



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGOS
Y CAMBIO CLIMÁTICO**

LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS

**IMPACTO DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL
EN EL BALANCE HÍDRICO EN LA MICROCUENCA LA
UNIÓN, EN EL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO,
CHIAPAS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA

ANA JUDITH DE COSS PÉREZ

DIRECTOR

ING. MAURICIO JOSÉ RÍOS

ASERORA

MTRA. BRENDA OLVERA JIMÉNEZ

TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS, JUNIO 2017



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
 Dirección de Servicios Escolares
 Departamento de Certificación Escolar

Autorización de impresión



Revisión: 6

Lugar: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.
 Fecha: ABRIL 03, 2017

C. ANA JUDITH DE COSS PÉREZ

Pasante del Programa Educativo de: LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
IMPACTO DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN EL BALANCE HÍDRICO EN LA

MICROCUENCA LA UNIÓN, EN EL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS

En la modalidad de TESIS PROFESIONAL

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores:

MTRA. BRENDA OLVERA JIMÉNEZ

MTRO. JUAN GABRIEL LÓPEZ ESPINOZA

ING. MAURICIO JOSÉ RÍOS



Firmas:

Ccp. Expediente

Porque como desciende de los cielos la lluvia y la nieve, y no vuelve allá, sino que riega la tierra, y la hace germinar y producir, y da semilla al que siembra, y pan al que come. Isaías 55:10.

Y si alguno de nosotros tiene falta de sabiduría, pídala a Dios, el cual da a todos abundantemente y sin reproche, y le será dada. Santiago 1:5.

El principio de la sabiduría es el temor de Jehová; Los insensatos desprecian la sabiduría y la enseñanza. Proverbios 1:7.

Porque Jehová da la Sabiduría, Y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia. Proverbios 2:6.

Mejor es adquirir sabiduría que oro preciado; Y adquirir inteligencia vale más que la plata. Proverbios 16:16.

Agradecimiento

Dando siempre gracias por todo al Dios y Padre, en el nombre de nuestro Señor Jesucristo. Efesios 5:20

Agradezco a Dios, por ser mi fuerza, mi roca y salvación, por darme la vida, salud, sabiduría, por todas sus bendiciones, por ser mi mejor amigo y guiador, por su infinito amor, muchas gracias por estar siempre conmigo y jamás abandonarme.

A mis padres, Roberto de Coss Ruíz y Eudocia Amparo Pérez López, por apoyarme en todo momento, por sus consejos y su compañía, en cada paso y etapa de mi vida.

Dichosa soy porque gracias a Dios no anduve en consejos malos, ni estuve en caminos incorrectos, sino bajo los buenos consejos y enseñanzas, de Dios y de mis padres, en las que está mi alegría, mis fuerzas y mis motivos por el cual eh concluido esta etapa más de mi vida, y en ello medito día y noche.

A todos mis hermanos que de una u otra manera me apoyaron, especialmente agradezco a César, Jacobo, Bacilia y Alba, por apoyarme incondicionalmente durante todos mis estudios y estar siempre al pendiente de mí, y a toda mi familia gracias por su ayuda.

A mi director de tesis Ing. Mauricio José Ríos, a mi asesora Mtra. Brenda Olvera Jiménez y mi revisor Mtro. Juan Gabriel López Espinosa, gracias por el apoyo y el tiempo dedicado durante la realización de mi proyecto de tesis.

A mis amigas Amairani y Griseida por su amistad en todo momento, Gabriel gracias por tu amistad y tu apoyo, a Marcos y a todos mis compañeros que juntos compartimos momentos de tristeza y alegría, gracias por su amistad.

Agradezco al COCYTECH por la beca otorgada, para concluir mi proyecto de tesis.

Agradezco a mis maestros de primaria Prof. Carlos, Nelly y Nury que impulsaron a seguir estudiando.

Dedicatoria

Dedico mi tesis al Rey de Reyes y Señor de Señores, al único Dios grande y poderoso, creador del cielo y de la tierra, dador de la vida y la sabiduría.

A mi mamá Amparo por ser mi ejemplo.

A mi papá Roberto por sus consejos.

A mis hermanos por el apoyo que me brindaron.

A César y Jacobo

A mis sobrinos Arline, Roberto, Rubí y Estrella por su alegría.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 La cuenca; definición, clasificación, escalas y procesos	2
2.1.1 Cuenca	2
2.1.2 La cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica	4
2.1.3 Dimensiones de las Cuencas	5
2.1.4 Distribución espacial y clasificación de las cuencas	5
2.1.5 Escalas y partes de las cuencas	7
2.1.6 Procesos dentro de la cuenca	9
2.2 Balance Hídrico y sus componentes	10
2.2.1 Componentes del balance hídrico	12
2.3 Métodos para el cálculo del Balance Hídrico	16
2.3.1 Método directo	17
2.3.2 Método Indirecto	17
2.4 Vegetación y su importancia	18
2.5 Relación entre la cobertura vegetal y el balance hídrico	19
2.6 Sistemas de información Geográfica (SIG) y Percepción Remota	22
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
4. JUSTIFICACIÓN	26
5. ANTECEDENTES	27
6. OBJETIVO GENERAL	30
6.1 Objetivos Específicos	30
7. METODOLOGÍA	31
7.1 Área de estudio	31
7.2 Método	37
8. RESULTADOS	48
9. DISCUSIÓN	81
10. CONCLUSIONES	83
11. LITERATURA CITADA	87

ÍNDICE DE TABLA

Tabla No. 1 Estaciones climatológicas _____	38
Tabla No. 2 Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía ____	41
Tabla No. 3 Clasificación de los tipos de suelo _____	42
Tabla No. 4 Estimación inicial de umbral de escorrentía P_0 (mm) _____	44
Tabla No. 5 Conversión de P_0 _____	45
Tabla No. 6 Cálculos del balance hídrico del mes de abril 2005-2011 _____	70
Tabla No. 7 Cálculos del balance hídrico del mes de agosto 2005-2011 ____	78

ÍNDICE DE FIGURA

Figura No. 1 Cuenca _____	3
Figura No. 2 División hidrográfica e hidrológica de una cuenca _____	4
Figura No. 3 Dimensiones de una cuenca hidrográfica _____	5
Figura No. 4 Cuenca, subcuenca y microcuenca _____	6
Figura No. 5 Tipos de cuencas _____	6
Figura No. 6 Escalas de la cuenca _____	7
Figura No. 7 Partes de una cuenca hidrográfica _____	8
Figura No. 8 Clasificación de las cuencas _____	9
Figura No. 9 Balance hídrico _____	11
Figura No. 10 Proceso de la evapotranspiración _____	13
Figura No. 11 Proceso de escorrentía _____	15
Figura No. 12 Infiltración en el suelo _____	16
Figura No. 13 Componentes del balance hídrico _____	20
Figura No. 14 Integración de los Sistemas de Información Geográfica _____	22
Figura No. 15 Elementos básicos de la Percepción Remota _____	24
Figura No. 16 Localización de la microcuenca La Unión _____	32
Figura No. 17 Uso de suelo y vegetación (INEGI) _____	34
Figura No. 18 Edafología (INEGI) _____	35
Figura No. 19 Climatología (CEIEG) _____	36
Figura No. 20 Método del Balance Hídrico _____	37
Figura No. 21 Localización de las estaciones climatológicas _____	39
Figura No. 22 Delimitación de la zona de estudio _____	49
Figura No. 23 Precipitación (mm) correspondiente al mes de abril de los años 2005 y 2011 _____	50
Figura No. 24 Precipitación del mes de abril del año 2005 _____	51
Figura No. 25 Precipitación del mes de abril del año 2011 _____	52
Figura No. 26 Precipitación (mm) correspondiente al mes de agosto de los años 2005 y 2011 _____	53
Figura No. 27 Precipitación del mes de agosto del año 2005 _____	54

Figura No. 28 Precipitación del mes de agosto del año 2011 _____	55
Figura No. 29 Cambio de uso de suelo y vegetación_____	56
Figura No. 30 Uso de Suelo y Vegetación del año 2005 _____	57
Figura No. 31 Uso de Suelo y Vegetación del año 2011 _____	58
Figura No. 32 Mapa de pendientes en %_____	62
Figura No. 33 Clasificación de suelos a efectos de umbral de escorrentía ____	64
Figura No. 34 Mapa de escurrimiento superficial del mes de abril del año 2005 _____	66
Figura No. 35 Mapa de escurrimiento superficial del mes de abril del año 2011 _____	67
Figura No. 36 Mapa de infiltración del mes de abril del año 2005 _____	68
Figura No. 37 Mapa de infiltración del mes de abril del año 2011 _____	69
Figura No. 38 Distribución espacial del balance hídrico del mes de abril del año 2005_____	71
Figura No. 39 Distribución espacial del balance hídrico del mes de abril del año 2011_____	71
Figura No. 40 Mapa de escurrimiento superficial del mes de agosto del año 2005_____	74
Figura No. 41 Mapa de escurrimiento superficial del mes de agosto del año 2011_____	75
Figura No. 42 Mapa de infiltración del mes de agosto del año 2005 _____	76
Figura No. 43 Mapa de infiltración del mes de agosto del año 2011 _____	77
Figura No. 44 Distribución espacial del balance hídrico del mes de agosto del año 2005 _____	79
Figura No. 45 Distribución espacial del balance hídrico del mes de agosto del año 2011 _____	80
Figura No. 46 Gráfica de precipitación del estado de Chiapas _____	84

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de cobertura vegetal es de gran importancia en el balance hídrico de las cuencas, ya que mantiene por mayor tiempo el agua en los acuíferos, disminuye el escurrimiento superficial, evita pérdida de suelo y arrastre de sedimentos hacia las zonas bajas. Cuando la vegetación es eliminada, altera al ciclo hidrológico y produce problemas de erosión, salinización, pérdida de productividad y disminución de la capacidad de infiltración para recarga de acuíferos, provocando un déficit en la disponibilidad hídrica.

La presente investigación se llevó a cabo en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, donde se realizó el cálculo del balance hídrico en dos temporadas (seca y lluvia) y para dos años (2005 y 2011), mediante el método precipitación-escurrimiento del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Se elaboraron los mapas de uso de suelo y vegetación (USV) para ambos años, se calculó la pendiente en %, la precipitación media de la microcuenca, el escurrimiento superficial con el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y la Infiltración.

Se obtuvo como resultado que la distribución espacial del balance hídrico cambió sustancialmente por la pérdida de vegetación, aumentando la escorrentía superficial, disminuyendo la infiltración y aportación de agua al acuífero, respecto a la precipitación. La importancia de este trabajo radica en dar a conocer que la pérdida de cobertura vegetal impacta negativamente en los componentes del balance hídrico, ya que en la actualidad este recurso está siendo altamente afectado por el aumento de las actividades antrópicas, afectando su disponibilidad (cantidad y calidad).

2. MARCO TEÓRICO

En la actualidad se reconoce que las coberturas boscosas cumplen un papel importante en la regulación de caudales en las cuencas hidrográficas (Zhang *et al.*, 1999). La capacidad de regulación del rendimiento hídrico depende de los tipos y características de cada cobertura vegetal, ya que ésta es un factor determinante en el balance hídrico al estar relacionado directamente con la evapotranspiración, infiltración y el déficit de humedad en el suelo (Rivas, *et al.*, 2011).

El agua es el elemento más abundante en la Tierra; por tanto, es el factor importante para la regulación del clima, que permite la supervivencia de los seres vivos (Chow, *et al.*, 1994).

2.1 La cuenca; definición, clasificación, escalas y procesos

2.1.1 Cuenca

La unidad espacial más utilizada en los estudios hidrológicos, es la cuenca hidrográfica (Davie, 2003), la cual se define como la unidad territorial natural delimitada por los parte-aguas, que tiene un drenaje natural y en ella se llevan a cabo interacciones físicas, biológicas y de todos los actores que en ella se encuentran (Dunne y Leopold, 1978). Es también el área geográfica que contribuye al flujo del agua de una corriente o río (Bonan, 2002).

Según Llerena (2003) y Folliot (1997), una cuenca hidrográfica (Figura No.1) es la unidad territorial natural delimitada por una divisoria topográfica denominada parte-aguas, que capta la precipitación, y es por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal, lo cual es muy importante, ya que a partir de esta apreciación se puede comprender que únicamente en la cuenca hidrográfica es posible realizar balances hídricos, es decir, cuantificar la oferta de agua que produce la cuenca durante el ciclo

hidrológico, donde se puede organizar adecuadamente actividades de manejo y controlar los efectos sobre el ambiente (Arosemena 2010).

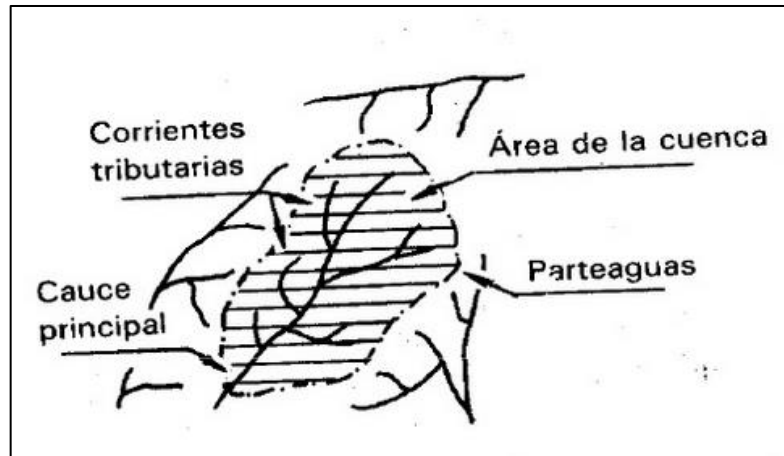


Figura No. 1 Cuenca
Fuente: Aparicio 1992

Dentro de una cuenca existe una relación de interdependencia de los sistemas biofísicos y socioeconómicos, que requieren mecanismos particulares para orientar e influir en las decisiones de los actores, y así aprovechar los recursos naturales de una manera sustentable (Caire, 2007). Por lo que es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas, (World Vision). Los aportes de las cuencas según Rendón (2003) son: abastecimiento continuo de agua dulce, regulación de la cantidad de agua, regulación climática y la evapotranspiración, que mantiene la humedad y la biodiversidad a niveles locales. Las cuencas hidrográficas regulan los caudales de agua que previenen las inundaciones y la sequía en las zonas cercanas río abajo (G. Ives y B. Messeril, 1989).

2.1.2 La cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica

El ciclo hidrológico es toda gota de lluvia que cae al suelo, continua en forma de escurrimiento e infiltración, luego va a lugares de concentración, allí una parte se evapora y vuelve a la atmósfera para formar el ciclo, cuando el agua se infiltra, satura el suelo, pasa a percolación y recarga los acuíferos. En este desplazamiento, el agua se puede encontrar con estratos de diferentes características hidrológicas que movilizan las partículas de agua dependiendo de la forma y tipo de rasgos geológicos. Cuando el relieve y fisiografía, tienen una forma y simetría diferente a la configuración geológica de la cuenca, se puede decir que existe una cuenca subterránea, que cambia la dirección del flujo sub-superficial para alimentar a otra cuenca hidrográfica, así como se observa en la figura No.2, a esta configuración se denomina cuenca hidrológica, la cual es de suma importancia al realizar balance hidrológico (World Vision).

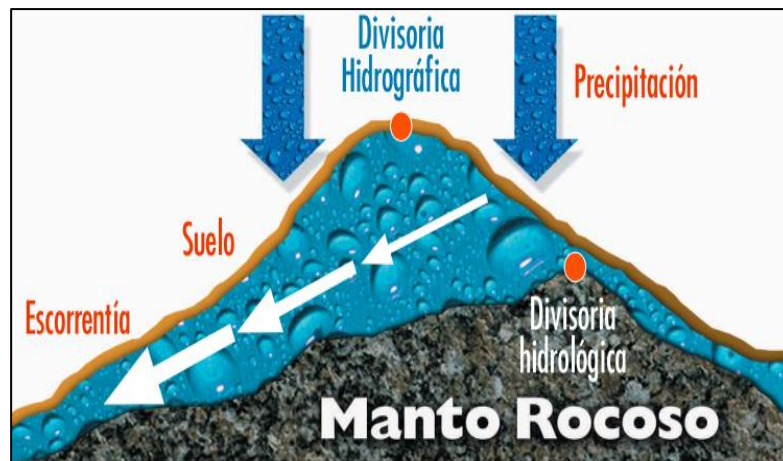


Figura No. 2 División hidrográfica e hidrológica de una cuenca
Fuente: World Vision

2.1.3 Dimensiones de las Cuencas

Las dimensiones de las cuencas son cuatro (Figura No.3); largo y ancho de la cuenca, profundidad y altura del subsuelo, y el tiempo, los cuales determinan la estructura y los cambios de la cuenca temporalmente (Villalta y Castañeda, 2003).

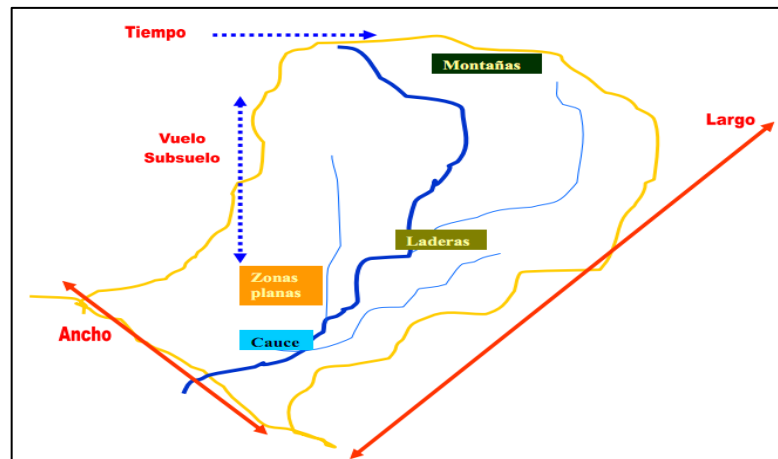


Figura No. 3 Dimensiones de una cuenca hidrográfica
Fuente: Villalta y Castañeda 2003.

2.1.4 Distribución espacial y clasificación de las cuencas

La cuenca se encuentra distribuida espacialmente por subcuencas, que se define como la unidad de drenaje de menor superficie que una cuenca y que forma parte de esta, constituyendo un tributario de la misma, su drenaje va al cauce principal de una cuenca más grande (Sing, 1989), dentro de esta se encuentran las microcuencas que son unidades más pequeñas en la que su drenaje va al cauce principal de la subcuenca como se muestra en la figura No.4 y a su vez, son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas (Ordoñez, 2011).

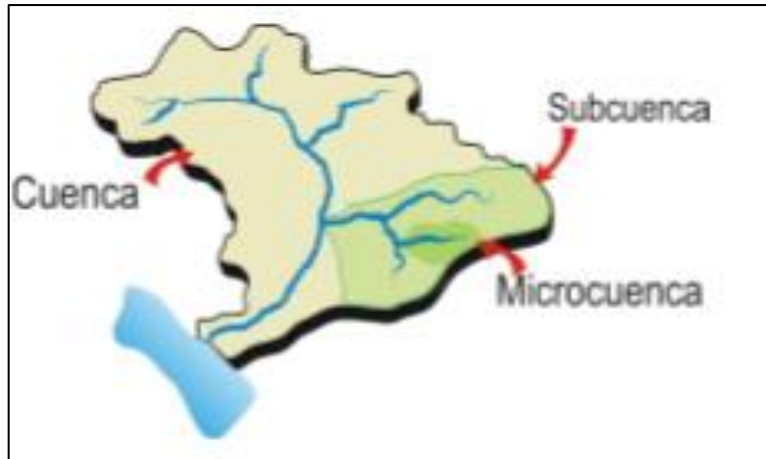


Figura No. 4 Cuenca, subcuenca y microcuenca
 Fuente: Adaptado por Casaverde, 2011. (Ordoñez 2011)

Según Ordoñez (2011) las cuencas se clasifican por su sistema de drenaje, las más comunes son las exorreicas y endorreicas (Figura No.5), la primera es una cuenca en la cual su cauce principal desemboca directamente al mar y la segunda su cauce principal desemboca ya sea en un lago, laguna, río o arroyo. Otros dos tipos de cuencas menos comunes son las criptorreicas que no tienen un sistema de drenaje definido y corren como ríos subterráneos (zonas cársticas) y las arreicas cuando sus aguas se evaporan o se infiltran y no forman parte de un escurrimiento subterráneo (World Vision).

