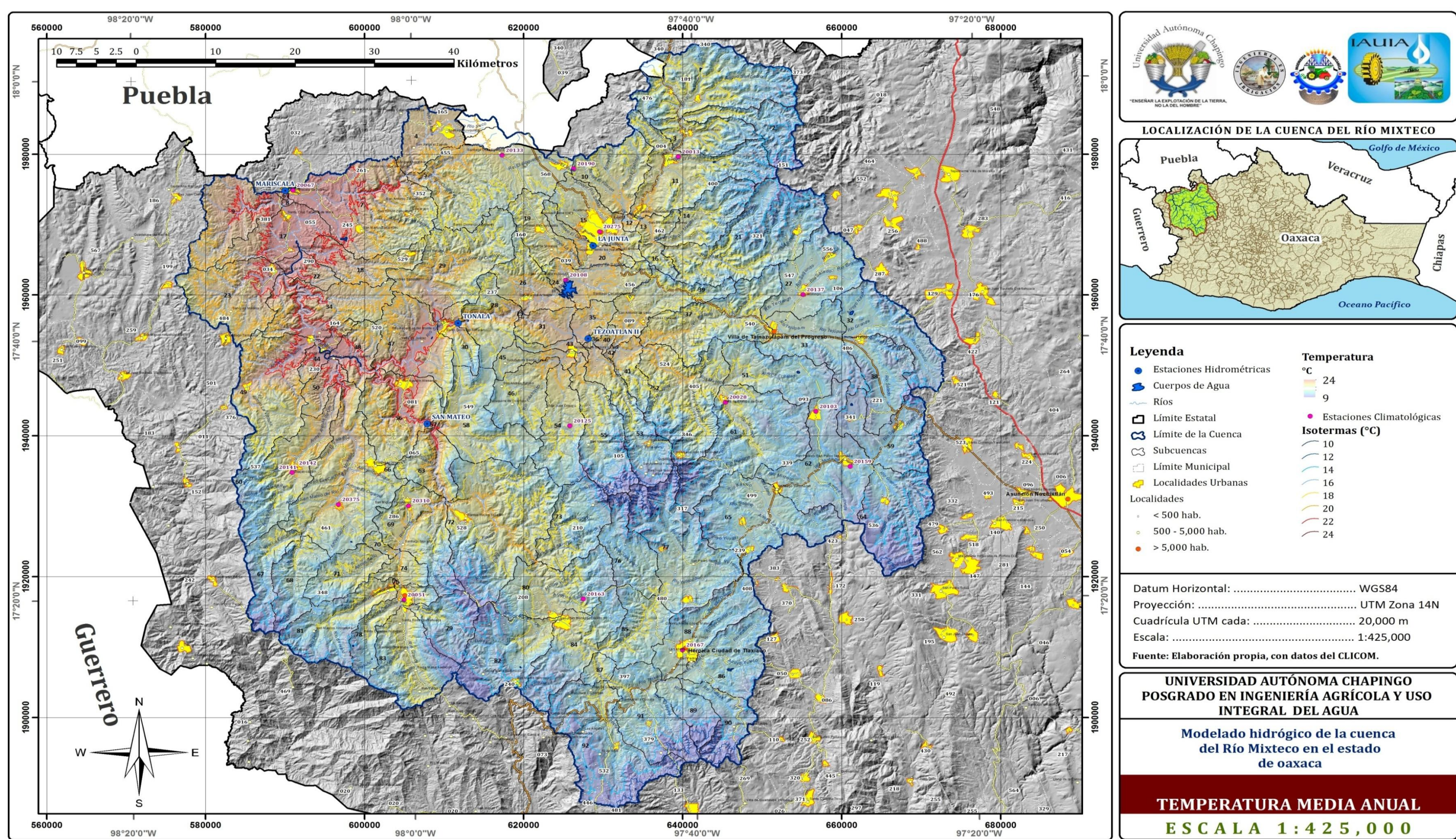


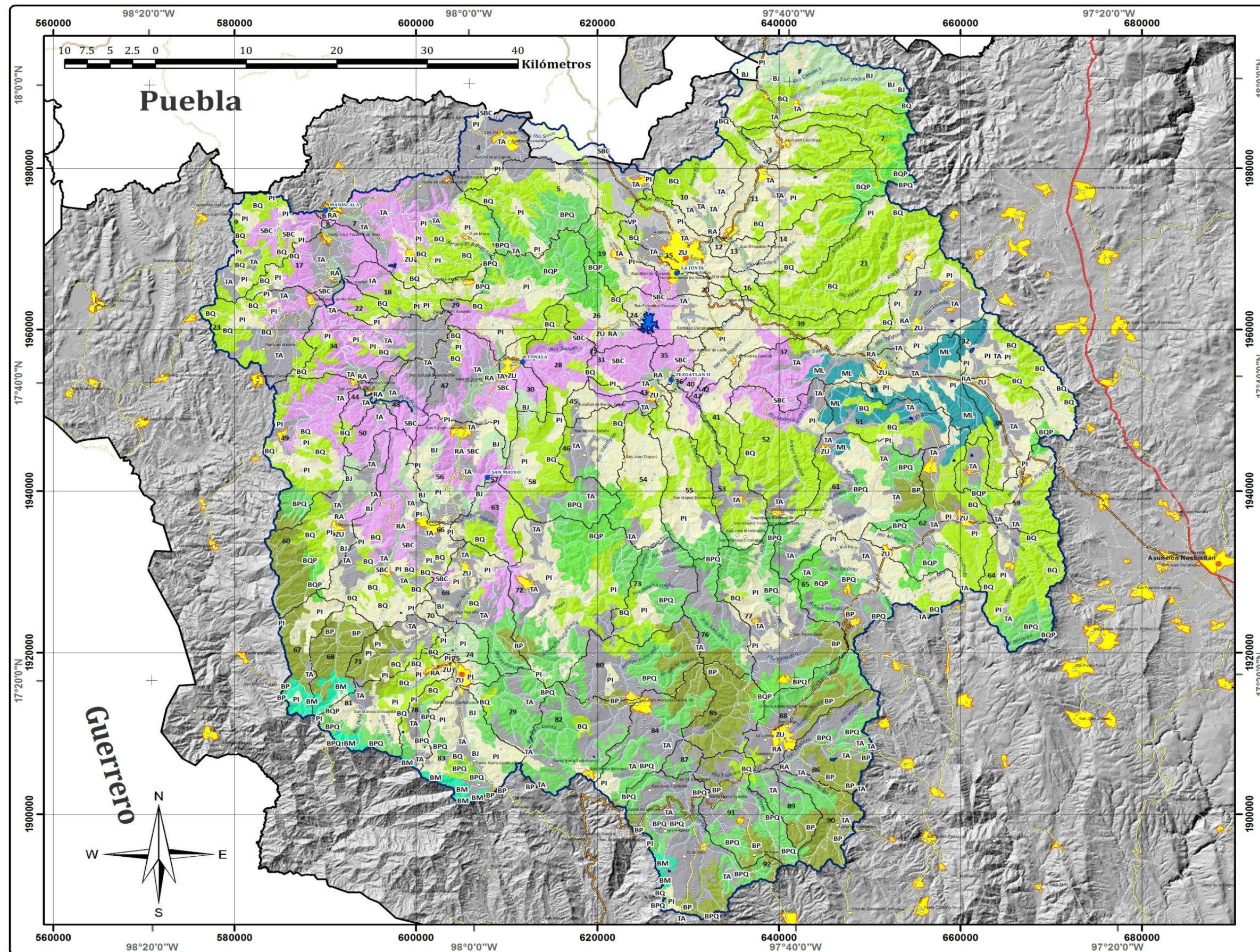
Figura 6. Temperatura media anual del área en estudio

Dentro del área de estudio se identificaron un total de 14 usos de suelo y vegetación (INEGI, 2009. serie IV. Carta de uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000), siendo el pastizal inducido el más dominante, seguido por el bosque de encino, y la agricultura de temporal. En el Cuadro 9 se detallan las superficies que ocupan los diferentes usos de suelo y en la Figura 7 se muestra la distribución que tienen dentro de la cuenca de estudio.

Cuadro 9. Uso de suelo y vegetación en la cuenca Río Mixteco

No.	Uso de suelo y vegetación	Serie IV Superficie	
		(ha)	(%)
1	Agricultura de riego	11,586.90	1.77
2	Agricultura de temporal	124,548.21	19.05
3	Bosque de encino	140,752.88	21.53
4	Bosque de encino-pino	21,632.43	3.31
5	Bosque de pino	41,832.19	6.40
6	Bosque de pino-encino	70,077.19	10.72
7	Bosque de táscate	14,712.97	2.25
8	Bosque mesófilo de montaña	4,270.07	0.65
9	Chaparral	10,347.11	1.58
10	Cuerpo de agua	703.86	0.11
11	Palmar inducido	2,859.87	0.44
12	Pastizal inducido	142,995.11	21.87
13	Selva baja caducifolia	66,001.60	10.09
14	Zona urbana	1,559.11	0.24
	Total	653,879.52	100.00

Fuente: INEGI, 2009. Carta Uso de suelo y vegetación, serie IV, escala 1:250,000



LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO

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.

Uso del Suelo y Vegetación

- (RA) Agricultura de riego
- (TA) Agricultura de temporal
- (BQ) Bosque de encino
- (BQP) Bosque de encino-pino
- (BP) Bosque de pino
- (BPQ) Bosque de pino-encino
- (BJ) Bosque de tascate
- (BM) Bosque mesófilo de montaña
- (ML) Chaparral
- (VP) Palmar inducido
- (PI) Pastizal inducido
- (SBC) Selva baja caducifolia
- (ZU) Zona urbana

Datum Horizontal: WGS84

Proyección: UTM Zona 14N

Cuadrícula UTM cada: 20,000 m

Escala: 1:425,000

Fuente: INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV.

Escala 1:250,000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Modelado hidrógeno de la cuenca del Río Mixteco en el estado de Oaxaca

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN (S-IV)

ESCALA 1:425,000

Figura 7. Vegetación y usos de suelo del área en estudio

4.2. Materiales

4.2.1. Cartografía y base de datos utilizados

Con la finalidad de ubicar y delimitar la cuenca del Río Mixteco, así como identificar los tipos de suelo, geología, uso de suelo y vegetación y topografía se utilizó el siguiente material cartográfico digital:

- ✓ Modelo digital de elevaciones escala 1:50,000 con resolución de 30 m del INEGI
- ✓ Conjunto de datos vectoriales (continuo nacional). carta de uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000 de la serie II, 1988
- ✓ Conjunto de datos vectoriales (continuo nacional). Carta de uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000 de la serie IV. 2009
- ✓ Conjunto de datos vectoriales (continuo nacional). Carta Edafológica, escala 1:250,000 de la serie II, 2006
- ✓ Conjunto de datos vectoriales (continuo nacional). Carta geológica, escala 1:250,000 de la serie I, 1980

Dentro de las bases de datos que se emplearon para obtener información climatológica están:

- ✓ Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) publicado en 2006
- ✓ Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) publicado en 1999..

- ✓ La base de datos climática nacional (CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con información recopilada al año 2010.

4.2.2. Software

- ✓ Extension Soil and Water Assessment Tool (SWAT) para ArcGis 9.3
- ✓ ClimGen versión 4.06.04
- ✓ ArcGis 9.3
- ✓ Autocad 2012
- ✓ Office 2007

4.3. Metodología

Para la realización de esta investigación, se siguieron una serie de pasos y actividades, se resumen en el diagrama (Figura 8) que se presenta a continuación:

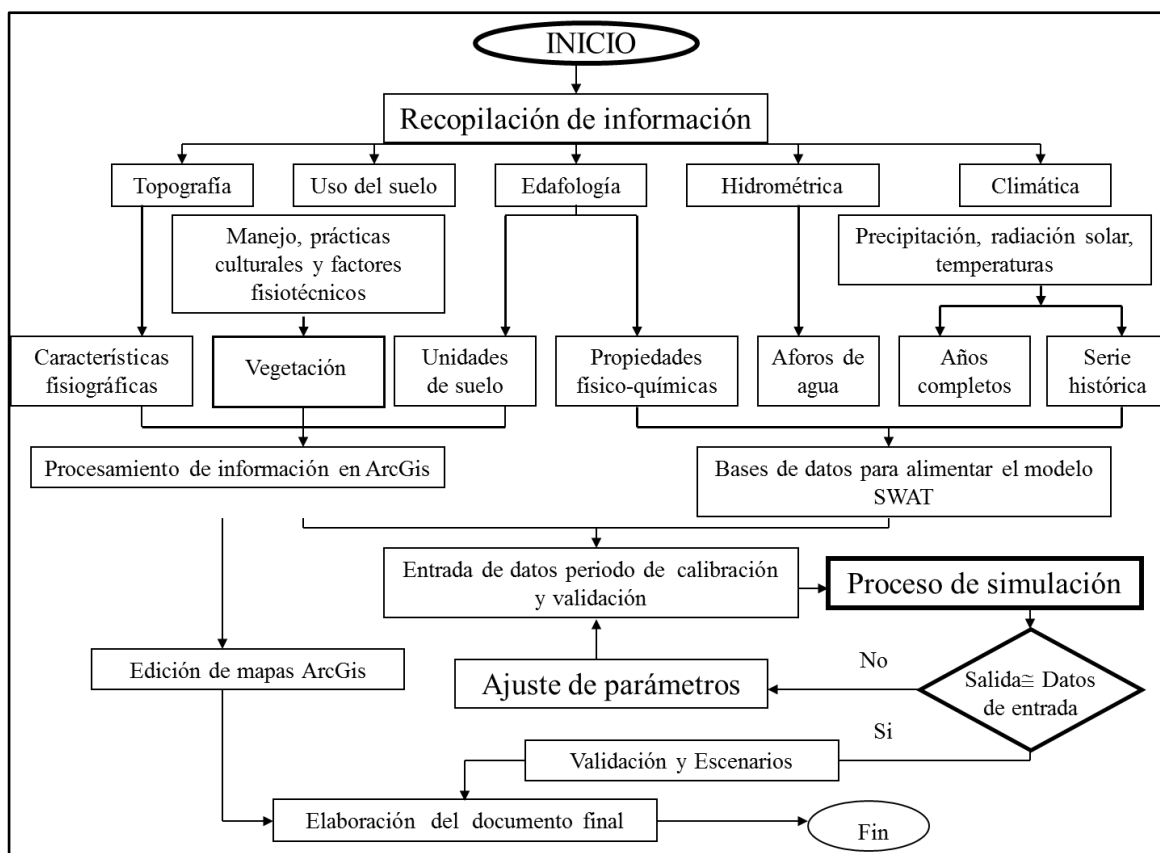


Figura 8. Metodología para la calibración y validación del modelo SWAT en la cuenca del Río Mixteco

Fuente: Torres *et al.*, 2004

4.3.1. Periodo de calibración y validación

Para la calibración y validación de cualquier modelo, es necesario contar con un conjunto de datos medidos de las diferentes variables a modelar, con la finalidad de compararlos con los datos simulados y así poder realizar una buena calibración y obtener una mayor precisión de predicción del modelo. Para este trabajo las variables a modelar fueron la producción de biomasa, producción de escurrimientos y la producción de sedimentos de la cuenca del Río Mixteco, para ello se realizó una recopilación de los datos históricos existentes de

precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro y en la periferia de la cuenca, además se recopilaron los datos de escurrimientos de las estaciones hidrométricas ubicadas dentro de la cuenca. De los datos recopilados, los hidrométricos resultaron ser los más incompletos, por lo tanto el periodo para la calibración y validación quedo condicionado por su disponibilidad. De la información disponible se obtuvo que el periodo de 1986 a 1990 se tiene la serie de datos más completa de escurrimientos, por lo tanto se seleccionaron los tres primeros años para la calibración y para la validación los dos años restantes.

Para la calibración de los sedimentos solo se realizó para el año de 1986, ya que es el único año que se tienen mediciones para esta variable, por lo tanto no fue posible realizar su validación.

4.3.2. Recopilación de la información para la alimentación del modelo

4.3.2.1. Información topográfica

Para conocer las condiciones topográficas que prevalecen en la zona de estudio y para la alimentación del modelo SWAT se utilizó el modelo digital de elevaciones del INEGI con una resolución de pixel de 30 m (Figura 9).

Esta región se caracteriza por tener una topografía muy accidentada, la mayor parte de su superficie está compuesta por diversas cadenas de montañas,

estas cadenas se entrecruzan formando lo que comúnmente se conoce como el nudo mixteco.

Dentro del área de estudio se tiene un rango de elevaciones que va de 1,034 a 3,365 msnm, con una pendiente media de 31.45%.

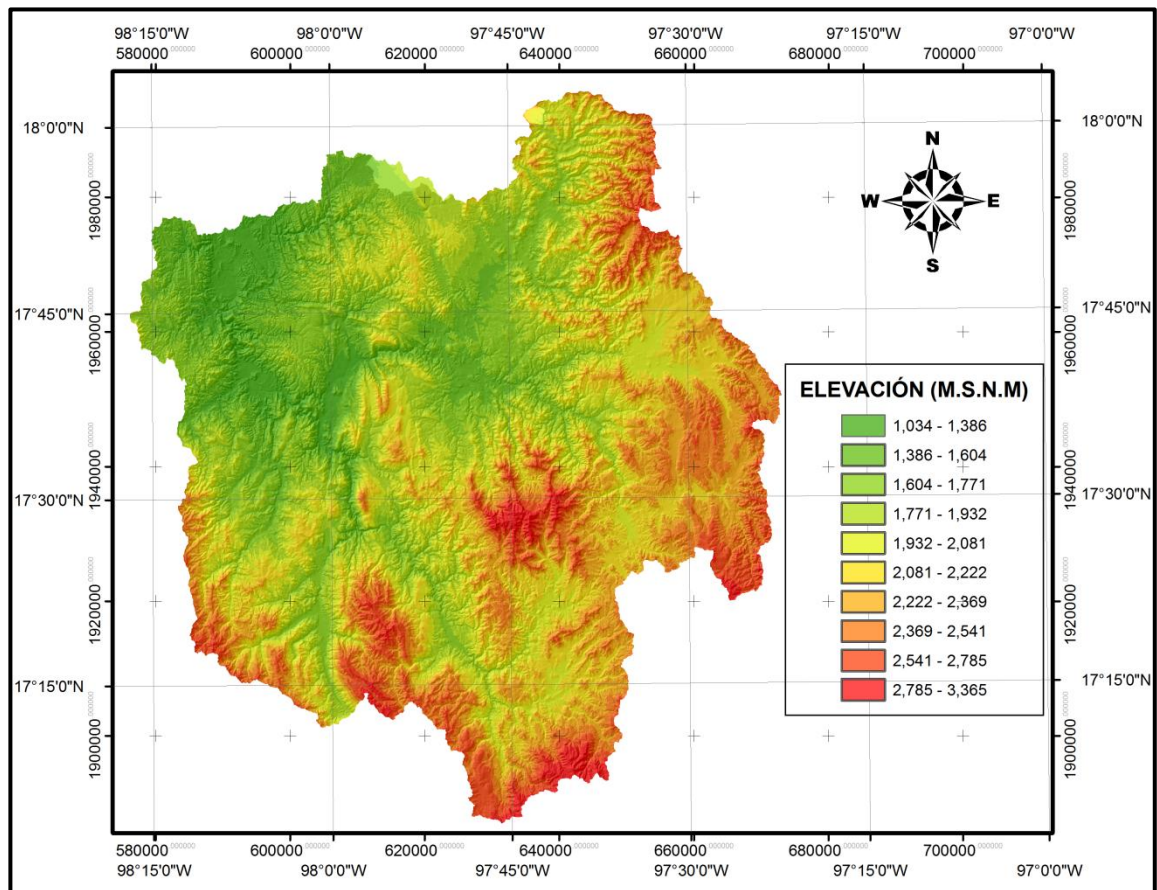


Figura 9. Modelo digital de elevaciones

4.3.2.2. Información de Uso del suelo y vegetación

La información de uso de suelo y vegetación para el periodo de calibración y validación se obtuvo del conjunto de datos vectoriales (Continuo Nacional) de la

Carta de Uso de Suelo y Vegetación de la serie II, escala 1:250,000, compilado por el INEGI, 1988 (Figura 10).

De acuerdo a esta información, para la década de los 1980's la vegetación que predominó en la cuenca del Río Mixteco fue el bosque de encino (22.1%), seguido por la agricultura de temporal (20.4%), y el pastizal inducido (19.7%).

Ver Cuadro 10 para mayor detalle sobre la superficie que abarcan otros usos de suelo y coberturas vegetales.

Cuadro 10. Uso de suelo y vegetación del área de estudio

No.	Uso de suelo y vegetación	Serie II Superficie		Serie IV Superficie	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
1	Agricultura de riego	9,796.15	1.50	11,586.90	1.77
2	Agricultura de temporal	133,354.06	20.39	124,548.21	19.05
3	Bosque de encino	144,270.25	22.06	140,752.88	21.53
4	Bosque de encino-pino	21,716.12	3.32	21,632.43	3.31
5	Bosque de pino	45,414.23	6.95	41,832.19	6.40
6	Bosque de pino-encino	69,858.39	10.68	70,077.19	10.72
7	Bosque de táscate	15,494.67	2.37	14,712.97	2.25
8	Bosque mesófilo de montaña	3,986.69	0.61	4,270.07	0.65
9	Chaparral	11,824.68	1.81	10,347.11	1.58
10	Cuerpo de agua	19.53	0.00	703.86	0.11
11	Palmar inducido	4,129.35	0.63	2,859.87	0.44
12	Pastizal inducido	128,727.98	19.69	142,995.11	21.87
13	Selva baja caducifolia	63,484.93	9.71	66,001.60	10.09
14	Zona urbana	1,802.48	0.28	1,559.11	0.24
	Total	653,879.52	100.00	653,879.52	100.00

El modelo SWAT, para su sub-modelo de crecimiento vegetal, requiere la calibración de los parámetros fisiotécnicos de las especies vegetales representativas, requiere un total de 45 parámetros para cada especie, en el Cuadro 11 se enlistan estos parámetros su descripción y el rango de valores para cada uno.

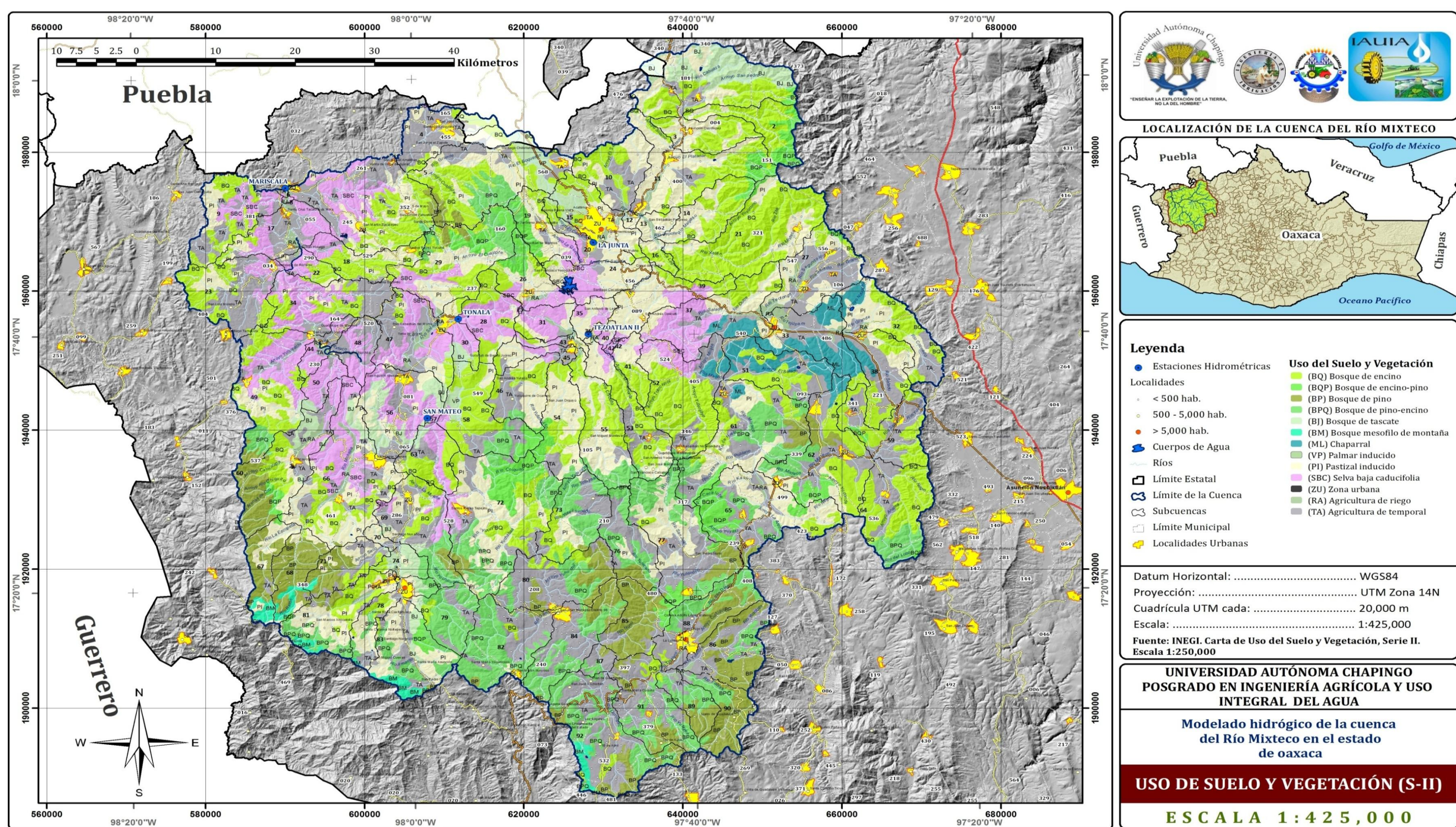


Figura 10. Uso de suelo y vegetación Serie-II



Figura 11. Vegetación observada dentro de la cuenca

Cuadro 11. Parámetros fisiotécnicos que requiere el modelo SWAT

Parámetro	Descripción	Valor Mínimo	Valor Máximo
CPNM	Código de 4 caracteres para representar la cobertura del suelo/nombre planta	0	99
IDC	Cobertura del suelo / clasificación de las plantas.	1	7
BIO_E	Conversión de energía en biomasa (MJ m^{-2})	10	90
HVSTI	Índice de cosecha. (kg ha^{-1})	0.01	1.25
BLAI	índice de área foliar máxima ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)	0.5	10
FRGRW1	Fracción de la temporada de cultivo de plantas correspondiente a la primera. Punto de la curva de desarrollo de las hojas óptimo área	0	1
LAIMX1	Fracción de la longitud. Índice de área foliar correspondiente a la primera. Punto de la curva de desarrollo de las hojas óptimo área.	0	1
FRGRW2	Fracción de la temporada de cultivo de plantas correspondientes a la segunda. punto de la curva de desarrollo de las hojas óptimo área	0	1
LAIMX2	Fracción de la longitud. Índice de área foliar correspondiente a la segunda. punto de la curva de desarrollo de las hojas óptimo área	0	1
DLAI	Fracción de la estación de crecimiento cuando el área de la hoja Comienza a disminuir.	0.15	1
CHTMX	Max altura del dosel.	0.1	20
RDMX	Max profundidad de las raíces. (m)	0	3
T_OPT	Temperatura óptima para el crecimiento vegetal. ($^{\circ}\text{C}$)	11	38
T_BASE	Temperatura mínima de crecimiento de las plantas. ($^{\circ}\text{C}$)	0	18
CNYLD	Fracción de nitrógeno en las semillas. (kg N kg^{-1} semilla)	0.0015	0.075
CPYLD	Fracción de fósforo en las semillas. (kg kg^{-1} semilla)	0.0001	0.015
BN1	Fracción de N en las plantas durante la emergencia.	0.004	0.07
BN2	Fracción de N en la planta de 0,5 madurez.	0.002	0.05

Parámetro	Descripción	Valor Mínimo	Valor Máximo
BN3	Fracción de N en la planta en la madurez	0.001	0.27
BP1	Fracción de P durante la emergencia.	0.0005	0.01
BP2	Fracción de P en el 0,5 madurez.	0.0002	0.007
BP3	Fracción de P en la madurez.	0.0003	0.0035
WSYF	Límite inferior del índice de cosecha.	-0.2	1.1
USLE_C	Valor mínimo de la USLE factor C aplicable a la cobertura del suelo / planta.	0.001	0.5
GSI	Max estomas de la conductancia (en condiciones drough).	0	5
VPDFR	Déficit de presión de vapor que corresponde a la conductancia estomática máxima fracción definida por FRGMAX	1.5	6
FRGMAX	Fracción del máximo de la conductancia estomática que se puede lograr con un déficit de alta presión de vapor.	0	1
WAVP	Tasa de disminución en la eficiencia de la radiación uso por unidad de incremento en el déficit de presión de vapor.	0	50
CO2HI	Elevada concentración de CO ₂ atmosférico. (uL L ⁻¹)	300	1000
BIOEHI	La energía de biomasa proporción correspondiente a la segunda. Punto de la curva de eficiencia en el uso de radiación.	5	100
RSDCO_PL	Residuos de las plantas de descomposición de los coeficientes.	0.01	0.099
Cropname	Nombre de la descripción de los cultivos.	0	0
CN2	Escorrentía SCS curva número de condición de humedad II.	25	98
OV_N	Manning "n" el valor de la escorrentía superficial.	0.01	30
FERTFIELD	Si se selecciona esta cosecha va a ser fecundado.	0	0
ALAI_MIN	Mínimo de superficie de la hoja de índice para la planta durante el período de reposo	0	0.99
BIO_LEAF	Fracción de biomasa de los árboles convierten en residuos durante la latencia	0	1
MAT_YRS	Número de años necesarios para las especies de árboles para alcanzar el pleno desarrollo	0	100
BMX_TREES	Máximo de biomasa de un bosque. (T ha ⁻¹)	0	5000
EXT_COEF	Coeficiente de extinción de la luz.	0	2
CN2A	Escorrentía SCS número de curva condición de humedad II.	25	98
CN2B	Escorrentía SCS número de curva condición de humedad II.	25	98
CN2C	Escorrentía SCS número de curva condición de humedad II.	25	98
CN2D	Escorrentía SCS número de curva condición de humedad II.	25	98
BM_DIEOFF	Fracción de biomasa muerta	0	1

De los usos de suelo y vegetación identificados dentro del área en estudio se determinaron sus factores fisiotécnicos de acuerdo a los requerimientos del modelo, los valores de cada parámetro se reportan en el anexo 1.

