

## **XIV. Cartografía de zonas prioritarias que proveen servicios ambientales hidrológicos en cafetales: caso de la zona centro del estado de Veracruz.**

**S. Pierre Mokondoko Delgadillo<sup>1</sup>, Isabel García Coll<sup>2</sup>,  
Abelino Martínez Otero<sup>3</sup>, Robert H. Manson<sup>4</sup>**

---

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado del Instituto de Ecología A. C., Ecología Funcional  
pierre.mokondoko@posgrado.inecol.edu.mx

<sup>2</sup>Director General de Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental S.C.

<sup>3</sup>Investigador de Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental S.C.

<sup>4</sup>Investigador del Instituto de Ecología A. C., Ecología Funcional

---

### **14.1 Introducción**

Los principales problemas ambientales que enfrenta actualmente la sociedad son la degradación de los ecosistemas y sus recursos hídricos, principalmente la escasez del agua. Dada esta degradación, los cafetales bajo sombra serán esenciales para la provisión de agua y los servicios hidrológicos en el estado de Veracruz. A pesar de la importancia de los recursos hídricos, pocas veces se realizan análisis sistemáticos mostrando el impacto que tienen los diferentes usos de suelo, la pendiente, la precipitación y el tipo de suelo, sobre la provisión superficial de agua con el objetivo de priorizar áreas de conservación, por su alta capacidad en brindar servicios hidrológicos. Adicionalmente, no hay todavía una evaluación de la oferta y disponibilidad hídrica que ofrecen los cafetales bajo sombra. Por ello, en este capítulo proponemos un modelo de Balance Hidrológico espacialmente explícito, el cual cuantifica la disponibilidad de agua superficial y prioriza zonas de conservación que brindan servicios hidrológicos, en la zona cafetalera del centro de Veracruz.

El agua es un recurso natural sumamente importante y estratégico para el desarrollo y bienestar de la sociedad humana (Porporato *et al.*, 2004). Los recursos hídricos, como componentes principales del funcionamiento de muchos ecosistemas boscosos históricamente han desempeñado un papel de vital importancia, al proveer el agua necesaria tanto en calidad como en cantidad para consumo humano, agrícola e industrial. Sin embargo, en la actualidad, uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la sociedad es la escasez del agua como resultado del incremento en la presión y degradación de los ecosistemas y sus recursos hídricos. Este deterioro ha sido motivado por las tasas actuales de crecimiento poblacional y por los modelos de desarrollo económico predominantes, que promueven cambios en los patrones de uso

de suelo, alterando el ciclo hidrológico y por lo tanto degradando los recursos hídricos (Bruijnzeel, 2004; Wunder *et al.*, 2008).

Dado este deterioro, ahora la producción de agua es considerada como un servicio ambiental que merece un precio económico (Turpie *et al.*, 2008), el cual debe ser pagado por quienes consumen el agua, a favor de que los dueños de los ecosistemas que proveen este servicio, los protejan, reforesten y aprovechen de manera sustentable (Brauman *et al.*, 2007). Desde el año 2003 en México, se ha venido haciendo uso del término de Servicios Ambientales (SA) y también, se han desarrollado estudios científicos enfocados en la cuantificación y mapeo de estos servicios (Maass *et al.*, 2005). En el mismo año dio inicio el programa federal de Pago por Servicios Ambientales (PSA), uno de los más grandes del mundo, el cual es gestionado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y se rige bajo las reglas de operación del programa federal ProÁrbol. Este programa tiene como objetivo la conservación y restauración de los servicios ambientales, además de fomentar la participación de diversos sectores sociales en el cuidado del agua, vía el pago a los propietarios cuyas tierras proporcionan dichos servicios (Muñoz-Piña *et al.*, 2008; Alix-García *et al.*, 2012). Del año 2003 al 2011 la CONAFOR asignó más de \$6 mil millones de pesos para este programa, participaron alrededor de 5,800 grupos de comunidades y propietarios de tierras privadas, cubriendo una superficie total de 3,113,000 ha, en el territorio nacional. La mayoría de estos recursos fueron destinados para el pago por servicios hidrológicos (Muñoz-Piña *et al.*, 2011).

Este concepto de “SA” se refiere a los beneficios que generan los ecosistemas para las personas (Daily, 1997). En específico, los SA son las funciones que resultan de las distintas combinaciones de los procesos físicos, químicos y biológicos que contribuyen al auto mantenimiento de los ecosistemas, y a su vez, distintas combinaciones de estas funciones resultan en beneficios tangibles e intangibles que satisfacen las necesidades humanas (De Groot *et al.*, 2002; Daily *et al.*, 2009). Los servicios hidrológicos (SH), son aquellos ligados estrechamente con el ciclo hidrológico y representan exactamente la importancia que tiene el agua para la gente (Porrás *et al.*, 2008). Los bosques, por su estructura y atributos brindan múltiples servicios hidrológicos importantes. Entre estos SH se encuentran: la recarga de mantos acuíferos, el abastecimiento de agua, la regulación de cantidad y calidad del agua, la regulación del clima, la regulación de la erosión hídrica, la minimización de los ciclos de inundaciones y sequías (Manson, 2004). Pero a pesar de la alta importancia de los SH, estos están cada vez más amenazados. En México y especialmente en el estado de Veracruz, los recursos hídricos están siendo altamente afectados por las diversas actividades humanas, amenazando cada vez más la provisión de SH en particular, disminuyendo la disponibilidad y la calidad del agua

(Cotler *et al.*, 2010). Esta degradación de SH, es resultado de la sobre explotación de los acuíferos, del vertimiento de sustancias contaminantes que provocan la contaminación puntual de los cuerpos de agua, de la contaminación difusa del agua, de las prácticas agrícolas inadecuadas y del crecimiento de las manchas urbanas, entre otros. Esta transformación intensificada y los altos índices de crecimiento poblacional, están acelerando un proceso de deterioro pronunciado y algunas veces irreversible de los recursos hídricos del estado. Estos problemas se irán agravando si no se toman medidas de planificación, ni se generan normas y leyes que permitan la protección y restauración de los ecosistemas que brindan SH.

Ante este panorama, la provisión de los SH dependerá cada vez más de la existencia de la vegetación secundaria y de los sistemas agroforestales (Gallardo-Cruz *et al.*, 2012). En las últimas décadas, cada vez más estudios han mostrado la importancia de estos sistemas agroforestales, en particular de los cafetales bajo sombra (Morandin y Winston, 2006; Ricketts, 2004). Las fincas de café bajo sombra, por su estructura compleja y su parecido con los bosques, poseen muchas ventajas sobre los monocultivos para responder a la demanda de una agricultura multifuncional, proteger la biodiversidad y proveer múltiples SH (Manson *et al.*, 2008; Beer *et al.*, 2003). En Veracruz, la mayoría de las fincas de café tienen sombra y se sobreponen en altitud con los bosques templados y en su mayoría con el bosque mesófilo de montaña (BMM). Los árboles en las fincas cafetaleras aportan hojarasca y residuos de las podas, los cuales cubren el suelo e influyen en el ciclo del agua, reduciendo el impacto de las gotas de lluvia, incrementando la intercepción del agua proveniente de las lluvias y de la neblina (Manson, 2004). Además, reducen el proceso de evapotranspiración y retienen agua en el suelo, reduciendo así la escorrentía superficial e incrementando la infiltración de agua en el suelo. Esto tiene como resultado una menor erosión hídrica de los suelos, una reducción en la lixiviación de los suelos y un incremento en la recarga de los mantos acuíferos (Holwersa *et al.*, 2013).

Por otro lado, el reemplazo de las fincas cafetaleras y de los bosques, por usos de suelo que proveen menos SH, está reduciendo en gran medida su capacidad en brindar estos servicios, provocando ciclos de inundaciones y sequías cada vez más fuertes, con graves consecuencias para las poblaciones de la zona costera (Bruijnzeel, 2001; Bubb *et al.*, 2004). Por ello, el pago de incentivos económicos a los productores de café cuyas fincas proveen SH, es una nueva opción que podría mejorar la viabilidad de las comunidades del centro del estado de Veracruz y asegurar la provisión de SH. Sin embargo, hasta la fecha los programas de PSAH en México han limitado sus aportaciones a las fincas de café bajo sombra dada la falta de datos científicos que demuestren que las fincas pueden brindar los mismos servicios hidrológicos que los

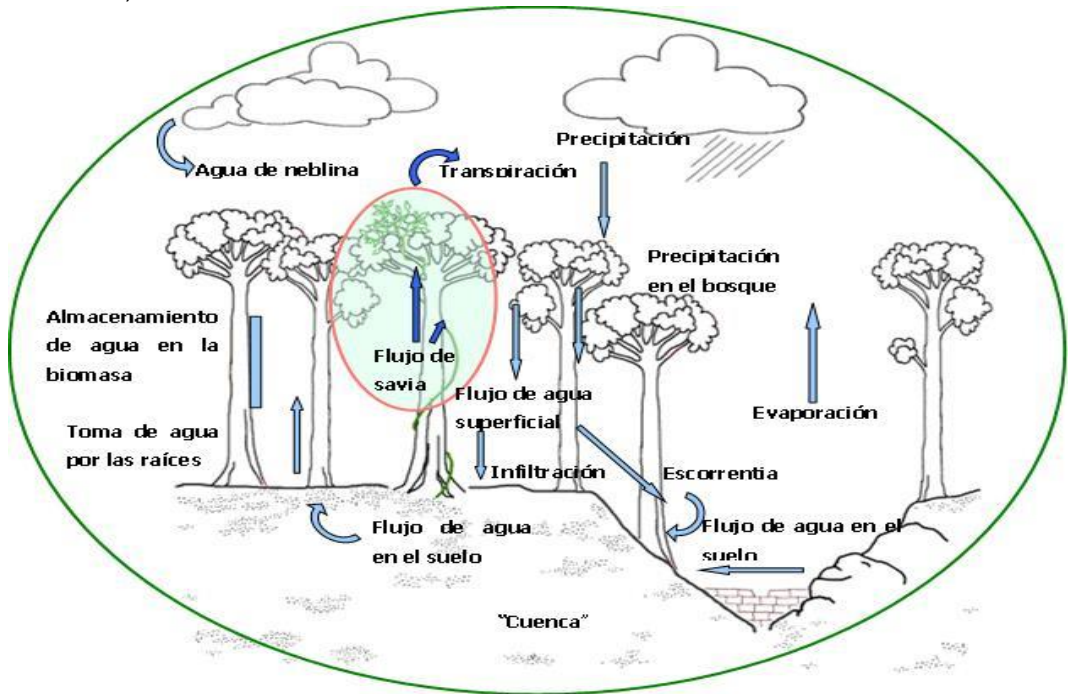
bosques. Aunado a esto, la aplicación del programa de PSA en el territorio veracruzano, tiene ciertas limitaciones que reducen en gran medida su efectividad. Este programa tiene un enfoque exclusivo en la provisión de agua dentro de cuencas prioritarias, pero no identifica las zonas prioritarias dentro de las cuencas, verificando únicamente el tipo de vegetación susceptible de pago sin tener en cuenta un análisis detallado de la cantidad de agua que podría producirse en una zona en específico a pesar de que es un programa de Pago por Servicios Hidrológicos. Por último, no considera en su totalidad a los espacios geográficos de sistemas agroforestales de café bajo sombra como zonas susceptibles de pago por SA.