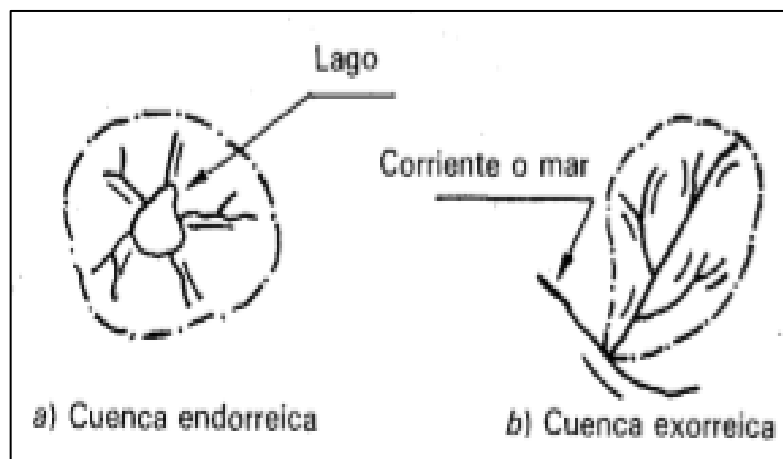


Figura No. 5 Tipos de cuencas
 Fuente: Aparicio 1992

2.1.5 Escalas y partes de las cuencas

Las cuencas hidrográficas se pueden clasificar por su magnitud (Figura No.6) en: “micro” (menos de 50 km²) donde los efectos de las actividades humanas en los procesos de las cuencas tienden a ser mayores que al de los fenómenos naturales, “meso” (de 50 a 20,000 km²) donde los procesos naturales interaccionan con los factores humanos, lo que hace a las meso-cuencas vulnerables a la degradación ambiental y “macro” (más de 20,000 km²) que la magnitud de los procesos naturales supera los efectos de las intervenciones humanas percibidos en un sitio determinado, estas clasificaciones pueden ser arbitrarios, límites superior e inferior para evaluar las repercusiones potenciales de las actividades humanas (agricultura, expansión forestal) en comparación con los efectos de los fenómenos naturales (FAO, 2009).

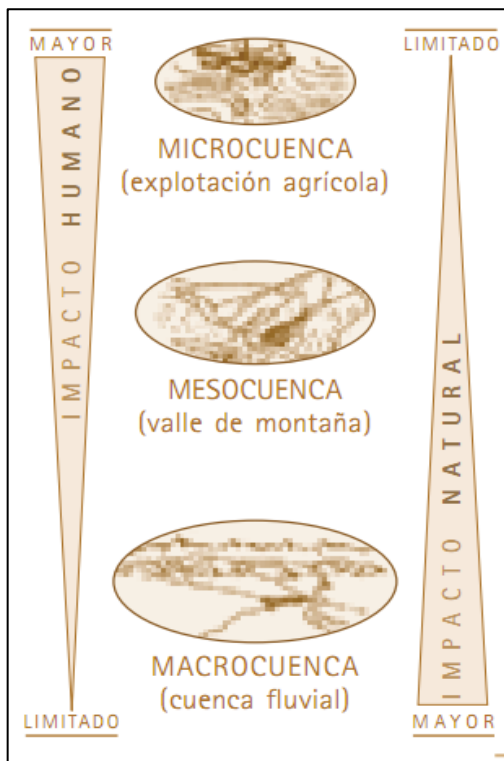


Figura No. 6 Escalas de la cuenca
Fuente: Tomado de G. Ives y B. Messeril, 1989. (FAO 2009)

Una cuenca hidrográfica está compuesta por diferentes partes como se observa en la figura No.7, dependiendo el criterio con el que se utilice.

Un criterio puede ser la altitud que se relaciona con el clima lo cual puede ser una forma de establecer la división de la cuenca, en las cuales se distinguen las partes bajas, medias y altas. Según los rangos de altura que tenga la cuenca, si los valores varían entre 0 y 2500 msnm se pueden diferenciar fácilmente todas las partes, si los valores van de 0 a 1000 msnm podrán distinguirse solo dos partes, y si la cuenca es casi plana estas no se pueden observar. Otro criterio puede ser la topografía, es decir la relación con el relieve y la forma del terreno. Las partes accidentadas forman las montañas y laderas, las zonas onduladas casi planas forman los valles, y finalmente la zona por donde fluye el cauce principal y sus afluentes (World Vision).

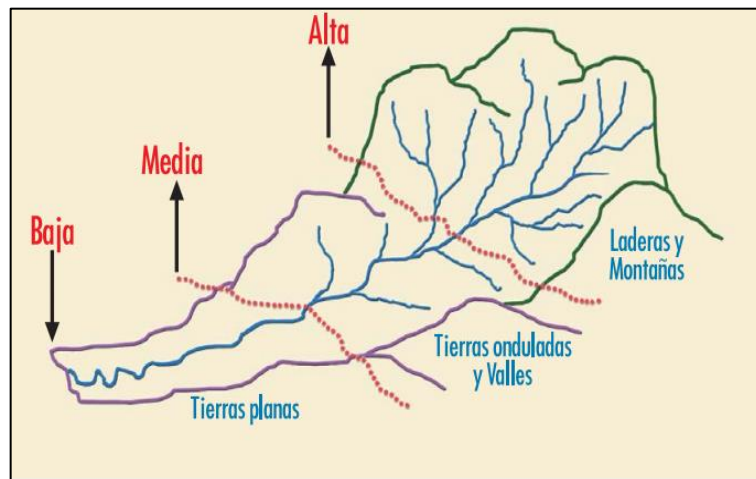


Figura No. 7 Partes de una cuenca hidrográfica
Fuente: World Vision

En resumen, las clasificaciones de las cuencas se distribuyen de la siguiente manera (Figura No. 8):

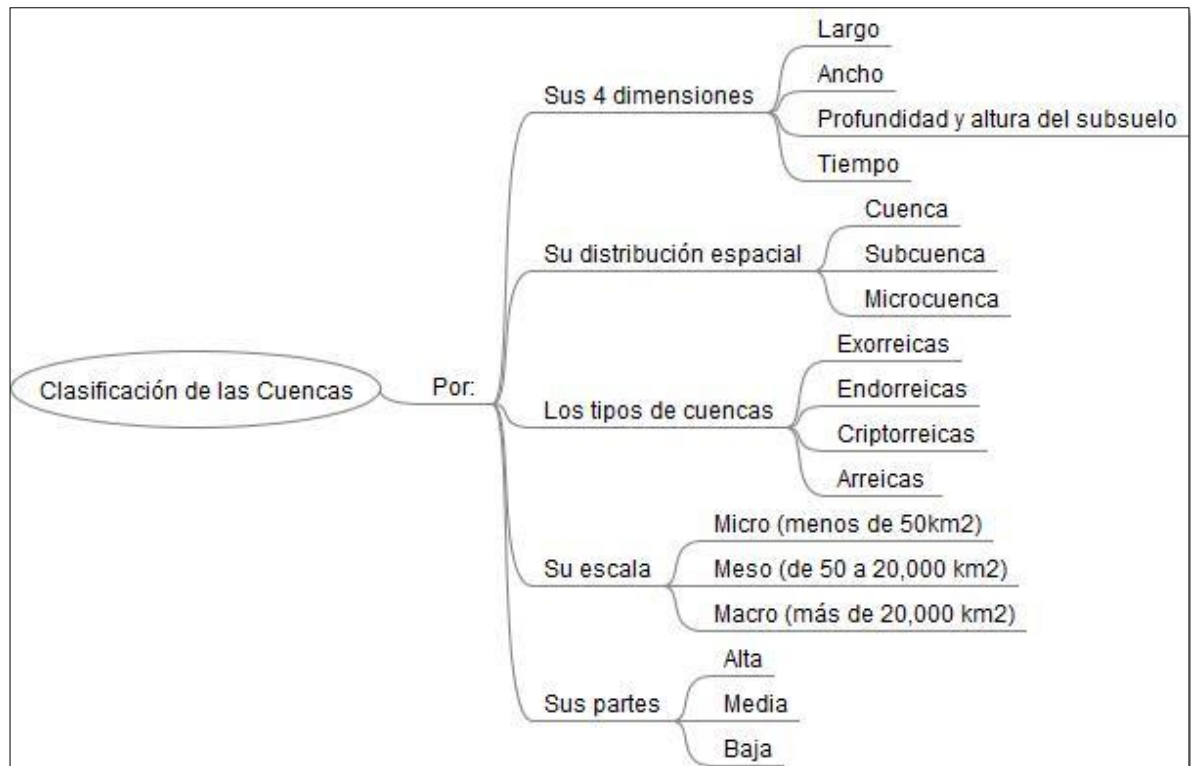


Figura No. 8 Clasificación de las cuencas

2.1.6 Procesos dentro de la cuenca

Una de las interacciones físicas más importantes que se da en una microcuenca es el balance hídrico, que se entiende como balance a la entrada de agua por precipitación y/o deshielo y la salida de esta por la evapotranspiración, recarga de acuíferos y escurrimientos superficiales en un tiempo determinado (Dunne y Leopold, 1978).

Es muy importante saber que los balances de agua y energía en las cuencas, condicionan la formación del terreno, la distribución y productividad de la vegetación, (Arias y Poveda, 2004). Cuando existe deforestación en las cuencas se reduce la productividad de agua (Calder, 1979), por lo tanto, se

puede decir que los bosques pueden interceptar cantidades importantes de precipitación, que posteriormente se reintegran rápidamente a la atmósfera por medio de la evapotranspiración (Roberts *et al.*, 1982).

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración (INE, SEMARNAT y Pladeyra, 2003).

La cuenca al captar la precipitación, parte de esta se filtra hacia las capas freáticas, otra fluye río abajo en forma de escurrimiento, otra se evapora o se retiene en la vegetación formando los acuíferos, o se transforman en nieve o hielo, los cuales se derriten en época de calor (G. Ives y B. Messeril, 1989).

Es de gran importancia que en el balance hídrico de las cuencas, se realicen estudios de interceptación de la lluvia por el dosel de la vegetación, debido a que gran parte retorna a la atmósfera en forma de evaporación, una parte del agua de lluvia es interceptada por el dosel (interceptación) y otra parte llega al suelo conducido por el tronco (escorrentía cortical), o cayendo directamente desde las ramas o las hojas (trascolación), formando ambas lo que se denomina precipitación neta (Luna *et al.*, 2011).

2.2 Balance Hídrico y sus componentes

El balance hídrico (Figura No.9) analiza la entrada y salida de agua en un sector de una cuenca a lo largo del tiempo, tomando en consideración los cambios en el almacenamiento interno bajo diferentes escenarios (Ordoñez, 2011), es decir el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen al mismo tiempo. Para determinar la disponibilidad hídrica en una cuenca, se establece una comparación entre oferta y demanda del recurso dentro de esta.

La técnica del balance hídrico implica mediciones de almacenamiento y flujos de agua, sin embargo, algunas se eliminan en función del volumen y período de tiempo utilizados para el cálculo del balance hídrico (UNESCO, 1971). Los datos de precipitación y caudal son básicos para el cálculo de los componentes del balance hídrico de las cuencas fluviales para periodos largos.

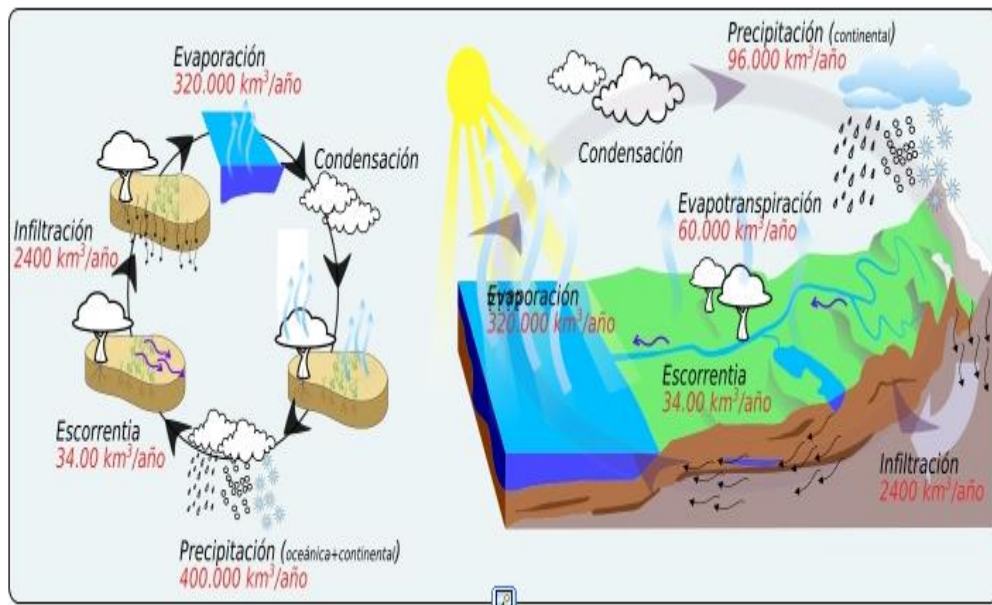


Figura No. 9 Balance Hídrico
Fuente: Ordoñez 2011

El balance hidrológico se lleva a cabo en cada una de las cuencas, en las cuáles se determinan, clasifican y ponderan las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación, suelo, litología, pendiente y las áreas cubiertas por cada isoyetas e isotermas (García, *et al.*, 2003).

La ecuación del balance hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus componentes es difícil por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003). El escollo de los sistemas de balances hídricos radica en evaluar con exactitud la capacidad de retención de agua en el suelo, debido a que la reserva de esta se traslada a períodos de tiempos sucesivos, provocando déficits hídricos (Blanco *et al.*, 1989).

Para estimar la oferta hídrica en un espacio y periodo en particular, se tiene como origen el ciclo hidrológico modelado mediante el balance hídrico, que determina la disponibilidad del agua, es decir, el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre en cada una de las fases: precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración. Es por ello la importancia de realizar un balance hidrológico, para conocer la oferta real del agua representado por la escorrentía, conocer si la cuenca está siendo sobre-explotada o si existe disponibilidad adicional para utilizar mayores cantidades de agua en otros usos (CATIE).

2.2.1 Componentes del balance hídrico

Precipitación

La precipitación es el factor más importante dentro del balance hídrico, ya que es la principal fuente de entrada de agua dentro del ciclo hidrológico, cambia tanto espacial como temporalmente en una cuenca o subcuenca, debido a que el agua que cae en una zona definida ocurre en forma de lluvia, neblina, nieve, entre otros. Para medir la precipitación se hace el uso de las estaciones climatológicas o hidrométricas, a través de instrumentos llamados pluviómetros y pluviógrafos, estos son los más usados en México (Aparicio, 1992).

Evaporación y Evapotranspiración

Otro de los componentes del balance hídrico es la evaporación, que se define como el fenómeno físico que permite a un fluido (agua) convertirse en vapor, es decir, en gas y posteriormente regrese a la atmósfera (aire) (Vásquez, 2007; Ordoñez, 2011). El agua que retorna a la atmósfera y se convierte en vapor por una cobertura vegetal, incluyendo la transpiración de la vegetación y la

evaporación desde el suelo, se le denomina evapotranspiración (FAO, 2006; Ordoñez, 2011).

Para la FAO (2006), la evapotranspiración (Figura No.10) es un componente fundamental en el balance hídrico, sin embargo es la variable con mayores incertidumbres en su medición y estimación, ya que se compone por la evaporación desde la superficie y por la transpiración de los estomas de las hojas, la dinámica de la evapotranspiración está condicionada por tres factores fundamentales que son; la interacción entre la disponibilidad hídrica y energética (para el cambio de estado del agua), que se ve afectada por las condiciones ambientales existentes (transporte de vapor de agua), siendo la vegetación uno de los factores determinantes en su comportamiento (Arias y Poveda, 2004).

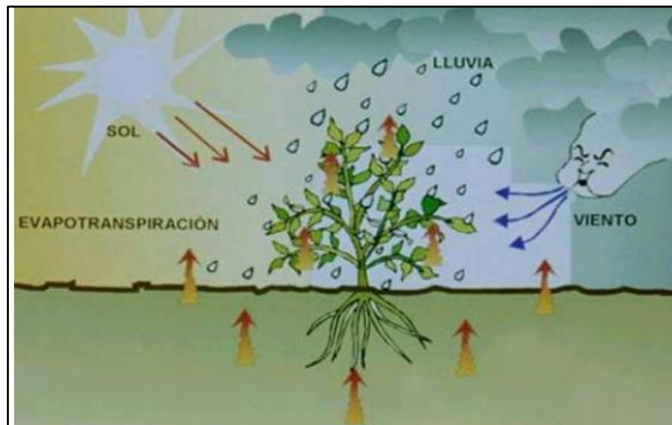


Figura No. 10 Proceso de la evapotranspiración
Fuente: Muñoz 2011

Escurrimiento

El escurrimiento se refiere al agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Se considera la esorrentía directa

como aquella que pasa por poco tiempo después de haber llovido. Es conveniente dividir estos escurrimientos en tres clases: superficial, sub-superficial y subterráneo. El superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca, habiendo circulado siempre sobre la superficie del terreno, el sub-superficial es cuando una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo o paralelamente a él, y el subterráneo es el que llega de manera más lenta a la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar), en general es complicado que se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y tenga un suelo muy permeable (Aparicio, 1992; Custodio y Llamas, 1996).

Cuando la precipitación llega a la superficie del suelo, se infiltra hasta saturar las capas del mismo, luego se comienzan a llenar las depresiones del terreno y el agua empieza a escurrir sobre la superficie tal como se observa en la figura No.11 y recibe el nombre de escurrimiento de flujo en el terreno, que se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos. El agua que corre sobre el terreno continúa infiltrándose e incluso se evapora en pequeñas cantidades (Aparicio, 1992). El escurrimiento aumenta con la pendiente y con materiales como el concreto y el asfalto, disminuye con el tamaño de partícula, con el contenido orgánico del suelo y con la cobertura vegetal (Marsh, 1997). La presencia de la vegetación influye en la cantidad de escurrimientos, erosión y sedimentos (Benik *et al.*, 2003).

La escorrentía superficial tiene diferentes funciones como son las siguientes: arrastra río abajo, minerales y sedimentos orgánicos que fertilizan el suelo. La acción física y química de la vegetación garantiza la absorción, filtración y libración de la escorrentía. Las laderas de las cuencas controlan la fuerza y rapidez del caudal de la escorrentía, entre mayor pendiente exista, la escorrentía será más rápida y si la vegetación es poca escurrirá con mayor velocidad (G. Ives y B. Messeril, 1989).

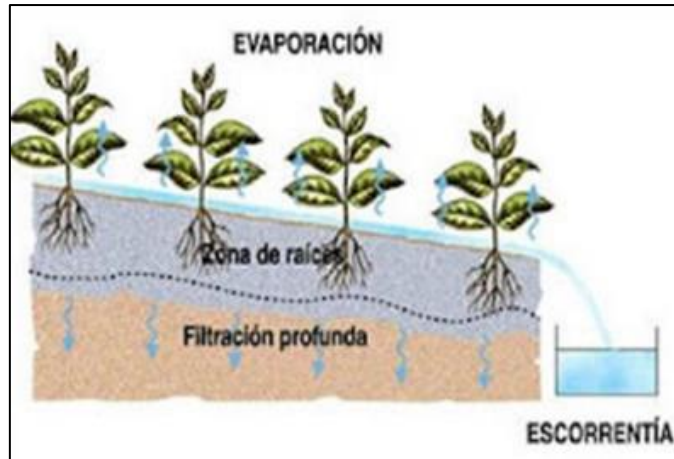


Figura No. 11 Proceso de escorrentía
Fuente: Muñoz 2011

Los métodos más usados para el cálculo del escurrimiento superficial en México son dos, el propuesto por la Sagarpa que toma en cuenta el área de la cuenca, el coeficiente de escurrimiento adimensional y la precipitación, y el propuesto por el (SCS), tomando en cuenta la precipitación, la pendiente, el tipo de textura de los suelos y el USV.

Infiltración

Se le denomina infiltración (Figura No.12) al volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno, ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo (Ordoñez, 2011). La vegetación modifica la infiltración de diferentes maneras, ya que puede interceptar parcialmente el agua de lluvia, junto con el escurrimiento desde el dosel vegetal, y de esta manera modificar su intensidad (Rutter *et al.*, 1972 y Aston, 1979). Cuando se reduce la intensidad de la lluvia y las gotas aumentan su diámetro, hay mayor proporción de infiltración sobre la caída del agua, así la presencia de cobertura vegetal influye en la capacidad de infiltración (Sierra y Agugliaro, 2008).

Al agua que llueve en una cuenca y escurre por su punto de salida genera una diferencia que recibe el nombre de pérdidas por la intercepción (follaje de las plantas, techos) y retención (charcos), que se evapora o se infiltra. Cuando se tienen mediciones de lluvia y volumen de escurrimiento en una cuenca, las pérdidas se pueden calcular mediante métodos empíricos (Aparicio, 1992).