Gran parte de la superficie de la cuenca se destinan a la producción agrícola, la

cuenca del Río Mixteco se localiza en gran parte dentro del Distrito de Desarrollo Rural 104, Huajuapán de León, en este distrito se cultivan 143,150.3 ha, equivalente al 21.9% de la superficie de la cuenca. Para el periodo 2001-2010, el 78.3% de la superficie distrital se cultivó con maíz, el 11.7% con frijol y el 8.9% con trigo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Principales cultivos del Distrito de Desarrollo Rural 104, Huajuapán de León

Cultivo	Superficie sembrada (ha)									
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alpiste	103.0	430.0	594.7	450.0	353.0	289.0	154.0	145.0	157.0	155.0
Amaranto	12.0	5.0	3.0	5.0	5.0					
Arvejón				61.0	54.0	30.0	44.0	46.0	49.0	57.0
Avena forrajera verde	5.0	55.0	43.0	255.0	211.0	240.0	209.0	191.0	203.0	295.5
Cacahuete	475.0	375.0	380.0	340.0	298.0	63.0	90.0	89.0	96.5	117.9
Calabacita	246.0	125.0	35.0	45.0	22.0					
Cebada forrajera verde				8.0	15.0	4.0	8.0			
Cebada grano	750.0	75.0	100.0	285.0	339.0	282.0	258.0	242.0	247.5	260.5
Cebolla	2.0	3.0	3.0	2.0	1.0					
Chile seco	102.0	98.0	85.0	95.0	95.0	95.0	89.0	91.0	80.0	94.0
Chile verde	11.0	6.0	4.0	5.0	3.0					
Ebo (janamargo o veza)	3.0	10.0	8.0	4.0	3.0					
Ejote	28.0	17.0	49.0	39.0	11.0	29.0	30.0	25.0	25.0	28.2
Frijol	18,022.0	18,570.5	18,565.3	19,928.5	18,949.0	18,591.0	18,356.5	18,234.5	18,350.5	18,807.5
Jamaica							6.5	7.0	10.0	9.0
Maíz forrajero verde	40.0			28.0						
Maíz grano	104,276.0	109,043.5	103,872.0	102,030.0	101,914.0	115,484.0	117,112.5	126,003.0	127,050.0	131,075.9
Pepino		8.0	12.0	10.0	10.0		4.0	4.5	8.5	8.0
Sandía	300.0	205.0	225.0	430.0	325.0	500.0	475.0	471.0	486.0	490.0
Sorgo forrajero verde						3.0	2.0	2.5	4.0	3.8
Tomate rojo (jitomate)	51.0	45.0	37.0	45.0	25.0	85.0	37.0	38.0	41.5	83.1
Tomate verde	33.0	52.0	57.0	48.0	51.0	87.0	78.0	77.5	92.5	103.9
Trigo grano	11,887.0	11,528.0	11,050.0	11,356.5	14,431.0	1,499.5	13,637.5	13,697.5	14,200.5	14,548.5
Zempoalxóchitl	2.0	6.0	10.0	12.0	9.0	30.0	32.0	34.0	45.0	42.1
Total	138,349.0	142,660.0	137,136.0	137,486.0	139,129.0	152,217.5	152,630.0	161,406.5	163,155.5	168,189.9

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2010)

El modelo SWAT considera todas las prácticas agrícolas (preparación del terreno, siembra, riego, fertilización, control de malezas, control de plagas y enfermedades, cosecha, etc.)

En el Cuadro 12 se puede observar que en las zonas agrícolas del área de estudio predomina el cultivo del maíz con una tasa de crecimiento de 26% y cubriendo casi el 79% de la superficie cultivada. Por la importancia que los agricultores le dan al cultivo de maíz y por el impacto que causan las actividades agrícolas de este cultivo en la degradación de los suelos, se optó por simular las áreas agrícolas de la cuenca como si fueran cultivadas en su totalidad por este cultivo básico, por tal razón fue necesario conocer el paquete tecnológico que aplican los productos de la región y considerarlos para la simulación de los sistemas de producción en la cuenca.

Con base en información proporcionada por la SAGARPA para el cultivo de maíz, en el Cuadro 13 se resume el sistema de producción que siguen los productores como actividades de preparación de suelo, siembra, manejo de cultivo y cosecha así como la aplicación de insumos que realizan los productores para el ciclo primavera-verano, dentro del ámbito de la cuenca del Río Mixteco.

Cuadro 13. Paquete tecnológico de maíz aplicado por los productores de la región

Concepto/Actividad	Unidad	Cantidad	Observaciones
Preparación del terreno			
Barbecho	ha	1	Es el paso de arado de disco tirado por un tractor agrícola en un tiempo de 2.5 h. En la región la mayoría de los productores realizan esta activada utilizando tracción animal y el arado tradicional, esta actividad se realiza 15 días antes de la siembra
Rastreo	ha	1	Es el paso de la rastra de discos tirado por un tractor agrícola en un tiempo de 2 h. Esta actividad solo es realizada por la minoría de los productores, esta actividad se realiza unos días antes de la siembra
Siembra			
Tipo de semilla	Los productores usan variedades criollas, que seleccionan del ciclo anterior.		
Semilla	kg	20	
Siembra manual	Jornales*	4	
Arreglo topológico			Mateado
Distancia entre surcos	m	0.8	
Distancia entre matas	m	0.7	
Densidad de siembra	Plantas ha ⁻¹	35,700	2 plantas por mata y este varía de acuerdo al número de semillas por mata
Fecha de siembra	La siembra se realiza durante los primeros días de junio		
Control de malezas			
Deshierbe y aclareo	Jornales*	5	Esta actividad se realiza durante el mes de julio, aproximadamente un mes después de la siembra
Aporque	Jornales*	5	
Fertilización			
Fórmula de fertilización	60-26-00 (N-P-K)		Según se establezca la época de lluvias
Aplicación	Jornales	3	Se realiza después del deshierbe y aclareo
Cosecha			
Pizca	Jornales*	5	
Deshoje y desgrane	Jornales*	5	
Fecha de cosecha	La cosecha se realiza durante la primera quincena de noviembre		

*Se considera el trabajo que hace una persona adulta durante una jornada de 8 horas.

Para la calibración y validación del modelo, en particular del sub-modelo de crecimiento y desarrollo de la cubierta vegetal entre los años de 1986-1990, fue necesario conocer la cantidad de biomasa que producen las especies vegetales presentes en la cuenca, Para tal efecto, en el Cuadro 14 se reportan los valores de producción de biomasa, en materia seca, para las asociaciones vegetales

que reporta el INEGI dentro del área de estudio (Figura 10), valores de biomasa que fueron usados para comparar los resultados del modelo SWAT durante su calibración.

Cuadro 14. Rango de producción de biomasa para los diferentes tipos de vegetación presentes en la cuenca del Río Mixteco

No.	Uso de suelo y vegetación	Biomasa (t MS ha ⁻¹ año ⁻¹)		
		Mínimo	Promedio	Máximo
1	Agricultura de riego	7.0	8.5	10.0
2	Agricultura de temporal	3.0	4.5	6.0
3	Bosque de encino	10.0	11.0	12.0
4	Bosque de encino-pino	11.0	12.0	13.0
5	Bosque de pino	13.0	14.0	15.0
6	Bosque de pino-encino	12.0	13.0	14.0
7	Bosque de táscate	8.0	9.0	10.0
8	Bosque mesófilo de montaña	14.0	16.0	18.0
9	Chaparral	5.0	6.0	7.0
10	Cuerpo de agua	-		-
11	Palmar inducido	6.0	7.0	8.0
12	Pastizal inducido	3.0	4.0	5.0
13	Selva baja caducifolia	5.0	7.0	9.0
14	Zona urbana	-		-

4.3.2.3. Muestreo de suelo

La modelación hidrológica de la cuenca requirió, para las Unidades de Suelo reportadas por INEGI (Figura 5), hacer perfiles de suelo tipo. En estos perfiles se obtuvieron muestras de suelo de los diferentes horizontes pedológicos observados en campo (Figura 12).



Figura 12. Muestreo de suelos dentro de la cuenca del Río Mixteco

Para ello, en gabinete se seleccionaron los sitios de muestreo en base al criterio de Unidades Respuesta Hidrológica (HRU) el cual básicamente combina tipos de suelo y coberturas vegetales (Cuadro 15). En el muestreo se buscó analizar en laboratorio dos repeticiones por HRU procurando que los sitios fueran lo más distantes y representativos posibles.

Cuadro 15. Puntos de muestreo de suelos dentro de la cuenca del Río Mixteco

Sitio	Suelo	Vegetación (Serie IV)	Municipio	Localidad	Coordenadas UTM	
					X (m)	Y (m)
1	Vertisol	Agricultura de temporal	Teposcolula	El Rosario	656604	1934403
2	Vertisol	Pastizal inducido	Asunción Cuyotepeji	Asunción Cuyotepeji	640073	1982175
3	Rendzina	Bosque de encino	San Pedro Yucunama	San Pedro Yucunama	663312	1942819
4	Rendzina	Pastizal inducido	Santiago Yolomecatl	La Junta	646442	1933634
5	Rendzina	Selva baja caducifolia	Tonalá	Tonalá	611962	1955731
6	Regosol	Bosque de pino-encino	San miguel Amatitlán	Santo Domingo Yolotepec	609969	1969287
7	Regosol	Bosque de encino	San Simón Zahuatlán	La Colmena	603742	1972040
8	Luvisol	Bosque de pino-encino	San Juan Mixtepec	El Cangrejo	613673	1911296
9	Luvisol	Agricultura de temporal	Santo Tomas Ocotepec	Emiliano Zapata	630764	1895408
10	Fluvisol	Agricultura de riego	San Nicolás Hidalgo	San Nicolás Hidalgo	590266	1967187
11	Fluvisol	Selva baja caducifolia	Tezoatlán de Segura y Luna	Santa Cruz Numá	630672	1951821

Sitio	Suelo	Vegetación (Serie IV)	Municipio	Localidad	Coordenadas UTM	
					X (m)	Y (m)
12	Litosol	Bosque de encino	Santa Catarina Zapoquilla	Santa Catarina Zapoquilla	637662	1990707
13	Litosol	Pastizal inducido	Santiago Cacaloxtotec	Corral de Piedra	635735	1962539
14	Litosol	Bosque de táscate	Silacayoapam	Silacayoapam	592805	1942168
15	Litosol	Selva baja caducifolia	Silacayoapam	Silacayoapam	597520	1937005
16	Feozem	Agricultura de temporal	Tlaxiaco	San Bartolo	641339	1908928
17	Feozem	Bosque de encino	Tezoatlán de Segura y Luna	San Miguel Monteverde	627183	1939628
18	Feozem	Bosque de pino-encino	San Juan Ñumi	San Juan Ñumi	629482	1925159
19	Feozem	Pastizal inducido	Tezoatlán de Segura y Luna	San Juan Diquiyu	623279	1942626
20	Cambisol	Agricultura de temporal	San Juan Mixtepec	Canamá	620037	1915157
21	Cambisol	Palmar inducido	Zapotitlán Palmas	Ejido López Mateos	626571	1974476
22	Rendzina	Bosque de pino-encino	Tlaxiaco	El boquerón	645803	1907472
23	Litosol	Bosque mesófilo de montaña	San Martin Peras	San Martin Peras	588576	1913231
24	Regosol	Pastizal inducido	San Marcos Arteaga	San Marcos Arteaga	623534	1960721
25	Vertisol	Agricultura de riego	Santo Domingo Tonalá	Santo Domingo Tonalá	609816	1955502

El modelo SWAT requiere para efectuar el balance hidrológico y calcular la producción de sedimentos de un total de 18 parámetros (Cuadro 16) tanto físicos como químicos de cada tipo de suelo, por tal razón para cada muestra de suelo se determinó en laboratorio: textura, estructura, conductividad hidráulica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, densidad real, contenido de materia orgánica, contenido de carbono orgánico y porosidad. La base datos de suelos con los datos de laboratorio que sirvieron para correr el modelo se presentan en el Anexo 2.

Cuadro 16. Parámetros de suelos requeridos por el modelo SWAT

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	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

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Descripción
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^{-1})
SOL_K1	0	2000	Conductividad hidráulica (mm h^{-1})
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 USLE
SOL_EC1	0	100	Conductividad eléctrica (ds m^{-1})

4.3.2.4. Información meteorológica

Para realizar la calibración del modelo SWAT se recopilaron y generaron parámetros estadísticos necesarios para reproducir las condiciones climáticas de la cuenca; con el propósito de estimar la biomasa, el escurrimiento y el sedimento satisfactoriamente. Asimismo, se identificaron los datos climáticos diarios de precipitación, temperaturas máximas y mínimas para las 18 estaciones meteorológicas localizadas dentro y aledañas a la cuenca para el período 1986-1990, mismos que proporcionó el Organismo de Cuenca Balsas de la CONAGUA.

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

- ✓ Para cada una de las estaciones meteorológicas identificadas se seleccionaron del registro histórico aquellos años con información

completa, y se realizó una primera corrida con el modelo CLIGEN^c (versión 4.2), en su opción WXPARM, a fin de obtener las primeras “semillas”^d.

- ✓ Con estas primeras “semillas” y después de llenar con la clave 9999 los datos faltantes del registro histórico, de cada estación, se corrió nuevamente el CLIGEN, en su opción WXGEM, para que estimar los valores de lluvia y temperatura (máxima y mínima) de los años incompletos.
- ✓ Una vez estimados los datos faltantes, se realizó una tercera corrida con CLIGEN, en su opción WXPARM, para calcular las “semillas” mensuales definitivas de cada una de las estaciones meteorológicas (Anexo 3.) que se indican en el Cuadro 17.

En el Cuadro 17, se presenta la lista de las estaciones meteorológicas con el registro más completo entre 1986 a 1990 y que fueron la base para calibrar y validar el modelo SWAT.

^c CLIGEN (CLImate GENeration) fue desarrollado por el USDA-ARS para calcular series de tiempo climáticas, a nivel diario, a partir de estadísticas de registros históricos observados de una estación meteorológica. Las variables del clima necesarias para el manejo del modelo SWAT son la precipitación, temperatura del aire, y radiación solar. El CLIGEN estima la precipitación a partir de un modelo de cadenas de Markov de primer orden. Para ello requiere de las probabilidades mensuales de tener precipitación. Para cualquier día, la entrada debe incluir información en cuanto a si el día previo fue seco o húmedo. Así, un número aleatorio (0-1) es generado y se compara con la probabilidad humedad-sequía apropiada. Si el número aleatorio es menor o igual a la probabilidad humedad-sequía, la precipitación ocurre en ese día. Los números aleatorios mayores que la probabilidad humedad-sequía indican que no hay precipitación. Debido a que la condición humedad-sequía del primer día se introduce, el proceso puede ser repetido para el próximo día y así sucesivamente durante el período de simulación.

En caso de la temperatura (diaria máxima y mínima) del aire y radiación solar CLIGEN las estima a partir de una distribución normal multivariada y asume que la correlación serial de cada variable puede ser descrita por un modelo lineal autorregresivo de primer orden. Así, el modelo de temperatura requiere los promedios mensuales de las temperaturas máxima y mínima y sus desviaciones estándar como entradas.

Para mayor información consultar: <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18094>

^d Semillas: son parámetros estadísticos para la generación climática sintética.

Cuadro 17. Estaciones meteorológicas útiles para la calibración y validación del modelo

No	Clave	Nombre	Longitud (grados)	Latitud (grados)	Periodo de registro		Elevación (msnm)
					Inicio	Final	
1	20013	San Lucas Camotlán	-97.6833	17.9000	1986	1990	1849
2	20028	Santa María Chilapa de Díaz	-97.6298	17.5847	1986	1990	1854
3	20051	Juxtlahuaca	-98.0120	17.3333	1986	1990	1683
4	20067	Mariscala de Juárez	-98.1410	17.8596	1986	1990	1080
5	20103	San Andrés Lagunas	-97.5228	17.5721	1986	1990	2296
6	20108	San Francisco	-97.8178	17.7428	1986	1990	1510
7	20125	Santa Catarina (DGE*)	-97.8142	17.5555	1986	1990	1911
8	20133	Santiago Chilixtlahuaca	-97.8927	17.9034	1986	1990	1700
9	20137	Santiago Teotongo (DGE*)	-97.5368	17.7221	1986	1990	2079
10	20141	Silacayoapan (SMN*)	-98.1437	17.4976	1986	1990	1684
11	20142	Silacayoapan (DGE*)	-98.1400	17.5030	1986	1990	1684
12	20159	San Pedro y San Pablo Teposcolula	-97.4825	17.5013	1986	1990	2183
13	20163	Tezoatlán de Segura y Luna	-97.8000	17.3333	1986	1990	2023
14	20167	Santa María Asunción (DGE*)	-97.6830	17.2670	1986	1990	2065
15	20190	Zapotitlan Palmas (SMN*)	-97.8079	17.8855	1986	1990	2000
16	20275	Huajuapán de León (DGE*)	-97.7774	17.8046	1986	1990	1581
17	20310	San Miguel Tlacotepec	-98.0060	17.4540	1986	1990	1700
18	20375	Santiago del Río	-98.0890	17.4560	1986	1990	1641

*Dependencias que establecieron y/o controlan la Estación: DGE Dirección General de Estudios, SMN Servicio Meteorológico Nacional.

La base de datos para los generadores climáticos del modelo SWAT requiere de un total de 17 variables climatológicas (Cuadro 18) a nivel mensual, los valores para cada variable de las 18 estaciones meteorológicas que se localizan dentro de la cuenca se reportan en el Anexo 4.

Cuadro 18. Variables climatológicas para la base de datos del modelo SWAT

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	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)

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Descripción
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	Coefficiente 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 (cal m ⁻²)
DEWPT	-50	25	Temperatura del punto de rocío promedio en el mes (°C)
WNAV	0	100	Velocidad media del viento en el mes (m s ⁻¹)

4.3.2.5. Información hidrométrica

En la cuenca del Río Mixteco, definida hasta la estación hidrométrica Mariscala, se identificaron 13 estaciones hidrométricas con registros históricos de escurrimientos y sedimentos, los cuales se caracterizan por su interrupción y discontinuidad en el registro de datos, según se muestran en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Estaciones hidrométricas presentes en la cuenca del Río Mixteco

No.	Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Escurrecimientos (años)	Sedimentos (años)
1	18334	Mariscala	-98.1500	17.8583	1966-1980, 1986-1990	1986
2	18337	Camotlán	-97.6875	17.9083	1964, 1965, 1968	Sin datos
3	18338	Xatán	-97.7000	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, 1977-1979, 1981, 1986-1991	1986, 1991
6	18365	Huertas	-97.8750	17.7000	1965-1968	Sin datos
7	18376	Camotlán	-97.6875	17.9083	Sin datos	Sin datos
8	18379	Angostura	-98.0208	17.3500	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, 1986-1990	1986 incompleto
11	18398	San Francisco Yosocuta	-97.8208	17.7250	1968	Sin datos
12	18485	La Junta	-97.7850	17.7858	1970-1981, 1986-1991, 1995	1986
13	18538	Tezoatlán II	-97.7917	17.6667	1973-1980, 1986-1991	Sin datos

De la comparación de los registros hidrométricos se identificaron durante el periodo 1986-1990, en base a escurrimientos y sedimentos, la estación hidrométrica más conveniente para calibrar y validar el modelo SWAT, Se determinó que la modelación de la cuenca se realizará hasta la estación hidrométrica de Mariscala ya que es la que se encuentra aguas abajo de las demás estaciones y la que abarca mayor superficie para la modelación de la cuenca, y además esta estación es la que tiene la base de datos más completa y confiable en cuanto a datos de escurrimiento y sedimentos se refiere.

Los aforos de escurrimientos (gastos medios y máximos) y de sedimentos se obtuvieron de la Base de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS, 2008), así como del Organismo de la Cuenca Balsas de la CONAGUA. Cabe mencionar que en la cuenca únicamente se registraron los sólidos en suspensión para 1986 por lo que el modelo SWAT solo se pudo calibrar, para sedimentos, con este único año de información. Así, para la estación hidrométrica seleccionada, en el Cuadro 20 se muestran los datos mensuales de escurrimiento registrados para el periodo 1986-1990 y en el Cuadro 21 los correspondientes a producción de sedimentos para 1986. Cabe mencionar que, al considerar el área de cuenca, los datos reportados de escurrimientos medios diarios se convirtieron de $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ a mm y los sedimento de miles de m^3 a t ha^{-1} , considerando para estos últimos un peso específico de 1.72 t m^{-3} . El valor de estos datos de aforos, aquí incluidos, radica en que sirvieron de base para definir el nivel de certeza con que el modelo SWAT simula la cuenca del Río Mixteco.

Cuadro 20. Datos mensuales de escurrimientos (mm) en la estación hidrométrica mariscala

Mes	Años				
	1986	1987	1988	1989	1990
Enero	5.94	1.59	2.46	2.04	1.6
Febrero	2.15	0.81	1.95	1.71	1.03
Marzo	0.97	1.98	1.39	1.07	1
Abril	3.1	0.88	0.5	0.45	0.99
Mayo	11.31	3.45	1.18	1.57	7.77
Junio	12.04	13.03	9.12	23.05	14.18
Julio	17.74	45.43	24.18	48.63	28.36
Agosto	10.58	19.4	13.69	49.74	10
Septiembre	10.87	25.02	41.87	34.57	22.76
Octubre	6.27	12.4	7.49	25.33	5.7
Noviembre	4.22	3.63	4.66	7.14	4.38
Diciembre	4.14	3.52	3.01	3.4	2.61
Total anual	89.33	131.14	111.5	198.7	100.38

Cuadro 21. Datos mensuales de producción de sedimentos para la estación hidrométrica Mariscala

Año	Mes	Mariscala (t ha ⁻¹)
1986	Enero	0.00
	Febrero	0.00
	Marzo	0.06
	Abril	0.67
	Mayo	1.64
	Junio	1.70
	Julio	3.00
	Agosto	0.54
	Septiembre	0.74
	Octubre	0.32
	Noviembre	0.04
	Diciembre	0.02
Total		8.72

4.3.3. Procedimiento para la calibración del modelo

Para la calibración del modelo en primer lugar se procedió con la calibración del modelo de crecimiento vegetativo, posteriormente se continuó con los

volúmenes de escurrimiento a nivel anual y mensual, y por último la producción de sedimentos.

El ajuste de parámetros se realizó de acuerdo con el manual del SWAT, el cual indica los parámetros de entrada que más afectan las salidas del modelo y su orden de importancia, se realizaron corridas con variaciones pequeñas no mayores al 10% del valor de cada parámetro. En el Cuadro 22 se reportan dichos parámetros que se ajustaron para la calibración y de los cuales el modelo resulta ser más sensible.