A pesar de esta problemática, pocas veces se realizan análisis sistemáticos que muestren el impacto que tiene los usos de suelo, la pendiente, la precipitación y el tipo del suelo sobre los procesos del ciclo hidrológico. Elementos fundamentales para priorizar áreas de conservación con alta capacidad de brindar SH. Ante esta situación, resulta fundamental generar información sobre la cantidad de agua que puede producir la región cafetalera del centro de Veracruz, mostrar el potencial de los cafetales bajo sombra en la provisión de SH y delimitar zonas prioritarias donde se realiza la mayor captación de agua y recarga de mantos acuíferos. Y así, considerar estas zonas dentro de los programas de PSA, de manera que las fincas de café bajo sombra puedan competir con otros usos de suelo y podamos justificar su conservación. Esta consideración de los SH de los cafetales será un componente importante de la visión agroecológica (Tschardt *et al.*, 2005, Bennett y Balvanera, 2007) del sector cafetalero y podrá ser uno de los ámbitos más importantes para la implementación de programas y proyectos relacionados con la conservación de la vegetación arbórea, en particular por su importante función a nivel social, ambiental y económico. Por ello, en este capítulo proponemos un modelo de Balance Hidrológico espacialmente explícito, como una aproximación metodológica para cuantificar la disponibilidad de agua superficial, orientado a priorizar zonas de conservación que brindan servicios hidrológicos, en la zona cafetalera del centro de Veracruz.

## **14.2. Generalidades del Balance Hidrológico**

Para entender como circula el agua a través de las cuencas, es necesario entender los procesos del Ciclo Hidrológico, este concepto es fundamental en el estudio de los SH. El término se refiere a una serie de procesos teóricos, continuos e interdependientes que corresponde a un modelo del movimiento, distribución y circulación general del agua en la Tierra (Running y Coughlan, 1998; Aparicio *et al.*, 2006). Este concepto también abarca el movimiento y distribución del agua dentro de las masas continentales (escorrentía, infiltración, percolación, etc.); además del movimiento del agua desde la

hidrósfera hacia la atmósfera (evapotranspiración); y finalmente los estados de sucesión al pasar desde la atmosfera a la superficie terrestre (precipitación) y regresar nuevamente a la hidrósfera y atmósfera (escorrentía y evapotranspiración). En la Figura 14.1 se ilustran los diferentes componentes del Balance Hidrológico. El uso de este modelo, permite recopilar estadísticas y efectuar tanto evaluaciones como predicciones de la precipitación, escurrimiento, infiltración y evaporación (Dourojeanni *et al.*, 2002). Este modelo refleja también la variabilidad natural de los procesos físicos que impactan a los ecosistemas por el efecto del hombre a diferentes escalas, donde su estructura depende principalmente de la precipitación y temperatura de la zona de estudio (Küppers *et al.* 2007)



**Figura 14.1. Esquema del Ciclo Hidrológico del agua en el ecosistema.**

Este modelo constituye uno de los insumos más importantes en la evaluación de la producción y disponibilidad del agua (Mills, 2000). En otras palabras el modelo nos da una idea concreta de las propiedades espaciales y de la cantidad de agua superficial que hay en la zona cafetalera, donde las fincas de café bajo sombra puedan fungir como posibles áreas proveedoras de SH e ingresar a los esquemas de PSA. A continuación ilustramos de manera simple los pasos a seguir en el desarrollo de un Balance

Hidrológico basado en un sistema de información geográfico (SIG) y además identificamos las zonas prioritarias en la provisión de SH.

### 14.3. Descripción del modelo

Este modelo afirma que las mayores aportaciones de agua se efectúan principalmente por las precipitaciones, transformadas en escorrentías (INE-PLADEYRA, 2003). Las pérdidas se deben esencialmente a la evapotranspiración, así como también a la infiltración del agua en el suelo. En general, del agua que cae en la región en forma de precipitación (P), una parte vuelve a la atmosfera ya sea por evapotranspiración directa o por transpiración de la vegetación (ETR); otra parte escurre por la superficie (ES) a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar; el resto se infiltra incorporándose al sistema de aguas subterráneas o acuíferos (I).

$$P = ETR + ES + I \quad (\text{Eq 14.1})$$

La ecuación del balance hidrológico es muy simple (Eq. 14.1) pero la cuantificación de sus componentes es normalmente complicada, principalmente por la falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración, la recarga de acuíferos y de la infiltración del agua (Llorens, 2003). Esta fórmula es aplicada a Unidades Hidrológicas Territoriales (cuencas, subcuencas y microcuencas; UTR). Para cada UTR se determinan, clasifican y ponderan áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación, suelo, rocas y pendientes, así como las áreas cubiertas por los diferentes rangos de precipitación y temperatura promedio anual. El Cuadro 14.1 muestra los componentes del medio natural que intervienen en los diferentes procesos del balance.

**CUADRO 14.1. COMPONENTES NATURALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO.**

COMPONENTES NATURALES	COMPONENTES DE LA FÓRMULA DE BALANCE HIDROLÓGICO			
	CAPTACIÓN (P x área)	EVAPOTRANSPIRACIÓN(ETR)	ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (ES)	INFILTRACIÓN (I)
Precipitación				
Temperatura y radiación solar				
Tipos de suelo				
Tipos de rocas				
Ángulo de las pendientes				
Tipos de vegetación y usos del suelo				

De acuerdo a este modelo, en zonas con mayor cobertura boscosa la mayor parte del agua será infiltrada en el suelo recargando los acuíferos, donde influirán el tipo de suelo

y pendientes en los que se ubican estos bosques. En cuanto a la priorización de zonas el modelo parte del supuesto de que en las zonas donde se capte la mayor cantidad de agua será donde se concentre una mayor cantidad de agua durante el año, y donde más se infiltre la misma se desarrollan los suelos más profundos y serán los sitios con mayor recarga de acuíferos, siendo estos sitios los que mantendrán la estabilidad hidrológica.

#### 14.4. Aplicación del modelo en la zona cafetalera del centro de Veracruz

Localización del área de estudio. La utilidad del modelo se ilustra mediante su aplicación a la región cafetalera del centro del estado de Veracruz. Esta tiene una extensión aproximada de 11 mil km<sup>2</sup>, ubicada en un sistema montañoso, entre los paralelos 18°34'88" y 20°19'21" de latitud norte y entre los meridianos -96°30'69" y -97°30'27" de longitud oeste. Con respecto a su localización administrativa, comprende 47 municipios, 19 subcuencas y 135 microcuencas. La Figura 14.2 muestra los límites de la zona de estudio; se puede apreciar una orografía muy irregular y las subcuencas comprendidas, además, los diferentes tipos de uso de suelo y cobertura vegetal. Por su ubicación la región cuenta con una alta heterogeneidad de ecosistemas y un porcentaje importante del territorio sometido a procesos de transformación del paisaje.

Para los fines de este capítulo, el área de estudio se delimitó por medio de un análisis espacial, identificando los cuerpos de agua y las microcuencas que se sobreponen en el paisaje cafetalero. Primero se establecieron los puntos de acumulación principal o de salida en las redes de flujo hidrológico para delimitar las redes de escurrimiento en las subcuencas comprendidas, haciendo uso de información cartográfica de las redes hidrológicas, cuencas y subcuencas. En cuanto a las microcuencas se hizo uso del conjunto vectorial de microcuencas de FIRCO para los estados de Puebla y Veracruz (escala 1:250,000). El área de estudio cubre un área mayor a la del polígono establecido para el resto de estudios realizados en los diversos capítulos, ya que se considera recomendable que un estudio de balance hidrológico incluya subcuencas completas (Cotler, 2004).

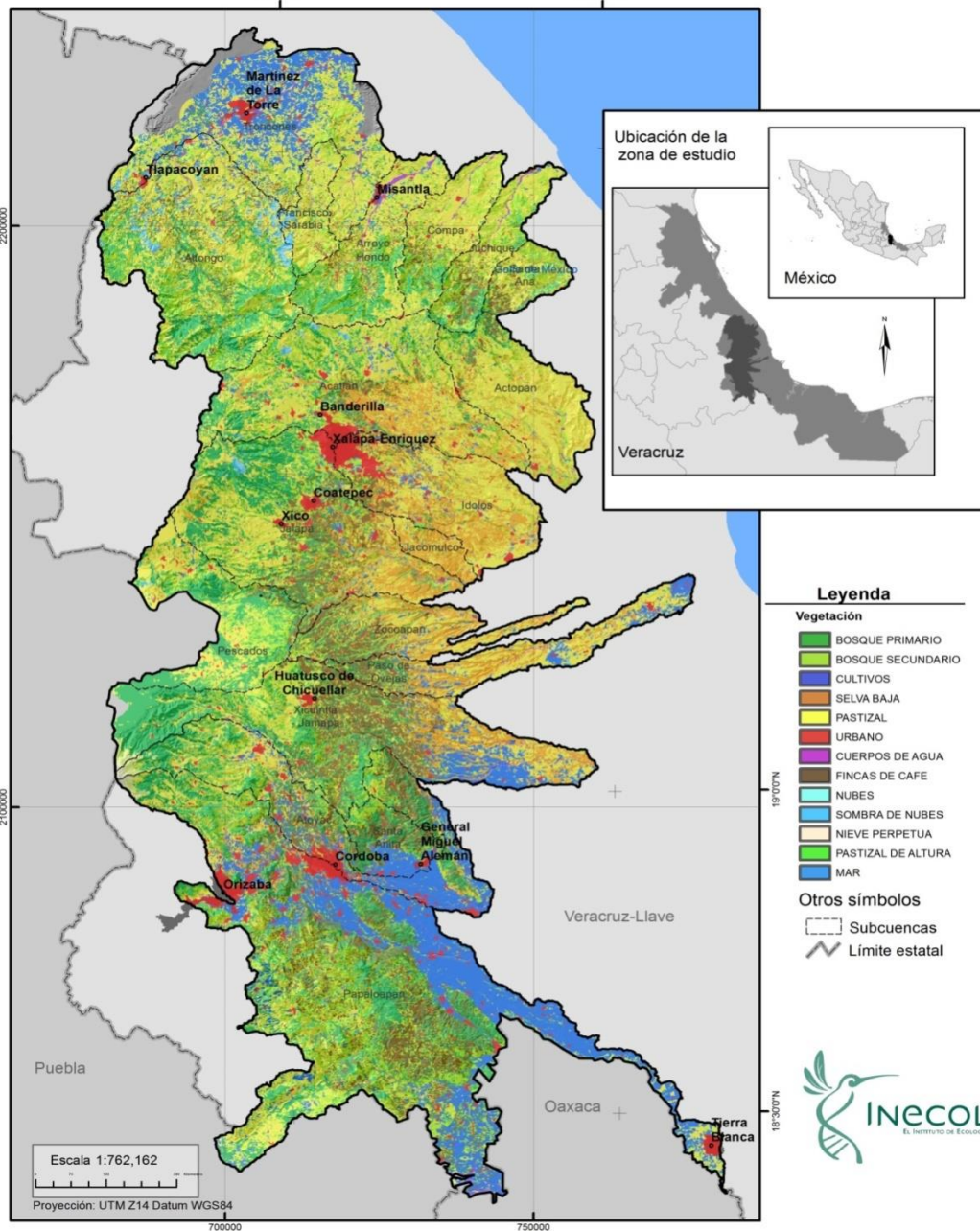
**CUADRO 14.2. SUBCUENCAS COMPRENDIDAS EN LA ZONA DE ESTUDIO**

Sub-cuencas	Superficie (ha)	Sub-cuencas	Superficie (ha)
Acatlán	79,712	Juchique	21,116
Actopan	38,281	Papaloapan	209,000
Altotonga	86,408	Paso de Ovejas	29,784
Arroyo Hondo	34,021	Pescados	39,653
Atoyac	58,290	Santa Ana	11,428
Comapa	24,151	Santa Anita	14,850
Francisco Sarabia	13,579	Troncones	80,845
Ídolos	45,058	Xalapa	84,520