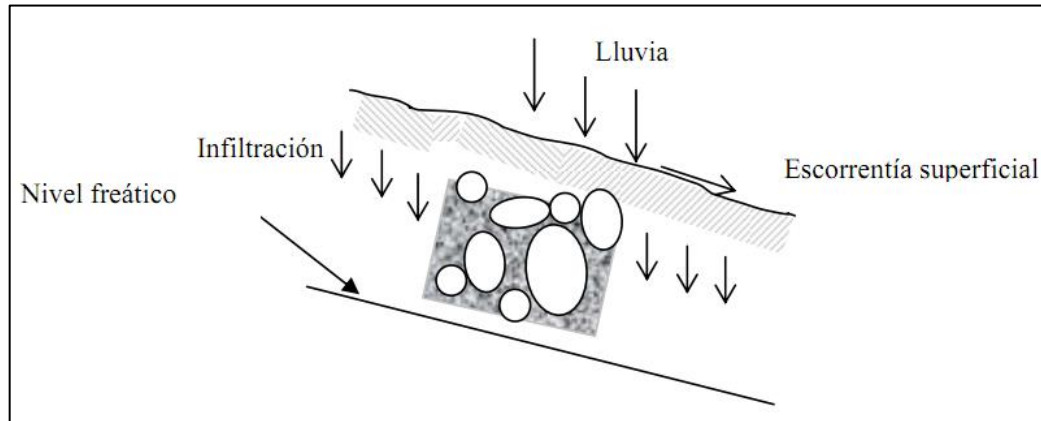


Figura No. 12 Infiltración en el suelo
Fuente: www.biblioteca.udep.edu.pe.com.mx

2.3 Métodos para el cálculo del Balance Hídrico

Los métodos para realizar el cálculo del balance hídrico en nuestro país se clasifican en directo e indirecto, el primero es el establecido y normado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (NOM-011-CONAGUA-2000) y el segundo es el propuesto por el CATIE.

2.3.1 Método directo

Se realiza mediante los registros hidrométricos, este se aplica si en la cuenca de estudio, existe un registro mínimo de 20 años consecutivos o no, en el caso de tener un sistema de cuencas interconectadas se debe elaborar un esquema de interconexión de la cuenca hidrológica en estudio con las cuencas vecinas, indicando los nombres de los cauces, dirección del flujo y la ubicación de los embalses naturales, y artificiales. Este método se determina mediante la siguiente ecuación No. 1:

Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica = volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo - volumen anual actual comprometido aguas abajo

(1)

2.3.2 Método Indirecto

Si la cuenca en estudio no cuenta con suficiente información de registros hidrométricos o ésta es escasa, se aplica el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento, el cual se refiere al volumen medio anual de escurrimiento natural, que se determina mediante la siguiente ecuación No.2:

$$A = P - ET - Q + L \quad (2)$$

Dónde:

A = almacenamiento en la cuenca

P = precipitación

ET= evapotranspiración

Q = escurrimiento superficial

L = infiltración

2.4 Vegetación y su importancia

La vegetación es un elemento indicador del estado o condición que guardan los ecosistemas. La cobertura vegetal es toda vegetación natural que corresponde a un área o territorio determinado, definida por la presencia de especies vegetales, que incluye principalmente: bosques, matorrales, sabanas, vegetación de agua dulce, terrenos con escasa vegetación y áreas agropecuarias en uso, se caracteriza por su composición florística, su fisonomía y su estructura espacial, que puede cambiar a través del tiempo (Velázquez, *et al.*, 2012; Diccionario Enciclopédico Dominicano de Medio Ambiente).

Las interrelaciones de las sociedades humanas a lo largo de la historia han modificado el ciclo del agua, transformando los procesos hidrológicos y junto con la naturaleza, modelan los paisajes terrestres asociados al flujo del agua, que Toledo (2006) denomina como “paisajes fluviales”.

La vegetación es el componente natural terrestre y es producto de la interacción de diferentes factores ambientales que se encuentran en un lugar determinado. Es de gran importancia conocer el estudio de su estructura, composición, distribución y cómo cambian temporalmente, para conocer su función en los ecosistemas (Matteucci y Colma, 1982; FGDC, 2005).

El papel de la cobertura vegetal con respecto a la precipitación es el de interceptar las gotas de lluvia, su distribución, su tamaño y el de reducir su velocidad, lo que disminuye la energía de impacto, además al proporcionar una rugosidad superficial, ayuda a preservar la vegetación existente en el suelo, lo cual reduce la velocidad de la escorrentía y favorece la infiltración (Brand, 1987; Francis y Thornes, 1990). Debido a esto se ha comprobado que es de gran importancia la interceptación en la heterogeneidad de la humedad del suelo y en la respuesta hidrológica de las cuencas forestales a pequeña escala (Glover y Gwynne, 1962; Durocher, 1990).

En las regiones forestales la lluvia puede alcanzar el piso de los bosques, ya sea por escurrimiento fustal o por precipitación directa que generalmente se evapora del suelo en una pequeña porción, la humedad que se retiene en el suelo puede drenar en la red de corrientes formando un flujo base. En las laderas de pendientes extendidas con suelo de alta conductividad hidráulica, el flujo sub-superficial constituye la mayor parte del flujo de la tormenta, mientras que el flujo superficial de saturación domina el hidrograma del flujo de la tormenta donde las laderas son cóncavas, el fondo de los valles es amplio y los suelos son de textura fina (Schellekens, 2000).

Las cuencas ofrecen a la sociedad diversos servicios, tales como el caudal regulado, el suelo que el agua arrastra de las laderas, propicia al crecimiento de arbustos y árboles los cuáles frenan la erosión de la escorrentía. Los arboles protegen el suelo del impacto de la lluvia y proporcionan más sedimentos orgánicos fértiles, que a su vez sus raíces enredadas contribuyen a dar cohesión a las capas superficiales del terreno, de igual forma los troncos de los arboles sirven de barrera para los deslaves (G. Ives y B. Messeril, 1989).

2.5 Relación entre la cobertura vegetal y el balance hídrico

La vegetación y el ciclo hidrológico están íntimamente relacionados, el balance de agua local determina la estructura, función y distribución de la vegetación mientras que esta misma impacta sobre el balance hídrico a través de modificaciones en el albedo, la intercepción y la evaporación (Figura No.13) (Roberts *et al.*, 2000), esta interacción se intensifica en regiones donde el agua es un factor limitante para el desarrollo de las comunidades bióticas, como ocurren en los ecosistemas mediterráneos (Contreras, 2006). El balance hídrico requiere de modelos hidrológicos a nivel regional y que estos sean aplicables a nivel de cuenca, sobre los dominios geográficos (Arnell, 1999).

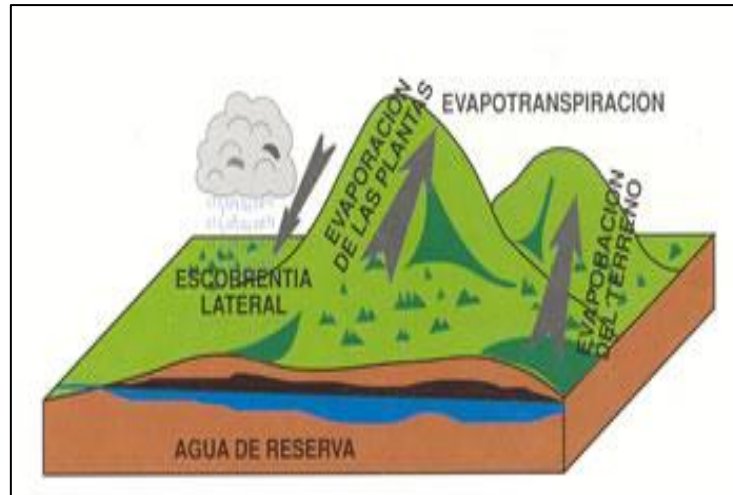


Figura No. 13 Componentes del Balance Hídrico
Fuente: Agrometeorología, (Www.Pluviométrico.com.)

Se han realizado estudios sobre el consumo de agua en bosques naturales, así como en plantaciones forestales y coberturas vegetales de porte bajo, mediante ecuaciones del balance hídrico y mediciones de transpiración (Tangham, 1994), de igual manera para la escorrentía y la recarga subterránea, debido a que están directa e indirectamente afectados por la vegetación arbórea (Wilcox, 2002). El desarrollo de un bosque provoca alteraciones en los componentes del balance hídrico, porque modifican los niveles de interceptación, evapotranspiración y escorrentía, y al modificarse estos procesos afectan a los caudales a escala anual, estacional y máxima (Gayoso e Iroumé, 1995).

López y Blanco (1976), mencionan que la función principal de la vegetación que crece dentro de una cuenca es la de protección y regulador, preponderante en las épocas intensas de lluvia, ya que reduce el exceso de escorrentía y produce crecidas e inundaciones. La extracción de la cobertura arbórea dentro de una cuenca puede alterar los caudales máximos producidos por precipitaciones de pequeña magnitud, la presencia o pérdida de vegetación forestal puede tener una menor influencia en el caudal máximo resultante (Zimmer, 1998 y Beschta *et al.*, 2000). La vegetación sufre diferentes cambios a lo largo del tiempo asociado con expansión de la urbanización, la agricultura y

la contaminación, que tienen una profunda influencia en los procesos hidrológicos (Sahagian, 2000; Sharma *et al.*, 2000).

Existe una relación entre la cobertura de vegetación y los caudales, al haber deforestación produce un aumento en los caudales, teniendo mayores efectos con el aumento de la precipitación (Chang y Watters, 1984). La disponibilidad de agua regula el crecimiento y la productividad de la vegetación a través del aumento o disminución del área foliar (Specht 1972 *et al.*, Eagleson 1982, Spech y Specht 1989, Stephenson 1990, Hoff y Rambal 2003,). Specht (1972) demostró que el área foliar en diversas comunidades vegetales sempervirentes de Australia está fuertemente relacionada con un índice de disponibilidad hídrica, esta evidencia junto con otras encontradas en diferentes climas y comunidades vegetales (Ellis *et al.*, 2005).

La presencia o pérdida de vegetación afecta a la cantidad de agua precipitada que llega al nivel del suelo, al contenido de humedad en el suelo y a la escorrentía superficial (Savanije, 2004; Zapata y Manzano, 2008). Una parte de la lluvia es interceptada por la vegetación, otra parte cae al suelo y dependiendo de las condiciones y del tipo de suelo, y de la pendiente del terreno el agua puede quedarse en un lago, escurrir en la superficie o infiltrarse (Luna *et al.*, 2011). Cualquier modificación de una cubierta boscosa es resultados de la intervención del hombre o consecuencia de su desarrollo natural, afectando la cantidad de agua que llega al suelo y la de reserva (Swank, Douglas 1974, Lockwood, Sellar 1982, Price 1982, Smith *et al.*, 1974, en Langfor y Sahughnessy 1977).

Muchos autores coinciden en que el principal efecto que tienen las plantaciones forestales sobre el balance hídrico es la cantidad de precipitación que se retiene por el dosel, por lo tanto, reduce la cantidad de agua en los ecosistemas. Los bosques disminuyen la disponibilidad hídrica, la velocidad de la escorrentía y el caudal. La eliminación de una cubierta vegetal, altera a las reservas de agua como a los caudales, existe un consenso en que el impacto de los bosques sobre la escorrentía consiste en la modificación de la forma en que estos

volúmenes acceden a los cauces, disminuyendo las aportaciones superficiales y aumentando las aportaciones subterráneas (Pizarro *et al.*, 2005).

2.6 Sistemas de información Geográfica (SIG) y Percepción Remota

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se encuentran integrados por datos, hardware, software, recurso humano, procedimientos y el manejo de estos (Figura No.14), para posteriormente analizar la información geográfica (Santiago, 2005), ya que proveen diversas funciones de análisis que permiten manipular diferentes variables para evaluar y resolver algún problema, de acuerdo a esto tomar decisiones adecuadas (Treviño *et al.*, 2002). Los SIG tienen la capacidad de crear información mediante la integración de diferentes datos (Aronoff, 1989), que puede provenir de un formato análogo, vectorial o raster. El tratamiento digital permite llevar a cabo gran cantidad de análisis, que antes eran imposibles de realizar únicamente mediante interpretación visual debido a su complejidad (Martínez y Días, 2005).



Figura No. 14 Integración de los Sistemas de Información Geográfica
Fuente: Mariani 2012

Las imágenes de percepción remota son procesadas con la tecnología de los SIG, ya que son una importante herramienta para trabajos de investigación. Se utilizan para desarrollar una aproximación al estudio y diagnóstico ecológico de

un área afectada por la intervención antrópica. En los SIG se editan diferentes planos temáticos de información a partir de los cuales se cuantifica la estructura espacial que surge de interpretar por ejemplo el USV y se obtiene como resultado una propuesta de regionalización en diferentes áreas, de acuerdo a donde se encuentren espacialmente, se interpretan los atributos ecológicos del área en estudio (Moizo 2004). La implementación de sistemas de información geográfica, de percepción remota y cartografía, es de vital importancia por ser herramientas de automatización, integración para el manejo, evaluación, monitoreo sustentable de los recursos naturales y ordenamiento territorial de una comunidad (Bocco *et al.*, 1996).

La percepción remota es la ciencia, arte o técnica, que permite observar y obtener información de un objeto analizando los datos que se adquiere del dispositivo sin estar en contacto directo con él (Figura No.15), esto es posible gracias a la relación sensor cobertura, ya que los barredores multiespectrales se expresan a través de la radiación electromagnética. Esta relación se puede presentar en tres formas; emisión, reflexión y emisión-reflexión, el flujo de energía que se produce por alguna de estas formas está en función de la transmisión de energía térmica (INEGI, Martínez y Días, 2005).

Falkner (1995) define a la percepción remota (fotografías aéreas e imágenes de satélite) como el uso de sensores instalados en plataformas diversas (satélites, aeronaves, globos, etc.), que registran la energía reflejada por los objetos que están presentes en la superficie terrestre, siendo procesada a bordo de éste y transmitida a estaciones receptoras que están en la superficie terrestre para su procesamiento y análisis, (fuente emisora, sensor, cerebro), amplía la capacidad de observación para la obtención de datos sobre un fenómeno con dimensión espacial; los sistemas cartográficos simbolizan los datos geográficos mediante mapas (en papel o digitales) y los SIG analizan y generan información a partir de esos datos, (Galeana *et al.*). En las últimas décadas la percepción remota ha sido una herramienta que permite el análisis

de procesos ambientales, físicos de la tierra y socioeconómicos de la población, capaz de cubrir grandes extensiones del territorio.

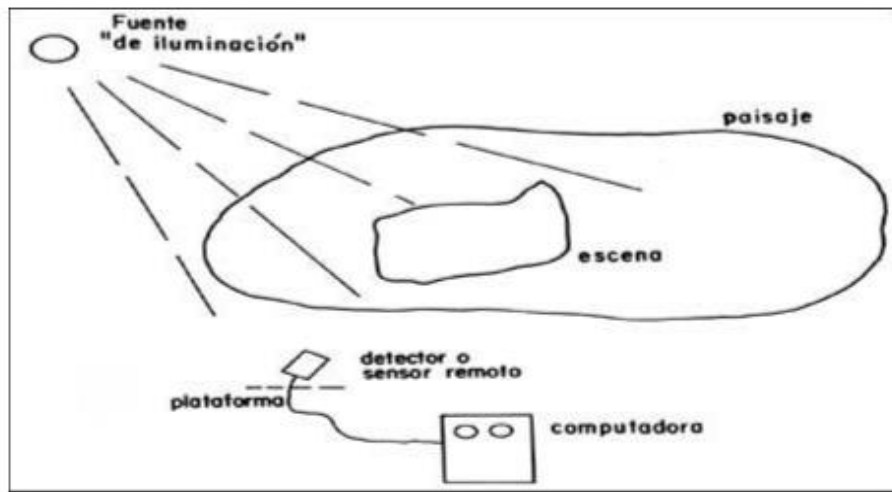


Figura No. 15 Elementos básicos de la Percepción Remota
Fuente: Lira 1995

La percepción remota constituye la fuente de información espacialmente distribuida sobre el estado de la vegetación en regiones extensas, relevantes en cuencas no instrumentadas al proporcionar variables de entrada en los modelos ecohidrológicos. La integración de ambas herramientas (teledetección y modelización) en los SIG (Trotter *et al.*, 1991), contribuye a mejorar las estimaciones del balance hídrico espacialmente distribuido facilitando la toma de decisiones en la planificación hidrológica (Salama *et al.*, 1994). Esta información permitiría en un futuro cuantificar los procesos de recarga y evaluar estrategias de acción (Contreras, 2006).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La microcuenca La Unión está experimentando pérdida de cobertura vegetal asociada con la expansión de las actividades agropecuarias, influyendo en los procesos hidrológicos y en los componentes del balance hídrico. La población se ha visto afectada, ya que la ausencia de la vegetación origina mayor escorrentía, disminuye la infiltración, por consiguiente, la recarga del acuífero y, por lo tanto, menor disponibilidad hídrica. Además, las crecidas registradas ocasionadas por eventos hidrometeorológicos extremos han provocado pérdida de suelo en las márgenes del Río Santo Domingo y Suchiapa, originando con ello mayor aporte de sedimentos hacia las partes bajas de la misma e incluso a la presa hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (Chicoasén) ubicada aproximadamente a 30 km aguas abajo.

Actualmente la microcuenca alberga 148 localidades, siendo las principales: América Libre, La Libertad, Ribera la Unión, Narciso Mendoza, Galecio Narcía, Distrito Federal, Francisco Sarabia, El Paraíso, Ignacio Allende, El Tejar, Nicolás Bravo, El Ranchito y Julián Grajales, las cuales suman una población total de 10,462 habitantes, lo que implica actividades como la agricultura y ganadería, afectando así al recurso hídrico, provocando ya sea un déficit o aumento de este, por lo que el presente trabajo pretende responder al siguiente cuestionamiento: ¿Qué impacto existe por la pérdida de cobertura vegetal en el balance hídrico? Es por ello, la importancia de contar con estudios sobre el impacto de la pérdida de cobertura vegetal en el balance hídrico, de la misma manera divulgar este tipo de trabajos realizados para proporcionar las bases científicas para el manejo integrado de cuencas.

4. JUSTIFICACIÓN

En México, existe la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, la cual está implícita en la Ley de Aguas Nacionales que se establece en el artículo 7 fracción I que la gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, que son prioridad y asunto de seguridad nacional.

Sin embargo, existen diversas metodologías alternas para la estimación del balance hidrológico.

En este estudio no se utilizó el método establecido y normado por la CONAGUA, ya que el objetivo no es estimar la disponibilidad hídrica, sino más bien conocer cuál es el impacto de la pérdida de cobertura vegetal y la distribución espacial de los componentes del balance hídrico en la microcuenca La Unión mediante el método del CATIE.

El cálculo del balance hídrico natural corresponde a la lámina de agua en mm, que dentro de los componentes de del método que establece la CONAGUA solo se llegó a el cálculo del escurrimiento directo.

5. ANTECEDENTES

La influencia de los bosques, la cobertura vegetal y los usos de la tierra del entorno rural sobre el rendimiento o balance hídrico, ha sido ampliamente investigada desde finales del siglo XIX a la fecha en Europa, Norteamérica, Asia y Oceanía, y en menor grado en África, Sudamérica y Centro América (Garzón, 2012).

El proceso precipitación-escorrentía influenciado por la vegetación se ha estudiado desde hace más de 100 años, pero a partir de la segunda mitad del siglo XX comienza a avanzar de manera más considerable (Pizarro *et al.*, 2005).

Contreras (2006) realizó un estudio sobre la distribución espacial del balance hídrico anual en regiones montañosas semiáridas, aplicado en Sierra de Gádor (Almería) España, con el objetivo de desarrollar una herramienta para la evaluación espacialmente distribuida del balance de agua, en tres periodos de precipitación (seco, medio y húmedo). Sierra de Gádor es un sistema montañoso considerado como la principal fuente de recarga de los acuíferos del Campo de Dalías, donde se estimó la escorrentía de forma indirecta como diferencia entre la precipitación (P) y la evapotranspiración (E). Para el cálculo de la precipitación se utilizaron datos meteorológicos y técnicas de interpolación, obteniendo como resultado que la recarga se produce esencialmente en los años húmedos.

Luna y colaboradores (2011) realizaron un estudio sobre la influencia de la vegetación en el balance hídrico superficial de la cuenca hidrológica de El Cabril Córdoba España, con el objetivo de evaluar la cantidad y distribución de agua de lluvia a través del proceso de interceptación por el dosel arbóreo y arbustivo, se cuantificaron los flujos en los que el agua se distribuye. Se utilizaron datos de precipitación entre el 14 de octubre de 2010 y el 10 de mayo de 2011, durante este periodo se dio un comportamiento pluviométrico especial,

donde las características de las plantas influyen en el porcentaje de precipitación interceptada en pequeños eventos lluviosos.

Guerrero (2012) realizó un estudio, sobre el procesamiento de imágenes satelitales en la caracterización de la cuenca media y baja de Catatumbo Colombia, donde se realizó un mapa de cobertura vegetal y la caracterización geomorfológica mediante el uso del software ENVI 4.1 y Arc View 3.2, para conocer el cambio que ha tenido y cómo afecta a los cuerpos de agua, esto debido al crecimiento de la población, para el cual se realizó una interpretación tipo visual. Como resultado se obtuvo la delimitación de la cuenca en la imagen Landsat, donde se observó que existe una relación inversamente proporcional entre al grado de deforestación y los caudales de la cuenca.

Garzón (2012) realizó un trabajo sobre el efecto que tienen algunas coberturas vegetales de la Región Andina Colombiana en el Régimen de Caudales, con particular énfasis en el Caudal Mínimo a Escala de Micro-Cuenca, con el objetivo de contribuir al conocimiento de la relación o efecto entre determinados tipos de cobertura vegetal predominantes en la franja que se encuentran entre los 1000 y 3000 msnm del contexto andino colombiano sobre el régimen de caudales, con particular énfasis en el caudal base o mínimo, en perspectiva de aportar elementos hacia una gestión integral y sostenible del recurso hídrico. Se obtuvo como resultado que sí existe una relación entre la disponibilidad hídrica y el tipo de vegetación con la que interactúe cierta área.