Cuadro 22. Parámetros ajustados para la calibración del modelo SWAT

Parámetro modificado	Significado	Parámetro de salida que modifica
BIO_E	Conversión de energía en biomasa	Producción de biomasa
HVSTI	Índice de cosecha	Producción de biomasa
BLAI	Índice de área foliar	Producción de biomasa
CN2	Curva numérica condición de humedad II	Escurrimiento superficial Escurrimiento Subsuperficial
SOL_AWC	Capacidad de agua disponible	Escurrimiento superficial
ESCO	Factor de compensación de la evaporación del suelo	Escurrimiento superficial
OV_N	Rugosidad de Manning para el flujo superficial	Escurrimiento superficial
GW_REVAP	Coeficiente del “revap” del agua subterránea	Flujo base
GWQMN	Profundidad del agua en el acuífero somero	Flujo base
USLE_P	Factor prácticas de labranza	Producción de sedimentos
USLE_C	Factor de manejo del cultivo	Producción de sedimentos
SLSUBBSN	Longitud de la pendiente para el escurrimiento superficial	Escurrimiento superficial Producción de sedimentos
SLSOIL	Longitud de la pendiente para el flujo lateral	Escurrimiento Subsuperficial Producción de sedimentos
CH_COV	Factor cobertura del cauce	Degradación y deposición en el cauce

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Delimitación de la cuenca

El modelo SWAT simula los escurrimientos y la producción de sedimentos a nivel de HRU en cada una de las subcuencas en que es dividida la cuenca. De la delimitación de la cuenca en el modelo, se obtuvo un área de 6,538.79 km² delimitada hasta la estación hidrométrica Mariscala, un total de 92 subcuencas y 1,075 unidades de respuesta hidrológica.

Las 92 subcuencas se obtuvieron considerando para el análisis una superficie de drenaje de 50 km², y para la definición de las HRU se utilizó el criterio de múltiples HRU para cada subcuenca. Esta opción genera todas las HRU posibles en cada subcuenca y además permite eliminar las HRU que cubren un porcentaje del área de la subcuenca inferior a un valor asignado. Para este caso se determinó un umbral del 5% tanto para tipo de suelo como de uso y vegetación, por lo tanto, todas las HRU deben representar una superficie mayor al 5% de la subcuenca a la cual corresponden. Con la aplicación de este criterio se obtuvieron un total de 1,075 unidades de respuesta hidrológica dentro de la cuenca, Figura 13.

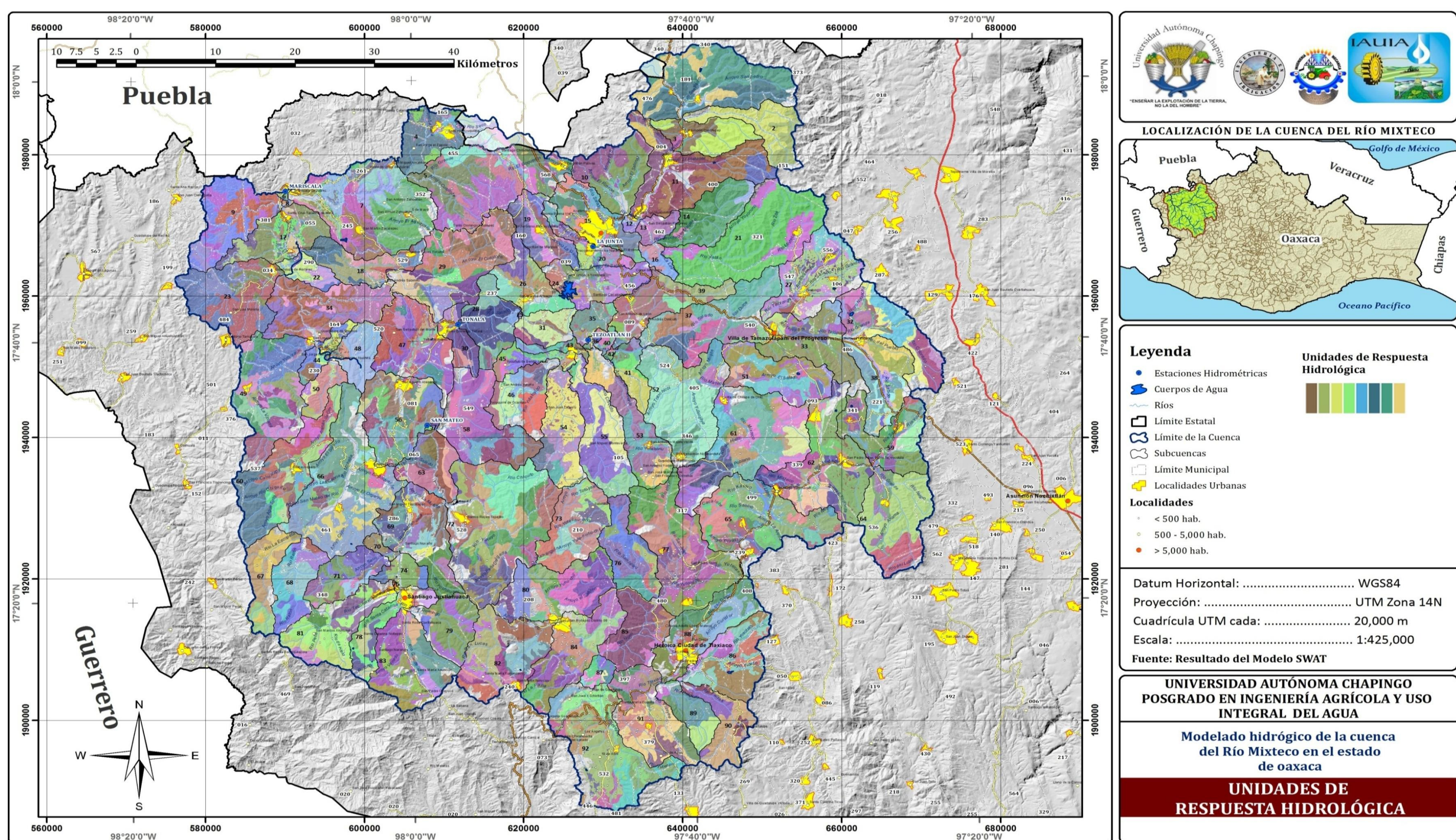


Figura 13. Unidades de Respuesta hidrológica

5.2. Producción de biomasa

Para la calibración de la producción de biomasa el modelo resultó ser más sensible a los parámetros fisiotécnicos de conversión de energía en biomasa (BIO_E), índice de área foliar (BLAI) y en menor medida el índice de cosecha (HVSTI).

En el Cuadro 23 se muestran los valores medios de biomasa simulada por el modelo SWAT, para el uso de suelo y vegetación (INEGI, Serie II) reportados para la cuenca del Río Mixteco.

Cuadro 23. Comparación entre biomasa esperada y simulada

No.	Uso de suelo y vegetación	Clave	Biomasa (t MS ha ⁻¹ año ⁻¹)			Biomasa (t MS ha ⁻¹ año ⁻¹)
			Mínimo	Promedio	Máximo	Modelo
1	Agricultura de riego	RIEG	7	8.5	10	6.79
2	Agricultura de temporal	TEMP	3	4.5	6	6.48
3	Bosque de encino	BENC	10	11	12	11.41
4	Bosque de encino-pino	ENPI	11	12	13	12.32
5	Bosque de pino	PINO	13	14	15	17.78
6	Bosque de pino-encino	PIEN	12	13	14	13.6
7	Bosque de táscate	RNGB	8	9	10	7.71
8	Bosque mesófilo de montaña	FRSE	14	16	18	15.64
9	Chaparral	MATO	5	6	7	11.95
11	Palmar inducido	RNGB	6	7	8	7.71
12	Pastizal inducido	PASI	3	4	5	3.21
13	Selva baja caducifolia	FRSD	5	7	9	8.52

En la Figura 14 se puede observar que para las asociaciones vegetales de bosque de pino (PINO) y chaparral (MATO) el modelo sobrestima la producción de biomasa mínima, media y máxima esperada, caso contrario para la asociaciones de bosque de táscate (RNGB) y agricultura de riego (RIEG) donde

subestima la producción de biomasa. En el resto de las asociaciones de vegetación los valores de biomasa estimados con el modelo se encuentran dentro del rango mínimo y máximo esperado. De las trece asociaciones vegetales es el chaparral al que menos se ajusta el modelo seguido del bosque de pino.

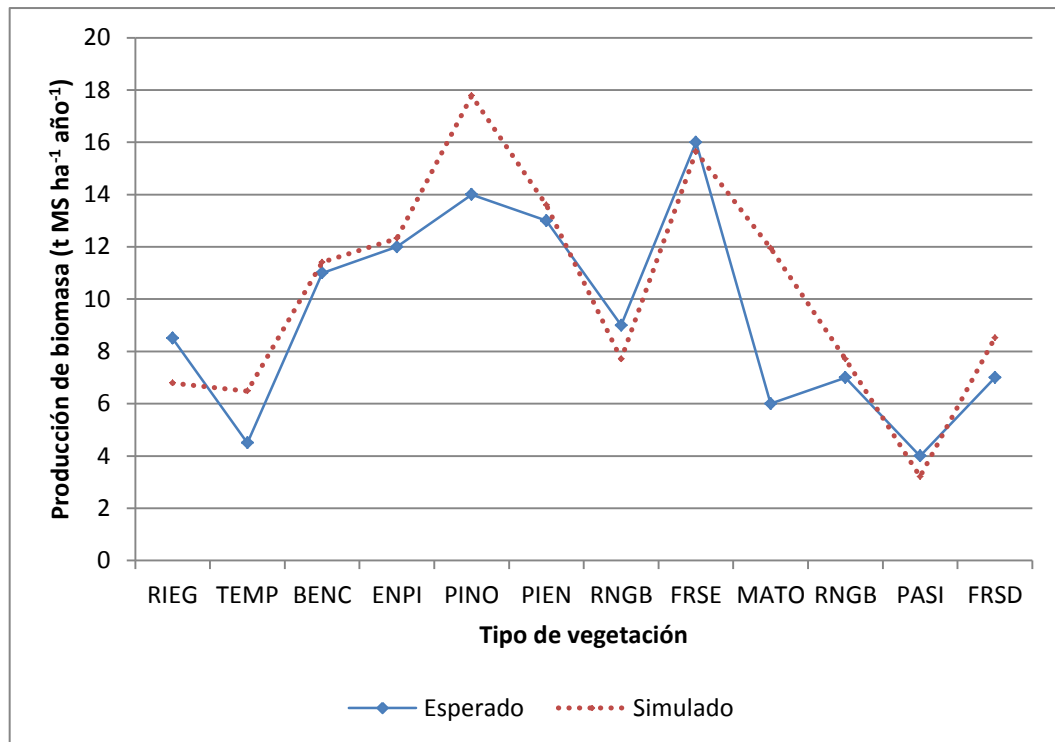


Figura 14. Producción de biomasa de las asociaciones vegetales presentes en la cuenca del Río Mixteco

La Figura 15 presenta el análisis de regresión con los datos esperados y simulados. La pendiente de la recta y el coeficiente de determinación r^2 indican que la producción de biomasa simulada por el modelo se compara favorablemente con los datos esperados, con valores de 1.0779 y 0.7207 para

la pendiente de la recta y r^2 respectivamente, los cuales son considerados como aceptables. En general se puede concluir que el modelo sobreestimó la producción de biomasa de las diferentes asociaciones vegetales.

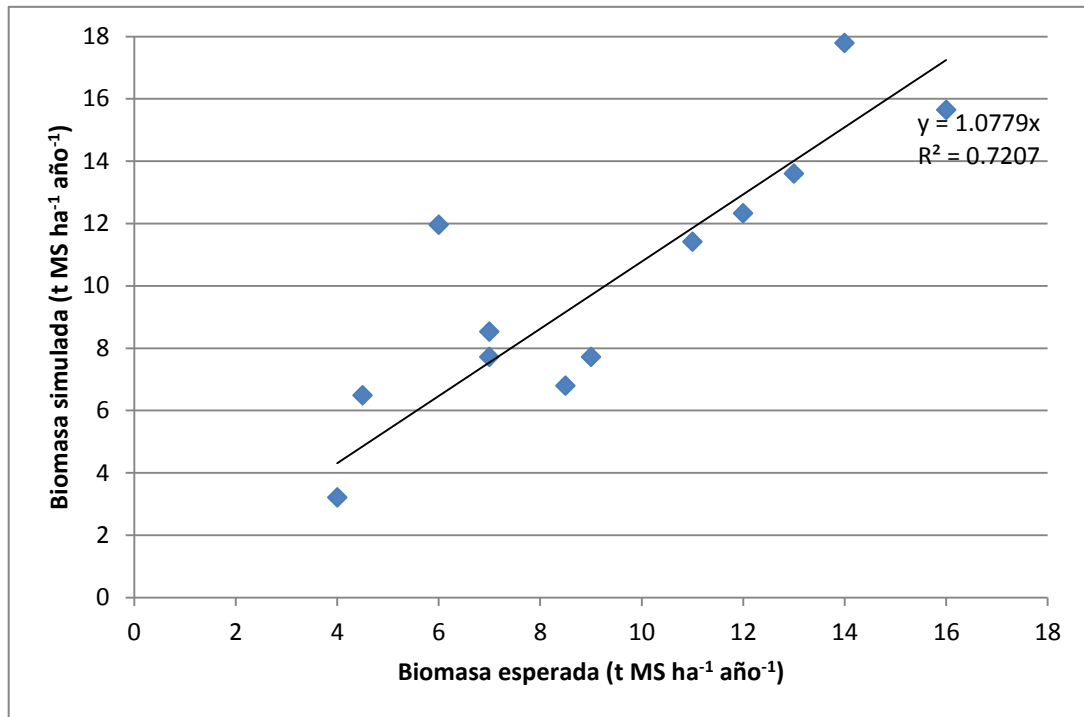
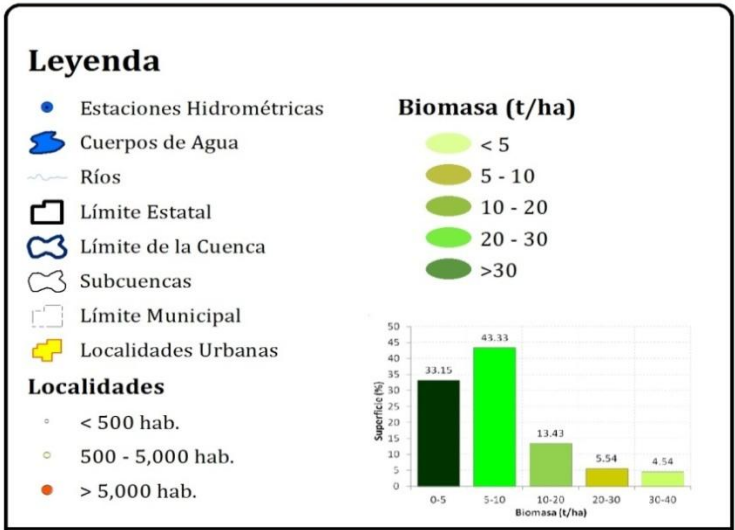
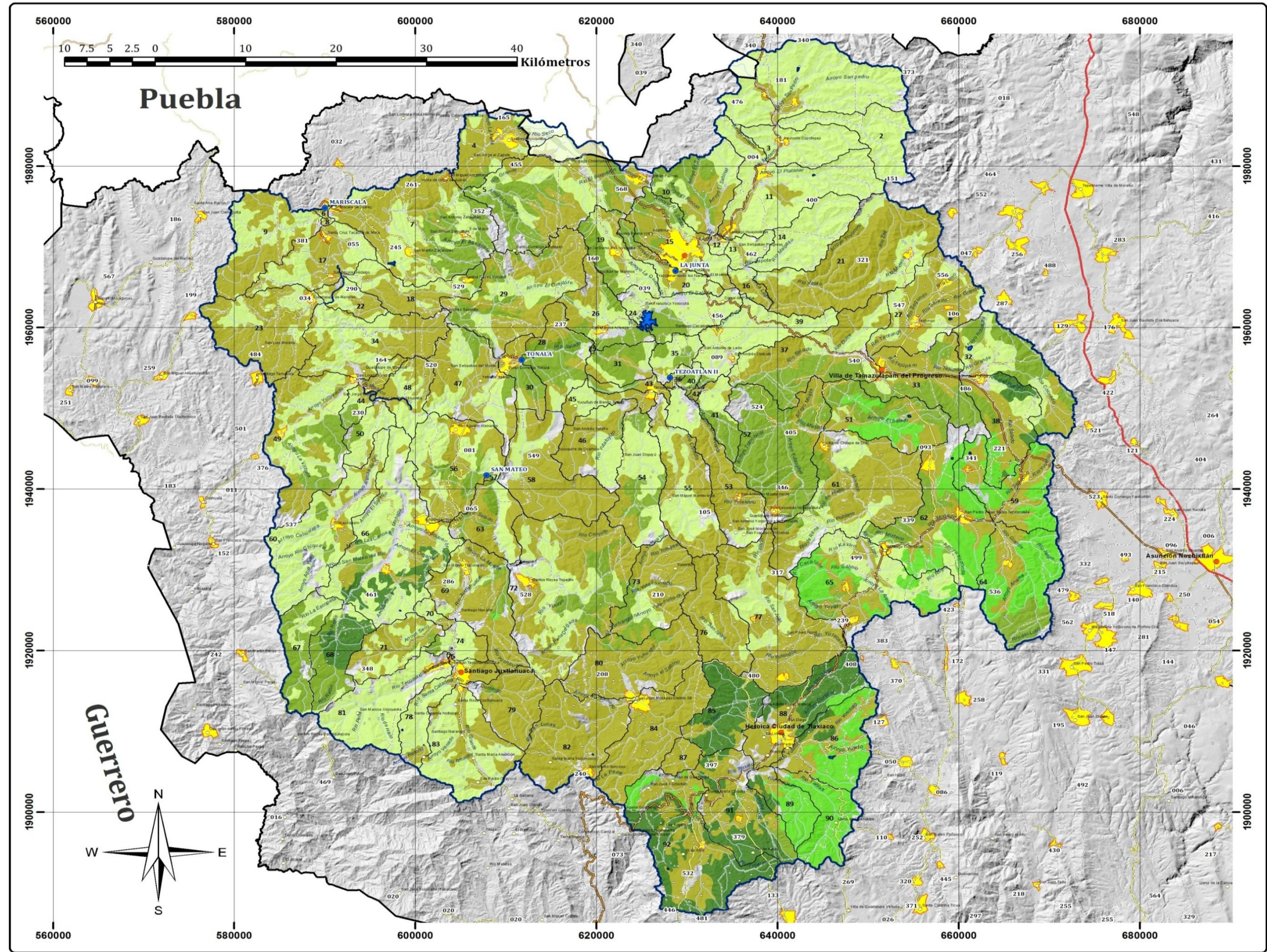


Figura 15. Comparación entre biomasa esperada y biomasa simulada por el modelo SWAT

En la Figura 16 se presenta la distribución espacial de la producción de biomasa dentro de la cuenca, encontrando un rango de 5 a 10 t MS ha⁻¹ año⁻¹ donde se concentra casi el 50% de los valores de producción de biomasa.



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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Modelado hidrónico de la cuenca del Río Mixteco en el estado de Oaxaca

BIOMASA (t/ha)

Figura 16. Producción de biomasa en la cuenca del Río Mixteco

5.3. Producción de escurrimientos para el periodo de calibración

Como ya se había mencionado anteriormente la calibración de los escurrimientos se realizó en primer lugar a nivel anual, posteriormente a nivel mensual como lo establece el manual del usuario del modelo SWAT. El parámetro de curva numérica para la condición de humedad II (CN2) resulto ser el más sensible para la calibración de los escurrimientos, seguido de la longitud de la pendiente para el escurrimiento superficial (SLSUBBSN), otros parámetros que influyen pero en menor medida son la capacidad de agua disponible (SOL_AWC), y la profundidad del agua en el acuífero somero (GWQMN). A continuación se presentan los resultados de las simulaciones realizadas una vez ya calibrado el modelo.

5.3.1. Producción de escurrimientos a nivel anual

El periodo de calibración se realizó de 1986 a 1988, en el Cuadro 24 se reportan los escurrimientos medidos en la estación hidrométrica Mariscala y los simulados por el modelo SWAT a nivel anual.

Cuadro 24. Comparacion entre el escurrimiento medido y el simulado por el modelo SWAT

	Año		
	1986	1987	1988
Medido (mm)	89.33	131.14	111.50
Simulado (mm)	91.91	130.90	104.03

La Figura 17 representa la dinámica y magnitud de la producción de agua a nivel anual de los valores medidos y simulado por modelo SWAT. En el gráfico

se puede apreciar que los valores simulados tienen la misma tendencia a los valores medidos, en el año de 1988 se presenta la mayor variación entre el escurrimiento medido y el simulado por el modelo.

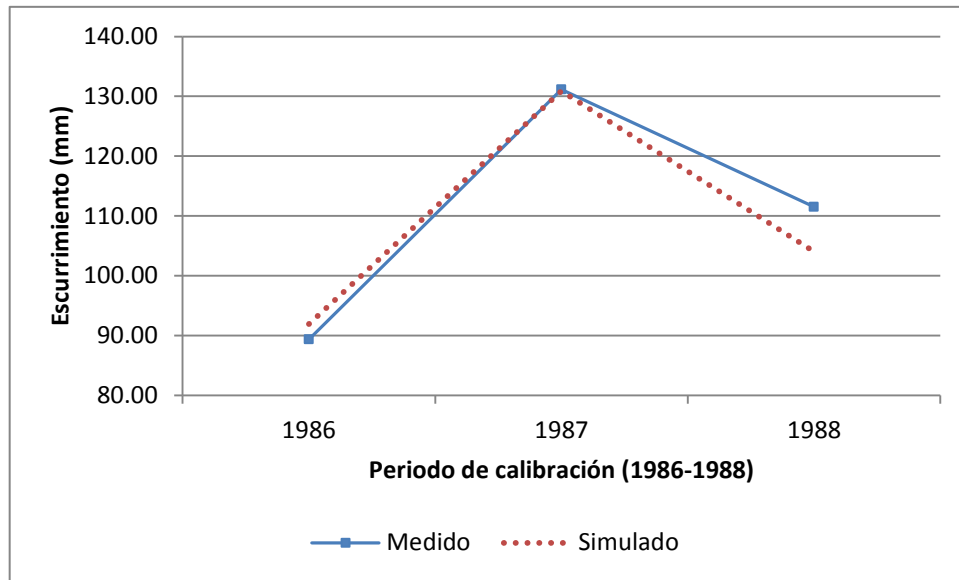


Figura 17. Dinámica de producción de agua medida y simulada con el modelo SWAT a nivel anual

En la Figura 18 se presenta el análisis de regresión entre los datos medidos y simulados por el modelo. El valor de r^2 y la pendiente de la recta indican que la producción de agua simulada por el modelo se compara favorablemente con los datos medidos en la estación hidrométrica, con valores de 0.9349 y 0.9831 para el coeficiente de determinación y pendiente de la recta respectivamente, los cuales son considerados como aceptables, el valor de la pendiente de recta indica que el modelo subestima ligeramente los escurrimientos dentro de la cuenca.

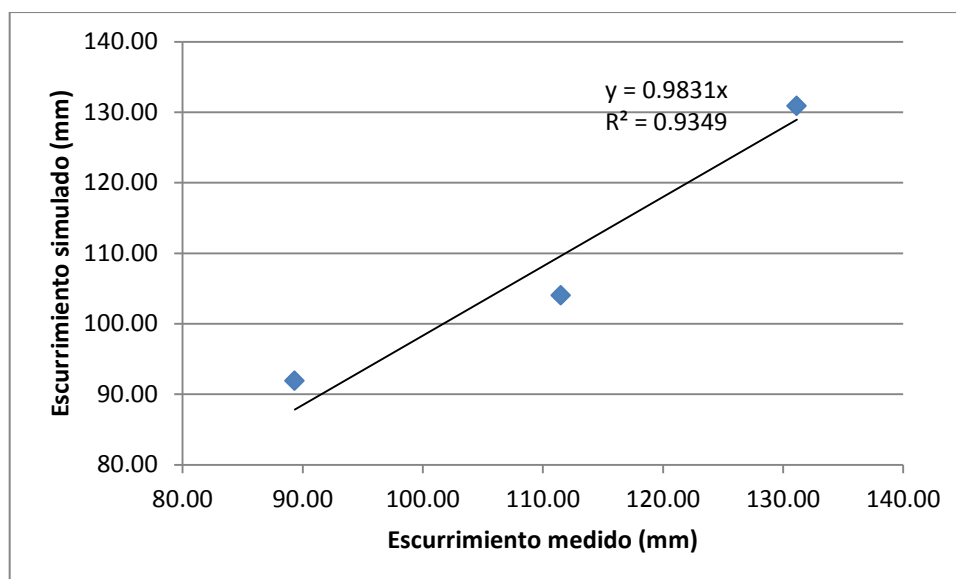


Figura 18. Comparación entre el escurrimiento medido y simulado por el modelo SWAT a nivel anual

5.3.2. Producción de escurrimientos a nivel mensual

En el Cuadro 25 se presentan los valores de escurrimientos a nivel mensual medidos en la estación hidrométrica Mariscala y los simulados por el modelo SWAT para el periodo de calibración.

Cuadro 25. Comparación entre escurrimientos medidos y simulados con el modelo SWAT (1986-1988)

Mes		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
	Año	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Mariscala	1986	5.94	2.15	0.97	3.10	11.31	12.04	17.74	10.58	10.87	6.27	4.22	4.14	89.33
Simulado	1986	0.01	1.4	0.22	3.97	15.61	15.83	17.78	13.51	12.56	7.93	1.31	1.78	91.91
Mariscala	1987	1.59	0.81	1.98	0.88	3.45	13.03	45.43	19.40	25.02	12.40	3.63	3.52	131.14
Simulado	1987	0.46	0.1	1.34	1.8	7.59	26.85	38.68	11.47	30.01	8.94	2.63	1.03	130.90
Mariscala	1988	2.46	1.95	1.39	0.50	1.18	9.12	24.18	13.69	41.87	7.49	4.66	3.01	111.50
Simulado	1988	0.62	0.22	0.32	0.26	2.71	18.39	23.11	17.5	32.25	6.14	1.81	0.7	104.03

La Figura 19 muestra la variación de los escurrimientos a nivel mensual tanto medidos como simulados por el modelo SWAT. En general se observa que los valores mensuales simulados son similares a los aforados en la estación hidrométrica, a pesar de que existen pequeñas desviaciones entre los valores observados y simulados es consistente que el modelo tienda a subestimar los escurrimientos mensuales de poca magnitud.