Jalcomulco  
Jamapa

7,257 Zocoapan  
91,476

29,586





**Figura 14.2. Mapa de la zona de estudio para el balance hidrológico, con las subcuentas de la Región Faja de Oro y los diferentes usos de suelo.****14.4.1 Información fuente y uso de Sistemas de Información Geográfica**

Para la aplicación del modelo se generó un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se utilizaron las siguientes bases de datos georeferenciadas en formato digital: (1) Se generó un Modelo digital del terreno (MDT) de 20 m de resolución. (2) Se usaron 23 cartas topográficas de INEGI (escala 1:50,000; UTM zona 14 Norte y datum WGS83). (3) De las bases de datos de INEGI (Instituto Nacional de Geografía e Informática) y de la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad), se consideraron los conjuntos vectoriales de Tipos Climáticos (CONABIO); Estaciones Climáticas ERIC III (CONABIO); Edafología (CONABIO); Evapotranspiración (INEGI); Isotermas e Isoyetas (CONABIO); y Tipos de Suelos y Rocas (INEGI). (4) Se generó un mapa de pendientes (escala 1:50,000; UTM zona 14 Norte y datum WGS83), utilizando las curvas de nivel de las cartas topográficas de INEGI. (5) Por último se generó un Mapa de Uso de Suelo y Cobertura Vegetación (INECOL) de 20 m de resolución, con catorce categorías de cobertura vegetal y usos de suelo. Las clases fueron definidas como: Bosque Primario, Bosque Secundario, Cultivos Agrícolas, Selva Baja, Pastizales, Zonas Urbanas, Cuerpos de Agua, Fincas de Café, Pastizal de Altura, Suelo Desnudo, Nieve Perpetua, Nubes, Sombra de Nubes y Mar. Este mapa se realizó usando técnicas estándar de percepción remota e imágenes de satélite *SPOT* (20 m de resolución) para los años 2008 y 2010. Para la clasificación y validación se usaron 840 puntos de control y verificación, tomados en campo. Para generar la base maestra de datos, se importaron todas las bases de datos a un archivo maestro en *Excel*. Con la cobertura de subcuencas fueron cortadas todas las capas en formato digital, para conocer la superficie comprendida por cada tema en cada subcuenca y hacer los cálculos de captación bruta de agua y evapotranspiración potencial, con el modelo matemático del balance hidrológico.

Selección de estaciones climáticas. Uno de los primeros pasos fue el de la recopilación de los registros históricos de datos climáticos, para ajustar los datos de las isotermas, isoyetas y también para los cálculos de radiación solar. Se usó la base de datos de 145 estaciones *ERIC III*, comprendidas en un buffer de 3 km alrededor de la zona de estudio y se calcularon los promedios anuales y mensuales de todos los años para los datos de precipitación, temperatura y días con neblina. Estos promedios fueron proyectados en el territorio de acuerdo a los tipos climáticos. Haciendo uso de la herramienta Geoprocessing en del *ArcGis v10.*, generamos un total de 1,200 *UTR's* con diferentes áreas, como se muestra en la Figura 14.3. En cada una de ellas se determinaron,

clasificaron y ponderaron los valores de los diferentes tipos de vegetación, suelos, rocas y pendientes, para obtener los valores de Captación Bruta de agua, Evapotranspiración, Infiltración y Escoorrentía Superficial.

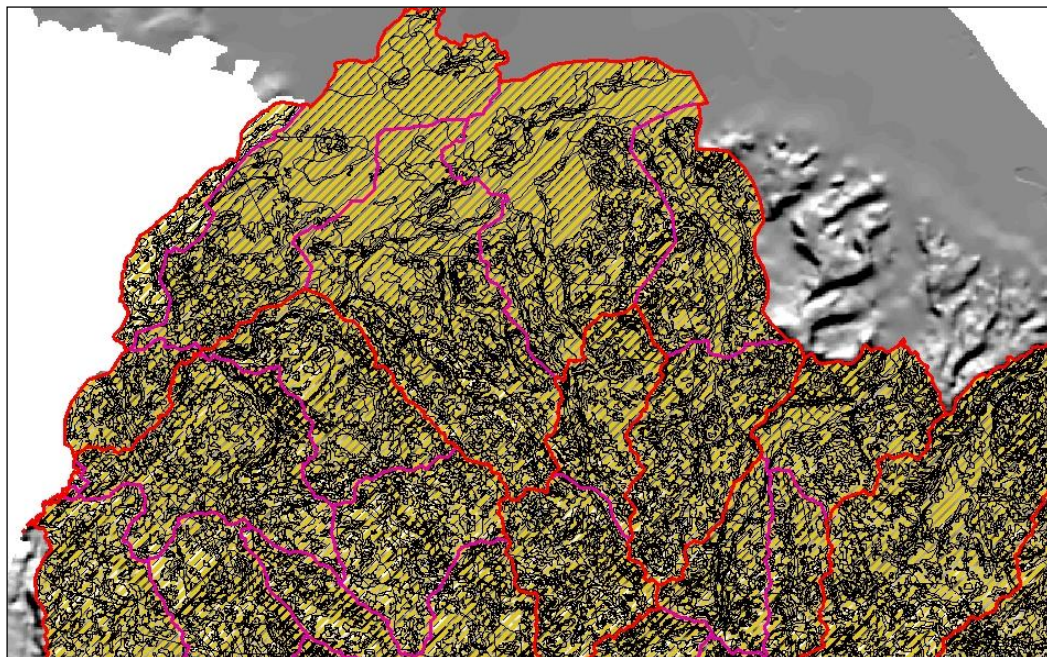


Figura 14.3. Acercamiento al Mapa de Unidades Hidrológicas Territoriales (UTR).

## 14.5. Análisis de Resultados

### 14.5.1. Análisis y Modelado de la Captación Bruta de Agua

Este componente del modelo determina la cantidad de agua captada en la zona de estudio y resulta de multiplicar la precipitación promedio anual por la superficie de cada UTR (Precipitación x Unidad de área,  $m^3$ ). Este término representa a la cantidad de agua de lluvia captada por unidad de área del territorio (microcuencas, subcuenca o UTR), dando como resultado la cantidad de agua en  $m^3$ . Este análisis permite realizar una exploración detallada de la distribución espacial de lluvia y captación de agua.

**Captación bruta total (captación + precipitación horizontal):** esta representa a la cantidad de agua captada más la precipitación horizontal. La precipitación horizontal, es el agua en forma de niebla que se condensa al entrar en contacto con la vegetación. Para el cálculo se tomaron los promedios de los datos anuales de precipitación de las

estaciones, considerando características climáticas similares, ubicación y evaluación. Se realizó un mapa con los promedios anuales ajustando los datos de las bases de las estaciones con los promedio anuales, mediante el método “las normales”. En el Anexo A, se muestra la variabilidad espacial de la captación bruta total de agua. Se puede observar que las mayores captaciones de agua se dan en la sierra de Zongolica en la región sur, y Misantla y Tlapacoyan en la región norte (> 380 millones de m<sup>3</sup> anuales). Las subcuencas que presentaron la mayor parte de su territorio con valores relativos más altos en cuanto a la captación de agua fueron Troncones, Papaloapan, Atoyac, Arroyo Hondo, Altotonga y Acatlán.

Tanto en las partes altas como en el Parque Nacional Cofre de Perote, el Pico de Orizaba y en las partes bajas de la zona de estudio (en las cuencas de Actopan, Jalcomulco e Ídolos), los valores de captación de agua oscilaron entre los 900 y 1,100 mm (de 900 a 1,100 mm). La zona montañosa que va desde Córdoba - Huatusco hasta Xico, presentaron valores de captación de agua de 1,910 a 2,700 mm. Los municipios de Coatepec y Xalapa se ubicaron en el rango de captación de agua de los 1,360 a 1,900 mm. Para la región los rangos de precipitación varían de los 800 a los 3500 mm. La región en su conjunto se caracteriza por presentar altos niveles de captación bruta ya que cerca del 50% del territorio capta entre los 2,760 a los 4,250 mm promedio anual de agua. Solo el 10.7% de la superficie se encuentra entre los rangos de los 900 a los 1,350 mm promedio anual de agua.

#### 14.5.2 Análisis y Modelación de la Evapotranspiración Potencial

La evapotranspiración es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación, como por evaporación del suelo. La evapotranspiración real es un elemento importante en el Balance Hidrológico, pero en la actualidad no existe una metodología para evaluarla a escala de una cuenca y por la ausencia de estaciones que midan estos parámetros en campo, por lo que se es necesario estimar el valor de la evapotranspiración potencial (*ETP*), a partir de la utilización de modelos empíricos. Para hacer el cálculo de *ETP*, el primer paso es el del cálculo de radiación solar, para ello hicimos uso de la fórmula simplificada de Samani (2000). La Ecuación 14.2, representa el modelo simplificado de la radiación solar.

$$R_s = R_0 * K_T * (t_{max} - t_{min}) 0.5 \quad (\text{Eq. 14.2})$$

Siendo  $R_s$ , la radiación solar incidente;  $R_0$ , la radiación solar extraterrestre (mm/día tabulada en función de la latitud del área de estudio y el promedio de los meses; de Allen *et al.*, 1998);  $K_T$ , es un coeficiente;  $t_{max}$  y  $t_{min}$  son la temperatura diaria máxima y

mínima respectivamente. Estos datos fueron obtenidos de la información histórica de las estaciones climáticas del *ERIC III*. Para el cálculo de *ETP*, usamos el modelo de Hargreaves, el cual se representa con la ecuación 14.3.

$$ET0 = 0,0023 (tmed + 17,78) R0 * (tmax - tmin)^{0,5} \quad (\text{Eq. 14.3})$$

Dónde: *ET0*, es la evapotranspiración potencial diaria (mm/día) y *tmed*, es la temperatura media diaria (°C). Por último a estos valores de evapotranspiración potencial, se restaron los valores de precipitación horizontal, para tener como resultado la *ET0* total (*ET0* – precipitación horizontal). Como resultado obtuvimos la cantidad de agua evapotranspirada en mm. Este modelo permite estimar y mapear la evapotranspiración para la zona de estudio.