Castillo (2005) realizó un trabajo en tres microcuencas experimentales, denominadas La Reina, Los Ulmos 1 y Los Ulmos 2, en Chile. Con el objetivo de analizar el efecto que generan diferentes condiciones de coberturas arbóreas sobre los caudales máximos, en las microcuencas de la Décima Región. Los análisis del efecto de la cubierta vegetal en los caudales máximos se realizaron separando las tormentas de lluvia en tres categorías: pequeñas, medias y grandes. En ambas cuencas se confirmó que la mayor influencia de la

cobertura arbórea sobre los caudales máximos, es para eventos de pequeña magnitud.

Rivas y colaboradores (2011) realizaron un estudio sobre la Influencia del uso del suelo y vegetación en el balance hídrico en las microcuencas de Tarimoro, Saucillo y Acebuche, en Guanajuato, con el objetivo de analizar la influencia que tiene la vegetación presente en los años 1979 y 2004, sobre el balance hídrico aplicando la metodología de Thornthwaite y Mather. Se obtuvo como resultado que del 54% de matorral xerófilo fue clasificado como bosque de quercus; el 50% de la agricultura de temporal se convirtió en agricultura de riego, y el escenario probable al 2020 se pronostica que continuará con la misma tendencia de cambio, lo que significa un incremento en el déficit hídrico, por lo tanto, la vegetación influye directamente en el balance hídrico.

Mendoza *et al.*, (2002) realizaron una investigación sobre las implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en el lago de Cuitzeo Michoacán, con el objetivo de analizar el cambio en el balance hídrico medio anual espacialmente distribuido, el cual se basó en la construcción de modelos mensuales de balance hídrico, para dos tiempos (1975 y 2000), la superficie del lago calculada para 1975 fue de 377 km² y en el 2000 se registró una superficie de 306 km², lo que indica que el cuerpo de agua del lago se redujo en alrededor de un 19%.

Pérez y Ortiz (2002) llevaron a cabo el estudio de cambio de cobertura vegetal y vulnerabilidad a la inundación en las subcuencas del curso bajo, del Río Papaloapan Veracruz, donde se mostró el incremento en los gastos máximos hidrométricos, en consecuencia, de la pérdida de la cubierta forestal original en superficies menores a 6° de pendiente, cuya pérdida forestal oscila desde 21 % y hasta 43% con relación a la superficie total de cada subcuenca para el período 1973-1993. Las áreas arboladas devastadas fueron desplazadas por usos agropecuarios.

6. OBJETIVO GENERAL

Conocer y determinar los impactos de la pérdida de cobertura vegetal en el balance hídrico en la microcuenca La Unión, en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

6.1 Objetivos Específicos

Elaboración de mapa de uso de suelo y vegetación del año 2005.

Elaboración de mapa de uso de suelo y vegetación del año 2011.

Conocer la distribución espacial del balance hídrico para los años 2005 y 2011.

7. METODOLOGÍA

7.1 Área de estudio

La microcuenca La Unión está ubicada en su totalidad en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas (Figura No.16), que limita al norte con los municipios de Soyaló y Usumacinta; al oeste con Tuxtla Gutiérrez, Suchiapa y Villaflores; al este con Ixtapa, Zinacantán y Emiliano Zapata; y al sur con El Parral (CEIEG). Cuenta con una extensión territorial de 238.76 km².

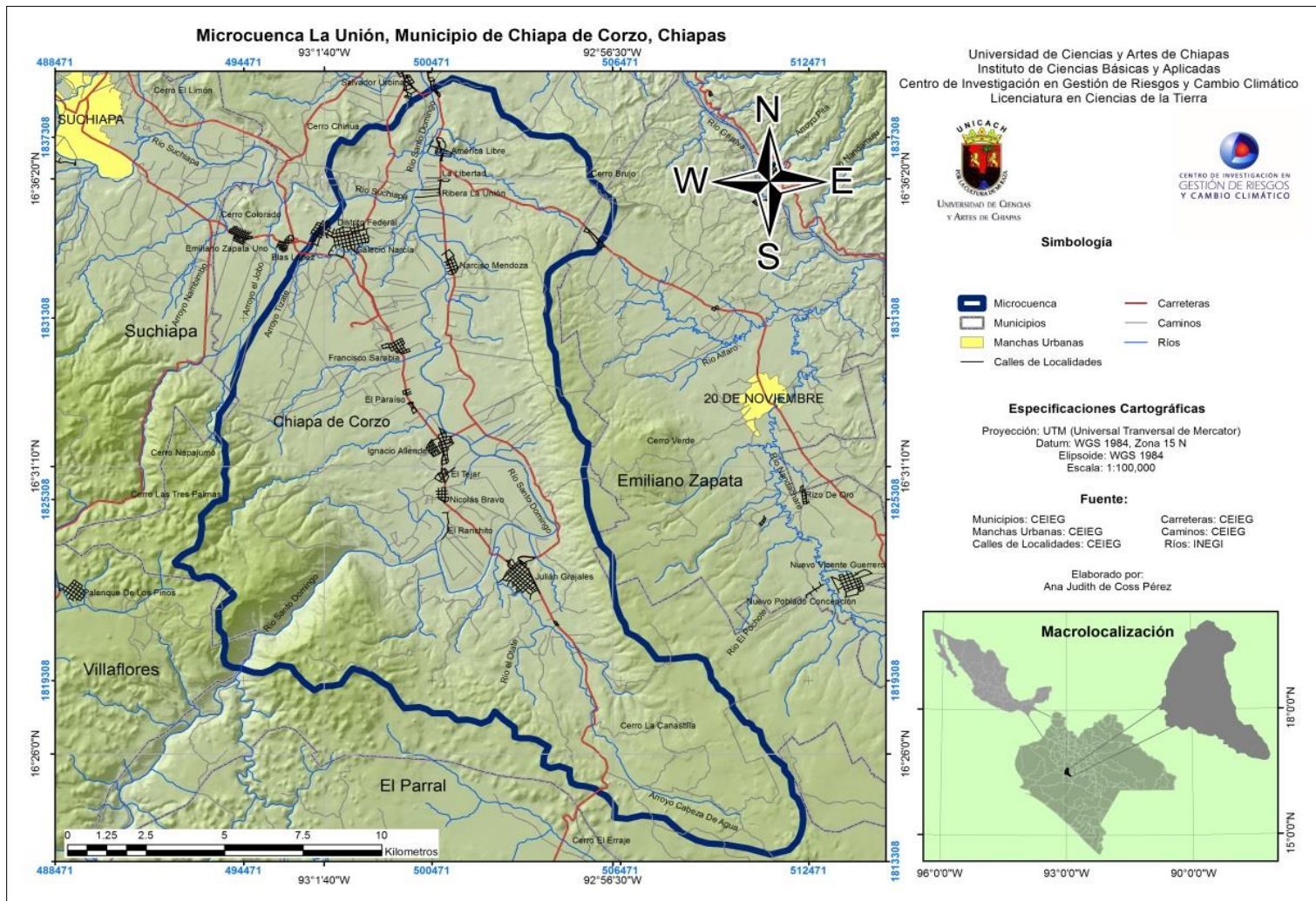


Figura No. 16 Localización de la microcuenca La Unión

De acuerdo al INEGI (escala 1:250,000) la cobertura vegetal corresponde a agricultura de riego, agricultura de temporal, asentamientos humanos, bosque de encino, desprovisto de vegetación, pastizales, sabana, vegetación secundaria de bosque de encino, vegetación secundaria de selva baja caducifolia y zona urbana (Figura No.17).

Los tipos de suelo que se encuentran en la microcuenca son: fluvisoles, leptosoles, luvisoles, regosoles y phaeozem (Figura No.18).

Dentro de la microcuenca predomina el clima cálido subhúmedo y semicálido subhúmedo según el CEIEG (escala 1:250,000) (Figura No.19).

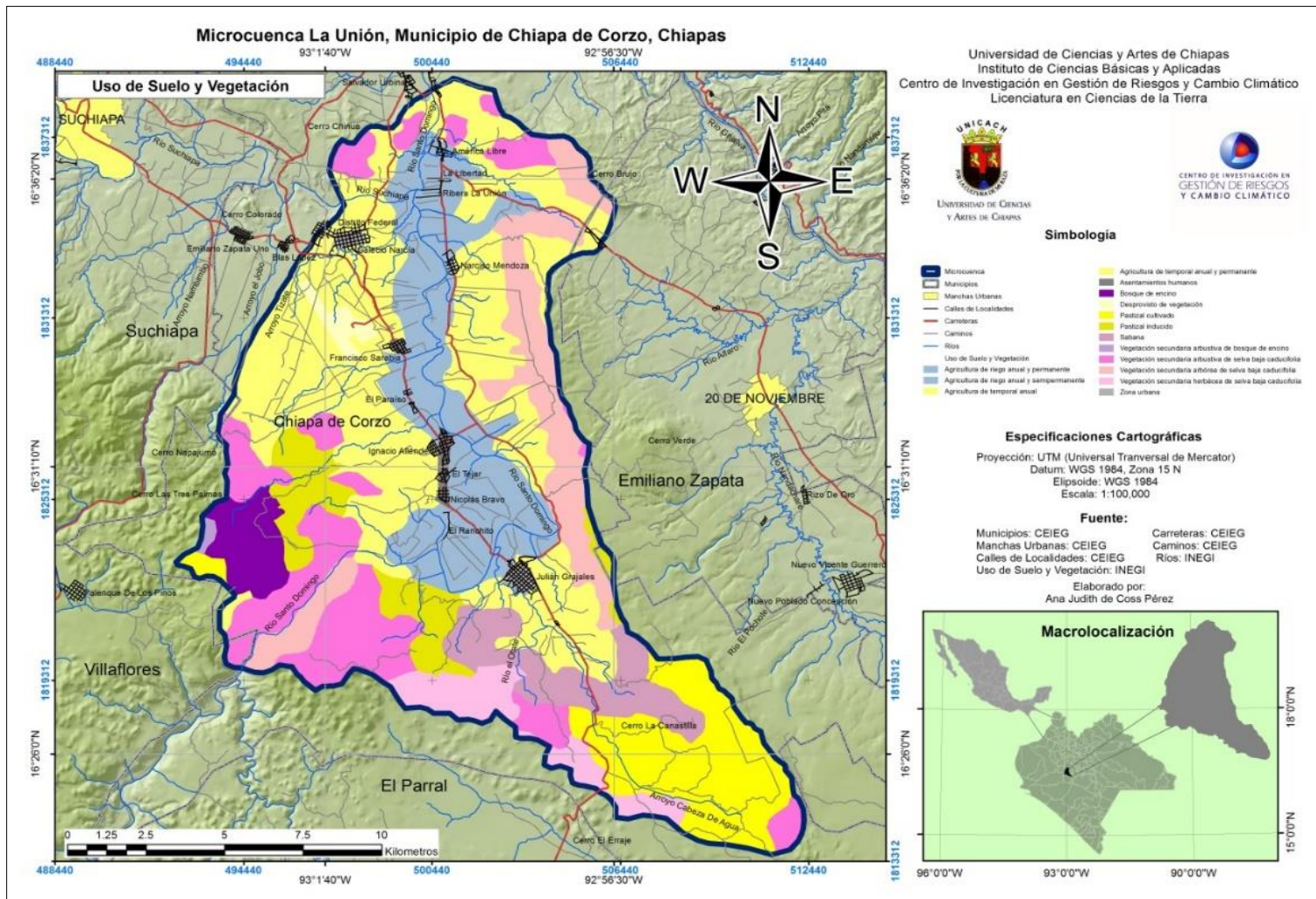


Figura No. 17 Uso de suelo y vegetación (INEGI)

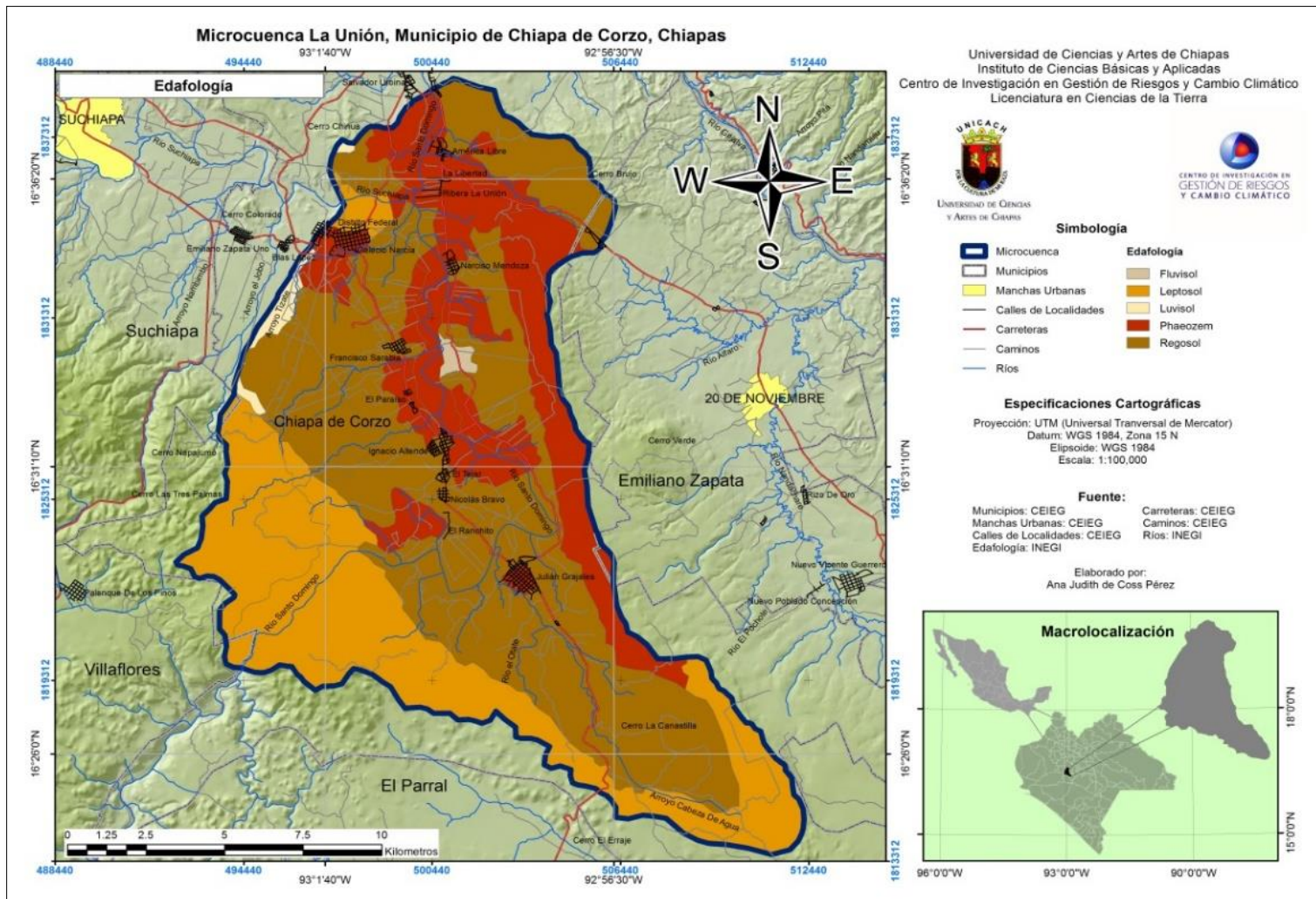


Figura No. 18 Edafología (INEGI)

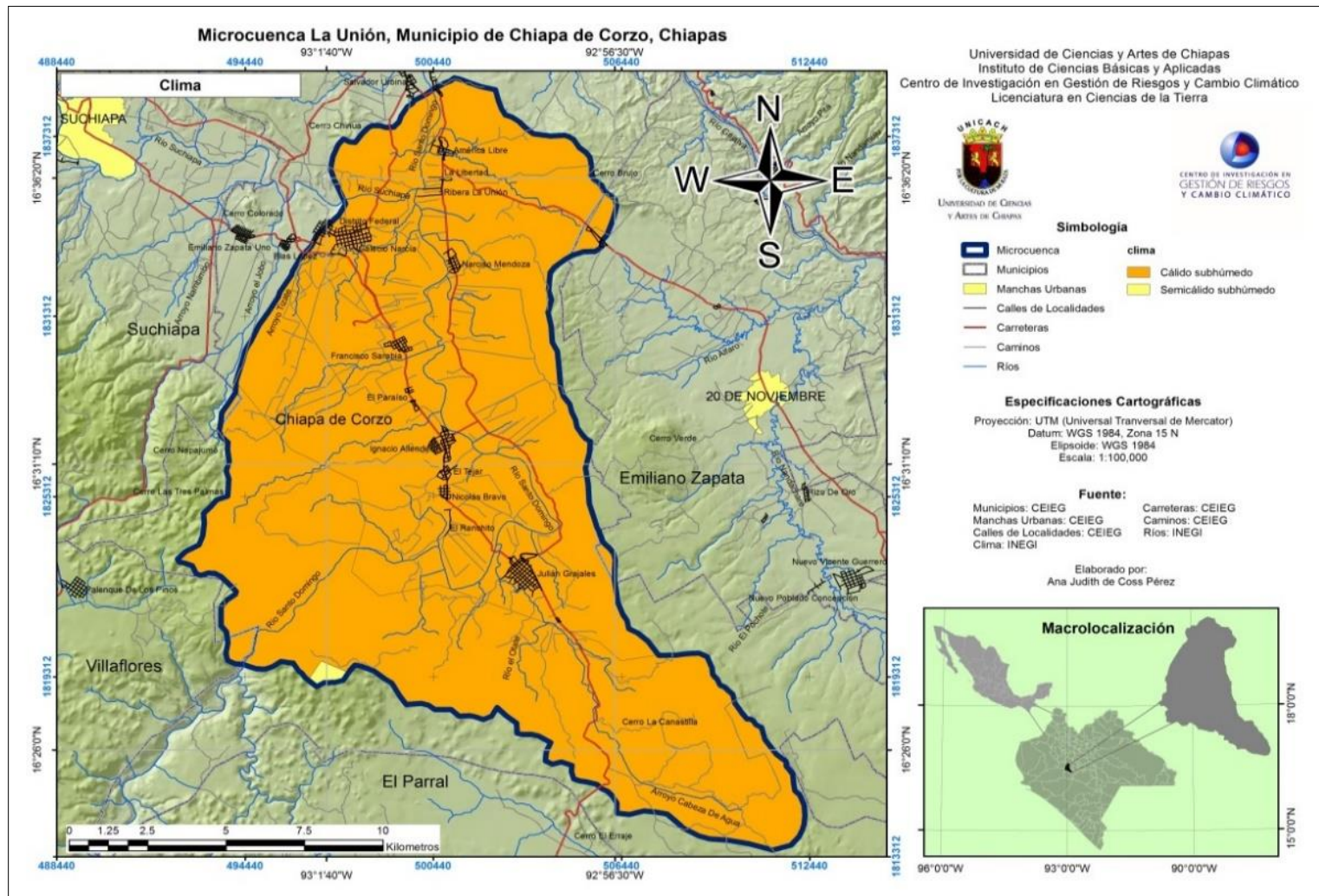


Figura No. 19 Climatología (CEIEG)

7.2 Método

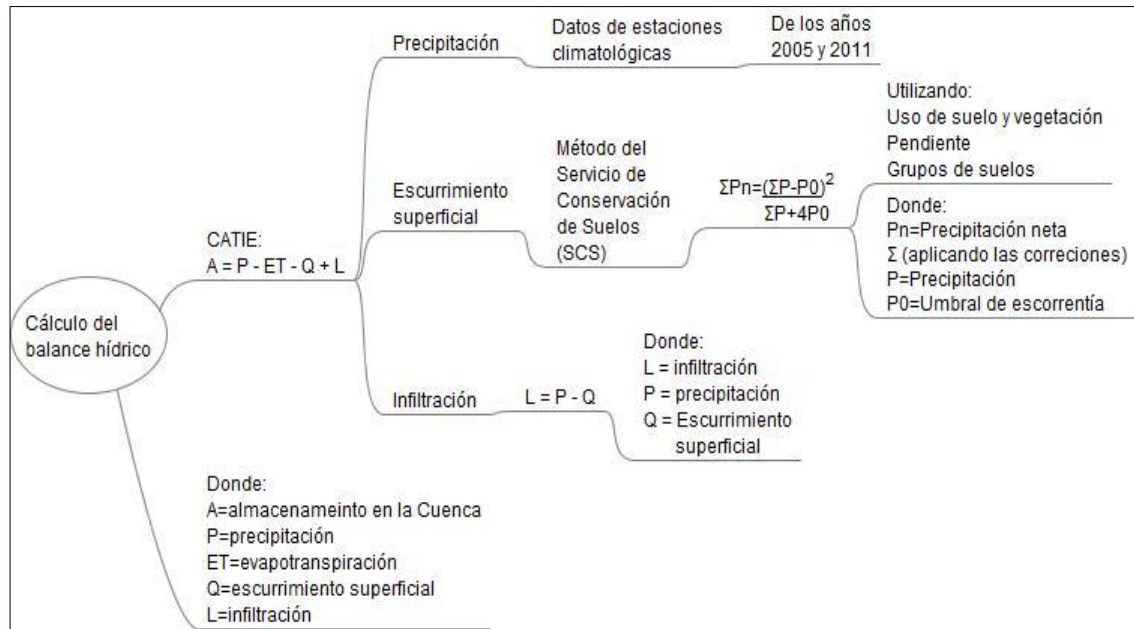


Figura No. 20 Método del Balance Hídrico

Método

Se llevó a cabo la revisión bibliográfica para elegir el método a utilizar según el objetivo del trabajo de investigación.