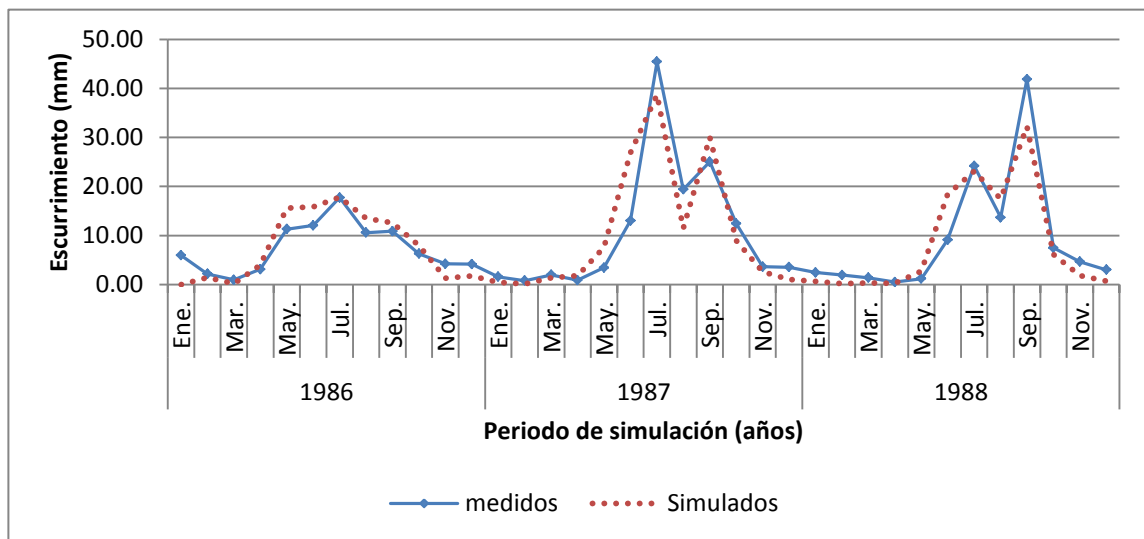


Figura 19. Dinámica de producción de agua medida y simulada con el modelo SWAT a nivel mensual

La Figura 20, presenta el análisis de regresión para los datos medidos y simulados de escurrimientos a nivel mensual. La pendiente de la recta y r^2 indican que la producción de agua simulada se compara favorablemente con los datos aforados, con valores de 0.8337 y 0.9391 para el coeficiente de determinación y pendiente de la recta respectivamente, los cuales son considerados como aceptables. El valor de la pendiente de la recta indica que el modelo subestima los escurrimientos dentro de la cuenca.

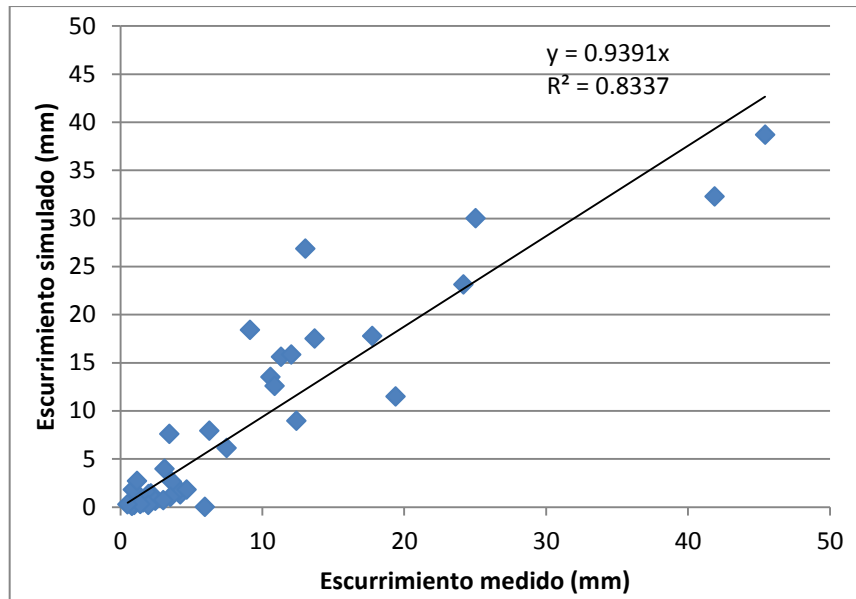
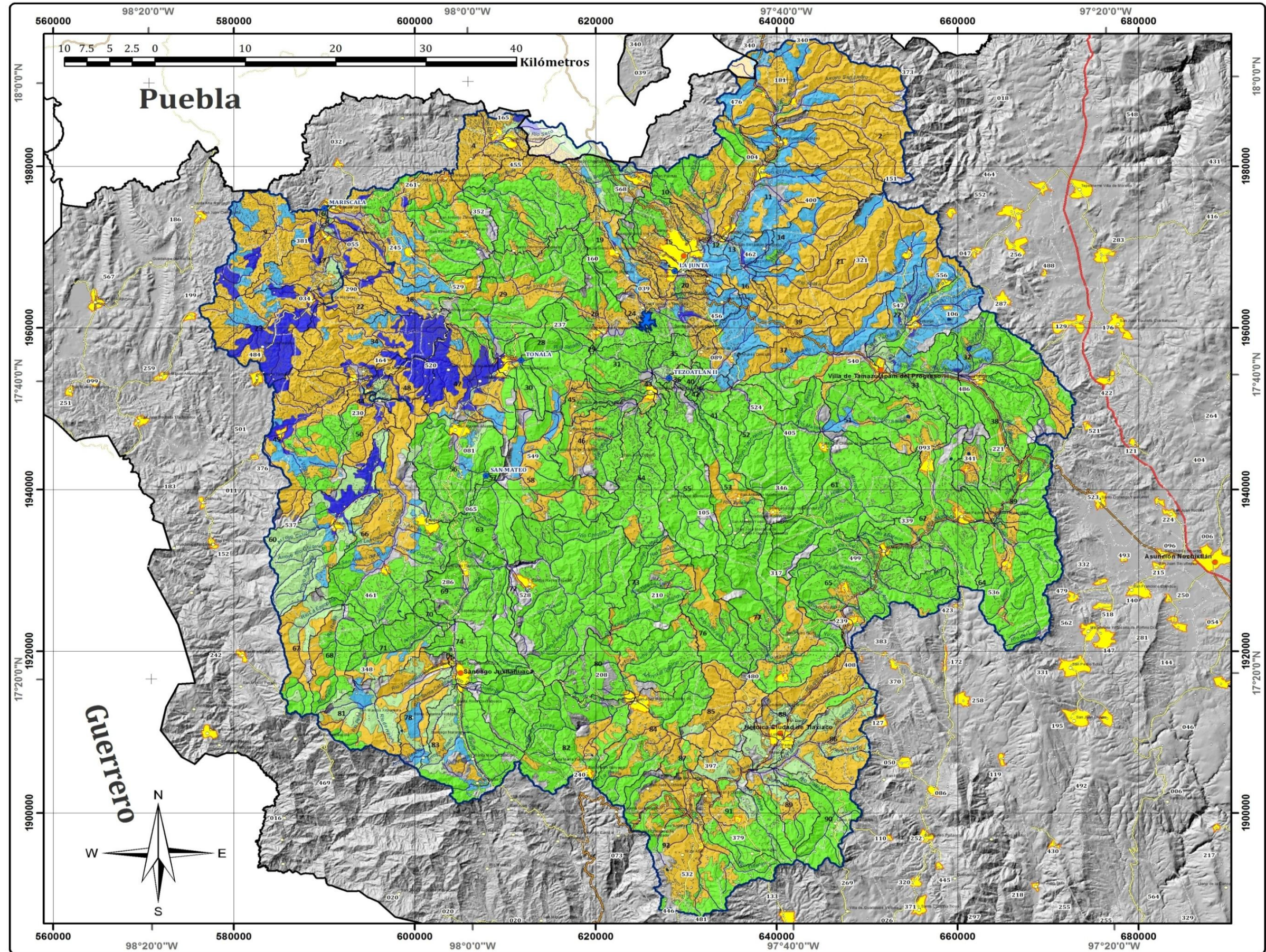


Figura 20. Comparación mensual entre escurrimientos medidos y simulados, estación hidrométrica Mariscal

De acuerdo con los datos reportados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a nivel nacional se tiene un coeficiente de escurrimiento promedio de 0.23, y para la Región Hidrológica 18 (Balsas) a cual corresponde la cuenca, reporta un valor de 0.22.

Con los valores de escurrimientos simulados se calcularon los valores de coeficientes de escurrimiento para cada una de las HRU identificadas en la cuenca (Figura 21), y se obtuvo un coeficiente de escurrimiento ponderado para toda la cuenca de 0.07 y un valor promedio de 0.1, ambos muy por debajo de los valores reportados por la CONAGUA. Del total de la superficie de la cuenca solo el 8.86 % presentan coeficientes de escurrimiento mayores a la media nacional.








LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MIXTECO



Leyenda

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

Localidades

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

Unidades de Respuesta Hidrológica

Coefficientes de Escurrimiento

Coefficiente de Escurrimiento	Superficie (km²)
< 0.05	51.92
0.05 - 0.10	32.05
0.10 - 0.20	5.40
0.20 - 0.30	7.32
> 0.30	4.32

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Modelado hidrológico de la cuenca del Río Mixteco en el estado de Oaxaca

COEFICIENTES DE ESCRURRIMIENTO

Figura 21. Coeficientes de escurrimiento de las HRU presentes en la cuenca del Río Mixteco

5.4. Producción de sedimentos

Para la calibración de sedimentos se usó el único año de información registrada en la cuenca (1986). Para las condiciones específicas de la cuenca en estudio el modelo resultó ser más sensible al parámetro de factor de prácticas mecánicas (USLE_P) para la calibración de los sedimentos, debido a que las áreas agrícolas de temporal y riego representan el 20% de la superficie de la cuenca, además esta superficie genera la mayor cantidad de pérdida de suelo, el parámetro que le sigue en importancia es el factor de manejo de cultivo (USLE_C) y por último en menor medida la longitud de la pendiente para el flujo lateral (SLSOIL).

Del análisis de los aforos de sedimentos en la estación hidrométrica de Mariscala, se observó que en el mes de julio de 1986 se reportó un valor de alta magnitud que no concuerda con los niveles de escurrimiento y precipitación registrados, sin embargo la producción de sedimentos observados y simulados a nivel anual son muy similares (Cuadro 26).

Cuadro 26. Comparación mensual de sedimentos medidos y simulados

Año	Mes	Medidos en la estación Mariscala (t ha⁻¹)	Simulado (t ha⁻¹)
1986	Enero	0.00	0.00
	Febrero	0.00	0.16
	Marzo	0.06	0.00
	Abril	0.67	0.15
	Mayo	1.64	1.94
	Junio	1.70	1.83
	Julio	3.00*	1.19
	Agosto	0.54	0.62
	Septiembre	0.74	1.51

Año	Mes	Medidos en la estación	Simulado (t ha ⁻¹)
	Octubre	0.32	1.39
	Noviembre	0.04	0.00
	Diciembre	0.02	0.00
Total		8.72	8.79

*Dato dudoso

El comportamiento de los sedimentos medidos y simulados por el modelo a nivel mensual para el año de 1986, muestra que en los meses lluviosos existe una sobreestimación del modelo y solo en algunos meses los sedimentos simulados son más bajos que los medidos.

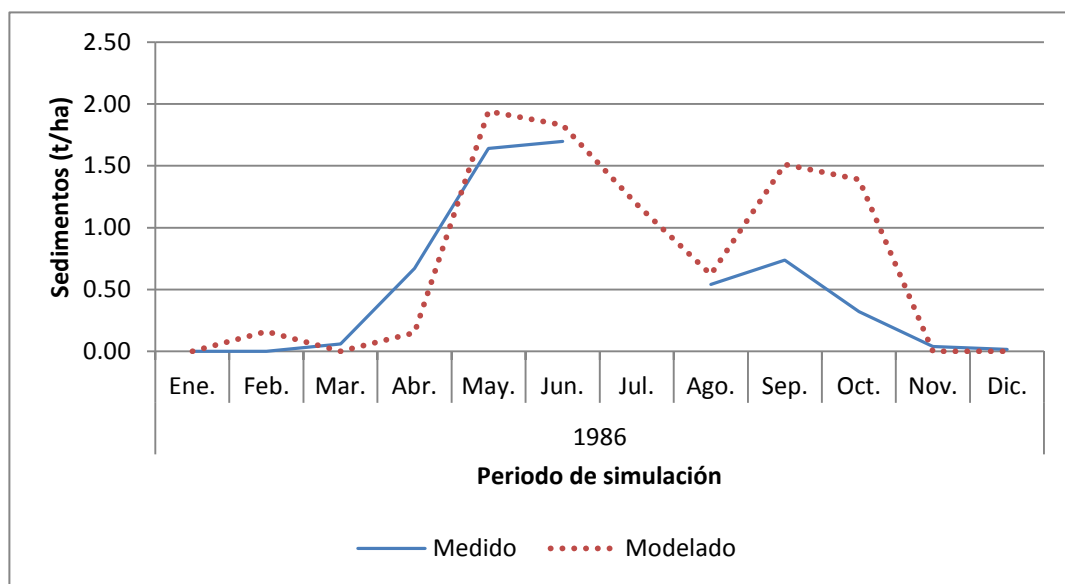


Figura 22. Dinámica de producción de sedimentos medidos y simulados con el modelo SWAT a nivel mensual

Los datos de sedimentos medidos y simulados con el modelo, a nivel mensual fueron graficados y se encontró que se ajustan a un modelo de regresión lineal con un coeficiente de determinación de 0.70 que indica que existe una buena correlación entre la producción de sedimentos simulada con los datos medidos

aunque con un menor grado de predicción y correlación que se obtuvo con los escurrimientos mensuales previamente discutidos.

La pendiente de la recta del modelo lineal de predicción de 1.1895 indica que el modelo sobreestima la producción de sedimentos. Cabe señalar que para este análisis de regresión se omitió el dato correspondiente al mes de julio por ser considerado como dudoso, por tal razón se obtuvo un valor aceptable de r^2 .

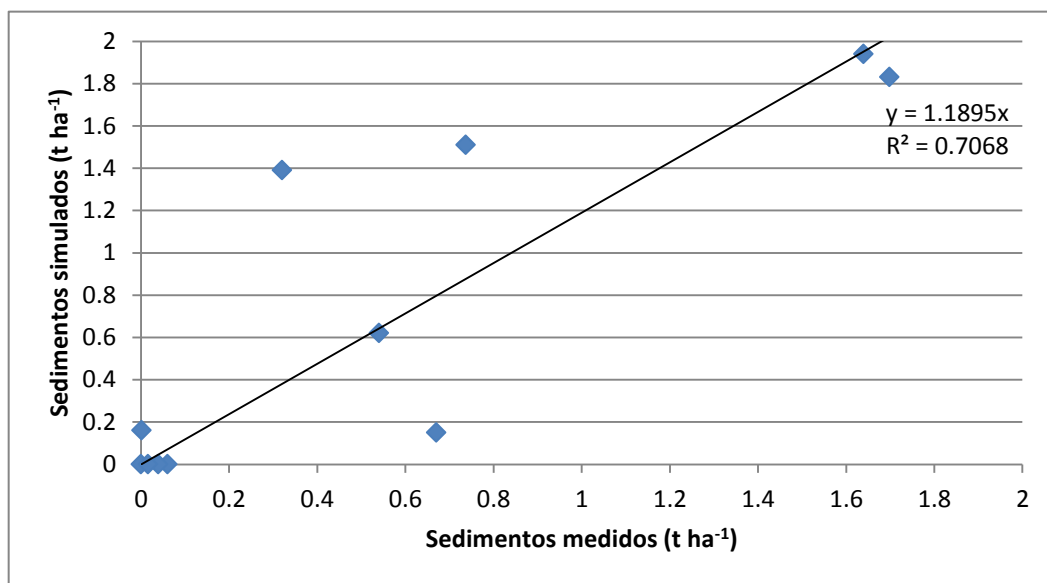


Figura 23. Comparación mensual entre sedimentos medidos y simulados, estación hidrométrica Mariscal

5.5. Balance general de la calibración del modelo

La calibración del modelo SWAT se realizó por un periodo de tres años consecutivos y consistió en realizar un ajuste de parámetros para la estimación de biomasa, escurrimientos y sedimentos. Para medir la bondad del ajuste en un análisis de regresión, se considera un ajuste perfecto cuando la pendiente de la regresión y el coeficiente de determinación (r^2) son igual a 1. En la

correlación lineal simple, una pendiente menor a 1, indica que el modelo está subestimando, por el contrario, valores mayores a 1 nos revela que la simulación está sobreestimando.

Para la calibración de la biomasa se ajustaron satisfactoriamente los parámetros correspondientes obteniéndose así una calibración satisfactoria lo que se refleja en la comparación favorable entre los datos medidos y simulados.

Con respecto a la producción de escurrimientos y sedimentos en el Cuadro 27 se resumen los valores de los coeficientes de validación y verificación. En este mismo cuadro, se incluye el índice de Nash y Sutcliffe, el cual indica la eficiencia de predicción del modelo y produce resultados menores o iguales a la unidad. Cuando el índice es igual a 1 indica un ajuste perfecto, si es cero el error es del mismo orden de magnitud que la varianza de los datos observados por lo que la media de los datos observados tendrá una capacidad de predicción similar al modelo. Valores inferiores a cero indican que la media tiene una capacidad de predicción más alta que el modelo, lo que implica que el modelo es muy malo para la predicción de las variables en estudio.

Para este caso los valores de este índice se asemejan a los obtenidos en la validación del modelo SWAT, en la estación G Riesel, Texas del ARS de los Estados Unidos, por lo tanto se puede concluir nuevamente que el modelo fue calibrado satisfactoriamente.

Cuadro 27. Resumen de los coeficientes de validación y verificación del modelo SWAT

	Desv. Est. Medida	Desv. Est. Simulada	r^2	Pendiente de la regresión	Índice de Nash y Sutcliffe
Anual					
Producción de agua (mm)	17.08	16.29	0.9349	0.9831	0.93
Mensual					
Producción de agua (mm)	10.57	10.46	0.8337	0.9391	0.83
Producción de sedimentos (mm)	0.90	0.75	0.7078	1.1895	0.76

En forma general se observa en el Cuadro 27 que el modelo presenta un mejor ajuste a nivel anual que a nivel mensual en la producción de escurrimientos, lo cual es congruente con lo reportado por la literatura.

5.6. Validación del modelo SWAT

La validación del modelo se realizó únicamente para la producción de escurrimientos ya que es la única variable que cuenta con datos para poder ser validada.

Para cuantificar el nivel de certeza con que simula el modelo SWAT la producción de agua se validaron los parámetros calibrados (sin ningún tipo de ajuste adicional) usando datos hidrométricos de escurrimiento por un periodo adicional de dos años consecutivos.

5.6.1. Validación de los escurrimientos a nivel anual

En el Cuadro 28 se muestran los valores medidos y simulados por el modelo tanto para el periodo de calibración como el de validación, se observa que el

año de 1989 existe cierta incongruencia en los datos medidos en la estación hidrométrica razón por la cual, la calidad de los datos dificulta realizar una validación satisfactoria del modelo.

Cuadro 28. Comparación entre escurrimientos medidos y simulados con SWAT para el periodo de calibración y validación (1986-1990)

Mes		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
	Año	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Mariscala	1986	5.94	2.15	0.97	3.10	11.31	12.04	17.74	10.58	10.87	6.27	4.22	4.14	89.33
Simulado	1986	0.01	1.4	0.22	3.97	15.61	15.83	17.78	13.51	12.56	7.93	1.31	1.78	91.91
Mariscala	1987	1.59	0.81	1.98	0.88	3.45	13.03	45.43	19.40	25.02	12.40	3.63	3.52	131.14
Simulado	1987	0.46	0.1	1.34	1.8	7.59	26.85	38.68	11.47	30.01	8.94	2.63	1.03	130.90
Mariscala	1988	2.46	1.95	1.39	0.50	1.18	9.12	24.18	13.69	41.87	7.49	4.66	3.01	111.50
Simulado	1988	0.62	0.22	0.32	0.26	2.71	18.39	23.11	17.5	32.25	6.14	1.81	0.7	104.03
Mariscala	1989	2.04	1.71	1.07	0.45	1.57	23.05	48.63*	49.74	34.57*	25.33*	7.14	3.40	198.70*
Simulado	1989	0.27	0.12	0.14	1.15	4.39	15.58	5.46	30.66	9.53	7.96	10.6	3.8	89.66
Mariscala	1990	1.60	1.03	1.00	0.99	7.77	14.18	28.36	10.00	22.76	5.70	4.38	2.61	100.38
Simulado	1990	0.51	0.83	1.11	2.07	6.9	10.99	27.58	11.65	18.98	10.29	3.15	0.97	95.03

*Dato dudoso

Para demostrar la incongruencia de estos datos, en la Figura 24 se puede observar la dinámica de precipitación y los escurrimientos dentro de la cuenca a nivel mensual para el periodo de calibración y validación. Se observa que el año de 1989 es el único donde el comportamiento de los escurrimientos no conserva la misma tendencia aleatoria de la precipitación, es más para el mes de julio se reporta un valor de escurrimiento mayor al de la precipitación algo imposible de suceder, por tal razón la validación a nivel anual se excluye este año para su análisis y para la validación a nivel mensual no se consideraran los

datos correspondientes a los meses de julio, septiembre y octubre para un mejor análisis.

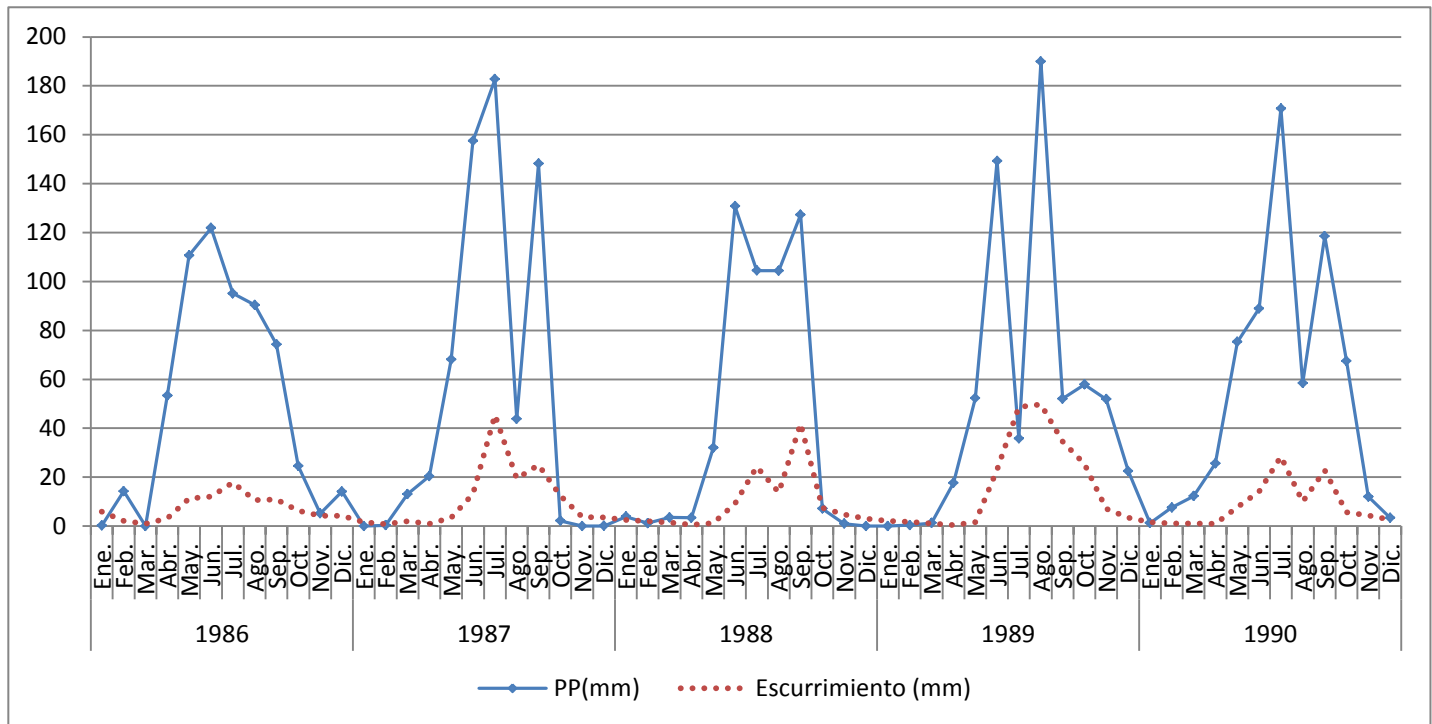


Figura 24. Comparación entre la precipitación observada en la cuenca y los escurrimientos medidos

La Figura 25 presenta el análisis de regresión con los datos de escurrimientos medidos y simulado para el periodo de calibración y validación a nivel anual. Los coeficientes de la pendiente de la recta y coeficiente de correlación r^2 0.9337 y 0.9754 respectivamente, indican que los valores simulados por el modelo se comparan favorablemente con los datos medidos en la estación hidrométrica.

Se obtuvo un valor de 0.90 para el índice Nash y Sutcliffe el cual indica un ajuste aceptable de los datos simulados con respecto a los medidos.

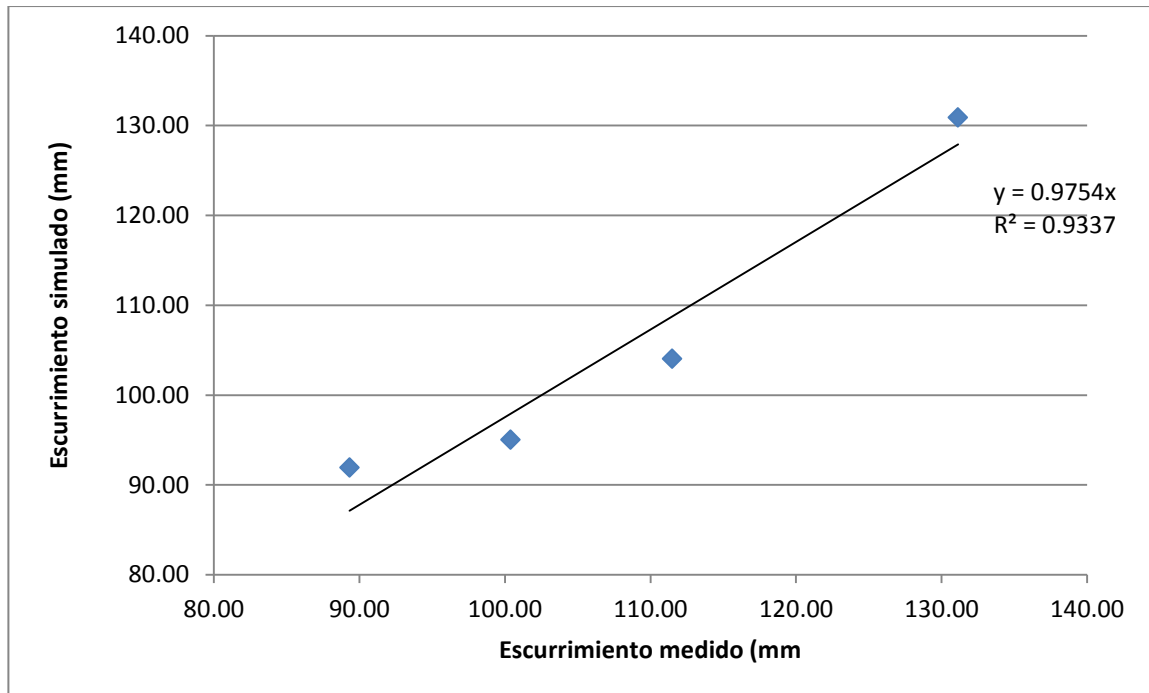


Figura 25. Comparación entre el escurrimiento medido y simulado por el modelo SWAT a nivel anual para el periodo de calibración y validación

5.6.2. Validación de los escurrimientos a nivel mensual

En la Figura 26 se presenta la dinámica de los escurrimientos medidos y simulados por el modelo a nivel mensual para el periodo de calibración y validación. Se puede observar que 4 de los 5 años analizados, los valores de escurrimientos simulados siguen la misma tendencia de los valores medidos, a excepción del año de 1989, el cual presenta algunas incongruencias en los datos medidos; por tal razón, se omiten los datos de algunos meses como ya se había especificado anteriormente.