De acuerdo con la metodología descrita anteriormente, el Anexo B presenta la distribución espacial de evapotranspiración para la zona de estudio, donde los valores oscilaron entre los 90 y los 180 mm anuales de agua evaporada por efectos de la radiación solar. En general predominan rangos relativamente bajos de evapotranspiración que van de los 100 a los 110 mm y de los 120 a los 130 mm, ocupando el 30.8 y 24.6 % del territorio de la zona de estudio respectivamente. Los valores de mayor evapotranspiración (160 a 180 mm), se presentaron en las partes altas de las cuencas de Xalapa, Atoyac, Jamapa y Papaloapan (2% de la superficie), siendo estos el Parque Nacional Cofre de Perote y en el Pico de Orizaba. Los valores mínimos de evapotranspiración (90 mm), se presentaron principalmente en las subcuencas de Pescados y Acatlán.

### 14.5.3 Análisis y Modelación de Captación Neta de Agua

Una vez estimadas la cantidad de agua captada y la evapotranspiración potencial por *UTR*, se procedió al cálculo de Captación Neta de Agua. Este componente representa el volumen de agua que permanece en el territorio una vez restada la evapotranspiración a la captación bruta. Como se observa en el Anexo C, los mayores volúmenes de Captación Neta de Agua anual se presentaron en las zonas montañosas. Los volúmenes anuales de captación neta variaron de los 780 a los 4230 mm anuales de agua. Estos valores se localizaron en las serranías de Tlapacoyan y Zongolica, además de la vertiente oriental de las zonas montañosas de Córdoba-Orizaba-Huatusco y Xalapa, mientras que las menores captaciones se encuentran hacia las partes más altas y bajas de las subcuencas involucradas en el área de estudio.

Los volúmenes medios y altos de captación neta de agua se presentaron en más del 50% de la superficie total del área de estudio. Hay que tener en cuenta que los valores indican que las subcuencas con mayores superficies y mayores precipitaciones son las que pueden captar un mayor volumen de agua. Los menores volúmenes de captación se presentaron en el Parque Nacional Cofre de Perote y en el Pico de Orizaba; además de las partes bajas en las cuencas de Jalapa, Jalcomulco y Paso de Ovejas.

#### 14.5.4 Análisis y Modelación de la Infiltración y Escorrentía Superficial del Agua

**La infiltración.** Esta representa el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa de manera total o parcial los poros del suelo y del subsuelo. Para la obtención del porcentaje de agua permeada/infiltrada, se ponderaron las diferentes variables del medio físico que influyen en la capacidad de infiltración para cada *UTR* de la zona de estudio, mediante la opinión de especialistas ya que no se contó con mediciones de campo. Primero fue necesario valorar el grado de capacidad de infiltración de la pendiente, cobertura vegetal, tipos de suelos y rocas. Para ello, tomamos la información cartográfica del medio físico y los reclasificamos en 5 clases, según el porcentaje de infiltración. Luego se determinó el peso relativo que se considera debe tener de cada uno de los factores que intervienen en la infiltración, estableciéndose los siguientes valores (%):

**CUADRO 14.3. VALORES DE PONDERACIÓN DE LOS FACTORES DEL MEDIO FÍSICO QUE INTERVIENEN EN LA INFILTRACIÓN DEL AGUA.**

FACTOR	%
Pendientes	40
Vegetación	30
Suelos	20
Rocas	10

Con estos pesos relativos generales, el siguiente paso consistió en valorar cada parámetro por separado, ponderando de forma relativa cada variable que se presenta en el área de estudio. A continuación se muestran las ponderaciones:

**1.- Ponderación de las pendientes:** de todos los parámetros que intervienen en el proceso de infiltración, la inclinación de la pendiente es el factor que más influencia tiene. Derivamos las pendientes en grados a partir del *MDT* y caracterizamos los grupos de pendientes de acuerdo a su capacidad para infiltrar el agua (Cuadro 14.4). Consideramos que las menores pendientes son más importantes ya que estas tienen menor escurrimiento a diferencia de las áreas de pendientes altas, donde es mayor el

escurrimiento hacia las zonas bajas de las cuencas. El Anexo D, presenta el mapa de distribución de pendientes.

**CUADRO 14.4. VALORES DE CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN RECLASIFICADOS Y PONDERADOS DE LOS DIFERENTES GRADOS DE PENDIENTE PARA LA REGIÓN.**

ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	VALOR DE PONDERACIÓN	% INFILTRACIÓN
Pendientes planas (<1°)	1	90%
Pendientes muy suavemente inclinadas (1°-3°)	2	70%
Pendientes suavemente inclinadas (3°-5°)	3	50%
Pendientes ligeramente inclinadas (5°-10°)	4	30%
Pendientes ligera a medianamente inclinadas (10°-15°)	5	10%
Pendientes medianamente inclinadas (15°-20°)		
Pendientes fuertemente inclinadas (20°-30°)		
Pendientes muy fuertemente inclinadas (30°-45°)		
Pendientes abruptas (> 45°)		

**2.- Ponderación de la cobertura vegetal:** Se elaboró un mapa detallado de los usos de suelo y vegetación con técnicas de percepción remota (ver Fig.14.2). Se asignó un valor de porcentaje de infiltración a cada tipo de uso de suelo y cobertura vegetal (Cuadro 14.5). Este proceso es considerado de igual forma uno de los factores más importantes en la infiltración, por ejemplo en zonas boscosas el agua es interceptada por las hojas y la hojarasca del suelo. Así el grado de intercepción dependerá del tipo de follaje de la vegetación comprendida en la zona.

**CUADRO 14.5. VALORES DE CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA REGIÓN.**

TIPO DE COBERTURA	ID	%INFILTRACIÓN
Bosque Primario	1	90
Bosque Secundario	2	90
Selva Baja Caducifolia	4	90
Fincas de Café	8	60
Cultivos	3	40
Pastizal	5	40
Pastizal de altura (Volcánica)	12	40
Nieve	11	20
Asentamientos Humanos	6	10
Cuerpos de Agua	7	10
Carreteras	14	10

**3.- Ponderación de los tipos de suelo:** la ponderación del grado de permeabilidad de los suelos toma en cuenta las características intrínsecas de éstos, como su origen y textura, así como su ubicación dentro de la región de estudio. Se tomó en cuenta la textura del suelo, porque esta determina si un suelo es más o menos permeable; así fue determinada la capacidad de permeabilidad de los diferentes tipos de suelo. Los cuadros 14.6 y 14.7 presentan la calificación y el valor de permeabilidad de los tipos de suelo. El Anexo E, presenta la distribución espacial de los diferentes tipos de suelo en la región.

**CUADRO 14.6. VALORES DE PONDERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**

TIPO DE SUELO	TEXTURA	PONDERACIÓN PERMEABILIDAD
Acrisol órtico	Media	1
Andosol ótrico	Media	2
Cambisol éutrico	Media	1
Feozem lúvico	Fina	3
Litosol	Media	4
Luvisol	Media	1
Regosol calcárico	Media	4
Rendzina	Media	3
Vertisol pélico	Fina	1
Zonas urbanas		5

**CUADRO 14.7. VALORES DE PERMEABILIDAD DE LOS TIPOS DE SUELO**

GRADO DE PERMEABILIDAD	% INFILTRACIÓN PONDERADO	VALOR
Permeabilidad muy baja	10	5
Permeabilidad baja	20	4
Permeabilidad media	50	3
Permeabilidad alta	70	2
Permeabilidad muy alta	90	1

**4.- Ponderación de los diferentes tipos de rocas:** al igual que en los suelos, la ponderación del grado de permeabilidad de los tipos de rocas toma en cuenta su origen y localización en la zona de estudio, ya que el tipo de roca permite que el agua superficial sea o no infiltrada hacia el subsuelo. EL Anexo F, presenta la distribución espacial de los diferentes tipos de roca y el Cuadro 14.8, presenta el valor de permeabilidad de los tipos de roca comprendidos en la región.

Cabe señalar que la capacidad de infiltración depende de la cantidad de lluvia que puede absorber el suelo dependiendo principalmente de los usos de suelo y pendientes de la región. El Anexo G, presenta la forma en que se distribuyen los diferentes rangos estimados de infiltración promedio anual del agua, donde observamos los mayores niveles de infiltración en las laderas de las serranías de la parte media-alta de la zona de estudio, principalmente en la sierra de Zongolica, en Tlapacoyan, así como el cordón

montañoso de Córdoba – Huatusco – Coatepec - Xalapa. Estos valores coinciden espacialmente con las regiones con una mayor cantidad de cobertura boscosa y mayores valores de precipitación. De acuerdo con nuestras estimaciones, las subcuencas de Santa Anita, Pescados, Papaloapan, Jalapa, Atoyac, Altotonga y Xicuintla-Jamapa registran los valores más bajos de infiltración.

**CUADRO 14.7. VALORES DE PONDERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE ROCA.**

ROCA	ORIGEN	%INFILTRACIÓN
Andesita	Ígnea extrusiva	30
Toba ácida	Ígnea extrusiva	30
Lutita	Sedimentaria	30
Lutita-Arenisca	Sedimentaria	30
Brecha volcánica básica	Ígnea extrusiva	50
Brecha volcánica intermedia	Ígnea extrusiva	50
Basalto-Brecha volcánica básica	Ígnea extrusiva	50
Basalto	Ígnea extrusiva	50
Basalto-Toba básica	Ígnea extrusiva	50
Toba básica	Ígnea extrusiva	50
Toba básica-Brecha volcánica básica	Ígnea extrusiva	50
Toba intermedia	Ígnea extrusiva	50
Brecha sedimentaria	Sedimentaria	50
Caliche	Suelo	50
Arenisca-Conglomerado	Sedimentaria	50
Caliza	Sedimentaria	50
Caliza-Lutita	Sedimentaria	50
Conglomerado	Sedimentaria	50
Mármol	Metamórfica	50
Travertino	Sedimentaria	50
Aluvial	Suelo	70
Ceniza volcánica	Ígnea extrusiva	70
Vulcano clástico	Ígnea extrusiva	70
Limolita-Arenisca	Sedimentaria	70
Eólico	Suelo	90

**Escurrentía superficial del agua:** este modelo representa la cantidad de agua que no se infiltra en el suelo, y por lo tanto escurre por las laderas. Para calcular el monto anual de agua escurrida se hizo una diferencia entre los valores de Captación Neta de agua y los valores de Infiltración del agua (Captación Neta – Infiltración). El modelo presentó valores promedios anuales que van desde los 560 a los 3,150 mm de agua, distribuidos espacialmente como se muestra en el Anexo H, destacando por sus altos niveles de escurrentía las subcuencas de Papaloapan, Altotonga, Pescados y Atoyac, a diferencia de las subcuencas de Jalcomulco, Ídolos y Actopan que muestran los valores más bajos de escurrentía superficial.