Delimitación del área de estudio

A partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a 15 m de resolución espacial, se generó el modelo sombreado y las curvas de nivel con un intervalo de 20 m, aunado a ello el proceso de delimitación se apoyó con la red hídrica que se obtuvo del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) a escala 1: 50,000, mediante un proceso semi-automatizado. El parteaguas de la

microcuenca quedó constituido al noroeste cerca del Cerro Colorado y por el Cerro Chinúa a 540 y 640 msnm respectivamente; al noreste por el Cerro Brujo a 680 msnm; al este cerca del Cerro Verde a 840 msnm; al sur cerca del Cerro el Erraje a 700 msnm, y al oeste cerca de los Cerros Tres palmas y el Cerro Napajumó a 1100 y 1080 msnm respectivamente.

Precipitación

Se eligieron las estaciones climatológicas que contaran con información suficiente para el cálculo de la precipitación de los años 2005 y 2011 (Figura No.21), los datos fueron de 6 estaciones (Tabla No.1) proporcionados por Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez, de la CONAGUA.

Tabla No. 1 Estaciones climatológicas

No. de estación	Clave de la estación	Nombre de la estación	Latitud N	Longitud W
1	7003	Acala	520893.98	1830092.33
2	7343	Cuauhtémoc	508230.1	1853191.32
3	7086	Flores Magón	524793.35	1815377.82
4	7132	Portacelli	486626.68	1818624.87
5	7134	Puente colgante	496683.91	1850854.62

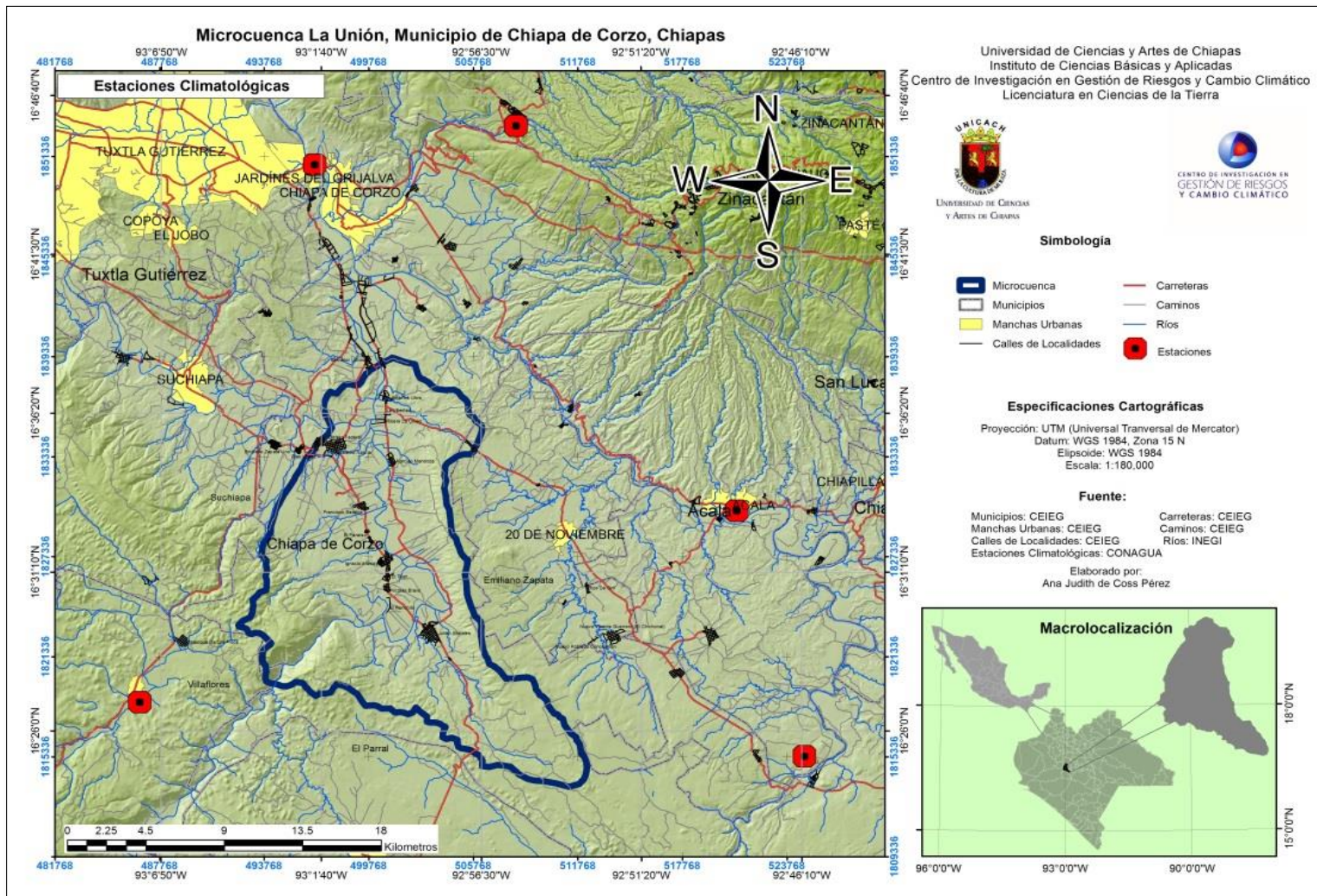


Figura No. 21 Localización de las estaciones climatológicas

Los datos de precipitación que se utilizaron fueron para una tormenta, en dos temporadas (seca y lluvia), los meses que contaron con información suficiente de acuerdo a lo que indica el método del SCS fueron los siguientes: abril (suelo seco) y agosto (suelo saturado). Se calculó la precipitación media diaria de la microcuenca mediante el método de isoyetas, en el Software Surfer 12.

Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2011

La elaboración de la capa de USV 2011, se realizó a partir de las imágenes satelitales del sensor Rapideye, proporcionadas por el Centro de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático (CIGERCC), con resolución espacial de 5 metros y resolución espectral de 5 bandas, las cuales corresponden a la región del visible, infrarrojo cercano e infrarrojo lejano. Se efectuó el tratamiento radiométrico de las imágenes para mejorar el brillo y el contraste, de esta manera lograr mayor diferenciación de las clases presentes, a través de métodos de clasificación supervisada a escala 1: 20,000 utilizando el Software Spring 5.3.

Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2005

Para la elaboración de la capa de USV 2005, se hizo la recopilación de imágenes satelitales del mismo año, del sensor Quickbird obtenidas del Servidor del Google Earth operado por DigitalGlobe, con resolución espacial de 0.61 m y resolución espectral de 4 bandas, que corresponden a la región del visible, infrarrojo cercano. Se realizó a partir de la capa de USV del año 2011, mediante el proceso de edición cartográfica a escala 1: 20,000. Sin embargo, dichas imágenes no cubrieron la totalidad del área de estudio, por lo tanto, se utilizó una imagen multiespectral Landsat 7 con resolución espacial de 30 m (7 bandas) y pancromática a 15 m de resolución.

Los mapas de USV se realizaron en los años ya mencionados, debido a la disponibilidad de imágenes satelitales.

Pendiente

Con el MDE obtenido del INEGI a una resolución espacial de 15 m, se realizó el mapa de pendientes en porcentaje en ArcGIS 10.1, el cual se clasificó en dos (<3 y >3), según el método del SCS.

Clasificación de los suelos a efectos de umbral de escorrentía

Se revisó bibliografía acerca de las características y textura de los diferentes tipos de suelos (Arenosa, Arcillosa, Limosa), se usó la capa vectorial de edafología y de perfiles de suelo a escala 1: 250,000 del INEGI, para definir los grupos de suelos a efectos de umbral de escorrentía (Tabla No.2), obteniendo la clasificación en tres clases (A, B y C) (Tabla No.3), posteriormente se asignó el valor de P_0 (Umbral de escorrentía).

Tabla No. 2 Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía

Grupo	Infiltración cuando están muy húmedos	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a Grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Buena a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillosa-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeña (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D

Tabla No. 3 Clasificación de los tipos de suelo

Tipos de suelos	Clasificación
Fluvisol	A
Leptosol	B
Regosol	A
Phaeozem	C
Luvisol	B

Escurrimiento Superficial

El escurrimiento superficial se puede cuantificar realizando mediciones directas en estaciones de aforo, pero esto implica altos recursos económicos ya que se requiere de infraestructura y demanda de recursos humanos. Es por ello que en este trabajo de investigación se utilizó el procedimiento que estableció empíricamente el SCS USA (1964), mismo que corresponde a la versión adaptada en España (MOPU, 1990; Ferrer, 1993). Donde se evalúa el umbral de esorrentía P_0 , valor que se consulta en tablas que con algunas variaciones aparecen en manuales y documentación técnica.

La tabla de donde se obtienen los valores de P_0 , es la que se encuentra en la Instrucción 5.2-IC (MOPU, 1990) tomado del SCS. Esta tabla utiliza el uso y tipo de la superficie (área pavimentada, cultivos densos, bosques), la pendiente y el tipo de suelo más o menos permeable (dividido en 4 categorías: A, B, C y D), para humedad previa e intermedia. Para la asignación de P_0 , se calcula la superficie en m^2 y el porcentaje que ocupan cada uno de los polígonos, posteriormente se realiza una corrección de este, si días anteriores de la precipitación utilizada hubo lluvias abundantes las abstracciones de retención superficial e infiltración son menores (el valor de P_0 al corregirlo disminuye) y si

no llovió (el suelo se encuentra seco) las abstracciones son mayores (el valor de P_0 al corregirlo aumenta).

Ejemplo de corrección de P_0 :

Suponiendo que tenemos cultivos de riego, con pendiente <3 y en un grupo de suelo A, el valor de P_0 sería 27 (tomado de la tabla No.4), nos vamos a la tabla No.5 de conversión y buscamos P_0 para humedad previa 27, por lo tanto, P_0 para humedad previa seca sería 61 y para humedad previa húmeda sería 10, de esta manera se van realizando las correcciones.

Cálculo de escurrimiento superficial

Una vez obtenido los mapas de USV, pendiente y clasificación de los grupos de suelos, se realizó una intersección de estas capas vectoriales calculando la superficie en m^2 y porcentaje que ocupan cada uno de los polígonos. Posteriormente se llevó a cabo la asignación de los valores de estimación del umbral de escurrimiento P_0 (mm), que se encuentran en la tabla de la MOPU 1990 (Tabla No.4).

Tabla No. 4 Estimación inicial de umbral de escorrentía P_0 (mm). 5.2-IC (MOPU, 1990) en: (Sánchez).

Uso de la tierra y cobertura	Pendiente del terreno (%)	Características hidrológicas	Grupo de Suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
	≥ 3	N	17	11	8	6
	< 3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	≥ 3	R	23	13	8	6
	≥ 3	N	25	16	11	8
	< 3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
	≥ 3	N	32	19	12	10
	< 3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
	≥ 3	N	28	17	11	8
	< 3	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9
	≥ 3	N	42	23	14	11
	< 3	R/N	27	25	16	13
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6
	≥ 3	Media	53	23	14	9
	≥ 3	Buena	70	33	18	13
	≥ 3	Muy Buena	80	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
	< 3	Buena	80	35	17	10
	< 3	Muy Buena	120	55	22	14
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre	62	26	15	10
	≥ 3	Media	80	34	19	14
	≥ 3	Buena	100	42	22	15
	< 3	Pobre	75	34	19	14
	< 3	Buena	150	50	25	16
Masas forestales (bosques, Monte bajo, etc.)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	75	34	22	16
		Espesa	90	47	31	23
		Muy espesa	120	65	43	33
Notas: 1 N Denota cultivo según las curvas de nivel R Denota cultivo según la línea de máxima pendiente 2 Denota que esa parte de Cuenca debe considerarse inexistente a efecto de cálculo de caudales de avenida 3 Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 por 100						
Tipo de terreno	Pendiente (%)	Umbral de escorrentía (mm)				
Rocas permeables	> 3	3				
	< 3	5				
Rocas impermeables	> 3	2				
	< 3	4				
Firmes granulares sin pavimento		2				
Adoquinados		1,5				
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1				

Una vez asignados los valores de P_0 tomados de la tabla No.4, se prosiguió a la conversión de este mediante las tablas numéricas de Ferrer 1993 (Tabla No.5), según el P_0 asignado, se busca en la tabla No.5 el valor obtenido, se corrige (para cada uno de los P_0) para así calcular el escurrimiento superficial para humedad previa normal, previa seca y húmeda. En este trabajo se hicieron las correcciones para humedad previa normal y seca, donde los días anteriores a la precipitación utilizada hubo lluvias abundantes las abstracciones de retención superficial e infiltración fueron menores (P_0 al corregirlo disminuyó) y los días anteriores que no llovió, las abstracciones fueron mayores (P_0 al corregirlo aumentó).

Tabla No. 5 Conversión de P_0 proporcionado por la tabla 4, condiciones de humedad y se realiza mediante la tabla numérica de Ferrer 1993

P_0 para humedad previa normal	P_0 para humedad previa seca	P_0 para humedad previa húmeda
3	7	0.5
6	14	1
9	21	2
13	29	3
17	38	5
21	48	7
27	61	10
33	75	13
41	93	17
50	112	21
61	135	27
75	167	33
93	213	41
117	283	50

Una vez teniendo los umbrales de escorrentía (asignado el valor de P_0) y el cálculo de la precipitación media de la microcuenca, se procedió a realizar el cálculo del escurrimiento superficial mediante el método del SCS, para los meses que anteriormente se mencionaron. Aplicando la siguiente fórmula:

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - P_0)^2}{\Sigma P + 4P_0}$$

Donde:

P_n =Precipitación neta

Σ (aplicando las correcciones)

P =Precipitación

P_0 =Umbral de escorrentía

Infiltración

La infiltración se puede medir mediante métodos directos con instrumentos llamados lisímetros o infiltro-metros, lo que implica costos económicos elevados. Por lo que en este trabajo se usó el método empírico (Aparicio 1992), con los datos de precipitación y de escurrimiento, aplicando la siguiente fórmula:

$$L = P - Q$$

Dónde:

L = infiltración

P = precipitación

Q = escurrimiento superficial

Balance Hídrico

El cálculo del balance hídrico en una cuenca hidrológica se puede calcular mediante el método directo que establece la CONAGUA (NOM-011-CONAGUA-2000), para lo cual se requiere de registros hidrométricos mínimo de 20 años, sin embargo el objetivo de este trabajo no es calcular disponibilidad hídrica, es decir el agua disponible que se encuentra en la microcuenca (no se tomaron en cuenta los tipos de usos como el doméstico, agrícola, comercio, pecuario, por mencionar algunos), sino más bien conocer la importancia que tiene la pérdida de cobertura vegetal en los componentes del balance hídrico natural, es por ello que se utilizó el método indirecto (precipitación-escorrimento) que establece el CATIE. Cabe mencionar que la variable evapotranspiración a pesar de que es muy importante dentro del balance hídrico, debido a la falta de datos en los registros climatológicos, no fue posible su cálculo, es así como se despreció su valor 0.

Con los cálculos obtenidos de: precipitación, escurrimiento superficial e infiltración, se aplicó la siguiente fórmula del balance hídrico natural de la microcuenca:

$$A = P - ET - Q + L$$

Dónde:

A=almacenamiento en la cuenca
P=precipitación
ET=evapotranspiración
Q=escorrimento superficial
L=infiltración

8. RESULTADOS

Delimitación de la Microcuenca La Unión

En primer lugar, se obtuvo la delimitación de la microcuenca La Unión (Figura No.22), que está ubicada en el centro del estado de Chiapas, en su totalidad en el municipio de Chiapa de Corzo, su área es de 238.76 km². Su perímetro es de 82.23 km². Su pendiente mínima de 0°, media de 8.50° y máxima de 66.10°. La microcuenca La Unión tiene una altitud mínima de 385, media de 565.81 y máxima de 1141 msnm respectivamente. La forma de la misma es oval redonda a oval oblonga, con un coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (KC) de 1.49 que presenta características de peligros torrenciales. Su cauce principal el Río Santo Domingo.

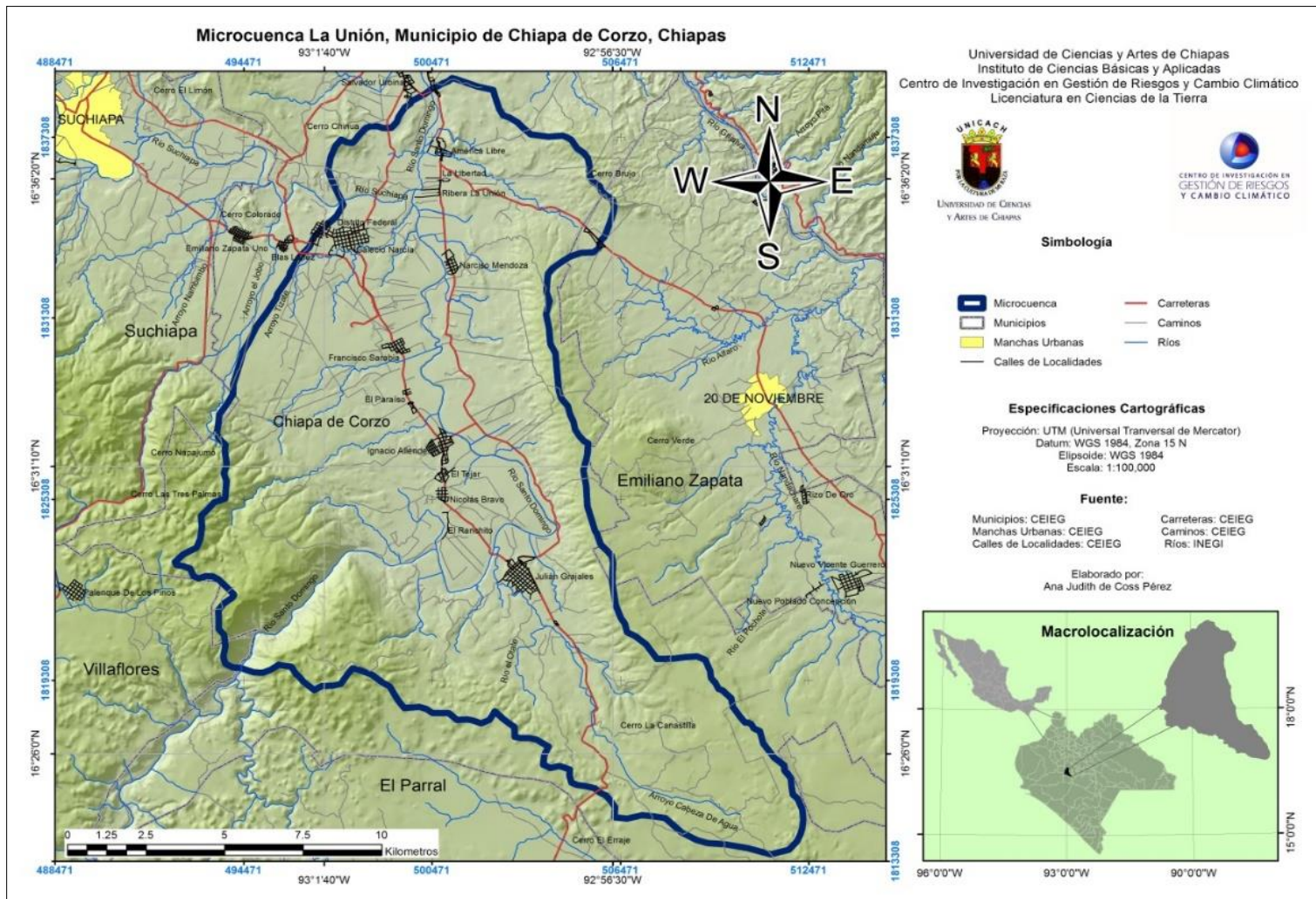


Figura No. 22 Delimitación de la zona de estudio

Precipitación

Después de haber revisado los datos de las estaciones climatológicas (Tabla No.1), se consideraron para el cálculo de las precipitaciones (Figura No.23) los criterios establecidos en el método del SCS (expuesto en el apartado de metodología de este documento). En este sentido, las fechas que cumplen con los requisitos establecidos por el método son las siguientes:

Día	Mes	Año
1	Abril	2005
22	Abril	2011

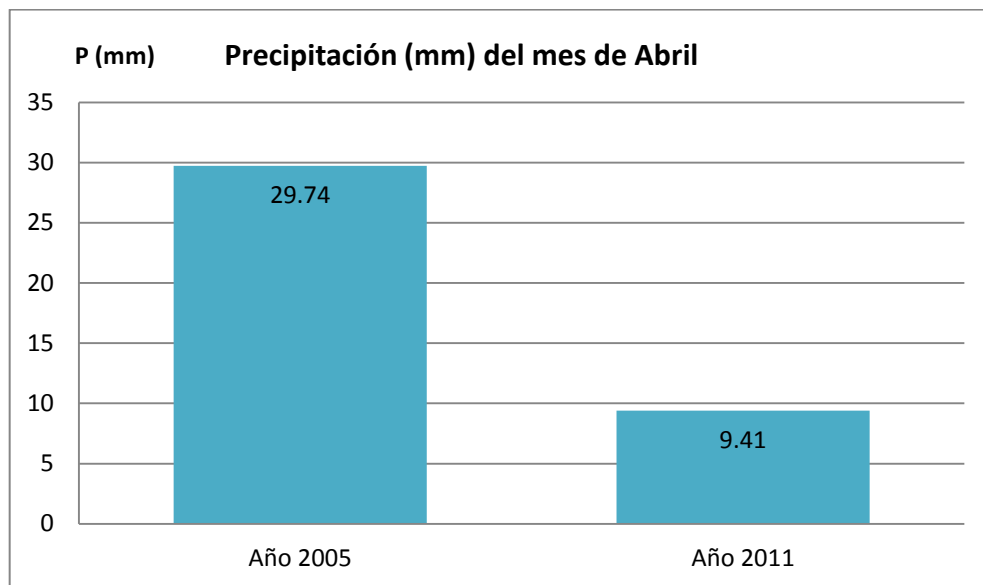


Figura No. 23 Precipitación (mm) correspondiente al mes de abril de los años 2005 y 2011

Para el mes de abril del 2005 los valores de precipitación oscilaron entre los 12.93 mm y 51.22 mm (Figura No.24), con mayor intensidad en la parte oeste y suroeste de la microcuenca. En el mes de abril del 2011 la lluvia se distribuyó de manera similar que en el año 2005, con valores que van desde los 5.36 mm y 15.76 mm (Figura No. 25).