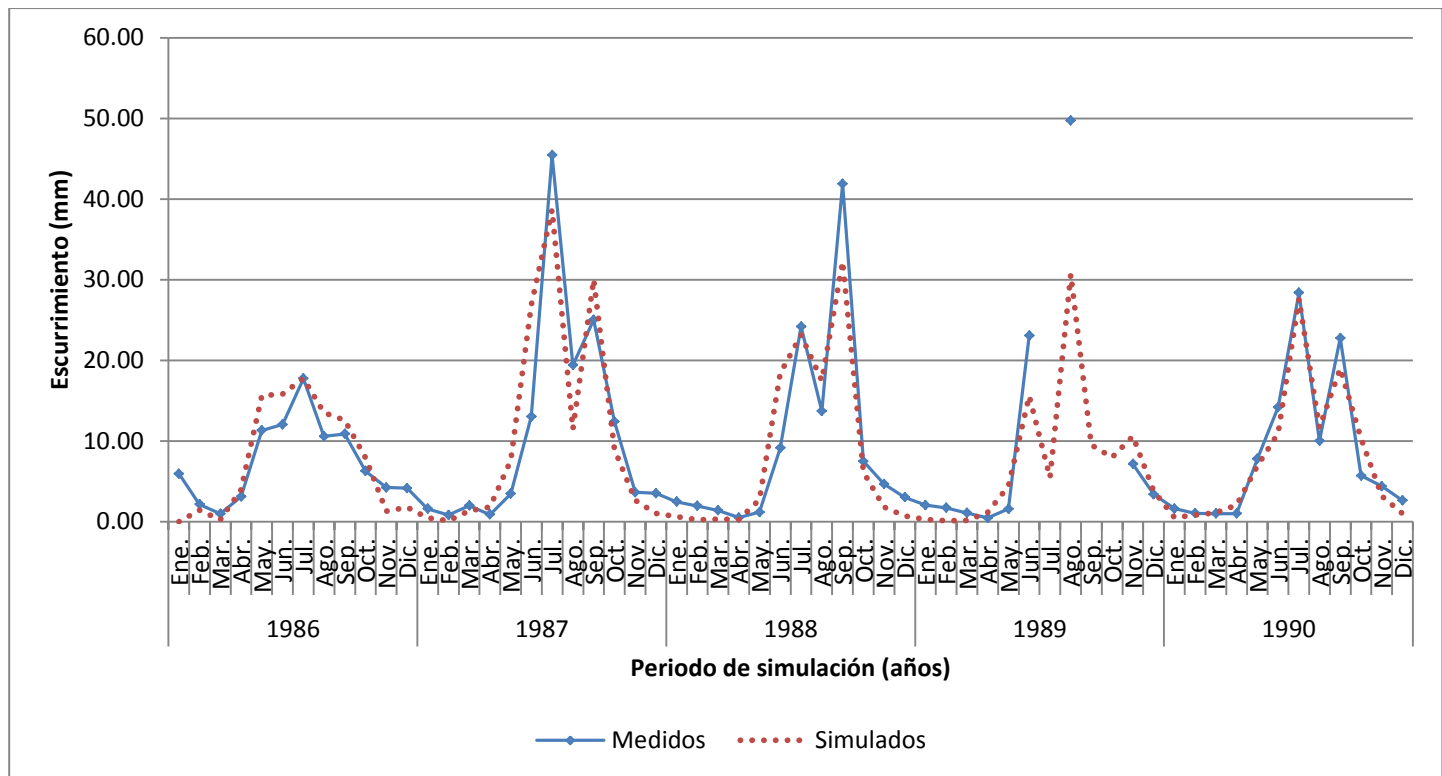


Figura 26. Dinámica de los escurrimientos medidos y simulados por el modelo a nivel mensual para el periodo de calibración y validación

La regresión lineal de los escurrimientos medidos y simulados por el modelo a nivel mensual para el periodo de calibración y validación se presenta en la Figura 27, esta muestra que los escurrimientos se comparan favorablemente con valores de 0.8295 y 0.8609 para el coeficiente de determinación r^2 y pendiente de la recta respectivamente. En general el modelo tiende a subestimar los valores de escurrimientos caso contrario a la producción de sedimentos donde sobreestima los valores.

El índice de Nash y Sutcliffe para este caso fue de 0.79, un valor aceptable ya que se ubica dentro de los límites permisibles por la literatura.

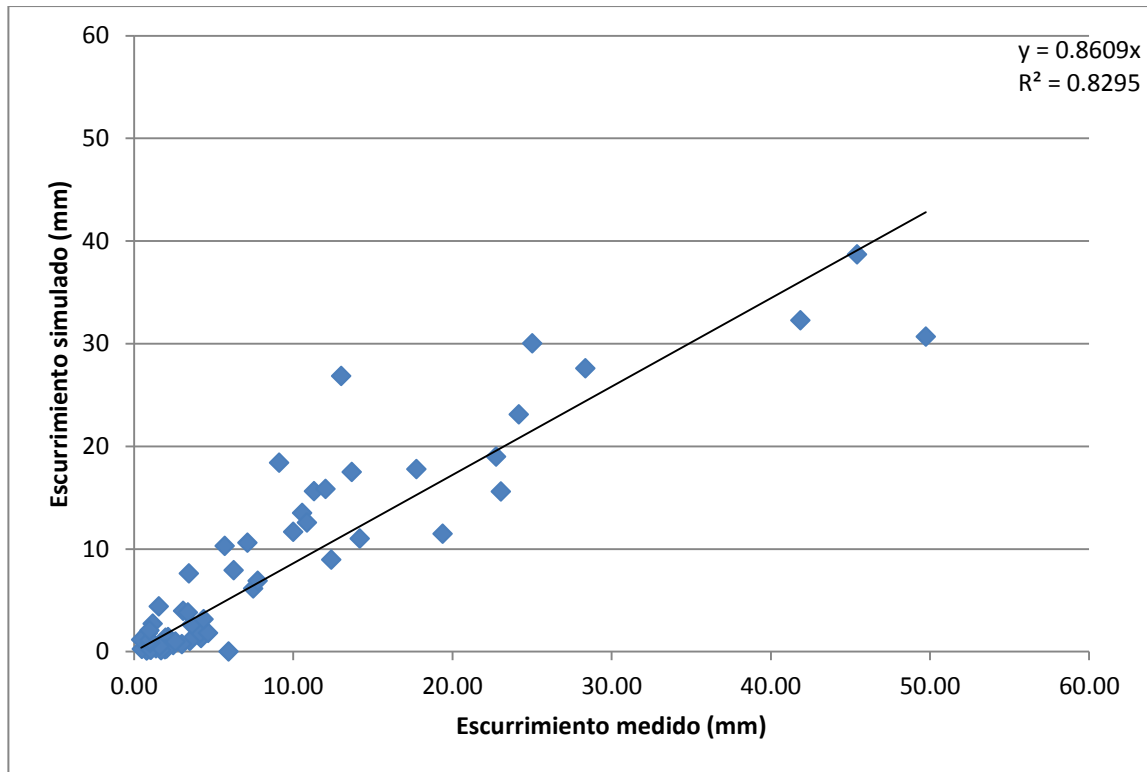


Figura 27. Comparación entre el escurrimiento medido y simulado por el modelo SWAT a nivel mensual para el periodo de calibración y validación

A pesar de la mala calidad de los datos podemos concluir que en general la validación del modelo se realizó satisfactoriamente, obteniéndose valores de los coeficientes de determinación, pendiente de la recta y el índice de Nash y Sutcliffe dentro de los límites permisibles por la literatura. Desafortunadamente por la poca disponibilidad de datos tanto climatológicos como hidrométricos no fue posible validar el modelo para otro periodo de tiempo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En términos de las producciones agua, sedimentos y biomasa el modelo SWAT fue calibrado y validado satisfactoriamente para la cuenca del Río Mixteco por lo tanto, su aplicación en subcuencas presentes en la cuenca del Río Mixteco es ampliamente recomendable.

El modelo de crecimiento vegetativo fue calibrado satisfactoriamente, lo cual permite una buena estimación de producción de biomasa de las diferentes asociaciones vegetativas con un ajuste favorable entre los datos simulados y los esperados.

La dinámica y magnitud de producción de escurrimientos tanto a nivel anual como mensual fueron estimados por el modelo SWAT con precisión aceptable, obteniéndose valores de $r^2 = 0.93$ para el periodo de calibración y validación a nivel anual y valores de $r^2 = 0.83$ para el periodo de calibración y r^2 de 0.82 en la validación a nivel mensual.

El modelo SWAT permite estimar en forma aceptable la producción de sedimentos en la cuenca del Río Mixteco, aunque en menor grado comparado con la producción de escurrimientos. Se considera satisfactoria su aplicación por que presenta un r^2 de 0.70 el cual se ubica dentro de los límites recomendados por la literatura.

En forma general el modelo SWAT subestimó la producción de escurrimientos en un 6% y sobreestimo la producción de sedimentos en un 11.5%.

6.2. Recomendaciones

El modelo SWAT es altamente recomendable para la modelación de escurrimientos, producción de sedimentos y biomasa dentro de las cuencas, por lo tanto se recomienda su uso para la planeación, evaluación y conservación de los recursos suelo, agua y vegetación.

Para la aplicación del modelo SWAT en cuencas con superficies grandes, es necesario en primer lugar cerciorarse sobre la disponibilidad y calidad de los datos meteorológicos e hidrométricos disponibles, con la finalidad de obtener resultados satisfactorios.

A las instituciones gubernamentales responsables de la medición de las variables meteorológicas e hidrológicas dentro de las cuencas, se les exorta continuar con esta actividad, y además de capacitar al personal encargado de realizar la medición con la finalidad de obtener datos confiables con los cuales se pueda realizar estudios similares en el futuro.

7. LITERATURA CITADA

- Aguirre, 2011. La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. REDESMA, Vol. 5(1). Págs. 10-19.
- CNA, 1992. Ley de Aguas Nacionales y su reglamento. Comisión Nacional del Agua. México.
- Bedient, P.B., W.C. Huber, and, B.E. Vieux., 2012. Hydrology and Floodplain Analysis. Chapter 5: Hydrologic Simulation Models. Ed. Pearson 801 p. Upper Saddle River, NJ.U.S.
- Dixon, B., Earls, J., 2012. Effects of urbanization on streamflow using SWAT with real and simulated meteorological data. Applied Geography 35: 174-190.
- Figueroa-Jáuregui, L., Ibáñez Castillo L.A., Arteaga-Ramírez R., Arellano-Monterrosas J.L., Vázquez-Peña, Mario. 2011. Cambio de uso de suelo en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, México. Agrociencia, Vol. 45, #5. Págs. 531-544.
- Green, W.H. and G.A. Ampt. 1911. Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. Journal of Agricultural Sciences 4:11-24.

- Ibáñez, C.L. 2012. Curso de Modelación en Cuencas. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. Chapingo, México.
- INEGI, 1980. carta Geológica (continuo nacional), serie II, escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Aguascalientes, México.
- INEGI, 1988. carta de uso de suelo y vegetación (continuo nacional), serie II, escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Aguascalientes, México.
- INEGI. 2006. carta Edafológica (continuo nacional), serie II, escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Aguascalientes, México.
- INEGI, 2009. carta de uso de suelo y vegetación (continuo nacional), serie IV, escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Aguascalientes, México.
- IMTA, 1999. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales, (BANDAS). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor. México.
- IMTA, 2006. Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor. México.
- Law, A.M. and, W.D. Kelton. 2000. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill. Singapore.

- Loague, K. 2010. Rainfall-Runoff Modeling. Benchmark Papers in Hydrology. International Association of Hydrological Sciences.
- Mein, R.G. and C.L. Larson. 1973. Modeling infiltration during a steady rain. Water Resources Research 9(2):384-394.
- McCuen R., H. 2005. Hydrologic analysis and design. Third Edition. Department of Civil and Environmental Engineering University of Maryland. Pearson Prentice-Hall
- NRCS,1996. National soil survey handbook, title 430-VI. U.S. Natural Resources Conservation Service Soil Survey Staff. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Neitsch, S.L., J. G. Arnold, J.R. Kiniry, and, J.R. Williams. 2001a. SWAT User's Manual. Texas Agricultural Experiment Station from ARS.
- Neitsch, S.L., J. G. Arnold, J.R. Kiniry, and, J.R. Williams. 2001b. Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation. Texas Agricultural Experiment Station from ARS.
- Phomcha, P., P. Wirojanagud, T. Vangpaisal, T. Thaveevouthti. 2012. Modeling the impacts of alternative soil conservation practices for an agricultural watershed with the SWAT model. Proceedings Engineering 32: 1205-1213.

- Rallison, R.E. and N. Miller. 1981. Past, present and future SCS runoff procedure. p. 353- 364. *In* V.P. Singh (ed.). Rainfall runoff relationship. Water Resources Publication, Littleton, CO.
- Rivera-Toral F., Pérez-Nieto, S., Ibáñez-Castillo L.A., Hernández-Saucedo, F.R. 2012. Aplicabilidad del Modelo SWAT para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México. *Agrociencia*, Vol. 46, #2. Págs. 101-105.
- Salgado R. J.H. y Guitrón de los Reyes A., 2012. Aplicabilidad de los Modelos Hidrológicos Distribuidos. XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco, México.
- SAGARPA, 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Distrito Federal, México.
- SMN, 2010. Base de datos "Clima Computarizado" (CLICOM). Servicio Meteorológico Nacional. Distrito Federal, México.
- Shen, Z.Y., Y.W. Gong, Y.H. Li, Q. Hong, L. Xu, R.M. Liu. 2009. A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area. *Agricultural Water Management* 96: 1435-1442.
- Singh, V.P. and, D.K. Frevert. 2005. Watershed Models. CRC Press.

- Smith, M., de Groot, D., Perrot-Maître, D. y Bergkamp, G. UICN 2006. *Pago: Establecer pagos por servicios de cuencas*, Gland, Suiza, 112 pp.
- SCS, 1972. Section 4: Hydrology In National Engineering Handbook. Soil Conservation Service.
- Stone Environmental Inc and Texas A&M Spacial Sciences Laboratory. 2011. ARC-SWAT Versión 2009.93.7b.
- Todini, E. 1988. Rainfall-Runoff Modeling- Past, Present and Future. J. of Hydrology 100: 341-352.
- Torres B. E., Fernández R. D. S., Oropeza M. J. L., Mejía S. E. 2004. Calibración del modelo hidrológico SWAT en la cuenca el Tejocote, Atlacomulco, Estado de México, TERRA Latinoamericana, Vol. 22, Núm. 4, octubre-diciembre, 2004, pp. 437-444.
- Torres B.E., E. Mejía S., J. Cortés B., E. Palacios V., A. Exebio G. 2005. Adaptación de un modelo hidrológico a la cuenca del Rio Laja, Guanajuato, México. Agrociencia, Vol. 39, #5. Págs. 481-490.
- UICN. 2000. Visión del Agua y la Naturaleza. Estrategia Mundial para la Conservación y Manejo Sostenible de Recursos Hídricos en el Siglo XXI. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Gland, Suiza.

- Williams, J.R., 1995. Chapter 25: The EPIC model. p. 909-1000. In V.P. Singh (ed.) Computer models of watershed hydrology. Water Resources Publications.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. USDA Agric. Handbook No. 537. 58 pp.
- Wischmeier, WH., Smith, DD. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agr. Handbook 282 (USDA), Washington DC.

8. ANEXOS

8.1. Anexo 1. Base de datos (factores fisiotécnicos)

Cuadro 1. Base de datos de factores fisiotécnicos acorde a los requerimientos del modelo SWAT

CPNM	IDC	CROPNAME	BIO_E	HVSTI	BLAI	FRGRW1	LAIMX1	FRGRW2	LAIMX2	DLAI	CHTMX	RDMX	T_OPT	T_BASE	CNYLD	CPYLD
RIEG	4	AGRICULTURA DE RIEGO	40	0.4	5	0.1505	0.05	0.5095	0.95	0.8	2	2	25	8	0.0175	0.0025
PASI	6	PASTIZAL INDUCIDO	10	0.01	4	0.1501	0.05	0.5095	0.95	0.99	1	2	25	8	0.0234	0.0033
BENC	7	BOSQUE ENCINO	13	0.01	2	0.105	0.05	0.2599	0.95	0.85	3	2	20	6	0.0015	0.0003
ENPI	7	ENCINO-PINO	10	0.01	2	0.105	0.05	0.2599	0.95	0.85	3	2	20	6	0.0015	0.0003
TEMP	4	AGRICULTURA TEMPORAL	40	0.4	5	0.1505	0.05	0.5095	0.95	0.8	2	2	25	8	0.0175	0.0025
PIEN	7	PINO-ENCINO	10	0.76	2	0.105	0.5	0.2599	0.99	0.85	3	2	20	6	0.0015	0.0003
PINO	7	BOSQUE PINO	10	0.75	2	0.105	0.5	0.2599	0.99	0.85	3	2	20	6	0.0015	0.0003
AGUA	6	CUERPO AGUA	90	0.01	0.05	0.1501	0	0.5095	0	0.99	1	2	25	8	0.0234	0.0033
MATO	7	CHAPARRAL	10	0.75	1.4	0.0505	0.05	0.4095	0.95	0.99	6	3	30	10	0.0015	0.0003

Cuadro 2. Continuación del cuadro 1

CPNM	IDC	CROPNAME	BN1	BN2	BN3	BP1	BP2	BP3	WSYF	USLE_C	GSI	VPDFR	FRGMAX	WAVP	CO2HI	BIOEHI
RIEG	4	AGRICULTURA DE RIEGO	0.044	0.0164	0.0128	0.0062	0.0023	0.0018	0.01	0.2	0.007	4	0.75	8	660	45
PASI	6	PASTIZAL INDUCIDO	0.06	0.0231	0.0134	0.0084	0.0032	0.0019	0.01	0.016	0.005	4	0.75	6	660	36
BENC	7	BOSQUE ENCINO	0.006	0.002	0.0015	0.0007	0.0004	0.0003	0.75	0.0038	0.005	4	0.75	3	660	16
ENPI	7	ENCINO-PINO	0.006	0.002	0.0015	0.0007	0.0004	0.0003	0.75	0.001	0.005	4	0.75	3	660	16
TEMP	4	AGRICULTURA TEMPORAL	0.044	0.0164	0.0128	0.0062	0.0023	0.0018	0.01	0.2	0.007	4	0.75	8	660	45
PIEN	7	PINO-ENCINO	0.006	0.002	0.0015	0.0007	0.0004	0.0003	0.75	0.0032	0.005	4	0.75	3	660	16
PINO	7	BOSQUE PINO	0.006	0.002	0.0015	0.0007	0.0004	0.0003	0.75	0.0016	0.005	4	0.75	3	660	16
AGUA	6	CUERPO AGUA	0.06	0.0231	0.0134	0.0084	0.0032	0.0019	0.01	0.001	0.005	0	0	6	0	0
MATO	7	CHAPARRAL	0.02	0.01	0.008	0.0007	0.0004	0.0003	0.75	0.016	0.005	4	0.75	8	660	18

Cuadro 3. Continuación del cuadro1

CPNM	IDC	CROPNAME	RSDCO_PL	OV_N	CN2A	CN2B	CN2C	CN2D	FERTFIELD	ALAI_MIN	BIO_LEAF	MAT_YRS	BMX_TREES	EXT_COEF	BM_DIEOFF
RIEG	4	AGRICULTURA DE RIEGO	0.05	0.14	65	76	84	88	1	0	0	0	0	0.65	0.1
PASI	6	PASTIZAL INDUCIDO	0.05	0.15	49	69	79	84	0	0	0	0	0	0.65	0.1
BENC	7	BOSQUE ENCINO	0.05	0.14	45	66	77	83	0	0.75	0.3	50	1000	0.65	0.1
ENPI	7	ENCINO-PINO	0.05	0.14	45	66	77	83	0	0.75	0.3	50	1000	0.65	0.1
TEMP	4	AGRICULTURA TEMPORAL	0.05	0.14	65	76	84	88	1	0	0	0	0	0.65	0.1
PIEN	7	PINO-ENCINO	0.05	0.14	36	60	73	79	0	0.75	0.3	50	1000	0.65	0.1
PINO	7	BOSQUE PINO	0.05	0.14	36	60	73	79	0	0.75	0.3	50	1000	0.65	0.1
AGUA	6	CUERPO AGUA	0.00	0.01	92	92	92	92	0	0	0	0	0	0	0.1
MATO	7	CHAPARRAL	0.05	0.14	45	66	77	83	0	0.75	0.3	10	50	0.61	0.1

8.2. Anexo 2. Base de datos (suelos)

Cuadro 4. Base de datos de suelos acorde a las especificaciones del modelo SWAT

SNAM	NLAYERS	HYDGRP	SOL_ZMX	TEXTURE	SOL_Z1	SOL_BD1	SOL_AWC1	SOL_K1
(VcSf) Vertisol crómico Sin fase	3	C	1000.00	Franco arcillo limoso	350.00	1.61	0.14	145.00
(EL) Rendzina Lítica	1	B	350.00	Franco	350.00	1.08	0.11	614.00
(ReL) Regosol eútrico Lítica	1	C	350.00	Franco arenoso	350.00	2.16	0.08	4.30
(LcSf) Luvisol crómico Sin fase	3	B	1000.00	Franco	350.00	1.36	0.16	142.00
(JeP) Fluvisol eútrico Pedregosa	1	B	350.00	Franco arenoso	350.00	1.71	0.10	18.60
(ISf) Litosol Sin fase	3	B	1000.00	Franco	350.00	1.29	0.07	80.80
(HhLP) Feozem háplico Lítica Profunda	2	C	650.00	Franco arcillo arenoso	350.00	1.55	0.08	4.80
(BcP) Cambisol crómico Pedregosa	1	C	350.00	Migajón arcillo arenoso	350.00	1.33	0.10	344.07
(VcP) Vertisol crómico Pedregosa	1	B	350.00	Franco arcilloso	350.00	1.32	0.08	177.00
(HhSf) Feozem háplico Sin fase	3	B	1000.00	Franco arenoso	350.00	1.52	0.23	12.00
(JcP) Fluvisol calcárico Pedregoso	1	B	350.00	Franco arenoso	350.00	1.52	0.18	90.00
(LcLP) Luvisol crómico Lítica Profunda	2	C	650.00	Arcilla	350.00	1.64	0.15	16.70
(LoL) Luvisol órtico Lítico	1	B	350.00	Franco arcilloso	350.00	1.24	0.18	2.00
(RcL) Regosol calcárico Lítica	1	B	350.00	Franco Limoso	350.00	1.65	0.12	67.40
(RcP) Regosol calcárico Pedregoso	1	B	350.00	Franco arenoso	350.00	1.52	0.18	40.00
(ELP) Rendzina Lítica Profunda	1	B	650.00	Franco	650.00	1.36	0.14	5.00
(VcL) Vertisol crómico Lítica	1	B	350.00	Franco	350.00	1.36	0.18	5.00
(VpP) Vertisol pélico Pedregosa	1	B	350.00	Franco limoso	350.00	1.24	0.17	4.00
(VpSf) Vertisol pélico Sin Fase	2	B	1000.00	Franco limoso	650.00	1.24	0.17	4.50
(HcL) Feozem calcárico Lítica	1	B	350.00	Franco arcillo arenoso	350.00	1.24	0.18	15.00
(HhL) Feozem háplico Lítica	1	B	350.00	Franco arenoso	350.00	1.52	0.21	15.00
(HISf) Feozem lúvico sin fase	2	B	1000.00	Franco	350.00	1.36	0.20	6.00
(RcSf) Regosol calcárico sin fase	2	B	1000.00	Franco arcilloso	350.00	1.24	0.17	1.00
(BeL) Cambisol eútrico Lítica	1	C	350.00	Arcilla	350.00	1.71	0.16	34.90
(HcSf) Feozem calcárico sin fase	3	B	1000.00	Franco arcillo arenoso	350.00	1.30	0.18	15.00

Cuadro 5. Continuación del cuadro 4

SNAM	CLAY1	SILT1	SAND1	ROCK1	SOL_ALB1	USLE_K1	SOL_EC1	SOL_Z2	SOL_BD2	SOL_AWC2
(VcSf) Vertisol crómico Sin fase	33.10	49.23	17.67	0.00	0.13	0.17	0.37	650.00	1.70	0.12
(EL) Rendzina Lítica	22.60	32.74	44.66	5.00	0.13	0.03	0.18			
(ReL) Regosol Eútrico Lítica	9.00	33.00	58.00	50.00	0.13	0.32	0.14			
(LcSf) Luvisol crómico Sin fase	22.00	44.12	33.88	0.00	0.13	0.27	0.19	650.00	1.65	0.09
(JeP) Fluvisol eútrico Pedregosa	15.50	27.60	56.90	10.00	0.13	0.20	0.53			
(ISf) Litosol Sin fase	20.60	33.06	46.34	0.00	0.13	0.21	0.34	650.00	1.35	0.08
(HhLP) Feozem háplico Lítica Profunda	29.60	25.48	44.92	5.00	0.13	0.15	0.52	650.00	1.64	0.13
(BcP) Cambisol crómico Pedregosa	22.80	25.28	51.92	30.00	0.13	0.21	0.67			
(VcP) Vertisol crómico Pedregosa	34.20	31.58	34.21	10.00	0.13	0.16	0.41			
(HhSf) Feozem háplico Sin fase	15.80	31.07	53.13	0.00	0.13	0.24	0.40	650.00	1.36	0.12