## 14.6 Identificación de zonas prioritarias en la provisión de SAH.

Con los resultados obtenidos con el modelo de Balance Hidrológico, se realizó un análisis para identificar las zonas hidrológicas más importantes en la provisión de servicios hidrológicos en la región cafetalera. El análisis consistió en un análisis espacial, utilizando los mapas de infiltración y captación neta de agua. Se partió del supuesto de que en las zonas donde haya una coincidencia espacial de mayor captación neta de agua, combinada con las mayores infiltraciones es donde se encuentran las zonas prioritarias para SAH. En estas zonas el agua de lluvia no escurre rápidamente por la superficie sino que permanece más tiempo en la región, lo que puede ser garantía de un abastecimiento de agua. Se desarrolló una matriz de doble entrada donde se combinaron los diferentes rangos en los valores de captación neta de agua con los de infiltración. Por último identificamos los conjuntos de fincas de café bajo sombra que se sobreponen espacialmente con estas zonas, con el fin de saber cuáles están brindando una cantidad importante de SAH y por ende, deben ser promovidas como áreas susceptibles de pago en los esquemas regionales de PSH. La Figura 14.4, muestra el ranqueo en importancia de las fincas de café bajo sombra, estas fueron clasificadas en 4 niveles de prioridad para su inclusión en los PSH activos en la región centro del estado de Veracruz. Un porcentaje importante de la superficie estudiada presentó valores con niveles de máxima prioridad en la provisión de SH, ya que el 43.24% del territorio se clasificó como de máxima y alta prioridad. La prioridad media ocupa 30.32% del área, mientras que la prioridad baja se ubica en el 26% de la región. En estas zonas destacan las subcuencas de Acatlán, Pescados, Papaloapan, Xalapa, Atoyac y Altotonga (Figura 14.5). En las cuencas de Jalcomulco, Ídolos y Actopan la mayor parte de su territorio presentó niveles bajos de prioridad para sus servicios ambientales hidrológicos. Esta información, permite utilizar criterios más amplios que los del programa federal de la CONAFOR, ya que este solo toma en cuenta el tipo de vegetación pero no evalúa la cantidad y calidad de agua de la zona y su permanencia en las cuencas, a pesar de ser un pago por servicios ambientales hidrológicos.

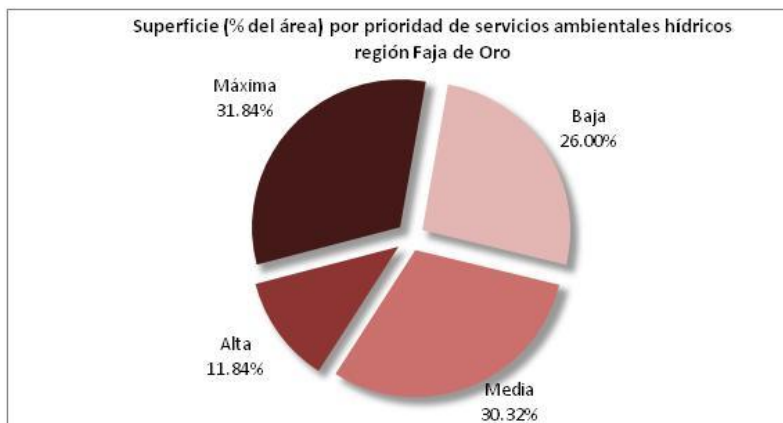


Figura 14.4. Prioridad de servicios hidrológicos en la zona de estudio

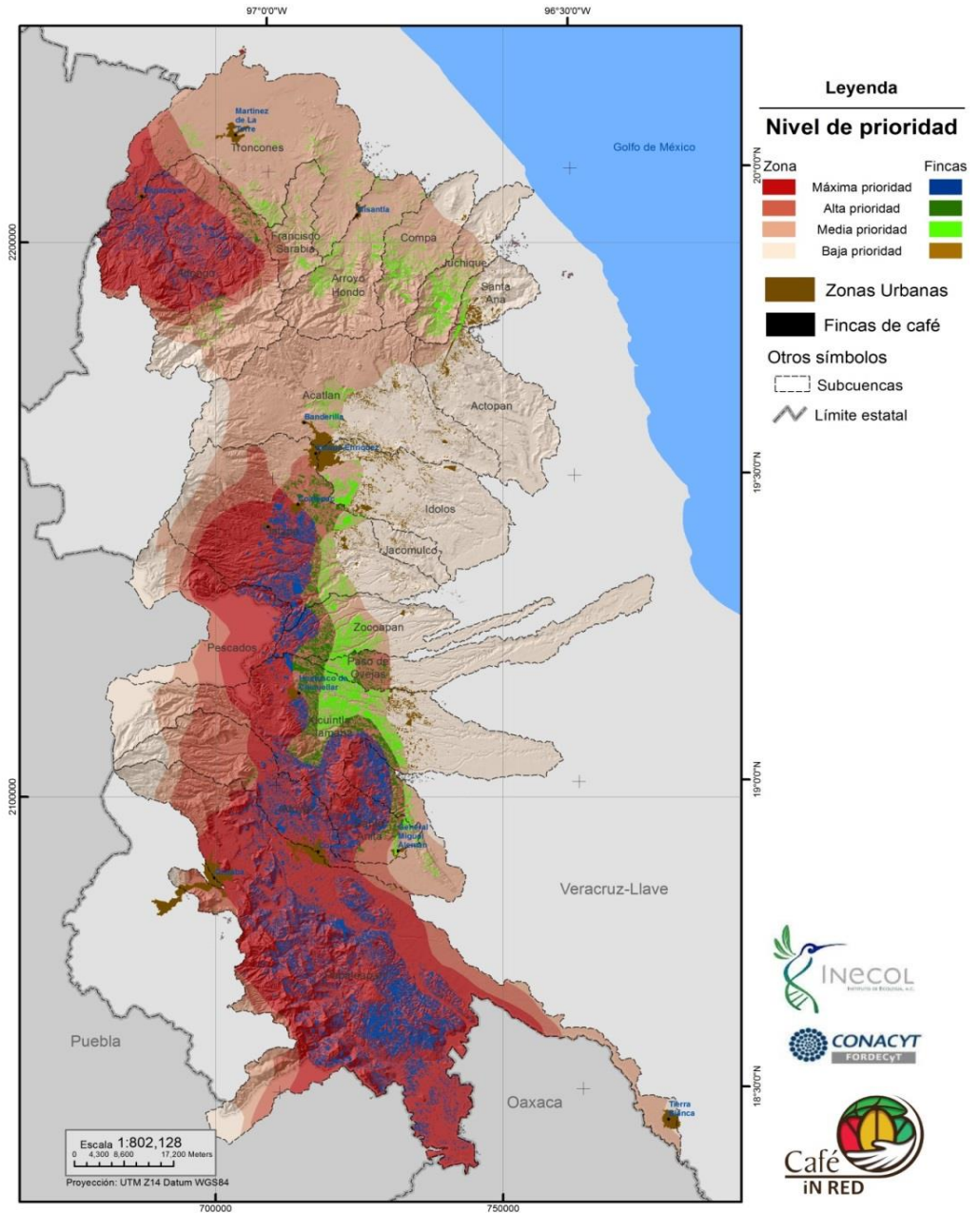


Figura 14.5. Mapa de zonas prioritarias en la provisión de servicios hidrológicos y las fincas de café que cumplen estas condiciones en el centro del estado de Veracruz

## 14.7 Consideraciones finales

La metodología propuesta permitió hacer estimaciones de los diferentes componentes del Balance Hidrológico, además de la identificación de las zonas prioritarias para el PSH y de las fincas de café bajo sombra que cumplen con estas condiciones. Con ello proporcionamos información valiosa sobre lo que sucede con el agua que es captada en la zona a través de las precipitaciones y de cómo las características del paisaje intervienen en el manejo del agua. Hay que tomar en cuenta que la estimación de los volúmenes para cada uno de los componentes de la ecuación del balance está limitada por la cantidad y calidad de la información obtenida, ya que no se tomaron datos en campo. Este estudio contribuye con los nuevos esfuerzos por cuantificar y mapear la provisión de servicios hidrológicos, con el fin de identificar zonas prioritarias dentro de las cuencas. Estos mapas de SH permitirán el replanteamiento de políticas de conservación en la zona centro del estado de Veracruz, identificando donde son más valiosos estos SH, para maximizar la aplicación de recursos económicos destinados a la conservación. La información generada en este capítulo ayudará a diversificar las fuentes de ingreso para las comunidades productoras de café y motivará el ingreso de los productores a los programas de PSH.

Existen dos posibles mecanismos de PSH en México: (1) pagos a propietarios de tierras a través del programa nacional y (2) pagos a través de los programas locales de Fondos Concurrentes; ambos programas están operados por la CONAFOR. Ya que los cafetales bajo sombra están considerados como sistemas agrícolas, la CONAFOR está proporcionando apoyos limitados a los cafeticultores, a través del rubro de “Conservación de la biodiversidad”. Este rubro representa solo el 20% del monto gastado para los PSH en zonas de bosques y selvas. Ante esta situación, los programas de Fondos Concurrentes, presentan varias ventajas para los productores de café incluyendo: 1) pagos más altos (hasta doble o triple) que los pagados por el programa federal; 2) la libertad de definir los criterios de selección de los predios (incluyendo cafetales) y los servicios ambientales que serán el blanco del programa; 3) un enfoque a escala de cuenca, que en particular permite un mejor monitoreo de los avances del programa y relaciones más estrechas entre usuarios y proveedores de los SH; y 4) el diseño de nuevos tipos de compensación, por ejemplo, apoyo técnico para que los productores logren certificarse e ingresar en mercados de café con precios más altos y estables. A pesar de las ventajas antes mencionadas, el número de programas locales de PSH en la zona cafetalera del estado de Veracruz están muy limitados hasta la fecha (Xalapa, Coatepec, Boca del Río, Los Tuxtlas - Coatzacoalcos). Por ello, los productores de café deben gestionar, ante sus gobiernos municipales, el fomento de los programas de PSH y la creación de nuevos programas en la zona cafetalera del estado de

Veracruz, con el fin de premiar a los cafeticultores por el manejo sustentable de sus fincas y hacerlos más competitivos ante otros usos de suelo más intensivos (por ejemplo, fraccionamientos y caña de azúcar).