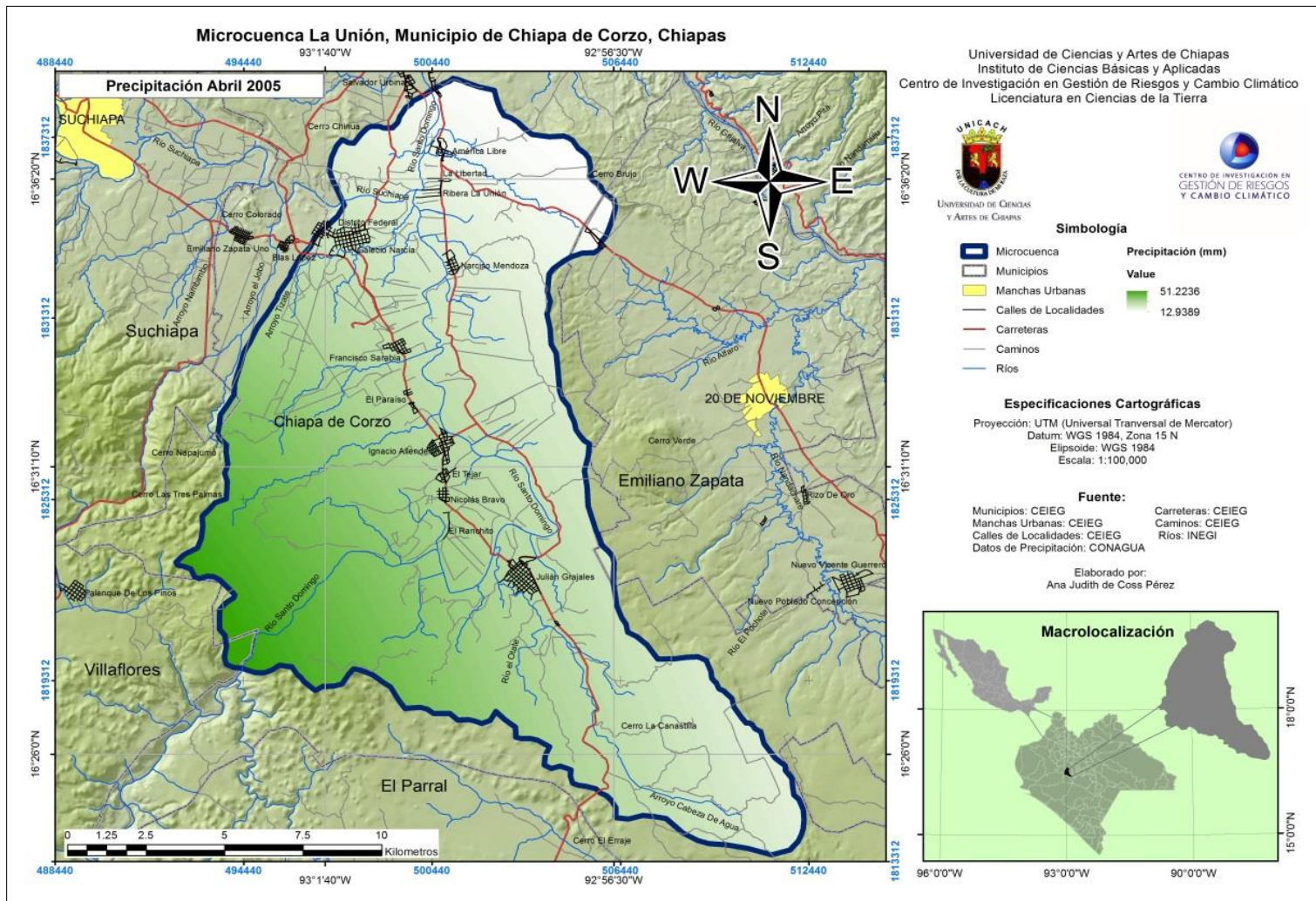


Figura No. 24 Precipitación del mes de abril del año 2005

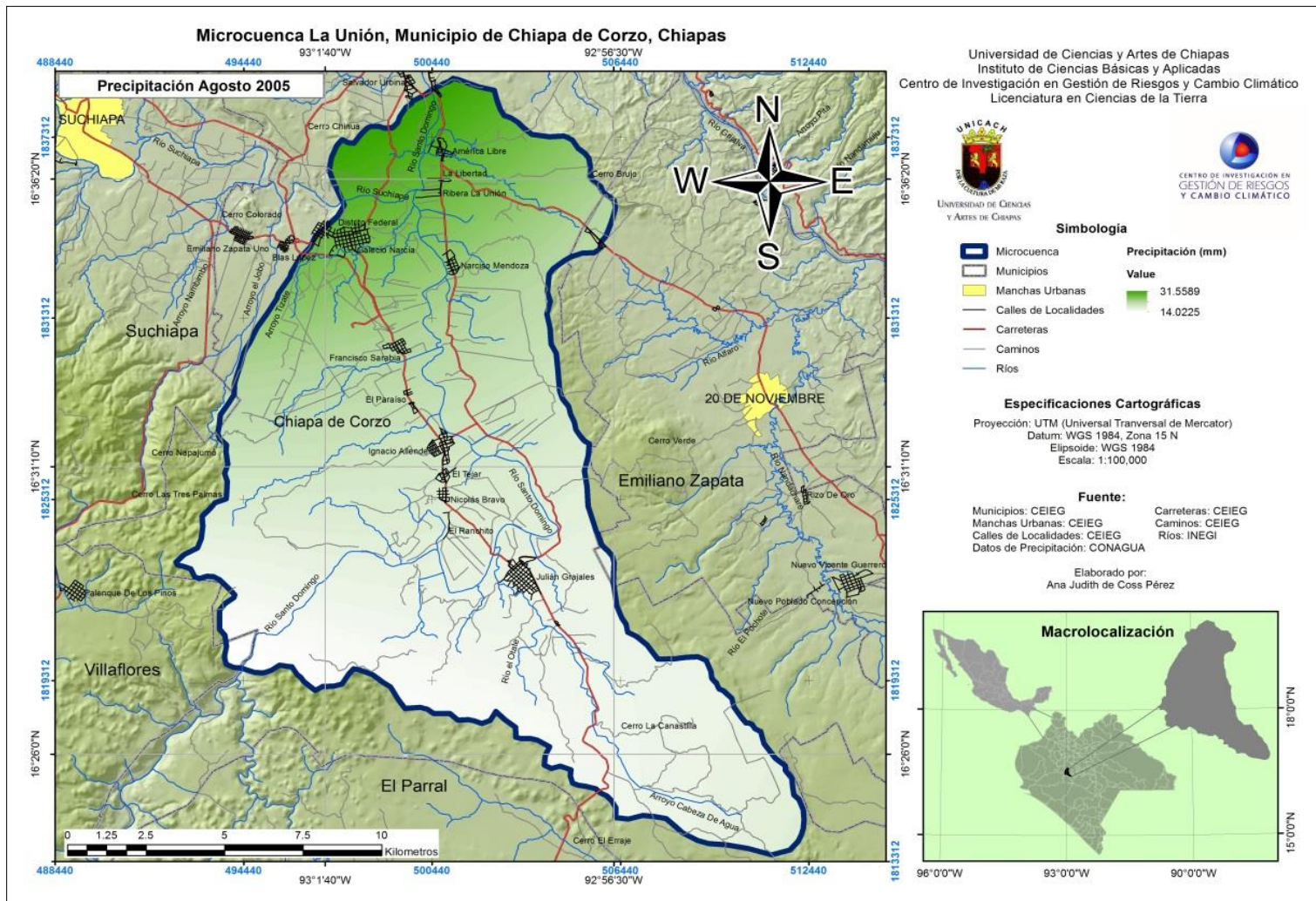


Figura No. 25 Precipitación del mes de abril del año 2011

Al igual que en el mes de abril, las fechas que cumplieron con los requisitos establecidos por el método para el cálculo de las precipitaciones (Figura No. 26) en el mes de agosto fueron las siguientes:

Día	Mes	Año
7	Agosto	2005
22	Agosto	2011

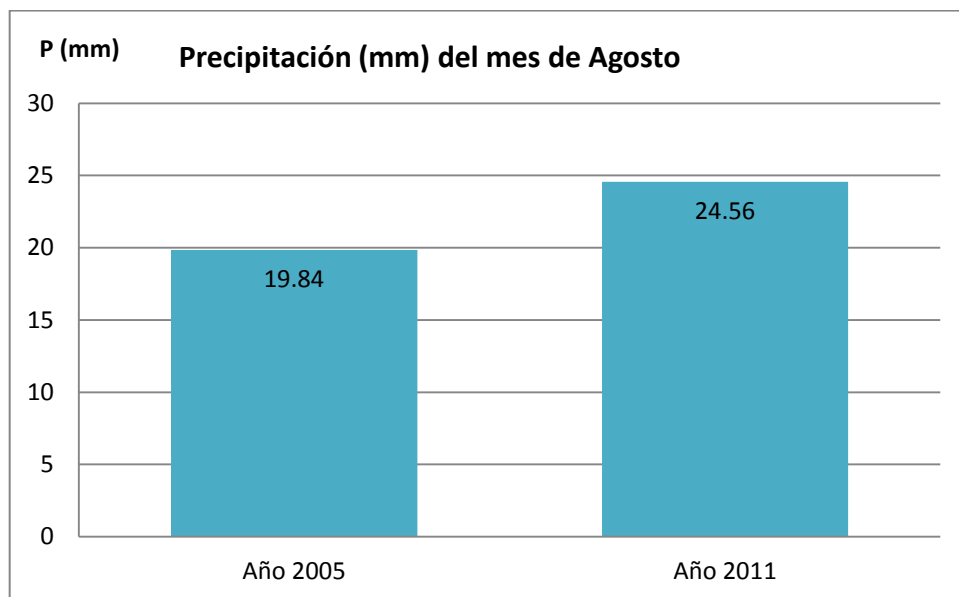


Figura No. 26 Precipitación (mm) correspondiente al mes de agosto de los años 2005 y 2011

Para el mes de agosto del 2005 los valores de precipitación oscilaron entre los 14.02 mm y 31.55 mm (Figura No.27), presentándose con mayor intensidad en el norte de la microcuenca. En agosto del 2011, los valores van desde los 19.11 mm a 30.29 mm, se distribuyó de manera constante, con mayor lluvia en la parte norte y sur (Figura No. 28).

Para los cálculos del balance hídrico se utilizó la precipitación media diaria de la microcuenca.

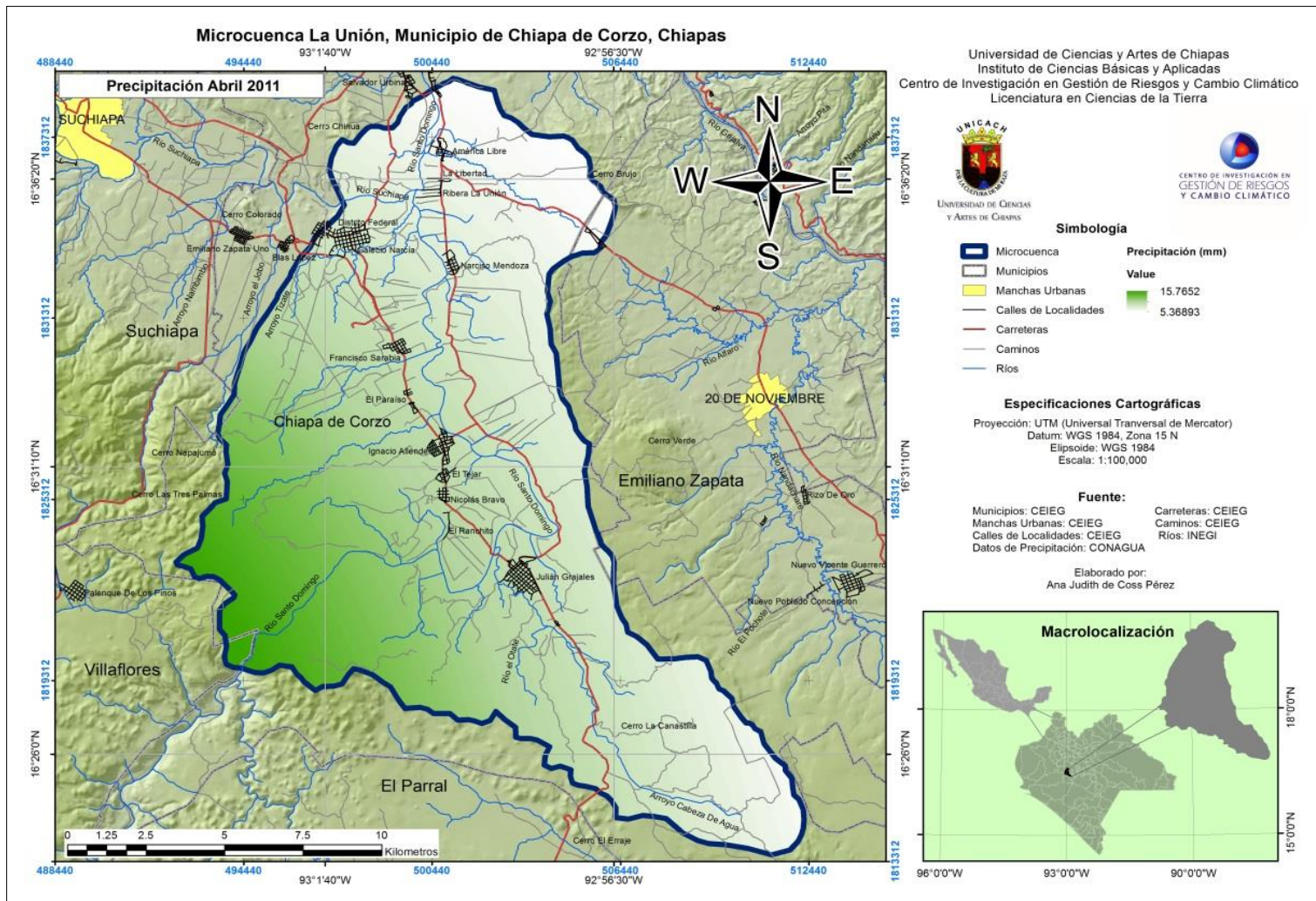


Figura No. 27 Precipitación del mes de agosto del año 2005

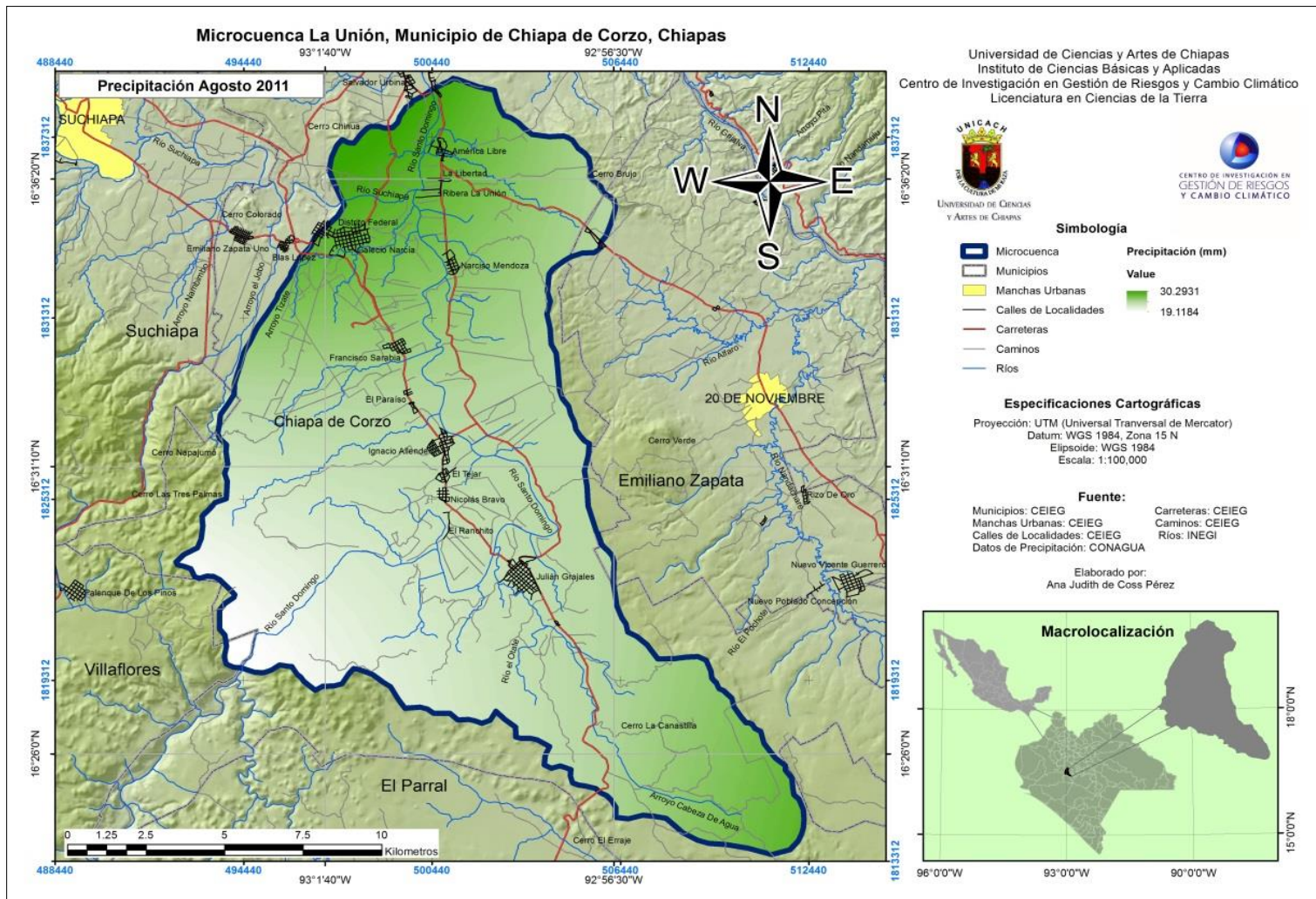


Figura No. 28 Precipitación del mes de agosto del año 2011

Cambio de uso de suelo y vegetación del año 2005 y 2011

En los mapas generados de USV (Figura No. 30 y 31) del año 2005 y 2011, se observan los cambios que ha tenido como se muestra en la figura No. 29, originados por las actividades antrópicas a las que está expuesto el territorio, por mencionar los más representativos: la agricultura, ganadería y en una proporción menor los asentamientos humanos.