SNAM	CLAY1	SILT1	SAND1	ROCK1	SOL_ALB1	USLE_K1	SOL_EC1	SOL_Z2	SOL_BD2	SOL_AWC2
(JcP) Fluvisol calcárico Pedregoso	10.00	18.00	72.00	30.00	0.13	0.24	0.60			
(LcLP) Luvisol crómico Lítica Profunda	55.60	32.43	11.97	0.00	0.13	0.21	0.14	650.00	1.68	0.18
(LoL) Luvisol órtico Lítico	30.00	28.00	42.00	10.00	0.11	0.21	0.13			
(RcL) Regosol calcárico Lítica	21.20	50.17	28.63	10.00	0.13	0.33	0.60			
(RcP) Regosol calcárico Pedregoso	13.00	23.33	63.67	30.00	0.13	0.24	0.20			
(ELP) Rendzina Lítica Profunda	20.00	38.00	42.00	5.00	0.13	0.38	0.50			
(VcL) Vertisol crómico Lítica	19.00	39.50	41.50	10.00	0.13	0.29	0.50			
(VpP) Vertisol pélico Pedregosa	21.75	47.25	31.00	30.00	0.13	0.42	0.50			
(VpSf) Vertisol pélico Sin Fase	18.79	50.57	30.64	0.00	0.13	0.42	0.40	650.00	1.24	0.13
(HcL) Feozem calcárico Lítica	24.40	15.60	60.00	10.00	0.13	0.25	0.50			
(HhL) Feozem háplico Lítica	18.92	23.58	57.50	10.00	0.13	0.24	0.40			
(HISf) Feozem lúvico sin fase	27.66	20.00	52.33	0.00	0.13	0.34	0.45	650.00	1.36	0.11
(RcSf) Regosol calcárico sin fase	38.00	40.00	22.00	0.00	0.13	0.25	0.15	650.00	1.24	0.15
(BeL) Cambisol Eútrico Lítica	47.8	28.31	23.89	5.00	0.13	0.17	0.67			
(HcSf) Feozem calcárico sin fase	37.70	27.20	35.10	0.00	0.13	0.25	0.50	650.00	1.30	0.13

Cuadro 6. Continuación del cuadro 4

SNAM	SOL_K2	SOL_CBN2	CLAY2	SILT2	SAND2	ROCK2	SOL_ALB2	USLE_K2	SOL_EC2	SOL_Z3
(VcSf) Vertisol crómico Sin fase	176.00	0.76	31.30	48.25	20.45	0.00	0.13	0.35	0.28	1000.00
(EL) Rendzina Lítica										
(ReL) Regosol Eútrico Lítica										
(LcSf) Luvisol crómico Sin fase	24.00	1.69	18.30	44.24	37.46	0.00	0.13	0.31	0.40	1000.00
(JeP) Fluvisol eútrico Pedregosa										
(ISf) Litosol Sin fase	108.00	0.92	17.70	35.86	46.44	0.00	0.13	0.24	0.28	1000.00
(HhLP) Feozem háplico Lítica Profunda	21.00	0.46	32.70	30.76	36.54	5.00	0.13	0.28	0.35	
(BcP) Cambisol crómico Pedregosa										
(VcP) Vertisol crómico Pedregosa										
(HhSf) Feozem háplico Sin fase	7.00	0.52	18.44	33.33	48.22	0.00	0.13	0.24	0.40	1000.00
(JcP) Fluvisol calcárico Pedregoso										
(LcLP) Luvisol crómico Lítica Profunda	3.90	0.68	78.00	21.00	2.00	0.00	0.13	0.14	0.06	
(LoL) Luvisol órtico Lítico										
(RcL) Regosol calcárico Lítica										
(RcP) Regosol calcárico Pedregoso										
(ELP) Rendzina Lítica Profunda										
(VcL) Vertisol crómico Lítica										
(VpP) Vertisol pélico Pedregosa										
(VpSf) Vertisol pélico Sin Fase	3.00	0.37	28.57	37.43	34.00	0.00	0.13	0.48	0.45	
(HcL) Feozem calcárico Lítica										
(HhL) Feozem háplico Lítica										
(HISf) Feozem lúvico sin fase	6.00	0.86	35.20	20.10	44.70	0.00	0.13	0.24	0.45	
(RcSf) Regosol calcárico sin fase	1.00	0.58	34.00	42.00	24.00	0.00	0.13	0.28	0.16	

SNAM	SOL_K2	SOL_CBN2	CLAY2	SILT2	SAND2	ROCK2	SOL_ALB2	USLE_K2	SOL_EC2	SOL_Z3
(BeL) Cambisol Eútrico Lítica										
(HcSf) Feozem calcárico sin fase	21.00	0.80	41.2.	24.9.	33.9	0.00	0.13	0.25	0.35	1000

Cuadro 7. Continuación del cuadro 4

SNAM	SOL_AWC3	SOL_K3	SOL_CBN3	CLAY3	SILT3	SAND3	ROCK3	SOL_ALB3	USLE_K3	SOL_EC3
(VcSf) Vertisol crómico Sin fase	0.13	40.70	1.10	21.50	47.05	31.45	0.00	0.13	0.37	0.44
(EL) Rendzina Lítica										
(ReL) Regosol Eútrico Lítica										
(LcSf) Luvisol crómico Sin fase	0.10	34.70	1.44	22.60	52.90	24.50	0.00	0.13	0.36	0.11
(JeP) Fluvisol eútrico Pedregosa										
(ISf) Litosol Sin fase	0.14	73.30	1.07	20.80	42.02	37.18	0.00	0.13	0.30	0.19
(HhLP) Feozem háplico Lítica Profunda										
(BcP) Cambisol crómico Pedregosa										
(VcP) Vertisol crómico Pedregosa										
(HhSf) Feozem háplico Sin fase	0.14	100.00	0.18	9.65	16.47	73.88	0.00	0.13	0.27	0.40
(JcP) Fluvisol calcárico Pedregoso										
(LcLP) Luvisol crómico Lítica Profunda										
(LoL) Luvisol órtico Lítico										
(RcL) Regosol calcárico Lítica										
(RcP) Regosol calcárico Pedregoso										
(ELP) Rendzina Lítica Profunda										
(VcL) Vertisol crómico Lítica										
(VpP) Vertisol pélico Pedregosa										
(VpSf) Vertisol pélico Sin Fase										
(HcL) Feozem calcárico Lítica										
(HhL) Feozem háplico Lítica										
(HISf) Feozem lúvico sin fase										
(RcSf) Regosol calcárico sin fase										
(BeL) Cambisol Eútrico Lítica										
(HcSf) Feozem calcárico sin fase	0.14	100.00	0.52	45.00	23.90	31.10	0.00	0.13	0.27	0.40

8.3. Anexo 3. Generadores climáticos

Cuadro 8. Generador climático para la estación meteorológica 20013

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		31.00	38.00	34.00	107.00	231.00	359.00	225.00	248.00	346.00	193.00	52.00	20.00
Dry day count		992.00	894.00	989.00	883.00	792.00	631.00	798.00	775.00	644.00	830.00	938.00	1003.00
Wet days following dry days count		24.00	27.00	25.00	69.00	124.00	130.00	88.00	120.00	135.00	94.00	35.00	15.00
Wet days following wet days count		7.00	11.00	9.00	38.00	107.00	229.00	137.00	128.00	211.00	99.00	17.00	5.00
Days of valid data count		1023.00	932.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00
Precip.	mean	5.42	8.38	10.20	23.27	81.93	135.31	89.28	91.04	140.25	69.29	13.67	3.34
Max. temperature for all days	mean	25.45	26.51	28.89	30.14	29.86	27.68	26.49	26.54	26.23	26.13	25.92	25.50
	sum	26034.40	24705.88	29555.55	29837.58	30543.62	27406.82	27101.28	27147.53	25970.11	26730.77	25661.08	26082.19
	std.dev.	2.31	2.92	2.31	2.17	2.51	2.94	1.95	1.96	1.87	2.43	2.16	1.88
	min	15.47	17.34	20.75	24.16	21.12	17.99	21.17	21.14	20.90	18.57	18.68	19.38
	max	34.38	35.91	36.88	37.62	37.75	36.41	33.79	32.18	31.85	34.05	32.81	31.02
	count	1023.00	932.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00
Min. temperature for all days	mean	8.57	9.52	11.05	13.36	15.01	15.57	14.86	14.36	14.40	12.49	10.38	8.71
	sum	8766.65	8874.37	11307.57	13225.28	15358.16	15410.10	15205.17	14695.23	14252.32	12779.38	10277.39	8905.49
	std.dev.	2.44	2.80	2.82	2.87	1.78	1.64	1.65	2.45	2.58	3.23	2.99	2.97
	min	1.45	2.07	2.82	4.35	8.43	10.39	10.16	4.00	6.88	2.21	-0.52	-0.77
	max	16.42	19.98	20.44	21.04	20.43	21.51	20.15	21.37	24.63	24.63	18.88	18.25
	count	1023.00	932.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00

Cuadro 9. Generador climático para la estación meteorológica 20028

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		25.00	24.00	25.00	115.00	219.00	373.00	324.00	276.00	275.00	160.00	62.00	20.00
Dry day count		936.00	852.00	936.00	815.00	742.00	557.00	637.00	685.00	655.00	801.00	868.00	941.00
Wet days following dry days count		16.00	18.00	21.00	79.00	115.00	144.00	142.00	133.00	122.00	87.00	38.00	13.00
Wet days following wet days count		9.00	6.00	4.00	36.00	104.00	229.00	182.00	143.00	153.00	73.00	24.00	7.00
Days of valid data count		961.00	876.00	961.00	930.00	961.00	930.00	961.00	961.00	930.00	961.00	930.00	961.00
Precip.	mean	4.81	6.60	4.40	24.95	63.92	124.26	106.65	82.25	96.92	55.47	16.08	5.82
Max. temperature for all days	mean	24.95	26.32	29.32	30.63	30.63	27.59	26.07	26.90	26.00	26.17	25.98	25.38
	sum	23973.01	23056.83	28177.34	28486.03	29436.76	25660.41	25049.01	25853.32	24176.92	25150.91	24163.06	24393.92
	std.dev.	3.10	3.90	3.68	3.90	3.80	4.84	4.26	3.77	2.98	3.23	3.09	3.10
	min	15.93	14.22	19.34	19.85	16.62	12.01	13.02	16.22	16.35	16.29	14.90	15.01
	max	35.02	38.73	40.19	44.25	43.47	44.40	41.19	38.59	36.12	37.15	35.29	35.78
	count	961.00	876.00	961.00	930.00	961.00	930.00	961.00	961.00	930.00	961.00	930.00	961.00
Min. temperature for all days	mean	7.04	7.70	9.36	11.34	12.51	12.94	12.01	12.46	12.77	11.53	9.51	7.90
	sum	6767.13	6745.69	8992.38	10550.51	12022.26	12032.66	11546.26	11977.32	11877.04	11080.60	8847.89	7594.65
	std.dev.	2.09	2.46	2.10	2.11	1.76	1.59	1.64	2.05	2.34	2.67	2.52	2.38

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	min	0.96	-0.61	1.01	4.80	6.67	7.86	6.02	6.11	5.09	3.89	0.97	-0.48
	max	13.53	15.33	16.22	18.24	17.76	19.14	16.59	18.67	20.38	19.36	16.90	16.17
	count	961.00	876.00	961.00	930.00	961.00	930.00	961.00	961.00	930.00	961.00	930.00	961.00

Cuadro 10. Generador climático para la estación meteorológica 20051

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		41.00	20.00	20.00	66.00	194.00	454.00	479.00	427.00	431.00	241.00	57.00	43.00
Dry day count		889.00	828.00	910.00	834.00	736.00	446.00	451.00	503.00	469.00	689.00	843.00	887.00
Wet days following dry days count		37.00	17.00	17.00	44.00	117.00	170.00	194.00	173.00	153.00	121.00	40.00	39.00
Wet days following wet days count		4.00	3.00	3.00	22.00	77.00	284.00	285.00	254.00	278.00	120.00	17.00	4.00
Days of valid data count		930.00	848.00	930.00	900.00	930.00	900.00	930.00	930.00	900.00	930.00	900.00	930.00
Precip.	mean	9.84	3.35	3.76	14.39	42.42	139.46	146.19	122.40	142.98	59.41	8.49	4.34
Max. temperature for all days	mean	25.33	26.11	27.69	28.59	28.04	25.76	25.59	25.83	25.58	26.26	26.13	24.86
	sum	23556.10	22142.07	25754.68	25731.55	26079.54	23184.44	23796.43	24020.63	23021.51	24418.38	23513.64	23120.14
	std.dev.	2.43	2.57	2.73	2.60	2.76	2.96	2.30	2.23	2.37	2.18	2.32	2.77
	min	18.29	15.93	17.14	19.90	15.57	17.07	17.38	19.32	17.04	18.79	18.56	15.54
	max	32.00	33.73	35.52	35.64	35.75	36.47	32.55	33.32	32.43	34.01	33.39	33.85
	count	930.00	848.00	930.00	900.00	930.00	900.00	930.00	930.00	900.00	930.00	900.00	930.00
Min. temperature for all days	mean	5.55	6.72	8.63	11.10	12.31	11.86	11.44	11.09	11.28	10.12	7.35	5.67
	sum	5164.85	5701.02	8028.18	9990.85	11446.25	10670.15	10636.31	10309.89	10154.41	9415.56	6613.87	5269.19
	std.dev.	2.99	2.66	3.04	2.48	2.24	2.81	2.62	2.64	2.66	2.58	2.97	2.79
	min	-4.75	-1.72	-0.63	4.01	3.37	3.03	1.56	3.86	2.64	0.87	-1.07	-2.56
	max	16.06	16.25	18.20	19.35	18.57	20.39	19.52	18.90	18.56	16.88	17.38	15.39
	count	930.00	848.00	930.00	900.00	930.00	900.00	930.00	930.00	900.00	930.00	900.00	930.00

Cuadro 11. Generador climático para la estación meteorológica 20067

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		6.00	7.00	27.00	79.00	159.00	322.00	333.00	320.00	363.00	162.00	14.00	5.00
Dry day count		893.00	812.00	872.00	791.00	740.00	548.00	566.00	579.00	507.00	737.00	856.00	894.00
Wet days following dry days count		5.00	4.00	20.00	51.00	101.00	137.00	137.00	118.00	135.00	66.00	10.00	5.00
Wet days following wet days count		1.00	3.00	7.00	28.00	58.00	185.00	196.00	202.00	228.00	96.00	4.00	0.00
Days of valid data count		899.00	819.00	899.00	870.00	899.00	870.00	899.00	899.00	870.00	899.00	870.00	899.00
Precip.	mean	1.15	1.93	11.56	16.70	54.68	136.91	105.63	129.49	129.07	63.29	3.79	1.19
Max. temperature for all days	mean	30.38	32.72	35.10	36.35	36.01	34.36	32.47	32.54	32.07	31.92	31.33	31.08
	sum	27315.02	26799.37	31557.96	31626.75	32373.44	29894.60	29187.35	29253.38	27902.16	28694.47	27257.82	27940.05
	std.dev.	3.26	2.56	2.71	2.51	2.83	3.76	2.77	3.04	2.65	2.59	2.45	2.68
	min	20.96	24.85	27.77	26.25	24.36	25.68	25.33	20.90	24.79	25.59	23.93	21.37
	max	38.14	41.88	43.45	43.06	43.68	45.93	43.06	42.45	40.24	38.81	38.55	37.33
	count	899.00	819.00	899.00	870.00	899.00	870.00	899.00	899.00	870.00	899.00	870.00	899.00

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Min. temperature for all days	mean	11.73	13.27	16.81	18.56	18.82	19.01	18.44	17.49	17.28	16.03	12.52	12.39
	sum	10541.36	10869.25	15112.69	16145.93	16919.33	16534.66	16579.09	15719.65	15034.65	14412.00	10895.19	11138.67
	std.dev.	2.49	2.93	3.38	2.31	2.68	1.83	1.79	1.95	1.96	2.99	3.72	3.18
	min	4.51	4.84	3.62	12.18	10.67	12.27	12.69	12.31	9.37	5.52	1.91	2.83
	max	18.36	22.45	27.53	26.77	26.54	24.31	23.88	23.96	23.81	25.01	24.46	20.68
	count	899.00	819.00	899.00	870.00	899.00	870.00	899.00	899.00	870.00	899.00	870.00	899.00

Cuadro 12. Generador climático para la estación meteorológica 20103

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		83.00	74.00	110.00	234.00	511.00	808.00	630.00	603.00	709.00	329.00	203.00	79.00
Dry day count		1622.00	1479.00	1595.00	1416.00	1194.00	842.00	1075.00	1102.00	941.00	1376.00	1447.00	1626.00
Wet days following dry days count		57.00	53.00	89.00	146.00	243.00	261.00	253.00	246.00	238.00	166.00	103.00	51.00
Wet days following wet days count		26.00	21.00	21.00	88.00	268.00	547.00	377.00	357.00	471.00	163.00	100.00	28.00
Days of valid data count		1705.00	1553.00	1705.00	1650.00	1705.00	1650.00	1705.00	1705.00	1650.00	1705.00	1650.00	1705.00
Precip.	mean	9.64	6.43	9.35	28.33	89.36	163.45	113.88	100.03	131.30	51.96	24.01	5.66
Max. temperature for all days	mean	22.19	23.74	24.95	26.34	25.77	23.92	22.56	22.86	22.22	22.52	21.79	21.77
	sum	37836.94	36871.63	42540.74	43456.00	43940.66	39466.41	38467.04	38970.65	36659.84	38390.43	35959.96	37114.41
	std.dev.	3.70	3.39	3.66	3.47	3.59	3.34	3.05	3.13	3.08	3.27	3.44	3.55
	min	7.64	11.82	12.79	14.82	15.39	13.10	11.32	13.97	12.54	11.98	9.42	9.48
	max	33.42	36.61	38.47	39.46	38.74	34.99	32.62	32.64	33.36	34.65	32.60	34.44
	count	1705.00	1553.00	1705.00	1650.00	1705.00	1650.00	1705.00	1705.00	1650.00	1705.00	1650.00	1705.00
Min. temperature for all days	mean	4.08	4.81	6.50	8.55	9.67	10.75	10.19	10.10	10.33	8.84	6.14	4.36
	sum	6960.31	7462.80	11084.26	14115.07	16483.38	17730.21	17374.44	17214.28	17048.95	15080.57	10123.70	7441.18
	std.dev.	3.49	3.38	2.99	2.82	2.42	2.01	2.22	2.34	2.30	2.89	3.46	3.57
	min	-8.45	-6.20	-3.16	-0.08	-0.08	3.15	3.09	2.12	1.77	-2.32	-5.03	-8.76
	max	14.86	15.39	18.09	21.22	17.15	16.90	17.45	19.45	18.17	20.29	18.16	15.56
	count	1705.00	1553.00	1705.00	1650.00	1705.00	1650.00	1705.00	1705.00	1650.00	1705.00	1650.00	1705.00

Cuadro 13. Generador climático para la estación meteorológica 20108

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		18.00	26.00	26.00	98.00	319.00	500.00	396.00	406.00	490.00	221.00	80.00	29.00
Dry day count		1005.00	906.00	997.00	892.00	704.00	490.00	627.00	617.00	500.00	802.00	910.00	994.00
Wet days following dry days count		16.00	22.00	19.00	68.00	155.00	150.00	134.00	151.00	145.00	105.00	52.00	21.00
Wet days following wet days count		2.00	4.00	7.00	30.00	164.00	350.00	262.00	255.00	345.00	116.00	28.00	8.00
Days of valid data count		1023.00	932.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00
Precip.	mean	3.68	4.27	5.14	15.85	85.74	172.88	109.12	101.71	154.15	58.30	16.35	6.29
Max. temperature for all days	mean	26.96	28.20	30.70	32.22	31.59	29.29	28.79	28.87	27.06	28.27	28.08	27.16
	sum	27582.29	26281.18	31406.62	31892.85	32321.27	28999.52	29451.99	29534.00	26793.22	28917.01	27800.57	27782.31
	std.dev.	3.63	4.03	3.85	2.87	3.46	4.39	4.36	4.20	3.54	4.25	4.16	3.89

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	min	15.98	17.34	17.87	24.16	17.87	15.73	14.90	13.82	17.71	15.61	17.13	14.59
	max	39.18	41.44	42.50	40.87	41.77	43.73	41.50	41.06	38.36	40.94	43.38	41.51
	count	1023.00	932.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00
Min. temperature for all days	mean	8.44	9.91	11.30	13.57	14.87	14.81	14.49	14.39	14.29	12.54	10.35	9.03
	sum	8635.21	9231.57	11556.86	13437.85	15212.72	14664.42	14819.35	14718.49	14142.12	12832.16	10245.96	9235.72
	std.dev.	3.59	3.54	3.89	4.08	3.83	4.05	3.82	3.83	3.61	4.04	3.84	4.10
	min	-3.22	-2.61	0.34	0.82	2.05	3.12	2.39	2.65	2.33	-0.91	-2.53	-3.53
	max	19.23	20.55	22.76	23.76	28.45	26.66	25.92	26.03	24.78	24.22	20.50	22.90
	count	1023.00	932.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00	1023.00	990.00	1023.00	990.00	1023.00

Cuadro 14. Generador climático para la estación meteorológica 20133

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		30.00	30.00	57.00	148.00	273.00	535.00	402.00	416.00	427.00	256.00	39.00	25.00
Dry day count		1055.00	959.00	1028.00	902.00	812.00	515.00	683.00	669.00	623.00	829.00	1011.00	1060.00
Wet days following dry days count		18.00	22.00	45.00	98.00	154.00	158.00	146.00	147.00	147.00	90.00	31.00	18.00
Wet days following wet days count		12.00	8.00	12.00	50.00	119.00	377.00	256.00	269.00	280.00	166.00	8.00	7.00
Days of valid data count		1085.00	989.00	1085.00	1050.00	1085.00	1050.00	1085.00	1085.00	1050.00	1085.00	1050.00	1085.00
Precip.	mean	4.58	3.76	11.12	27.98	75.00	182.51	110.12	117.39	137.24	75.19	5.92	5.82
Max. temperature for all days	mean	25.37	27.28	29.57	31.40	31.18	28.09	27.01	26.92	26.12	26.65	26.65	25.65
	sum	27528.49	26976.04	32087.21	32967.73	33832.30	29492.27	29301.11	29212.88	27424.07	28913.67	27978.78	27825.54
	std.dev.	2.22	2.68	2.69	2.10	2.54	3.12	2.13	2.24	1.96	2.18	1.93	1.98
	min	13.16	18.99	20.00	25.11	21.19	18.52	18.51	20.04	18.49	18.85	20.05	19.23
	max	33.29	37.64	36.67	37.86	38.33	39.26	34.15	33.18	32.36	33.35	33.84	32.66
	count	1085.00	989.00	1085.00	1050.00	1085.00	1050.00	1085.00	1085.00	1050.00	1085.00	1050.00	1085.00
Min. temperature for all days	mean	10.46	11.83	13.57	15.35	16.25	15.78	14.98	14.78	14.72	13.69	12.12	11.05
	sum	11344.20	11698.62	14722.55	16114.26	17627.61	16564.30	16250.24	16038.01	15454.42	14849.14	12721.04	11987.39
	std.dev.	1.80	2.46	2.19	1.86	1.53	1.46	1.33	1.22	1.51	1.93	2.00	1.74
	min	6.02	4.94	6.82	9.49	11.21	9.99	10.31	11.00	9.88	6.73	5.44	5.39
	max	16.65	20.22	20.85	20.18	21.23	20.49	19.92	18.95	19.84	18.59	18.92	17.13
	count	1085.00	989.00	1085.00	1050.00	1085.00	1050.00	1085.00	1085.00	1050.00	1085.00	1050.00	1085.00

Cuadro 15. Generador climático para la estación meteorológica 20137

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		17.00	25.00	28.00	117.00	231.00	398.00	287.00	248.00	337.00	141.00	71.00	39.00
Dry day count		1037.00	935.00	1026.00	903.00	823.00	622.00	767.00	806.00	683.00	913.00	949.00	1015.00
Wet days following dry days count		12.00	18.00	20.00	84.00	129.00	135.00	96.00	108.00	101.00	65.00	37.00	26.00
Wet days following wet days count		5.00	7.00	8.00	33.00	102.00	263.00	191.00	140.00	236.00	76.00	34.00	13.00
Days of valid data count		1054.00	960.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00
Precip.	mean	3.64	4.88	6.53	21.28	55.65	133.14	84.08	55.17	113.53	29.58	10.36	7.61

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Max. temperature for all days	mean	21.75	23.41	25.59	26.54	25.98	23.69	22.60	22.52	22.35	22.16	21.90	21.75
	sum	22922.93	22473.20	26970.04	27074.72	27379.33	24163.59	23823.17	23734.00	22796.89	23354.42	22339.17	22920.61
	std.dev.	2.57	3.02	3.11	2.96	2.90	2.39	1.91	2.04	2.29	2.31	2.47	2.50
	min	14.23	14.74	15.27	17.32	17.89	14.81	16.69	16.34	12.65	16.08	14.83	13.48
	max	29.86	33.17	34.23	35.12	36.17	32.78	29.02	30.06	29.09	29.80	29.53	30.82
	count	1054.00	960.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00
Min. temperature for all days	mean	5.69	6.22	7.45	8.66	9.99	10.64	10.29	10.37	10.45	8.78	7.38	6.11
	sum	6002.04	5968.63	7852.67	8828.21	10531.14	10853.13	10842.76	10931.61	10658.53	9250.53	7526.74	6442.26
	std.dev.	2.69	2.85	2.25	1.89	1.95	1.78	2.18	1.97	2.20	2.40	2.54	2.52
	min	-1.24	-2.51	0.18	3.02	2.82	2.58	2.85	4.52	4.19	0.00	-1.24	-1.54
	max	15.41	14.88	14.95	14.13	18.37	16.52	17.62	16.80	17.50	16.63	15.44	13.83
	count	1054.00	960.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00

Cuadro 16. Generador climático para la estación meteorológica 20141

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		36.00	43.00	62.00	158.00	490.00	846.00	904.00	948.00	896.00	407.00	92.00	42.00
Dry day count		1793.00	1624.00	1767.00	1612.00	1339.00	924.00	925.00	881.00	874.00	1422.00	1678.00	1787.00
Wet days following dry days count		26.00	37.00	46.00	118.00	238.00	299.00	348.00	322.00	307.00	194.00	68.00	31.00
Wet days following wet days count		10.00	6.00	16.00	40.00	252.00	547.00	556.00	626.00	589.00	213.00	24.00	11.00
Days of valid data count		1829.00	1667.00	1829.00	1770.00	1829.00	1770.00	1829.00	1829.00	1770.00	1829.00	1770.00	1829.00
Precip.	mean	7.85	6.37	4.72	24.18	92.76	171.75	184.46	208.85	184.10	71.42	16.71	5.25
Max. temperature for all days	mean	28.16	29.43	32.10	33.83	33.27	30.84	28.87	28.42	28.15	27.86	27.50	27.40
	sum	51511.40	49053.41	58710.12	59871.29	60858.45	54582.25	52794.78	51980.40	49823.07	50960.43	48675.48	50112.48
	std.dev.	3.82	3.39	3.51	3.70	4.05	3.99	5.41	5.16	5.33	5.20	5.06	5.72
	min	14.58	18.66	20.79	19.82	20.74	15.39	10.30	11.70	9.79	10.80	8.93	7.77
	max	40.26	41.24	44.51	45.77	45.04	43.16	48.46	49.90	49.58	43.06	45.82	48.28
	count	1829.00	1667.00	1829.00	1770.00	1829.00	1770.00	1829.00	1829.00	1770.00	1829.00	1770.00	1829.00
Min. temperature for all days	mean	8.56	9.19	11.06	13.44	14.66	14.67	13.69	13.55	13.58	12.07	9.96	8.92
	sum	15655.16	15316.43	20233.68	23795.30	26808.13	25974.23	25037.37	24781.05	24040.99	22067.95	17623.20	16319.98
	std.dev.	2.55	2.59	3.01	2.73	2.65	2.77	3.37	3.14	3.31	3.21	3.02	3.00
	min	0.75	0.38	1.64	2.99	4.46	4.69	-0.57	0.99	2.08	3.18	-0.90	-1.26
	max	17.84	17.50	21.79	21.11	23.44	25.14	25.68	24.56	25.32	23.79	22.90	19.22
	count	1829.00	1667.00	1829.00	1770.00	1829.00	1770.00	1829.00	1829.00	1770.00	1829.00	1770.00	1829.00