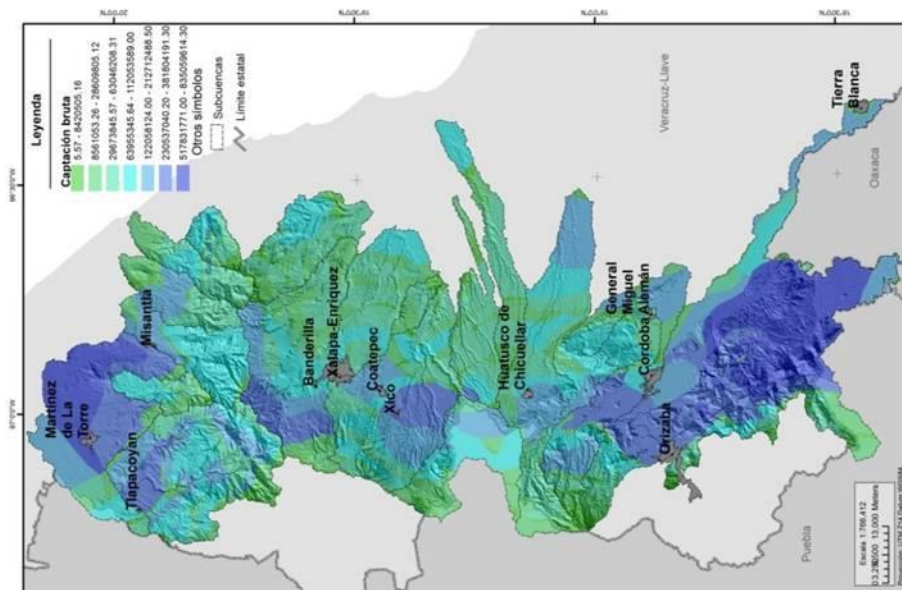
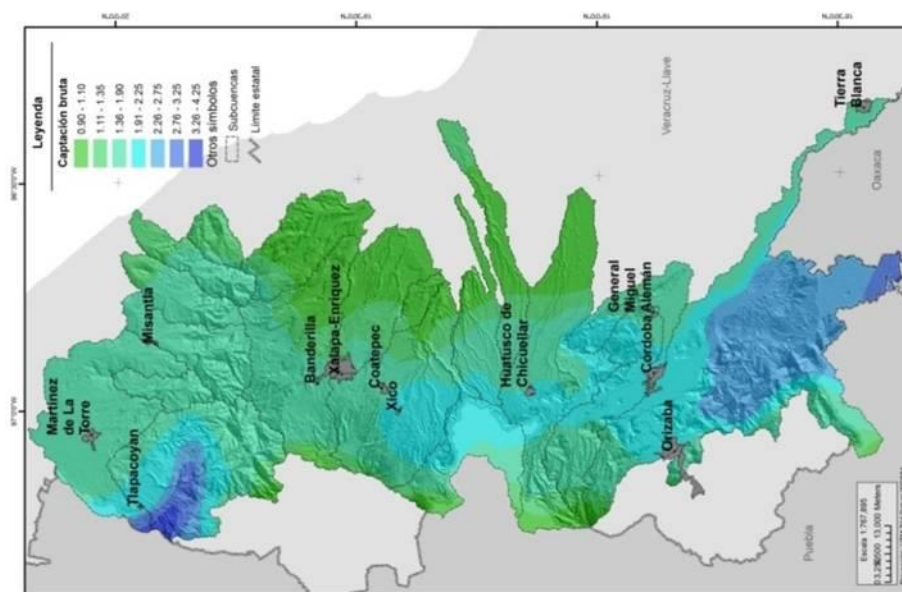
Urgen programas públicos que puedan ayudar a detener la transformación de los cafetales bajo sombra, a otros usos de suelo. Con la pérdida de la cobertura boscosa de los cafetales, además de su reemplazo por otros usos de suelo que requieren aún más recursos hídricos, estamos empeorando aún más la problemática del manejo del agua en la zona. No sólo se podría afectar la infiltración y recarga de los mantos acuíferos, sino también otros Servicios Ambientales importantes como la capacidad de la vegetación de filtrar a los contaminantes y mantener tanto la calidad del agua como la salud pública de las poblaciones aledañas (Mokondoko, 2010). Además, los cafetales bajo sombra proporcionan muchos otros servicios ambientales importantes como la conservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono y la belleza escénica y el turismo (Manson *et al.*, 2008). Si valoramos los servicios proporcionados por los cafetales, como sociedad debemos estar dispuestos a premiar a los dueños de los predios por un buen manejo sus fincas, que ayude a conservar y a restaurar estos servicios. Sólo a través de la combinación de políticas públicas, que premien al buen manejo de los recursos naturales y castiguen el mal manejo o daños ambientales (multas), será posible lograr el manejo integrado de cuencas y de los recursos naturales.

Este estudio es una de las primeras iniciativas, en evaluar la provisión y sinergias de múltiples servicios ecosistémicos en fincas de café bajo sombra con diferentes tipos de manejo y en diferentes tipos de uso de suelo y vegetación en la zona centro del estado de Veracruz. Contribuye a los nuevos esfuerzos por cuantificar y mapear la provisión de servicios hidrológicos, con el fin de identificar zonas prioritarias dentro de las cuencas, mostrando así la capacidad que tienen las fincas de café bajo sombra a localizarse en las zonas prioritarias hidrológicas. Los mapas de servicios hidrológicos permitirán el replanteamiento de políticas de conservación en la zona centro del estado de Veracruz, identificando donde son más valiosos estos SAH, para maximizar la aplicación de recursos económicos de los programas de pago por servicios que actualmente se están aplicando en la zona. Se espera que la información mejore la comprensión de los procesos funcionales relacionados con los SAH y facilite la identificación de nuevas zonas susceptibles de pago, donde se tomen en cuenta los cafetales bajo sombra, mejorando las decisiones orientadas en la conservación y manejo de los recursos naturales en la región de estudio.

## Literatura citada

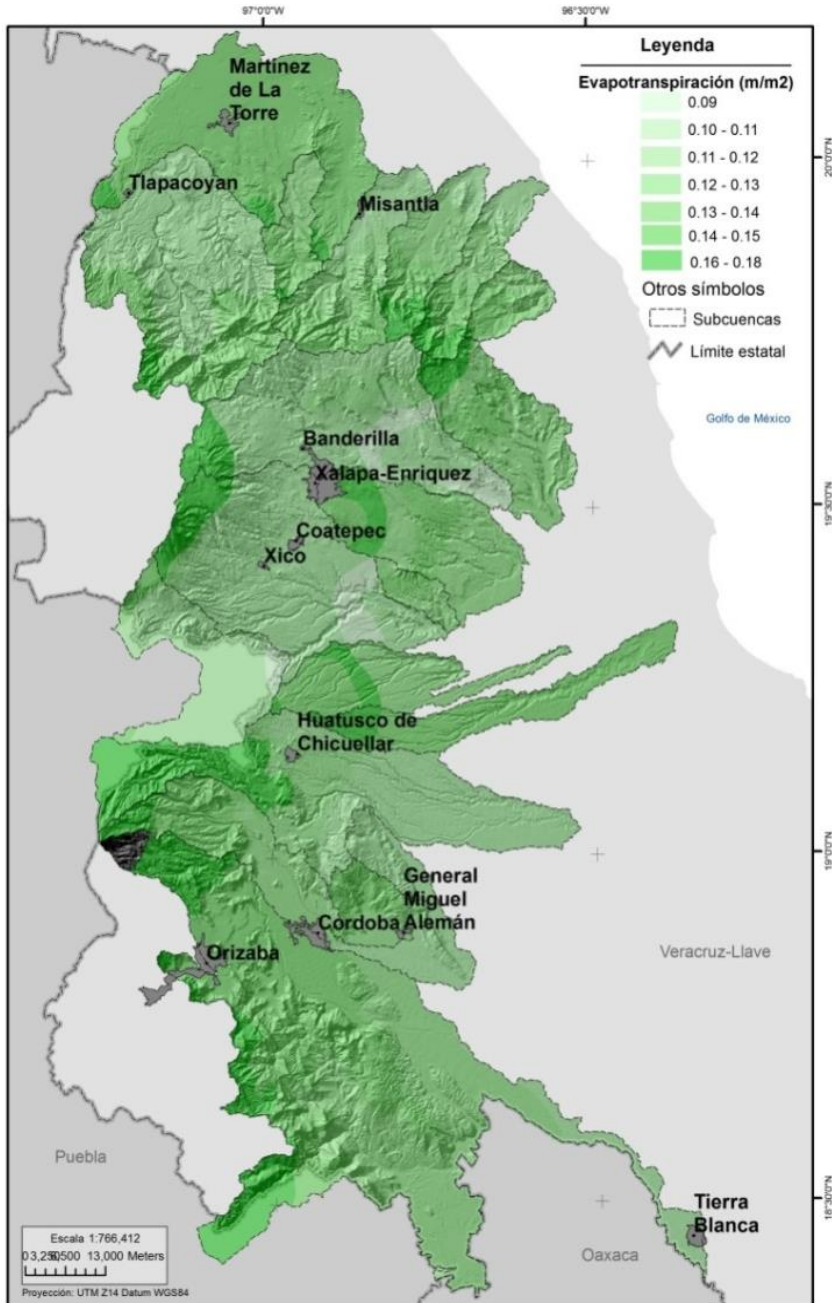
- Allen, R.G.; L. S. Pereira y D. Raes. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents>
- Alix-Garcia, J. 2008. An exploration of the positive effect of inequality on common property forests. *Journal of Development Economics* 87(1):92-105.
- Alix-Garcia, J. M., Shapiro, E. N., y Sims, K. R. 2012. Forest conservation and slippage: Evidence from Mexico's national payments for ecosystem services program. *Land Economics* 88(4):613-638.
- Aparicio, M. F. J.; C. J. Lafragua C. J.; L. A. Gutiérrez; R. Mejía – Zermeño y G. E. Aguilar. 2006b. Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Phi – LAC. No. 4. 95 p.
- Bennett, E. M., y Balvanera, P. 2007. The future of production systems in a globalized world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(4):191-198.
- CONABIO. Disponible: <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>
- de Groot, R., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. y Willemsen. 2010. Ecological Complexity 7(2010):260-272.
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., y Shallenberger, R. 2009. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(1):21-28.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A. y Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. CEPAL – Serie Recursos Naturales e Infraestructura (47)
- Gallardo-Cruz, J. A., Pérez-García, E. A., y Meave, J. A. 2009.  $\beta$ -diversity and vegetation structure as influenced by slope aspect and altitude in a seasonally dry tropical landscape. *Landscape Ecology* 24(4):473-482.
- Hargreaves, G.H. y Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.* 1(2):96-99.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2006. Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Edafológica, 1:250 000.
- INE. Cuencas hidrológicas. Conceptos. Disponible: [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html)
- Llorens, P. 2003. La Evaluación y Modelización del Balance Hidrológico a Escala de Cuenca. *Ecosistemas* 2003/1. Disponible: <http://www.aeet.org/ecosistemas031/opinion1.htm>.
- Mills, G. 2000. Modeling the water budget of Ireland – evapotranspiration and soil moisture. *Irish Geography* 33(2):99-116.
- Morandin, L., y Winston, M. 2006. Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 116:289-292.

- Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J. M., y Braña, J. 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. *Ecological Economics* 65(4):725-736.
- Muñoz, C. A. R. L. O. S., Rivera, M., Cisneros, A., y García, H. 2011. Retos de la focalización del Programa de Pago por los Servicios Ambientales en México. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* (228).
- Pladeyra. 2000. Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Río Bobos-Nautla, Veracruz. Fase de Diagnóstico por Sistemas. Secretaría de Desarrollo Regional del Gob. de Veracruz, México.
- Pladeyra. 2002. Asesoría sobre el potencial de recarga de acuíferos y estabilización de ciclos hídricos en áreas forestadas. INE-SEMARNAT, México.
- Ricketts, T. 2004. Tropical forest fragment s enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18(5):1262-1271.
- Running, S. W., y Coughlan, J. C. 1988. A general model of forest ecosystem processes for regional applications I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes. *Ecological Modelling* 42(2):125-154.
- Samani , Z. 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126 (4):265-267
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan- Dewenter, I., y Thies, C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology Letters* 8(8):857-874.