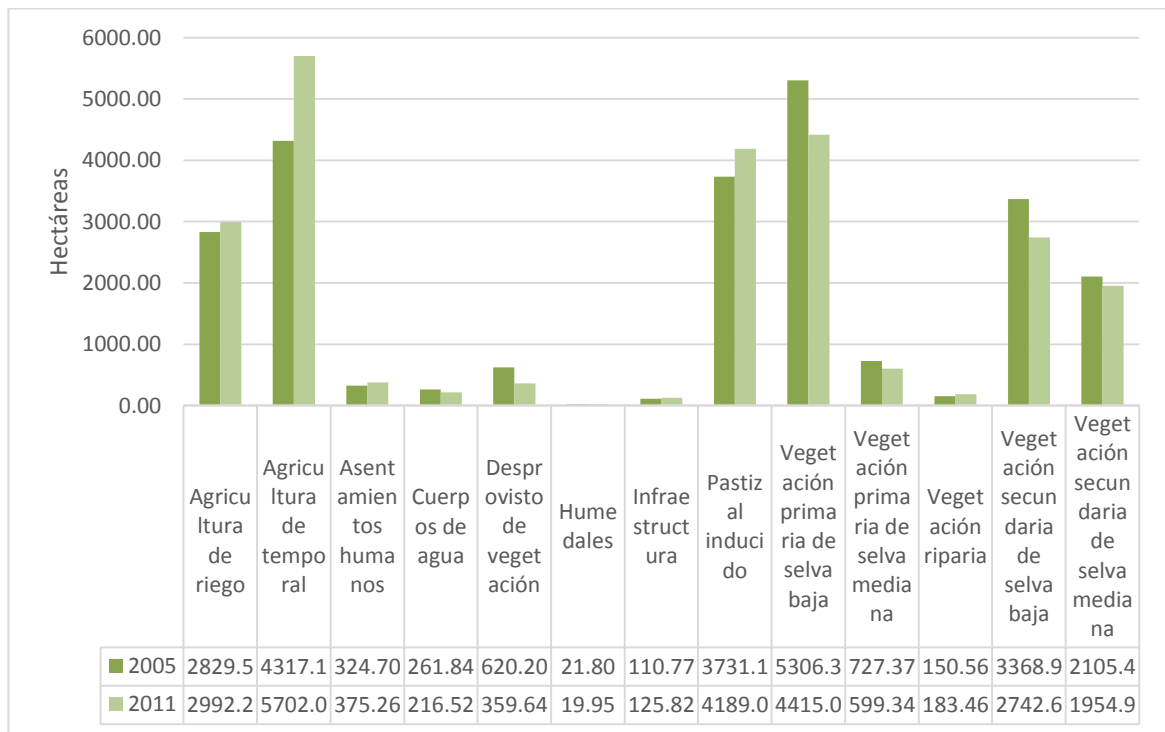


Figura No. 29 Cambio de uso de Suelo y Vegetación

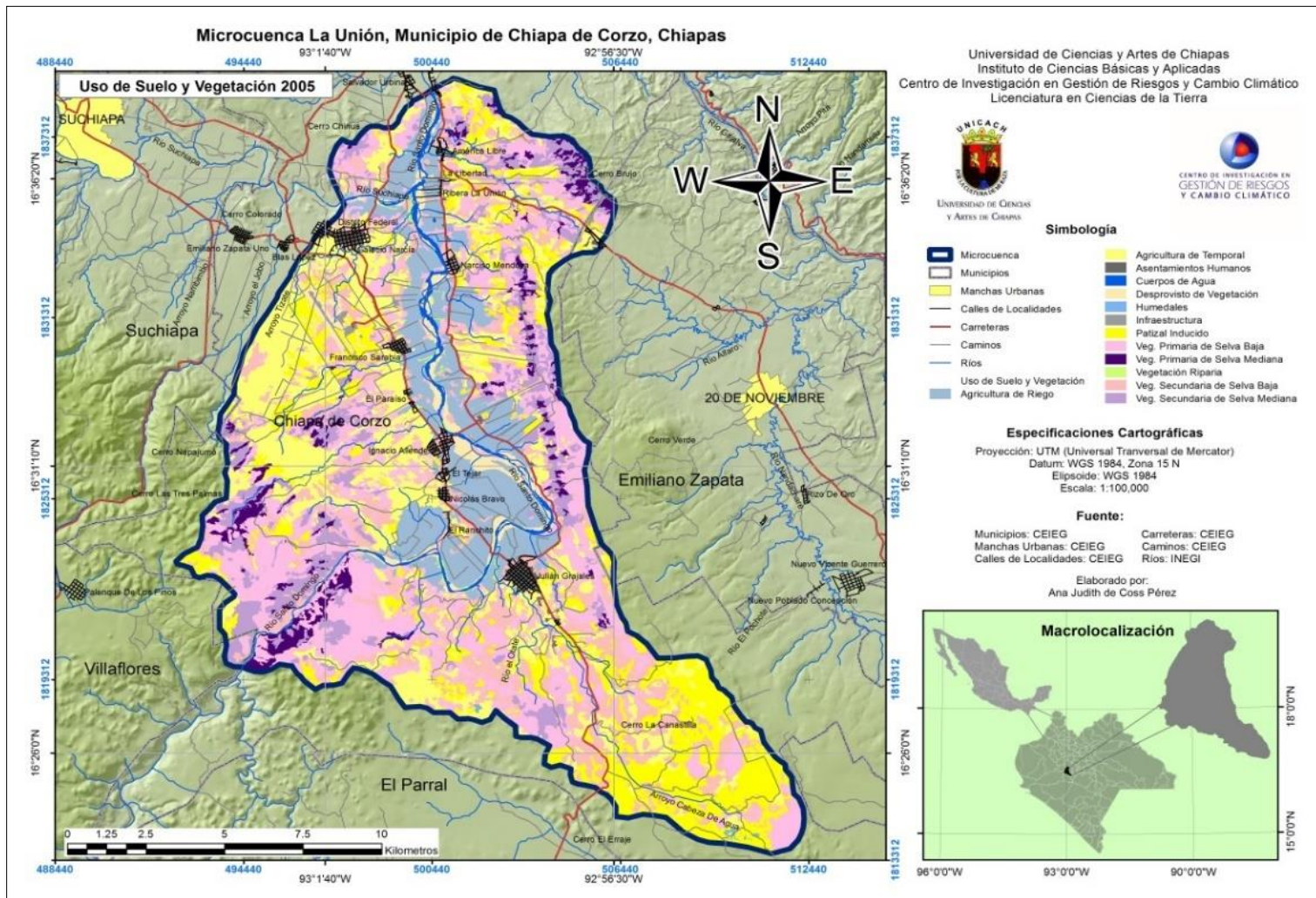


Figura No. 30 Uso de Suelo y Vegetación del año 2005

Lo anterior se pudo corroborar con la visita de campo realizada en la microcuenca La Unión el día 02 de diciembre del año 2015 en la Colonia Rivera La Unión, como se puede observar en la foto No.1, que corresponde a la vista del Río Santo Domingo y donde se aprecia la presencia de vegetación riparia. En la foto No.2 se muestra un ejemplo del tipo de vegetación primaria de selva baja subcaducifolia. Para el caso de la foto No.3, se puede ver una muestra de la vegetación secundaria de selva baja subcaducifolia y pastizales. El tipo de vegetación primaria de selva mediana subcaducifolia se observa en la foto No.4 y por último en la foto No.5 se puede apreciar la vegetación secundaria de selva mediana subcaducifolia y zonas de pastizal inducido.



Foto No. 1 Vista del Río Santo Domingo y vegetación riparia



Foto No.2 Vegetación primaria de selva
baja subcaducifolia



Foto No.3 Vegetación secundaria de selva
baja subcaducifolia



Foto No.4 Vegetación primaria de selva
mediana subcaducifolia



Foto No.5 Vegetación secundaria de selva
mediana subcaducifolia y pastizal inducido

En las fotografías del 1 al 5 se puede corroborar que la cobertura forestal es reemplazada por las actividades antrópicas, como lo son la agricultura y la ganadería.

Pendiente

El mapa de pendientes se generó a partir del modelo digital de elevación a 15 m de resolución espacial. Los valores obtenidos se clasificaron en dos: <3 y >3 en % (Figura No.32), tal como lo requiere el método del SCS. Esta variable es de vital importancia puesto que de ella depende la velocidad del escurrimiento superficial, además de interactuar con la cubierta vegetal existente.

El resultado obtenido nos muestra que las pendientes mayores al 3% se ubican hacia el parte-aguas de la microcuenca, los valores menores al 3% ocupan la mayor parte de esta, esto nos indica que el área presenta pocas variaciones altitudinales.

Clasificación de los suelos a efectos de umbral de escorrentía

Tomando como base la capa vectorial de perfiles de suelo del INEGI, se definieron las características y texturas (arenosa, arcillosa, limosa) de los diferentes tipos de suelos presentes en el área, esto nos permitió clasificarlas en tres tipos, como lo indica el método del SCS: A, B y C (Figura No.33).

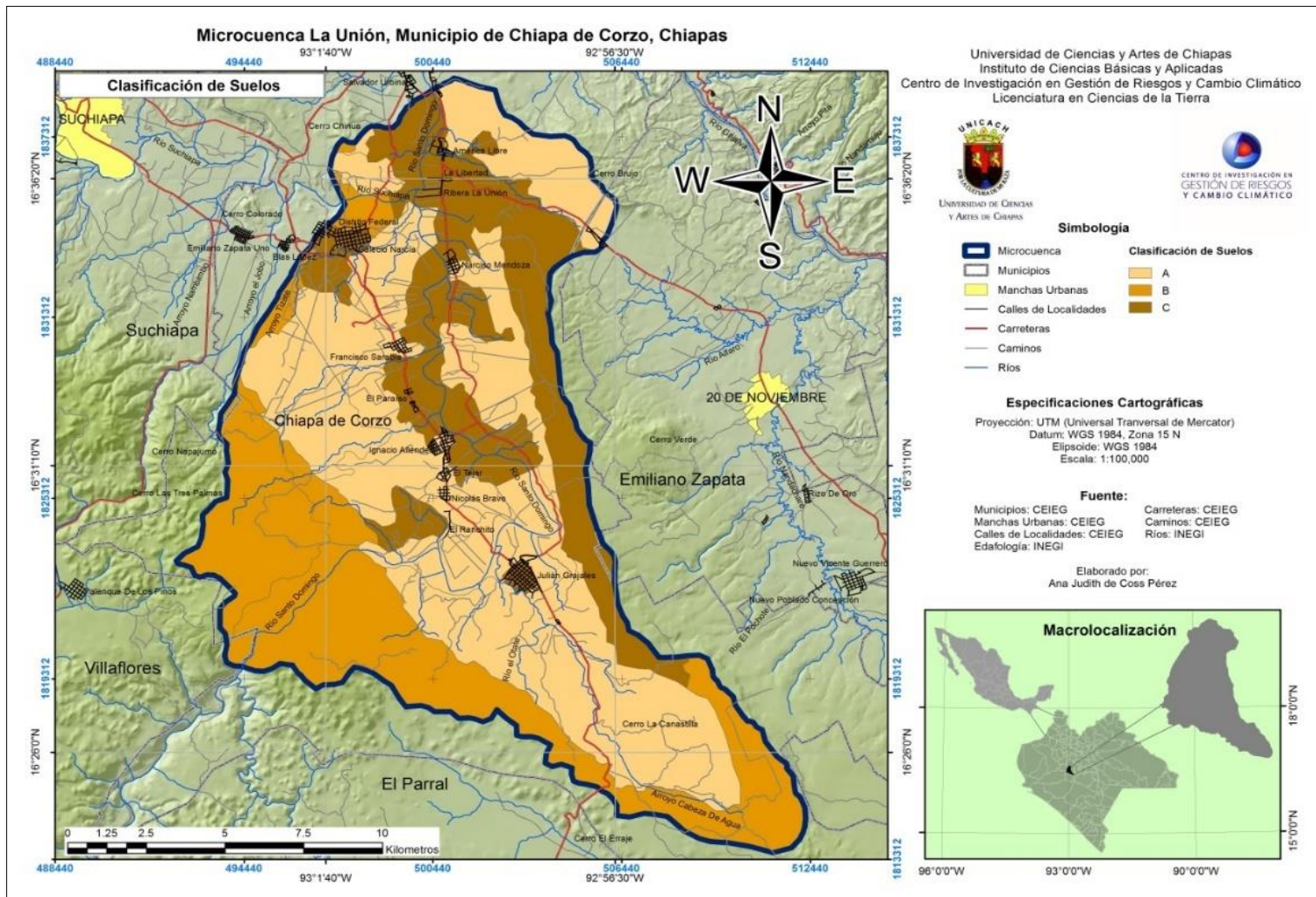


Figura No. 33 Clasificación de suelos a efectos de umbral de escorrentía

Escurrimiento superficial e infiltración

Abril 2005 y 2011 (temporada de seca)

Para ambos años en la temporada de seca la distribución espacial del escurrimiento superficial y la infiltración fue de manera similar, esto se debe que al caer la precipitación se infiltra de manera más rápida, ya que las capas superficiales del suelo se encuentran secas.

Como se puede observar en la figura No.34 el mapa de escurrimiento correspondiente al mes de abril del 2005 con valores de 21.10 a 29.58 mm, para el 2011 se puede ver en la figura No.35 con rangos de 3.43 a 9.37 mm, en tonalidades azules menor escurrimiento y mayor en color rojo.

En la figura No.36 se observa que los rangos de infiltración en el año 2005 van de 0 a 8.47 mm y en la figura No.37 correspondiente al año 2011 de 0 a 5.93 mm, marcados en color rojo menos infiltración y mayor en tonos azules.

En el 2005, con una precipitación media de 29.74 mm, se observó que la esorrentía se distribuyó en mayor proporción en la microcuenca, como se muestra en la figura 34 y 35, zonas descritas anteriormente.

En las áreas donde se eliminó cubierta vegetal reemplazado por las actividades agropecuarias, se observa el cambio en la distribución espacial del escurrimiento (Figura No.34 y 35) y la infiltración (Figura No.36 y 37), ya que no existe vegetación que retenga el agua propiciando pérdida de suelo.