Cuadro 17. Generador climático para la estación meteorológica 20142

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		25.00	17.00	12.00	52.00	129.00	249.00	229.00	278.00	216.00	77.00	29.00	19.00
Dry day count		564.00	520.00	577.00	518.00	460.00	321.00	360.00	311.00	354.00	512.00	541.00	570.00
Wet days following dry days count		17.00	14.00	12.00	41.00	68.00	84.00	106.00	115.00	72.00	27.00	26.00	18.00

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet days following wet days count		8.00	3.00	0.00	11.00	61.00	165.00	123.00	163.00	144.00	50.00	3.00	1.00
Days of valid data count		589.00	537.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00
Precip.	mean	7.82	6.18	4.86	23.61	79.36	166.67	142.68	163.53	143.63	44.35	21.53	11.98
Max. temperature for all days	mean	27.38	28.61	30.82	31.34	31.24	28.85	27.89	27.89	27.29	27.56	27.00	27.05
	sum	16126.79	15363.63	18151.18	17863.98	18398.56	16444.83	16429.31	16425.89	15552.79	16234.94	15389.98	15930.15
	std.dev.	2.75	2.28	2.73	3.07	2.55	2.49	2.19	2.25	2.48	2.38	2.27	2.27
	min	17.37	21.75	22.27	21.17	22.64	22.67	21.55	21.20	20.47	21.03	19.93	20.19
	max	35.47	35.57	39.44	40.10	38.78	35.89	35.04	34.43	33.44	34.68	34.94	33.41
	count	589.00	537.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00
Min. temperature for all days	mean	10.70	11.14	12.64	14.17	15.03	15.19	14.60	14.17	14.72	13.81	12.02	11.19
	sum	6300.83	5979.70	7442.24	8078.31	8855.25	8659.83	8599.34	8346.27	8390.24	8134.05	6852.20	6588.00
	std.dev.	2.97	2.91	2.64	2.01	1.50	1.43	1.60	1.49	1.58	2.06	3.06	2.63
	min	0.03	2.09	4.53	7.34	10.08	10.31	9.75	9.68	10.16	4.71	3.91	2.89
	max	19.03	20.54	19.68	19.73	19.96	19.33	20.03	18.76	20.46	20.22	20.14	18.75
	count	589.00	537.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00

Cuadro 18. Generador climático para la estación meteorológica 20159

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		19.00	41.00	55.00	135.00	227.00	452.00	353.00	269.00	327.00	132.00	73.00	28.00
Dry day count		973.00	863.00	937.00	825.00	765.00	508.00	639.00	723.00	633.00	860.00	887.00	964.00
Wet days following dry days count		13.00	31.00	30.00	91.00	127.00	153.00	147.00	119.00	136.00	54.00	44.00	20.00
Wet days following wet days count		6.00	10.00	25.00	44.00	100.00	299.00	206.00	150.00	191.00	78.00	29.00	8.00
Days of valid data count		992.00	904.00	992.00	960.00	992.00	960.00	992.00	992.00	960.00	992.00	960.00	992.00
Precip.	mean	5.56	12.94	14.00	34.63	71.44	134.60	114.86	93.78	107.44	33.78	14.82	6.65
Max. temperature for all days	mean	23.84	24.74	25.96	26.81	26.22	23.93	23.16	23.62	23.18	23.11	23.55	23.25
	sum	23653.37	22368.90	25755.64	25740.79	26009.31	22975.85	22975.66	23430.97	22255.99	22922.70	22606.57	23062.95
	std.dev.	2.34	2.58	2.43	2.75	2.82	2.48	2.00	2.12	2.09	2.24	2.63	2.19
	min	17.07	16.87	17.74	18.93	17.12	15.17	16.67	17.02	16.99	16.36	15.21	16.62
	max	31.69	31.95	33.76	35.42	35.06	32.39	29.63	29.79	29.72	30.54	30.98	31.13
	count	992.00	904.00	992.00	960.00	992.00	960.00	992.00	992.00	960.00	992.00	960.00	992.00
Min. temperature for all days	mean	3.83	4.92	6.35	7.46	8.46	9.76	9.37	9.27	9.51	7.98	5.73	4.63
	sum	3802.95	4449.59	6302.21	7156.86	8390.84	9373.35	9290.61	9195.77	9134.05	7915.39	5498.58	4588.80
	std.dev.	3.91	3.95	3.34	2.20	2.04	2.23	2.04	2.12	2.24	2.36	3.28	3.52
	min	-7.83	-6.36	-6.33	0.92	2.55	3.12	2.83	3.49	2.49	-2.27	-3.45	-9.18
	max	16.71	16.42	16.58	15.78	15.53	16.75	15.56	16.29	16.33	15.26	15.66	20.37
	count	992.00	904.00	992.00	960.00	992.00	960.00	992.00	992.00	960.00	992.00	960.00	992.00

Cuadro 19. Generador climático para la estación meteorológica 20163

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		34.00	34.00	33.00	133.00	359.00	612.00	493.00	496.00	518.00	247.00	96.00	18.00
Dry day count		1268.00	1153.00	1269.00	1127.00	943.00	648.00	809.00	806.00	742.00	1055.00	1164.00	1284.00
Wet days following dry days count		21.00	23.00	28.00	89.00	154.00	182.00	177.00	203.00	172.00	114.00	48.00	18.00
Wet days following wet days count		13.00	11.00	5.00	44.00	205.00	430.00	316.00	293.00	346.00	133.00	48.00	0.00
Days of valid data count		1302.00	1187.00	1302.00	1260.00	1302.00	1260.00	1302.00	1302.00	1260.00	1302.00	1260.00	1302.00
Precip.	mean	4.13	4.28	6.05	21.45	62.70	155.45	102.48	84.86	137.19	49.60	15.89	0.94
Max. temperature for all days	mean	28.15	29.66	31.75	33.22	32.74	29.60	28.44	28.55	28.49	28.65	28.63	28.19
	sum	36645.71	35207.75	41340.18	41859.13	42623.95	37290.75	37025.73	37178.08	35898.18	37296.10	36072.73	36699.64
	std.dev.	2.52	2.52	2.16	2.15	2.27	2.64	1.74	1.75	2.08	2.13	2.62	2.42
	min	19.27	21.35	24.66	27.03	25.11	20.98	22.60	22.96	22.01	21.52	20.93	20.44
	max	35.36	37.92	39.27	39.95	39.69	36.74	34.36	34.23	35.44	34.57	38.44	37.54
	count	1302.00	1187.00	1302.00	1260.00	1302.00	1260.00	1302.00	1302.00	1260.00	1302.00	1260.00	1302.00
Min. temperature for all days	mean	8.05	9.90	11.55	13.49	14.36	14.80	14.62	14.23	14.23	12.84	10.12	8.85
	sum	10485.98	11752.57	15044.00	17000.58	18691.46	18652.06	19030.03	18526.99	17932.80	16712.69	12754.37	11522.92
	std.dev.	3.42	3.57	3.14	3.01	2.45	2.50	2.16	2.22	2.36	3.02	3.68	3.56
	min	-4.47	-1.00	1.96	3.49	6.48	6.00	7.82	6.84	5.05	2.00	-1.36	-2.74
	max	18.62	23.31	22.45	24.64	22.51	22.31	22.33	21.93	22.20	21.74	21.51	25.54
	count	1302.00	1187.00	1302.00	1260.00	1302.00	1260.00	1302.00	1302.00	1260.00	1302.00	1260.00	1302.00

Cuadro 20. Generador climático para la estación meteorológica 20167

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		39.00	79.00	34.00	120.00	273.00	540.00	516.00	413.00	509.00	195.00	73.00	28.00
Dry day count		1015.00	881.00	1020.00	900.00	781.00	480.00	538.00	641.00	511.00	859.00	947.00	1026.00
Wet days following dry days count		25.00	57.00	24.00	63.00	135.00	168.00	180.00	171.00	159.00	93.00	56.00	16.00
Wet days following wet days count		14.00	22.00	10.00	57.00	138.00	372.00	336.00	242.00	350.00	102.00	17.00	12.00
Days of valid data count		1054.00	960.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00
Precip.	mean	9.40	14.40	6.19	22.81	89.10	196.80	171.72	138.92	150.21	43.03	14.62	2.79
Max. temperature for all days	mean	23.41	24.41	25.16	26.32	25.39	24.38	24.66	24.38	23.50	23.98	23.61	23.25
	sum	24677.82	23431.07	26514.55	26844.99	26764.33	24862.58	25991.91	25696.74	23969.99	25272.43	24082.87	24503.22
	std.dev.	4.29	4.98	4.50	4.39	3.30	3.28	5.43	4.60	2.58	3.86	4.77	4.84
	min	7.78	7.54	8.79	12.80	16.67	13.74	10.06	10.20	13.77	10.27	4.55	7.94
	max	40.98	36.60	40.65	40.72	36.17	33.82	44.33	40.42	31.87	37.61	39.14	39.25
	count	1054.00	960.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00
Min. temperature for all days	mean	6.15	7.07	8.81	10.38	11.84	12.50	12.77	12.19	11.95	10.24	7.93	6.41
	sum	6484.56	6789.27	9287.19	10588.38	12476.72	12752.23	13460.25	12844.23	12190.46	10796.90	8085.65	6752.41
	std.dev.	4.99	5.96	5.56	5.16	4.37	3.07	4.18	3.88	2.52	4.54	5.50	4.63
	min	-7.58	-13.27	-10.13	-4.85	-2.79	3.04	-1.63	0.04	3.39	-5.35	-7.86	-10.90
	max	21.34	25.33	23.43	26.11	24.55	21.79	27.45	25.82	20.74	23.92	22.15	21.07

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	count	1054.00	960.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00	1054.00	1020.00	1054.00	1020.00	1054.00

Cuadro 21. Generador climático para la estación meteorológica 20190

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		58.00	67.00	62.00	194.00	507.00	863.00	665.00	602.00	777.00	366.00	123.00	55.00
Dry day count		1833.00	1657.00	1829.00	1636.00	1384.00	967.00	1226.00	1289.00	1053.00	1525.00	1707.00	1836.00
Wet days following dry days count		41.00	48.00	52.00	138.00	274.00	287.00	278.00	242.00	238.00	189.00	88.00	37.00
Wet days following wet days count		17.00	19.00	10.00	56.00	233.00	576.00	387.00	360.00	539.00	177.00	35.00	18.00
Days of valid data count		1891.00	1724.00	1891.00	1830.00	1891.00	1830.00	1891.00	1891.00	1830.00	1891.00	1830.00	1891.00
Precip.	mean	8.13	5.55	7.83	21.84	80.66	182.92	128.03	106.32	158.77	60.70	14.41	5.38
Max. temperature for all days	mean	23.29	25.35	26.53	28.38	27.94	24.44	24.00	24.67	23.29	23.58	24.12	24.23
	sum	44037.13	43706.42	50163.68	51938.52	52829.03	44732.94	45386.50	46647.98	42627.34	44594.11	44136.24	45827.41
	std.dev.	2.37	3.57	2.61	2.91	3.16	3.16	2.37	2.48	2.50	2.47	2.35	1.90
	min	12.95	11.63	18.22	18.36	17.45	14.86	16.31	15.58	14.56	14.55	16.89	18.03
	max	31.73	40.03	34.19	38.07	37.48	34.77	32.33	33.73	33.42	31.15	31.16	30.15
	count	1891.00	1724.00	1891.00	1830.00	1891.00	1830.00	1891.00	1891.00	1830.00	1891.00	1830.00	1891.00
Min. temperature for all days	mean	11.07	12.49	12.55	13.51	13.84	12.84	12.47	13.26	12.76	12.15	11.92	11.49
	sum	20929.18	21526.94	23733.93	24719.08	26165.28	23489.16	23578.46	25067.41	23346.32	22981.13	21809.89	21730.95
	std.dev.	2.71	4.17	2.30	2.39	2.27	2.09	2.08	2.11	2.00	2.24	2.21	2.30
	min	1.98	-2.74	4.64	4.64	6.99	5.91	4.12	6.50	4.21	5.52	3.24	4.22
	max	20.34	25.91	20.08	21.57	21.56	20.74	18.80	19.59	19.56	19.44	18.59	19.57
	count	1891.00	1724.00	1891.00	1830.00	1891.00	1830.00	1891.00	1891.00	1830.00	1891.00	1830.00	1891.00

Cuadro 22. Generador climático para la estación meteorológica 20275

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		24.00	34.00	50.00	104.00	231.00	383.00	320.00	352.00	411.00	170.00	52.00	26.00
Dry day count		813.00	729.00	787.00	706.00	606.00	427.00	517.00	485.00	399.00	667.00	758.00	811.00
Wet days following dry days count		18.00	26.00	36.00	78.00	112.00	124.00	129.00	128.00	120.00	87.00	39.00	16.00
Wet days following wet days count		6.00	8.00	14.00	26.00	119.00	259.00	191.00	224.00	291.00	83.00	13.00	10.00
Days of valid data count		837.00	763.00	837.00	810.00	837.00	810.00	837.00	837.00	810.00	837.00	810.00	837.00
Precip.	mean	3.86	8.73	12.59	18.56	67.09	157.09	111.32	128.98	178.07	59.41	10.17	6.89
Max. temperature for all days	mean	26.78	28.04	30.38	31.29	31.09	28.32	27.05	27.40	26.78	27.25	27.38	26.86
	sum	22415.35	21392.39	25431.09	25345.15	26022.48	22938.40	22644.68	22931.84	21688.83	22808.43	22177.59	22484.81
	std.dev.	2.31	2.35	2.37	2.28	2.41	2.76	1.97	1.91	1.80	2.13	2.23	2.36
	min	17.49	21.05	19.30	25.30	24.71	18.96	20.93	21.00	21.09	21.11	20.32	16.66
	max	33.45	34.14	36.67	38.26	38.41	38.36	34.57	33.89	32.30	33.12	35.05	35.39
	count	837.00	763.00	837.00	810.00	837.00	810.00	837.00	837.00	810.00	837.00	810.00	837.00
Min. temperature for all days	mean	7.63	8.85	11.07	13.67	14.90	15.76	14.46	14.44	14.62	12.56	10.06	8.21
	sum	6384.72	6754.64	9263.79	11075.70	12472.04	12764.43	12101.51	12089.23	11839.25	10513.33	8150.65	6867.61

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
	std.dev.	2.43	2.45	2.19	1.86	1.73	1.53	1.48	1.50	1.56	2.66	2.61	2.65
	min	-1.13	2.20	4.41	7.29	9.59	11.37	9.24	10.20	8.35	2.78	2.11	-1.82
	max	16.58	15.99	16.80	18.90	20.82	20.78	18.75	18.88	19.31	19.74	18.62	17.83
	count	837.00	763.00	837.00	810.00	837.00	810.00	837.00	837.00	810.00	837.00	810.00	837.00

Cuadro 23. Generador climático para la estación meteorológica 20310

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		31.00	21.00	8.00	44.00	151.00	276.00	319.00	262.00	218.00	112.00	33.00	23.00
Dry day count		651.00	601.00	674.00	616.00	531.00	384.00	363.00	420.00	442.00	570.00	627.00	659.00
Wet days following dry days count		18.00	14.00	7.00	33.00	78.00	127.00	124.00	122.00	100.00	71.00	24.00	16.00
Wet days following wet days count		13.00	7.00	1.00	11.00	73.00	149.00	195.00	140.00	118.00	41.00	9.00	7.00
Days of valid data count		682.00	622.00	682.00	660.00	682.00	660.00	682.00	682.00	660.00	682.00	660.00	682.00
Precip.	mean	16.06	4.40	3.91	11.04	67.84	100.98	154.41	106.61	93.38	31.26	8.42	2.06
Max. temperature for all days	mean	24.88	24.61	26.22	27.53	27.98	26.74	25.76	25.97	25.59	25.75	25.47	25.20
	sum	16966.23	15307.65	17881.80	18171.95	19079.89	17651.26	17566.93	17709.64	16887.91	17561.18	16807.56	17185.98
	std.dev.	2.51	2.72	2.72	2.95	3.15	2.47	2.07	1.86	2.15	1.85	2.14	2.32
	min	15.64	15.78	17.68	18.17	19.33	20.63	20.10	20.30	19.68	18.62	18.89	15.09
	max	32.26	32.33	33.55	37.04	38.65	35.37	33.56	31.41	33.75	31.11	33.22	32.67
	count	682.00	622.00	682.00	660.00	682.00	660.00	682.00	682.00	660.00	682.00	660.00	682.00
Min. temperature for all days	mean	9.54	10.05	11.76	12.85	13.68	13.98	13.74	13.47	13.43	12.89	11.93	9.87
	sum	6503.86	6249.85	8018.59	8478.15	9330.01	9227.28	9367.76	9189.69	8861.06	8787.54	7874.61	6733.38
	std.dev.	2.47	2.41	2.15	1.57	1.74	1.92	1.93	1.67	1.86	1.87	2.54	2.36
	min	1.86	2.65	5.00	6.75	7.97	7.90	6.63	8.52	8.10	6.69	4.36	2.70
	max	16.70	16.76	18.57	17.37	19.20	20.10	19.21	19.52	19.08	18.68	20.45	15.82
	count	682.00	622.00	682.00	660.00	682.00	660.00	682.00	682.00	660.00	682.00	660.00	682.00

Cuadro 24. Generador climático para la estación meteorológica 20375

Variable		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Wet day count		13.00	34.00	18.00	56.00	159.00	315.00	317.00	290.00	262.00	135.00	23.00	23.00
Dry day count		576.00	503.00	571.00	514.00	430.00	255.00	272.00	299.00	308.00	454.00	547.00	566.00
Wet days following dry days count		9.00	26.00	11.00	41.00	88.00	108.00	104.00	114.00	74.00	64.00	15.00	9.00
Wet days following wet days count		4.00	8.00	7.00	15.00	71.00	207.00	213.00	176.00	188.00	71.00	8.00	14.00
Days of valid data count		589.00	537.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00
Precip.	mean	6.83	9.61	8.34	18.26	81.89	156.91	150.23	126.43	125.25	75.72	7.91	2.82
Max. temperature for all days	mean	26.05	28.18	30.48	32.07	31.07	28.85	28.11	27.67	27.18	26.88	26.99	26.26
	sum	15345.88	15134.21	17950.58	18279.93	18300.27	16444.26	16558.13	16299.38	15494.05	15832.27	15384.22	15464.34
	std.dev.	2.31	3.22	3.18	3.14	3.09	4.10	3.71	2.83	2.85	2.17	2.22	2.36
	min	16.18	15.94	21.08	22.08	22.28	17.60	17.08	20.19	19.88	17.74	19.53	18.63
	max	31.82	35.80	42.65	42.90	40.49	42.65	40.40	36.15	35.78	34.30	33.19	35.04

	count	589.00	537.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00
Min. temperature for all days	mean	9.20	10.95	12.41	14.62	15.47	15.66	14.82	14.56	14.44	13.01	11.28	9.96
	sum	5417.77	5880.75	7308.94	8334.83	9114.17	8925.68	8727.84	8574.80	8230.53	7661.62	6428.38	5868.88
	std.dev.	2.53	3.16	2.45	2.43	2.20	1.86	2.48	2.09	2.25	2.49	3.06	2.41
	min	1.11	2.09	3.80	6.99	8.13	9.63	6.71	7.24	8.32	5.33	2.95	2.57
	max	20.25	19.52	18.67	21.36	22.61	21.27	22.32	20.67	21.84	20.34	24.16	16.93
	count	589.00	537.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00	589.00	570.00	589.00	570.00	589.00

8.4. Anexo 4. Base de datos (clima)

Cuadro 25. Base de datos de los generadores climáticos acorde a las especificaciones del modelo SWAT

OBJECTID	STATION	WLATITUDE	WLONGITUDE	WELEV	RAIN_YRS	TMPMX1	TMPMX2	TMPMX3	TMPMX4	TMPMX5	TMPMX6	TMPMX7	TMPMX8	TMPMX9	TMPMX10
1	20013	17.9000	-97.6833	1849	33	25.4	26.5	28.9	30.1	29.9	27.7	26.5	26.5	26.2	26.1
2	20028	17.5847	-97.6298	1854	31	24.9	26.3	29.3	30.6	30.6	27.6	26.1	26.9	26.0	26.2
3	20051	17.3333	-98.0120	1683	30	25.3	26.1	27.7	28.6	28.0	25.8	25.6	25.8	25.6	26.3
4	20067	17.8596	-98.1410	1080	29	30.4	32.7	35.1	36.4	36.0	34.4	32.5	32.5	32.1	31.9
5	20103	17.5721	-97.5228	2296	55	22.2	23.7	25.0	26.3	25.8	23.9	22.6	22.9	22.2	22.5
6	20108	17.7428	-97.8178	1510	33	27.0	28.2	30.7	32.2	31.6	29.3	28.8	28.9	27.1	28.3
7	20125	17.5555	-97.8142	1911	32	28.8	30.3	32.5	33.8	33.6	30.4	29.4	29.8	29.3	29.7
8	20133	17.9034	-97.8927	1700	35	25.4	27.3	29.6	31.4	31.2	28.1	27.0	26.9	26.1	26.6
9	20137	17.7221	-97.5368	2079	34	21.7	23.4	25.6	26.5	26.0	23.7	22.6	22.5	22.3	22.2
10	20141	17.4976	-98.1437	1684	59	28.2	29.4	32.1	33.8	33.3	30.8	28.9	28.4	28.1	27.9
11	20142	17.5030	-98.1400	1684	19	27.4	28.6	30.8	31.3	31.2	28.9	27.9	27.9	27.3	27.6
12	20159	17.5013	-97.4825	2183	32	23.8	24.7	26.0	26.8	26.2	23.9	23.2	23.6	23.2	23.1
13	20163	17.3333	-97.8000	2023	42	28.1	29.7	31.8	33.2	32.7	29.6	28.4	28.6	28.5	28.6
14	20167	17.2670	-97.6830	2065	34	23.4	24.4	25.2	26.3	25.4	24.4	24.7	24.4	23.5	24.0
15	20190	17.8855	-97.8079	2000	61	23.3	25.4	26.5	28.4	27.9	24.4	24.0	24.7	23.3	23.6
16	20275	17.8046	-97.7774	1581	27	26.8	28.0	30.4	31.3	31.1	28.3	27.1	27.4	26.8	27.3
17	20310	17.4540	-98.0060	1700	22	24.9	24.6	26.2	27.5	28.0	26.7	25.8	26.0	25.6	25.7
18	20375	17.4560	-98.0890	1641	19	26.1	28.2	30.5	32.1	31.1	28.8	28.1	27.7	27.2	26.9

Cuadro 26. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	TMPMX11	TMPMX12	TMPMN1	TMPMN2	TMPMN3	TMPMN4	TMPMN5	TMPMN6	TMPMN7	TMPMN8	TMPMN9	TMPMN10	TMPMN11	TMPMN12
1	20013	25.9	25.5	8.6	9.5	11.1	13.4	15.0	15.6	14.9	14.4	14.4	12.5	10.4	8.7
2	20028	26.0	25.4	7.0	7.7	9.4	11.3	12.5	12.9	12.0	12.5	12.8	11.5	9.5	7.9
3	20051	26.1	24.9	5.6	6.7	8.6	11.1	12.3	11.9	11.4	11.1	11.3	10.1	7.3	5.7
4	20067	31.3	31.1	11.7	13.3	16.8	18.6	18.8	19.0	18.4	17.5	17.3	16.0	12.5	12.4
5	20103	21.8	21.8	4.1	4.8	6.5	8.6	9.7	10.7	10.2	10.1	10.3	8.8	6.1	4.4

OBJECTID	STATION	TMPMX11	TMPMX12	TMPMN1	TMPMN2	TMPMN3	TMPMN4	TMPMN5	TMPMN6	TMPMN7	TMPMN8	TMPMN9	TMPMN10	TMPMN11	TMPMN12
6	20108	28.1	27.2	8.4	9.9	11.3	13.6	14.9	14.8	14.5	14.4	14.3	12.5	10.3	9.0
7	20125	29.6	29.0	11.4	12.9	15.1	16.7	17.8	17.8	17.0	17.0	16.6	16.1	13.4	12.0
8	20133	26.6	25.6	10.5	11.8	13.6	15.3	16.2	15.8	15.0	14.8	14.7	13.7	12.1	11.0
9	20137	21.9	21.7	5.7	6.2	7.5	8.7	10.0	10.6	10.3	10.4	10.4	8.8	7.4	6.1
10	20141	27.5	27.4	8.6	9.2	11.1	13.4	14.7	14.7	13.7	13.5	13.6	12.1	10.0	8.9
11	20142	27.0	27.0	10.7	11.1	12.6	14.2	15.0	15.2	14.6	14.2	14.7	13.8	12.0	11.2
12	20159	23.5	23.2	3.8	4.9	6.4	7.5	8.5	9.8	9.4	9.3	9.5	8.0	5.7	4.6
13	20163	28.6	28.2	8.1	9.9	11.6	13.5	14.4	14.8	14.6	14.2	14.2	12.8	10.1	8.9
14	20167	23.6	23.2	6.2	7.1	8.8	10.4	11.8	12.5	12.8	12.2	12.0	10.2	7.9	6.4
15	20190	24.1	24.2	11.1	12.5	12.6	13.5	13.8	12.8	12.5	13.3	12.8	12.2	11.9	11.5
16	20275	27.4	26.9	7.6	8.9	11.1	13.7	14.9	15.8	14.5	14.4	14.6	12.6	10.1	8.2
17	20310	25.5	25.2	9.5	10.0	11.8	12.8	13.7	14.0	13.7	13.5	13.4	12.9	11.9	9.9
18	20375	27.0	26.3	9.2	11.0	12.4	14.6	15.5	15.7	14.8	14.6	14.4	13.0	11.3	10.0