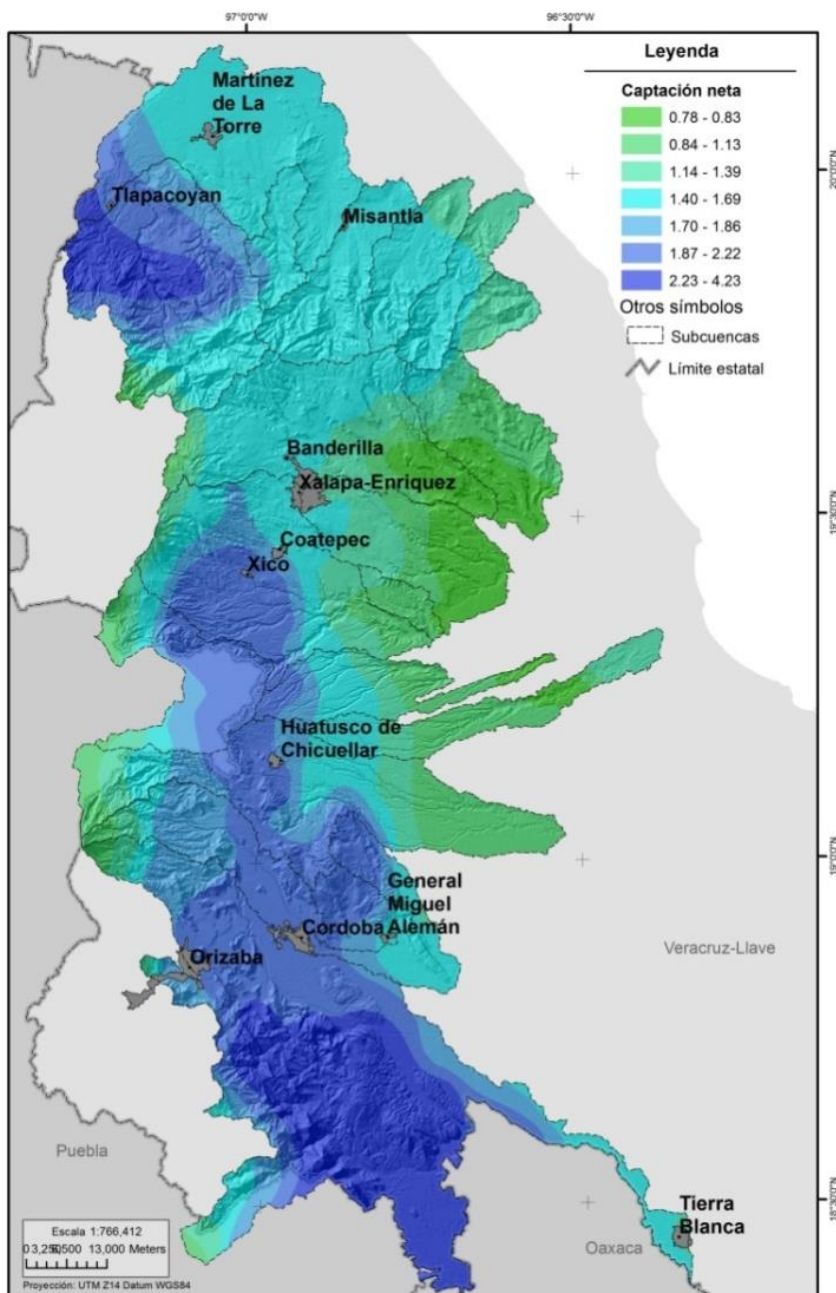


Anexo A. Mapa de captación bruta de agua en la Faja de Oro. Arriba la distribución espacial de la captación de agua en  $m^3/m^2$  y abajo la captación bruta de agua por polígono en  $m^3$ .

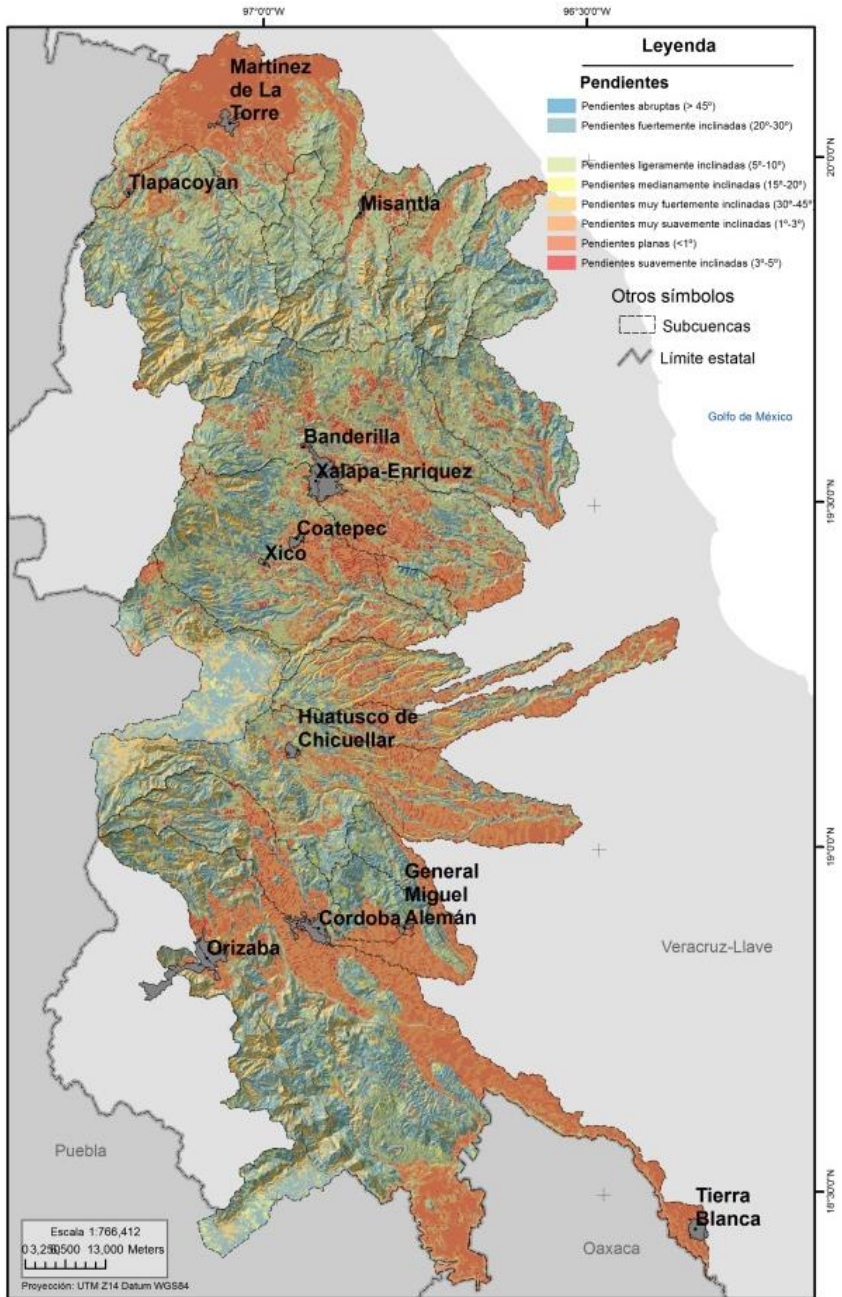




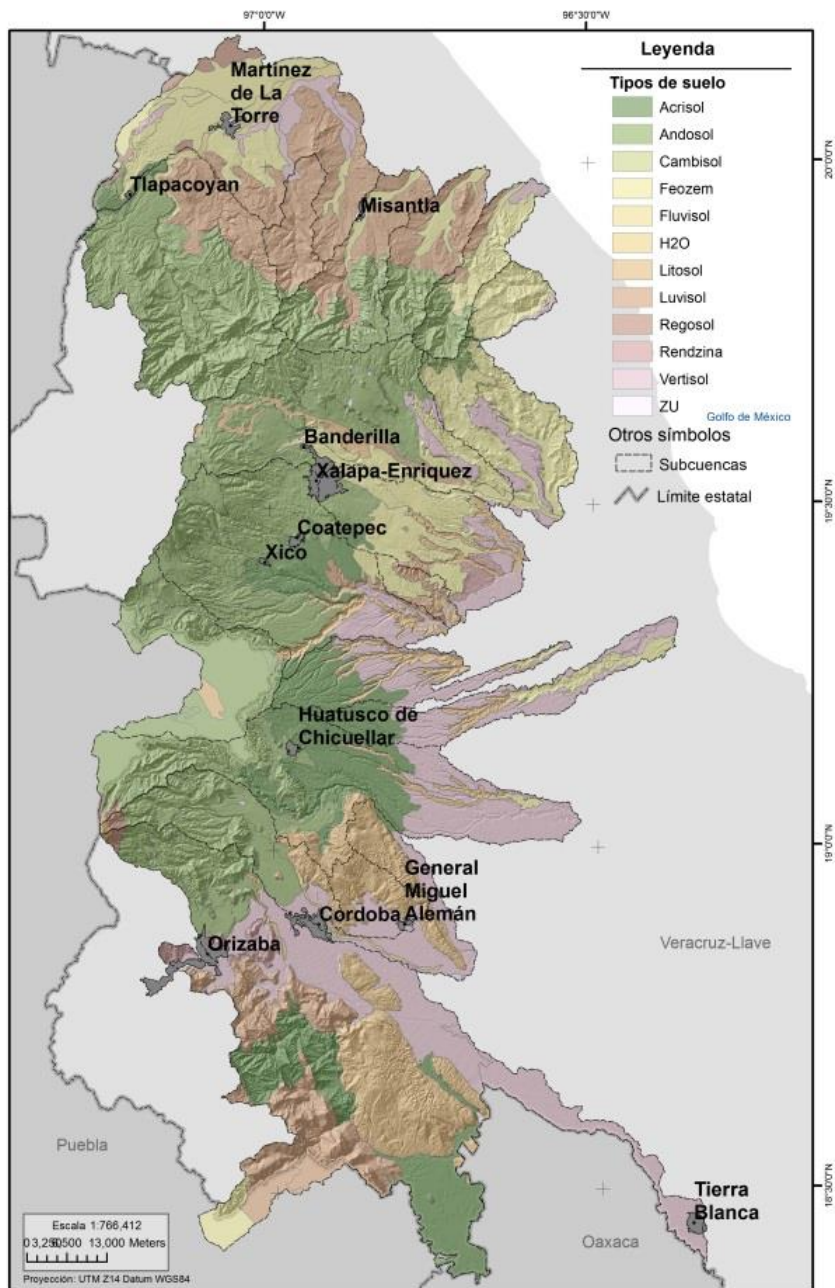
Anexo B. Mapa de evapotranspiración del agua en la Faja de Oro



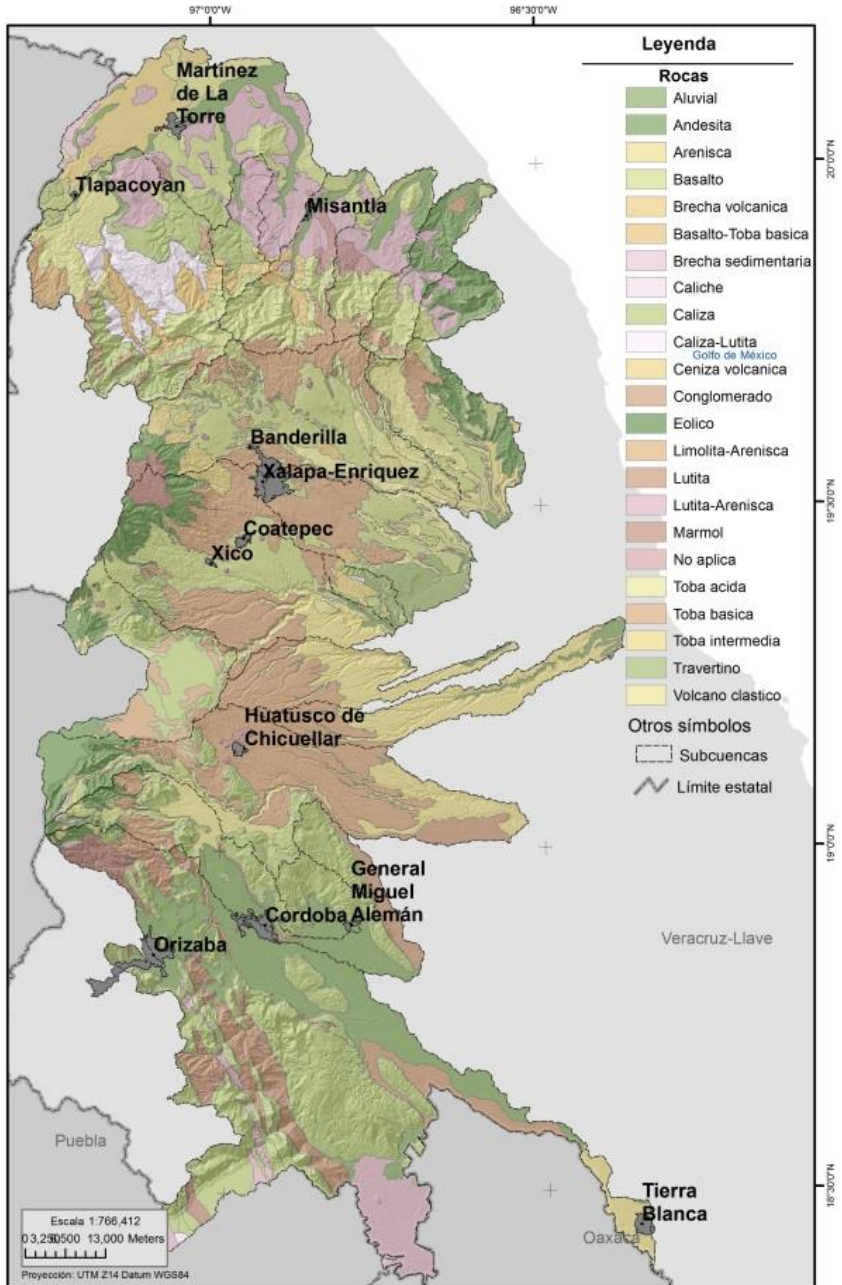
Anexo C. Captación neta de agua en la Faja de Oro



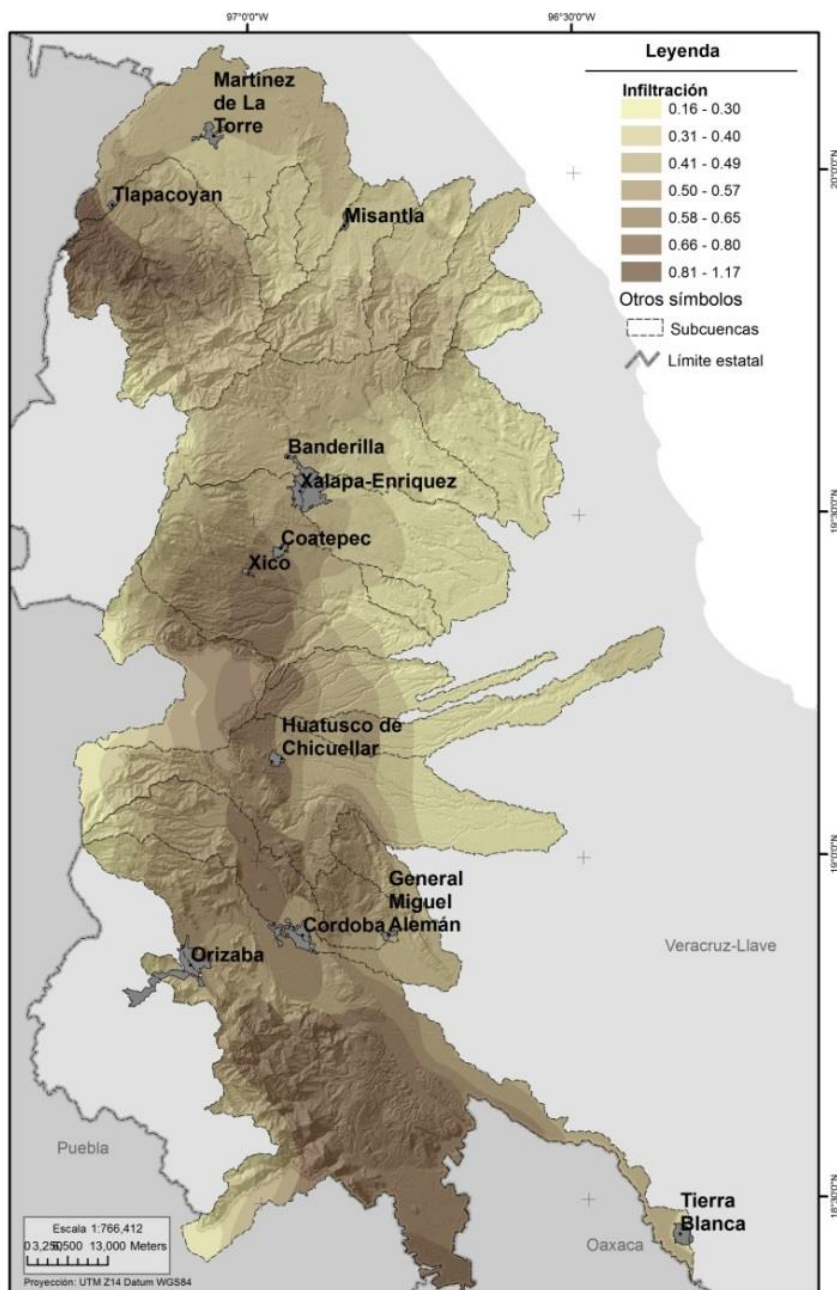
Anexo D. Mapa de pendientes de la Faja de Oro



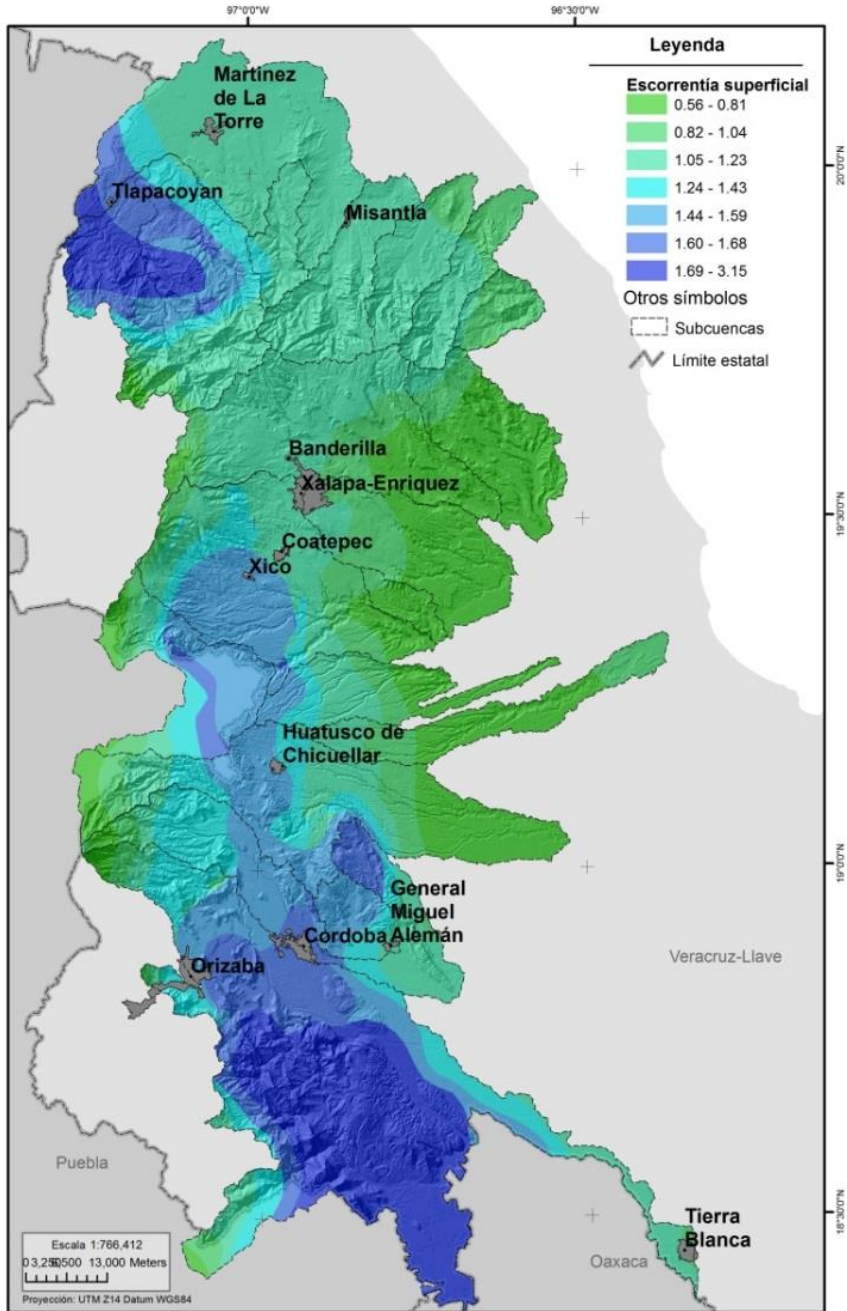
Anexo E. Mapa de los diferentes tipos de suelo de la Faja de Oro



Anexo F. Mapa de los diferentes tipos de roca de la Faja de oro



Anexo G. Mapa de infiltración del agua en la faja de Oro



Anexo H. Mapa de escurrimiento superficial de agua en la Faja de Oro