Cuadro 27. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	TMPSTDMX1	TMPSTDMX2	TMPSTDMX3	TMPSTDMX4	TMPSTDMX5	TMPSTDMX6	TMPSTDMX7	TMPSTDMX8	TMPSTDMX9	TMPSTDMX10	TMPSTDMX11
1	20013	2.3	2.9	2.3	2.2	2.5	2.9	1.9	2.0	1.9	2.4	2.2
2	20028	3.1	3.9	3.7	3.9	3.8	4.8	4.3	3.8	3.0	3.2	3.1
3	20051	2.4	2.6	2.7	2.6	2.8	3.0	2.3	2.2	2.4	2.2	2.3
4	20067	3.3	2.6	2.7	2.5	2.8	3.8	2.8	3.0	2.7	2.6	2.5
5	20103	3.7	3.4	3.7	3.5	3.6	3.3	3.1	3.1	3.1	3.3	3.4
6	20108	3.6	4.0	3.8	2.9	3.5	4.4	4.4	4.2	3.5	4.2	4.2
7	20125	2.5	2.4	2.2	2.1	2.1	3.0	2.3	2.3	2.2	2.0	2.3
8	20133	2.2	2.7	2.7	2.1	2.5	3.1	2.1	2.2	2.0	2.2	1.9
9	20137	2.6	3.0	3.1	3.0	2.9	2.4	1.9	2.0	2.3	2.3	2.5
10	20141	3.8	3.4	3.5	3.7	4.1	4.0	5.4	5.2	5.3	5.2	5.1
11	20142	2.8	2.3	2.7	3.1	2.6	2.5	2.2	2.2	2.5	2.4	2.3
12	20159	2.3	2.6	2.4	2.8	2.8	2.5	2.0	2.1	2.1	2.2	2.6
13	20163	2.5	2.5	2.2	2.2	2.3	2.6	1.7	1.8	2.1	2.1	2.6

OBJECTID	STATION	TMPSTDMX1	TMPSTDMX2	TMPSTDMX3	TMPSTDMX4	TMPSTDMX5	TMPSTDMX6	TMPSTDMX7	TMPSTDMX8	TMPSTDMX9	TMPSTDMX10	TMPSTDMX11
14	20167	4.3	5.0	4.5	4.4	3.3	3.3	5.4	4.6	2.6	3.9	4.8
15	20190	2.4	3.6	2.6	2.9	3.2	3.2	2.4	2.5	2.5	2.5	2.3
16	20275	2.3	2.4	2.4	2.3	2.4	2.8	2.0	1.9	1.8	2.1	2.2
17	20310	2.5	2.7	2.7	2.9	3.1	2.5	2.1	1.9	2.1	1.8	2.1
18	20375	2.3	3.2	3.2	3.1	3.1	4.1	3.7	2.8	2.9	2.2	2.2

Cuadro 28. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	TMPSTDMX12	TMPSTDMN1	TMPSTDMN2	TMPSTDMN3	TMPSTDMN4	TMPSTDMN5	TMPSTDMN6	TMPSTDMN7	TMPSTDMN8	TMPSTDMN9	TMPSTDMN10
1	20013	1.9	2.4	2.8	2.8	2.9	1.8	1.6	1.6	2.4	2.6	3.2
2	20028	3.1	2.1	2.5	2.1	2.1	1.8	1.6	1.6	2.0	2.3	2.7
3	20051	2.8	3.0	2.7	3.0	2.5	2.2	2.8	2.6	2.6	2.7	2.6
4	20067	2.7	2.5	2.9	3.4	2.3	2.7	1.8	1.8	2.0	2.0	3.0
5	20103	3.6	3.5	3.4	3.0	2.8	2.4	2.0	2.2	2.3	2.3	2.9
6	20108	3.9	3.6	3.5	3.9	4.1	3.8	4.1	3.8	3.8	3.6	4.0
7	20125	2.2	3.0	2.9	3.0	2.6	2.2	2.7	2.1	1.8	1.8	2.4
8	20133	2.0	1.8	2.5	2.2	1.9	1.5	1.5	1.3	1.2	1.5	1.9
9	20137	2.5	2.7	2.8	2.2	1.9	1.9	1.8	2.2	2.0	2.2	2.4
10	20141	5.7	2.6	2.6	3.0	2.7	2.7	2.8	3.4	3.1	3.3	3.2
11	20142	2.3	3.0	2.9	2.6	2.0	1.5	1.4	1.6	1.5	1.6	2.1
12	20159	2.2	3.9	4.0	3.3	2.2	2.0	2.2	2.0	2.1	2.2	2.4
13	20163	2.4	3.4	3.6	3.1	3.0	2.5	2.5	2.2	2.2	2.4	3.0
14	20167	4.8	5.0	6.0	5.6	5.2	4.4	3.1	4.2	3.9	2.5	4.5
15	20190	1.9	2.7	4.2	2.3	2.4	2.3	2.1	2.1	2.1	2.0	2.2
16	20275	2.4	2.4	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.5	1.5	1.6	2.7
17	20310	2.3	2.5	2.4	2.1	1.6	1.7	1.9	1.9	1.7	1.9	1.9
18	20375	2.4	2.5	3.2	2.5	2.4	2.2	1.9	2.5	2.1	2.3	2.5

Cuadro 29. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	TMPSTDMN11	TMPSTDMN12	PCPMM1	TMPSTDMN11	TMPSTDMN12	PCPMM1	PCPMM2	PCPMM3	PCPMM4	PCPMM5	PCPMM6	PCPMM7	PCPMM8
1	20013	3.0	3.0	5.4	3.0	3.0	5.4	8.4	10.2	23.3	81.9	135.3	89.3	91.0
2	20028	2.5	2.4	4.8	2.5	2.4	4.8	6.6	4.4	25.0	63.9	124.3	106.7	82.3
3	20051	3.0	2.8	9.8	3.0	2.8	9.8	3.4	3.8	14.4	42.4	139.5	146.2	122.4
4	20067	3.7	3.2	1.1	3.7	3.2	1.1	1.9	11.6	16.7	54.7	136.9	105.6	129.5
5	20103	3.5	3.6	9.6	3.5	3.6	9.6	6.4	9.3	28.3	89.4	163.5	113.9	100.0
6	20108	3.8	4.1	3.7	3.8	4.1	3.7	4.3	5.1	15.8	85.7	172.9	109.1	101.7
7	20125	2.7	2.7	5.4	2.7	2.7	5.4	7.1	12.0	29.4	53.2	153.5	125.4	103.9
8	20133	2.0	1.7	4.6	2.0	1.7	4.6	3.8	11.1	28.0	75.0	182.5	110.1	117.4
9	20137	2.5	2.5	3.6	2.5	2.5	3.6	4.9	6.5	21.3	55.7	133.1	84.1	55.2
10	20141	3.0	3.0	7.8	3.0	3.0	7.8	6.4	4.7	24.2	92.8	171.7	184.5	208.9
11	20142	3.1	2.6	7.8	3.1	2.6	7.8	6.2	4.9	23.6	79.4	166.7	142.7	163.5
12	20159	3.3	3.5	5.6	3.3	3.5	5.6	12.9	14.0	34.6	71.4	134.6	114.9	93.8
13	20163	3.7	3.6	4.1	3.7	3.6	4.1	4.3	6.1	21.5	62.7	155.4	102.5	84.9
14	20167	5.5	4.6	9.4	5.5	4.6	9.4	14.4	6.2	22.8	89.1	196.8	171.7	138.9
15	20190	2.2	2.3	8.1	2.2	2.3	8.1	5.6	7.8	21.8	80.7	182.9	128.0	106.3
16	20275	2.6	2.6	3.9	2.6	2.6	3.9	8.7	12.6	18.6	67.1	157.1	111.3	129.0
17	20310	2.5	2.4	16.1	2.5	2.4	16.1	4.4	3.9	11.0	67.8	101.0	154.4	106.6
18	20375	3.1	2.4	6.8	3.1	2.4	6.8	9.6	8.3	18.3	81.9	156.9	150.2	126.4

Cuadro 30. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	PCPMM9	PCPMM10	PCPMM11	PCPMM12	PCPSTD1	PCPSTD2	PCPSTD3	PCPSTD4	PCPSTD5	PCPSTD6	PCPSTD7	PCPSTD8	PCPSTD9	PCPSTD10
1	20013	140.2	69.3	13.7	3.3	1.4	0.9	1.7	3.1	6.8	9.3	7.1	8.1	9.0	7.0
2	20028	96.9	55.5	16.1	5.8	1.3	1.6	1.2	2.9	6.1	7.9	8.4	6.5	7.4	5.9
3	20051	143.0	59.4	8.5	4.3	2.4	1.5	1.1	2.5	4.0	7.2	7.7	7.0	7.8	4.6
4	20067	129.1	63.3	3.8	1.2	0.5	0.8	3.2	2.4	5.8	8.3	7.2	8.6	8.2	6.1
5	20103	131.3	52.0	24.0	5.7	1.9	1.5	1.6	3.4	6.9	9.3	7.8	6.8	8.4	5.3
6	20108	154.1	58.3	16.3	6.3	1.4	1.1	1.4	2.5	6.9	10.5	7.5	6.4	9.3	5.7

OBJECTID	STATION	PCPMM9	PCPMM10	PCPMM11	PCPMM12	PCPSTD1	PCPSTD2	PCPSTD3	PCPSTD4	PCPSTD5	PCPSTD6	PCPSTD7	PCPSTD8	PCPSTD9	PCPSTD10
7	20125	156.2	69.9	21.4	5.1	1.5	1.7	2.1	3.4	5.0	8.9	8.1	6.6	9.3	7.0
8	20133	137.2	75.2	5.9	5.8	1.2	1.0	2.0	3.2	6.8	9.6	7.3	7.6	9.0	6.8
9	20137	113.5	29.6	10.4	7.6	1.0	1.4	2.1	2.7	5.1	8.7	6.9	4.9	8.3	3.4
10	20141	184.1	71.4	16.7	5.3	2.7	1.8	1.0	3.5	6.8	8.8	8.8	10.2	9.3	5.7
11	20142	143.6	44.4	21.5	12.0	1.8	1.7	1.5	3.6	6.6	9.8	9.2	8.8	9.4	4.5
12	20159	107.4	33.8	14.8	6.6	1.6	2.4	2.8	3.8	5.9	7.1	6.9	6.8	7.0	3.8
13	20163	137.2	49.6	15.9	0.9	1.1	1.1	1.8	3.0	5.1	8.8	7.3	5.9	9.6	4.6
14	20167	150.2	43.0	14.6	2.8	1.9	2.4	1.5	2.6	7.0	10.5	8.7	8.0	8.0	3.8
15	20190	158.8	60.7	14.4	5.4	1.9	1.3	1.8	2.9	6.1	10.1	8.6	7.6	9.5	5.8
16	20275	178.1	59.4	10.2	6.9	1.0	2.2	2.5	2.5	5.9	10.7	8.0	9.1	10.6	6.3
17	20310	93.4	31.3	8.4	2.1	3.5	1.3	1.3	2.0	6.0	6.2	7.6	6.4	6.0	3.2
18	20375	125.3	75.7	7.9	2.8	2.1	1.7	1.9	2.5	7.0	8.6	7.8	6.4	7.7	6.6

Cuadro 31. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	PCPSTD11	PCPSTD12	PCPSKW1	PCPSKW2	PCPSKW3	PCPSKW4	PCPSKW5	PCPSKW6	PCPSKW7	PCPSKW8	PCPSKW9	PCPSKW10	PCPSKW11
1	20013	1.6	1.0	16.5	17.3	9.4	7.2	4.4	2.2	2.9	3.4	3.2	7.9	11.1
2	20028	3.5	1.9	10.2	7.8	10.9	4.3	4.7	3.3	3.8	3.6	3.2	5.7	10.6
3	20051	1.3	0.9	10.8	14.2	12.8	7.7	4.5	2.4	2.6	2.6	2.3	3.2	5.8
4	20067	1.3	0.6	15.2	14.1	10.9	5.2	5.0	2.1	4.1	2.8	2.7	3.9	12.4
5	20103	3.3	1.1	8.6	9.6	7.3	5.3	4.1	2.7	3.2	3.1	2.7	5.2	6.5
6	20108	2.8	1.6	15.8	11.2	13.0	8.8	3.7	3.2	2.9	2.9	2.9	5.0	6.5
7	20125	3.3	1.3	12.3	9.1	7.1	4.6	4.0	2.9	3.0	3.2	2.8	4.5	7.0
8	20133	1.5	2.3	11.0	9.4	7.4	4.6	4.9	2.1	2.8	2.6	2.9	4.4	10.7
9	20137	1.8	1.6	10.4	10.3	16.9	5.2	4.2	2.8	3.5	4.0	3.0	5.0	7.5
10	20141	3.5	1.4	15.1	11.9	8.0	6.5	3.0	2.1	1.9	2.0	1.9	3.1	9.2
11	20142	6.1	2.4	9.3	10.7	13.4	5.9	3.4	2.4	3.0	2.3	2.8	3.8	13.9
12	20159	2.2	1.5	11.9	6.0	10.0	4.4	3.5	1.9	2.4	2.8	2.4	4.7	5.6
13	20163	2.4	0.3	11.7	9.6	13.0	6.3	3.7	2.3	3.5	3.7	4.0	3.9	5.5
14	20167	2.4	0.8	7.4	7.2	9.9	4.6	3.2	2.4	2.2	2.4	2.4	3.9	6.4

OBJECTID	STATION	PCPSTD11	PCPSTD12	PCPSKW1	PCPSKW2	PCPSKW3	PCPSKW4	PCPSKW5	PCPSKW6	PCPSKW7	PCPSKW8	PCPSKW9	PCPSKW10	PCPSKW11
15	20190	2.7	1.4	8.6	7.9	9.4	5.4	3.2	2.3	3.1	3.2	2.5	4.3	6.8
16	20275	1.8	1.8	10.5	9.7	9.4	6.1	4.4	3.6	3.7	4.5	2.6	5.5	7.2
17	20310	1.6	0.5	9.2	10.8	11.7	7.8	3.9	2.6	1.7	2.4	2.5	4.3	6.6
18	20375	1.9	0.6	11.8	6.6	8.3	6.6	4.0	2.3	2.5	2.2	2.8	3.7	9.1

Cuadro 32. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	PCPSKW12	PR_W1_1	PR_W1_2	PR_W1_3	PR_W1_4	PR_W1_5	PR_W1_6	PR_W1_7	PR_W1_8	PR_W1_9	PR_W1_10	PR_W1_11	PR_W1_12	PR_W2_1
1	20013	16.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
2	20028	14.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
3	20051	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
4	20067	20.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
5	20103	8.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
6	20108	9.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
7	20125	11.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
8	20133	18.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
9	20137	8.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
10	20141	10.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
11	20142	6.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
12	20159	9.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
13	20163	12.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
14	20167	13.9	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
15	20190	11.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
16	20275	11.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
17	20310	9.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
18	20375	8.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

Cuadro 33. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	PR_W2_2	PR_W2_3	PR_W2_4	PR_W2_5	PR_W2_6	PR_W2_7	PR_W2_8	PR_W2_9	PR_W2_10	PR_W2_11	PR_W2_12	PCPD1	PCPD2	PCPD3	PCPD4
1	20013	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0
2	20028	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	4.0
3	20051	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0
4	20067	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0
5	20103	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.0	2.0	1.0	2.0	4.0
6	20108	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0
7	20125	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.3	0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	4.0
8	20133	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	4.0
9	20137	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0
10	20141	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0
11	20142	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0
12	20159	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	4.0
13	20163	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0
14	20167	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	1.0	2.0	1.0	4.0
15	20190	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0
16	20275	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	4.0
17	20310	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	2.0
18	20375	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.4	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	1.0	2.0	1.0	3.0

Cuadro 34. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	PCPD5	PCPD6	PCPD7	PCPD8	PCPD9	PCPD10	PCPD11	PCPD12	RAINHHMX1	RAINHHMX2	RAINHHMX3	RAINHHMX4	RAINHHMX5	RAINHHMX6
1	20013	7.0	11.0	7.0	8.0	10.0	6.0	2.0	1.0	0.8	1.2	1.4	3.2	11.4	18.8
2	20028	7.0	12.0	10.0	9.0	9.0	5.0	2.0	1.0	0.8	1.0	0.7	3.9	10.1	19.6
3	20051	6.0	15.0	16.0	14.0	14.0	8.0	2.0	1.0	1.3	0.4	0.5	1.9	5.7	18.7
4	20067	5.0	11.0	11.0	11.0	13.0	6.0	0.0	0.0	0.2	0.3	1.6	2.4	7.8	19.5
5	20103	9.0	15.0	11.0	11.0	13.0	6.0	4.0	1.0	1.2	0.8	1.2	3.6	11.4	20.8
6	20108	10.0	15.0	12.0	12.0	15.0	7.0	2.0	1.0	0.5	0.5	0.7	2.0	10.9	22.0
7	20125	7.0	15.0	13.0	13.0	16.0	7.0	3.0	1.0	0.7	0.9	1.5	3.7	6.7	19.3

OBJECTID	STATION	PCPD5	PCPD6	PCPD7	PCPD8	PCPD9	PCPD10	PCPD11	PCPD12	RAINHHMX1	RAINHHMX2	RAINHHMX3	RAINHHMX4	RAINHHMX5	RAINHHMX6
8	20133	8.0	15.0	11.0	12.0	12.0	7.0	1.0	1.0	0.6	0.5	1.4	3.5	9.3	22.6
9	20137	7.0	12.0	8.0	7.0	10.0	4.0	2.0	1.0	0.6	0.9	1.2	3.8	9.9	23.7
10	20141	8.0	14.0	15.0	16.0	15.0	7.0	2.0	1.0	0.7	0.6	0.5	2.3	8.9	16.4
11	20142	7.0	13.0	12.0	15.0	11.0	4.0	2.0	1.0	0.9	0.7	0.6	2.7	9.1	19.1
12	20159	7.0	14.0	11.0	8.0	10.0	4.0	2.0	1.0	0.8	1.9	2.0	5.0	10.4	19.5
13	20163	9.0	15.0	12.0	12.0	12.0	6.0	2.0	0.0	0.6	0.6	0.9	3.1	9.1	22.5
14	20167	8.0	16.0	15.0	12.0	15.0	6.0	2.0	1.0	1.0	1.6	0.7	2.5	9.7	21.4
15	20190	8.0	14.0	11.0	10.0	13.0	6.0	2.0	1.0	1.0	0.7	0.9	2.6	9.7	21.9
16	20275	9.0	14.0	12.0	13.0	15.0	6.0	2.0	1.0	0.5	1.1	1.5	2.3	8.2	19.3
17	20310	7.0	13.0	15.0	12.0	10.0	5.0	2.0	1.0	2.5	0.7	0.6	1.7	10.6	15.7
18	20375	8.0	17.0	17.0	15.0	14.0	7.0	1.0	1.0	0.8	1.2	1.0	2.2	9.9	19.0

Cuadro 35. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	RAINHHMX7	RAINHHMX8	RAINHHMX9	RAINHHMX10	RAINHHMX11	RAINHHMX12	SOLARAV1	SOLARAV2	SOLARAV3	SOLARAV4	SOLARAV5	SOLARAV6
1	20013	12.4	12.7	19.5	9.6	1.9	0.5	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
2	20028	16.8	13.0	15.3	8.8	2.5	0.9	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
3	20051	19.6	16.4	19.2	8.0	1.1	0.6	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
4	20067	15.1	18.5	18.4	9.0	0.5	0.2	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
5	20103	14.5	12.8	16.7	6.6	3.1	0.7	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
6	20108	13.9	13.0	19.7	7.4	2.1	0.8	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
7	20125	15.8	13.1	19.7	8.8	2.7	0.6	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
8	20133	13.6	14.5	17.0	9.3	0.7	0.7	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
9	20137	15.0	9.8	20.2	5.3	1.8	1.4	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
10	20141	17.6	20.0	17.6	6.8	1.6	0.5	397.0	451.0	484.0	452.0	454.0	463.0
11	20142	16.3	18.7	16.5	5.1	2.5	1.4	397.0	451.0	484.0	452.0	454.0	463.0
12	20159	16.7	13.6	15.6	4.9	2.1	1.0	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
13	20163	14.9	12.3	19.9	7.2	2.3	0.1	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
14	20167	18.7	15.1	16.3	4.7	1.6	0.3	397.0	451.0	484.0	452.0	454.0	463.0
15	20190	15.3	12.7	19.0	7.3	1.7	0.6	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0

OBJECTID	STATION	RAINHHMX7	RAINHHMX8	RAINHHMX9	RAINHHMX10	RAINHHMX11	RAINHHMX12	SOLARAV1	SOLARAV2	SOLARAV3	SOLARAV4	SOLARAV5	SOLARAV6
16	20275	13.6	15.8	21.8	7.3	1.2	0.8	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
17	20310	24.0	16.6	14.5	4.9	1.3	0.3	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0
18	20375	18.2	15.3	15.2	9.2	1.0	0.3	381.0	431.0	453.0	433.0	478.0	451.0

Cuadro 36. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	SOLARAV7	SOLARAV8	SOLARAV7	SOLARAV8	SOLARAV9	SOLARAV10	SOLARAV11	SOLARAV12	DEWPT1	DEWPT2	DEWPT3	DEWPT4	DEWPT5
1	20013	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	10.2	10.3	11.8	13.5	15.6
2	20028	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	9.0	8.7	10.5	12.2	14.3
3	20051	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	9.0	9.3	10.2	12.1	13.6
4	20067	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	15.3	17.0	19.0	20.4	21.6
5	20103	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	4.1	4.3	5.8	7.4	9.9
6	20108	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	11.2	11.2	12.7	14.8	16.4
7	20125	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	8.8	7.9	8.6	9.5	11.1
8	20133	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	11.5	12.0	13.6	15.4	16.9
9	20137	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	6.0	5.9	6.8	8.4	10.3
10	20141	472.0	465.0	472.0	465.0	424.0	421.0	418.0	382.0	11.2	12.0	13.8	16.3	17.7
11	20142	472.0	465.0	472.0	465.0	424.0	421.0	418.0	382.0	12.3	12.3	13.5	14.8	16.5
12	20159	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	5.3	5.3	6.3	7.4	9.6
13	20163	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	10.0	10.2	11.8	13.4	15.4
14	20167	472.0	465.0	472.0	465.0	424.0	421.0	418.0	382.0	7.6	7.4	8.4	9.6	11.6
15	20190	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	11.0	10.7	11.3	13.1	14.8
16	20275	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	10.5	11.1	12.5	14.5	16.2
17	20310	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	10.9	10.4	10.6	12.1	14.3
18	20375	459.0	448.0	459.0	448.0	412.0	427.0	409.0	371.0	11.2	11.9	13.0	15.1	16.6

Cuadro 37. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	DEWPT6	DEWPT7	DEWPT8	DEWPT9	DEWPT10	DEWPT11	DEWPT12	WNDNAV1	WNDNAV2	WNDNAV3	WNDNAV4	WNDNAV5	WNDNAV6	WNDNAV7
1	20013	16.4	15.9	15.5	15.6	14.0	12.4	10.8	2.5	2.8	2.8	2.3	2.2	2.1	2.0
2	20028	14.7	14.1	14.5	14.8	13.3	11.7	9.9	2.4	2.7	2.7	2.2	2.1	2.0	2.0

OBJECTID	STATION	DEWPT6	DEWPT7	DEWPT8	DEWPT9	DEWPT10	DEWPT11	DEWPT12	WNDVAV1	WNDVAV2	WNDVAV3	WNDVAV4	WNDVAV5	WNDVAV6	WNDVAV7
3	20051	13.8	13.6	13.6	14.5	13.2	11.3	9.4	2.3	2.6	2.6	2.1	2.0	2.0	1.9
4	20067	22.2	21.4	21.4	21.5	19.5	17.6	16.3	2.2	2.6	2.6	2.2	2.1	2.0	1.9
5	20103	11.1	10.7	10.5	11.0	9.0	7.4	5.4	2.5	2.7	2.7	2.2	2.1	2.0	2.0
6	20108	17.3	17.1	17.3	16.9	15.5	13.4	11.7	2.4	2.7	2.7	2.2	2.1	2.0	2.0
7	20125	12.1	11.9	15.1	12.6	11.7	10.4	9.5	2.3	2.6	2.7	2.1	2.0	2.0	2.0
8	20133	17.0	16.2	16.3	16.2	15.1	14.0	12.4	2.4	2.7	2.7	2.2	2.1	2.1	2.0
9	20137	11.3	11.1	11.0	11.4	9.8	8.2	6.7	2.5	2.8	2.7	2.2	2.1	2.0	2.0
10	20141	18.2	16.9	16.8	16.7	14.6	12.6	11.3	2.2	2.5	2.5	2.0	2.0	1.9	1.9
11	20142	17.4	17.0	16.8	17.0	15.7	14.4	13.0	2.2	2.5	2.5	2.0	2.0	1.9	1.9
12	20159	11.0	10.9	10.9	11.2	9.6	7.8	6.3	2.5	2.7	2.7	2.1	2.0	1.9	2.0
13	20163	16.3	16.0	16.1	16.3	14.6	12.7	11.1	2.3	2.6	2.6	2.0	2.0	1.9	1.9
14	20167	12.9	13.9	13.4	13.2	11.7	10.2	8.0	2.4	2.7	2.7	2.1	2.0	2.0	2.0
15	20190	14.9	14.6	14.9	14.9	14.0	13.2	12.1	2.4	2.7	2.7	2.2	2.1	2.1	2.0
16	20275	17.0	16.2	16.2	16.3	14.9	13.2	11.2	2.5	2.8	2.8	2.3	2.2	2.1	2.0
17	20310	15.5	15.2	15.4	15.5	14.3	13.0	11.4	2.3	2.6	2.6	2.1	2.0	2.0	1.9
18	20375	17.5	17.0	16.8	16.7	14.9	13.6	12.0	2.3	2.6	2.6	2.1	2.0	2.0	1.9

Cuadro 38. Continuación del cuadro 25

OBJECTID	STATION	WNDV8	WNDV9	WNDV10	WNDV11	WNDV12
1	20013	2.0	2.0	2.4	2.5	2.3
2	20028	2.0	2.0	2.4	2.4	2.3
3	20051	1.9	1.8	2.2	2.2	2.1
4	20067	1.9	1.9	2.2	2.2	2.0
5	20103	2.0	1.9	2.4	2.5	2.4
6	20108	2.0	1.9	2.3	2.3	2.2
7	20125	2.0	1.9	2.2	2.3	2.2
8	20133	2.0	2.0	2.3	2.3	2.2
9	20137	2.0	2.0	2.4	2.5	2.4
10	20141	1.9	1.8	2.1	2.1	2.0
11	20142	1.9	1.8	2.1	2.1	2.0
12	20159	2.0	1.9	2.3	2.4	2.4
13	20163	1.9	1.8	2.2	2.3	2.2
14	20167	2.0	1.9	2.3	2.4	2.3
15	20190	2.0	2.0	2.3	2.3	2.2
16	20275	2.0	2.0	2.4	2.5	2.3
17	20310	1.9	1.9	2.2	2.2	2.1
18	20375	1.9	1.9	2.2	2.2	2.1