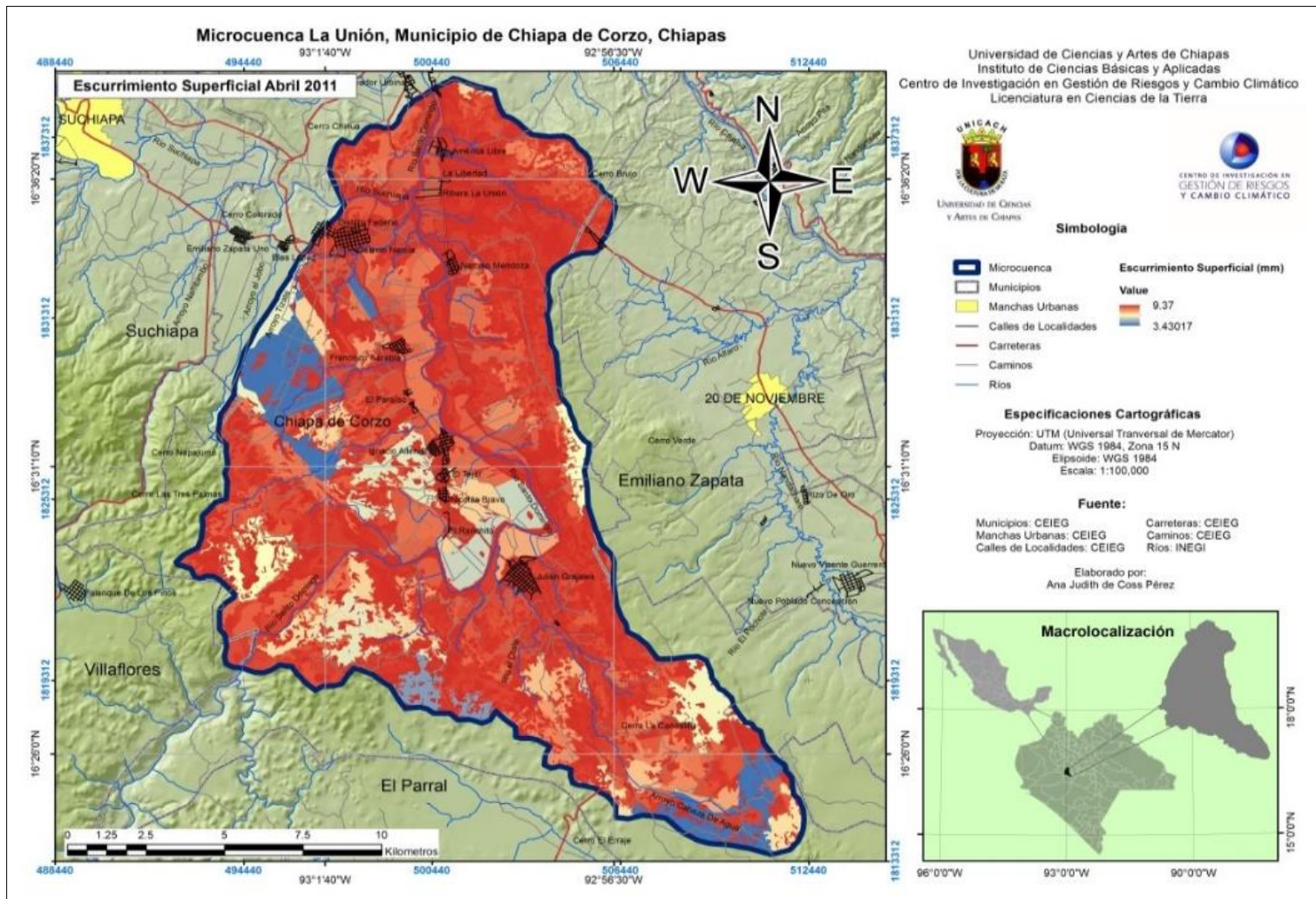


Figura No. 35 Mapa de escorrentamiento superficial del mes de abril del año 2011

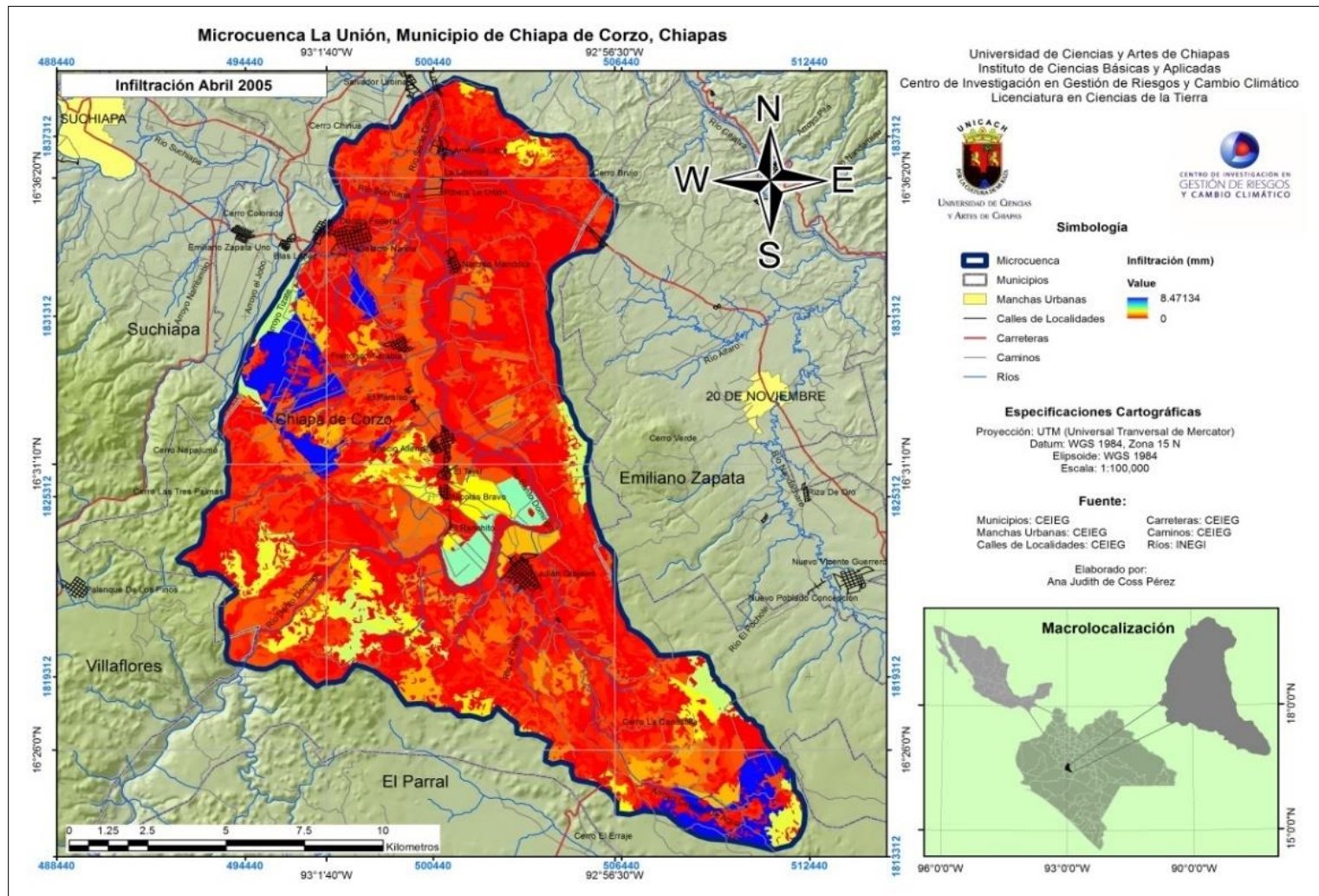


Figura No. 36 Mapa de infiltración del mes de abril del año 2005

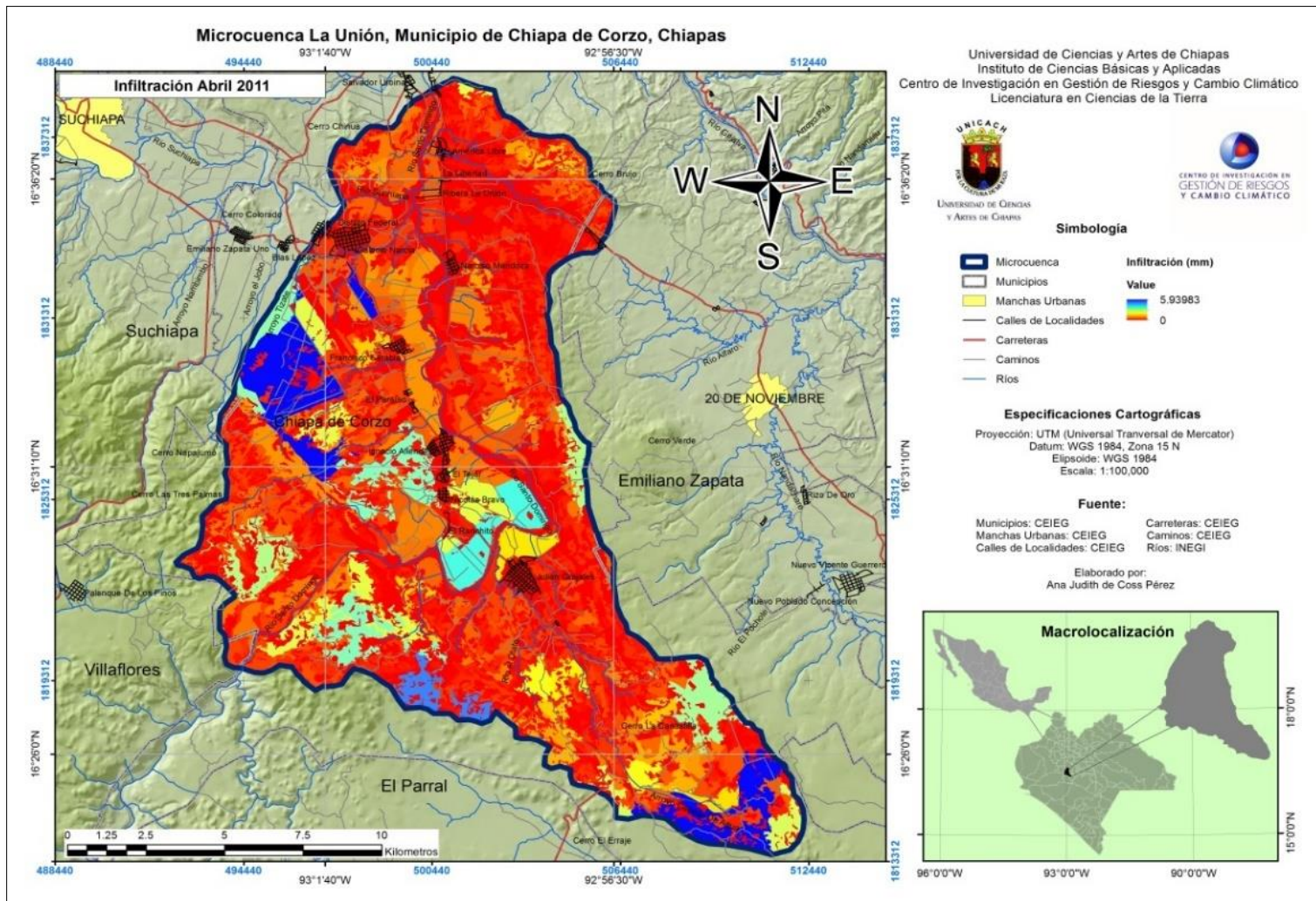


Figura No. 37 Mapa de infiltración del mes de abril del año 2011

Balance hídrico natural

Temporada de seca (abril 2005 y 2011)

La distribución espacial del balance hídrico para ambos años se comportó de manera similar, ya que el suelo se encontraba seco, como se observa en la figura No.38 del año 2005 con un rango de 0 a 16.94 mm y para el año 2011 se puede ver en la figura No.39 con valores de 0 a 11.87 mm, marcados en color amarillo menor recarga hídrica y en azul las zonas con mayor almacenamiento, cabe mencionar que en el año 2011 algunas áreas se regeneraron en pequeñas proporciones aumentando la recarga hídrica.

En la tabla No.6 se muestran los resultados obtenidos del cálculo de las variables que integran el balance hídrico para el mes de abril de cada año respectivamente.

Tabla No. 6 Cálculos del balance hídrico del mes de abril 2005-2011

Cálculos del mes de abril		
Componentes del balance hídrico	Año 2005	Año 2011
Precipitación media (mm)	29.74	9.41
Escorrentamiento superficial (mm)	21.10 a 29.58	3.43 a 9.37
Infiltración (mm)	0 a 8.47	0 a 5.93
Balance hídrico (mm)	0 a 16.94	0 a 11.87

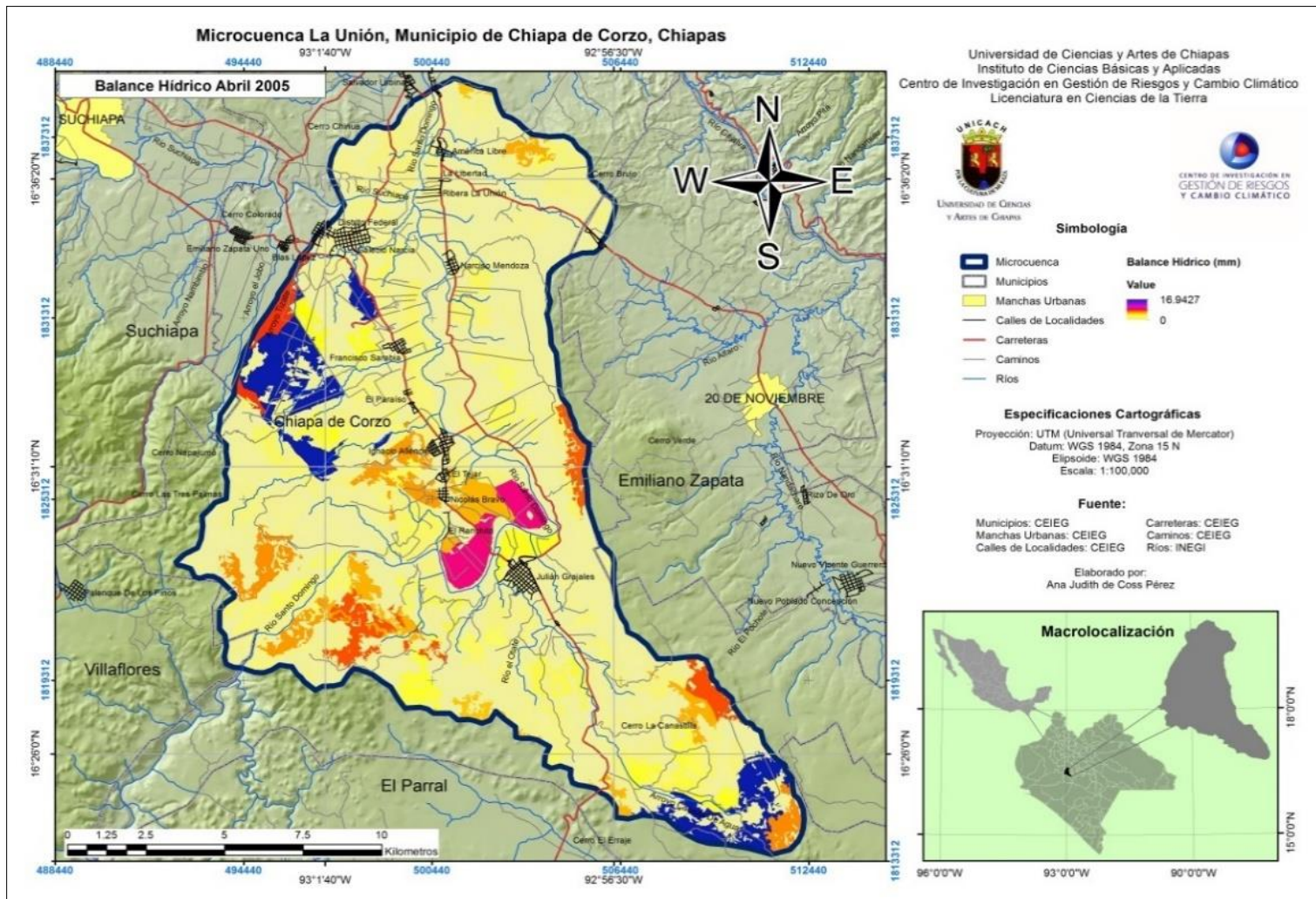


Figura No. 38 Distribución espacial del balance hídrico del mes de abril del año 2005

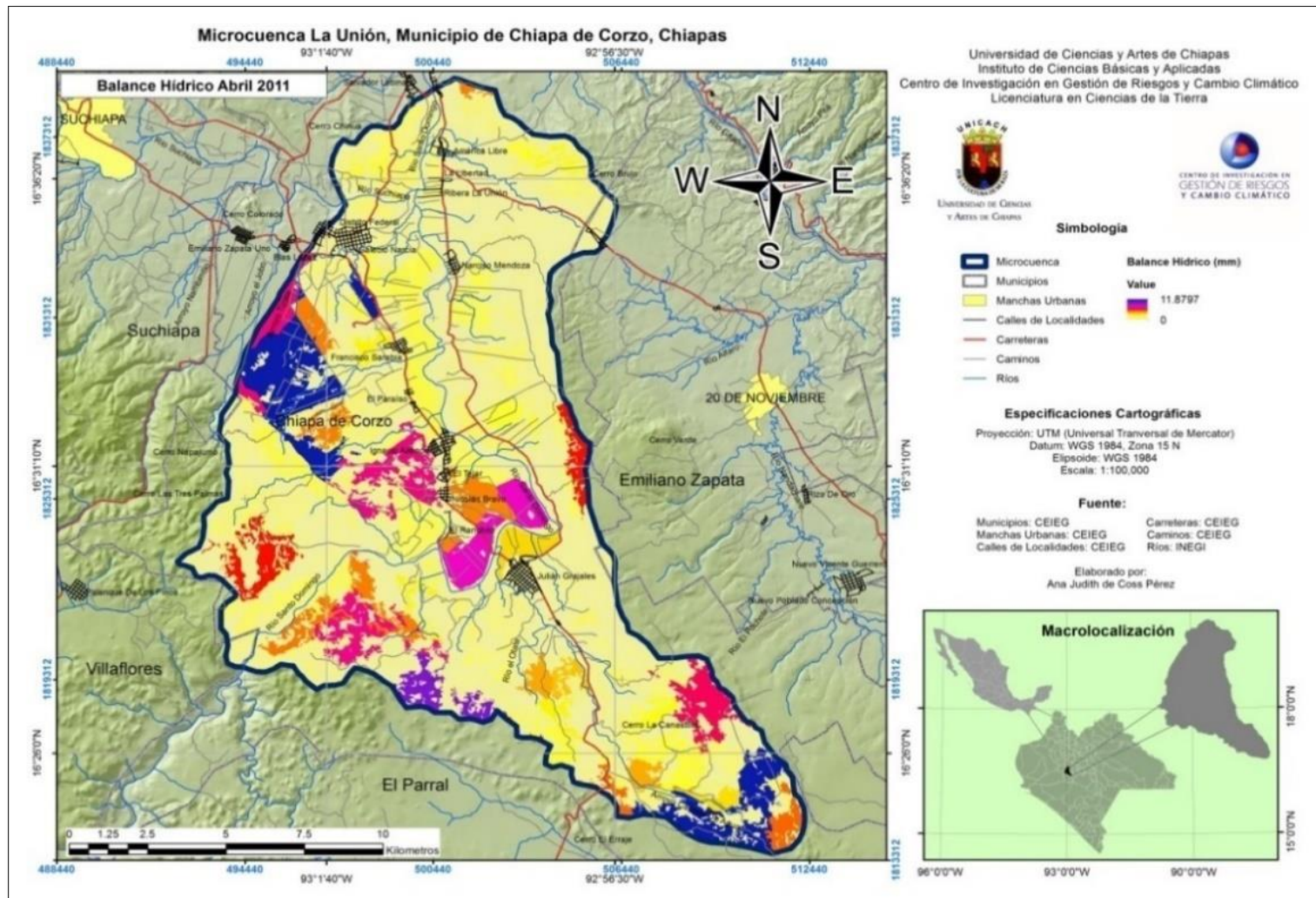


Figura No. 39 Distribución espacial del balance hídrico del mes de abril del año 2011

Escurrimiento superficial e infiltración

Agosto 2005 y 2011 (temporada de lluvia)

Parte de la lluvia que llega a la superficie del suelo se infiltra, abasteciendo la capacidad de almacenamiento por lo que el suelo se encuentra saturado, es por ello que, en ambos años, en la temporada de lluvia la distribución del escurrimiento fue mayor.

Como se muestra en la figura No.40 para el 2005 los valores de escurrimiento van de 15.86 a 19.85 mm y para el 2011 se observa en la figura No.41 con rangos de 20.41 a 24.61 mm, en tonalidades de color azul menor escurrimiento y mayor en color rojo.

El rango de infiltración como se puede ver en el mapa de la figura No.42 van de 0 a 3.98 mm en el 2005 y para el 2011 (Figura No.43) con valores de 1.9 a 4.19 mm, marcados en color rojo las zonas con menor infiltración y en azul mayor.

En este mes como el suelo se encuentra saturado, se observa que la distribución del escurrimiento es mayor (Figura No.40 y 41) y la infiltración menor (Figura No.42 y 43).

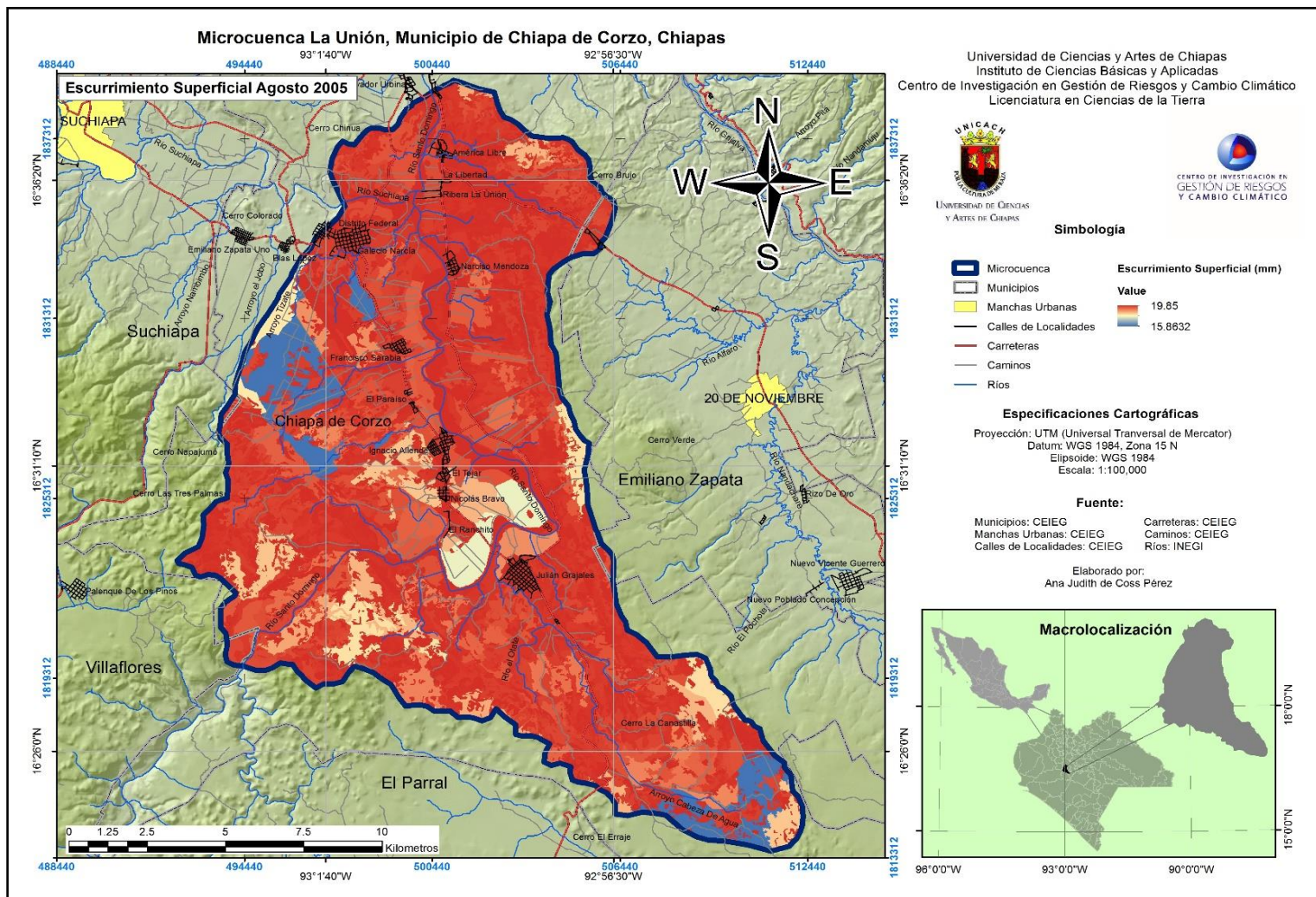


Figura No. 40 Mapa de escurrimiento superficial del mes de agosto del año 2005

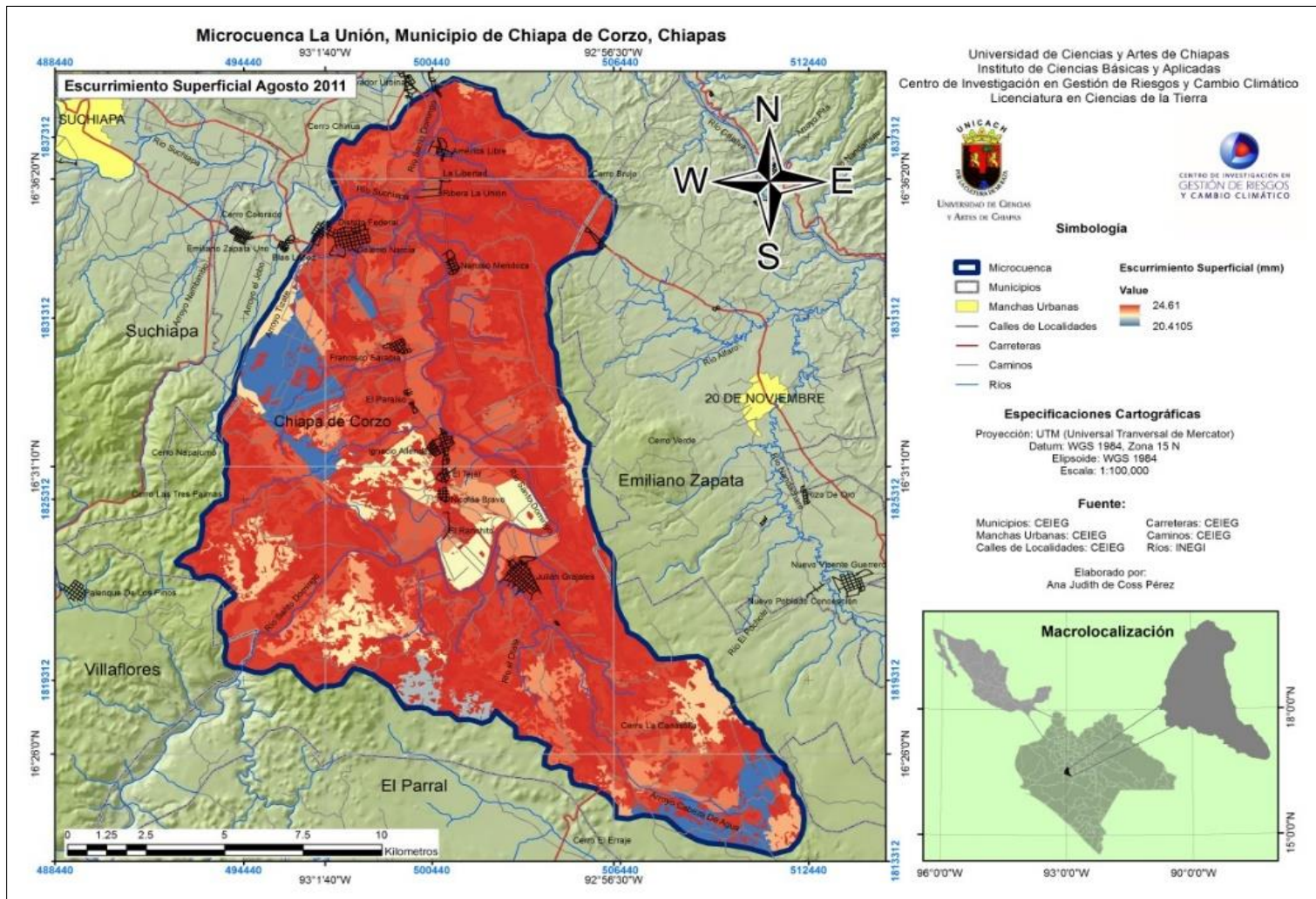


Figura No. 41 Mapa de escurrimiento superficial del mes de agosto del año 2011

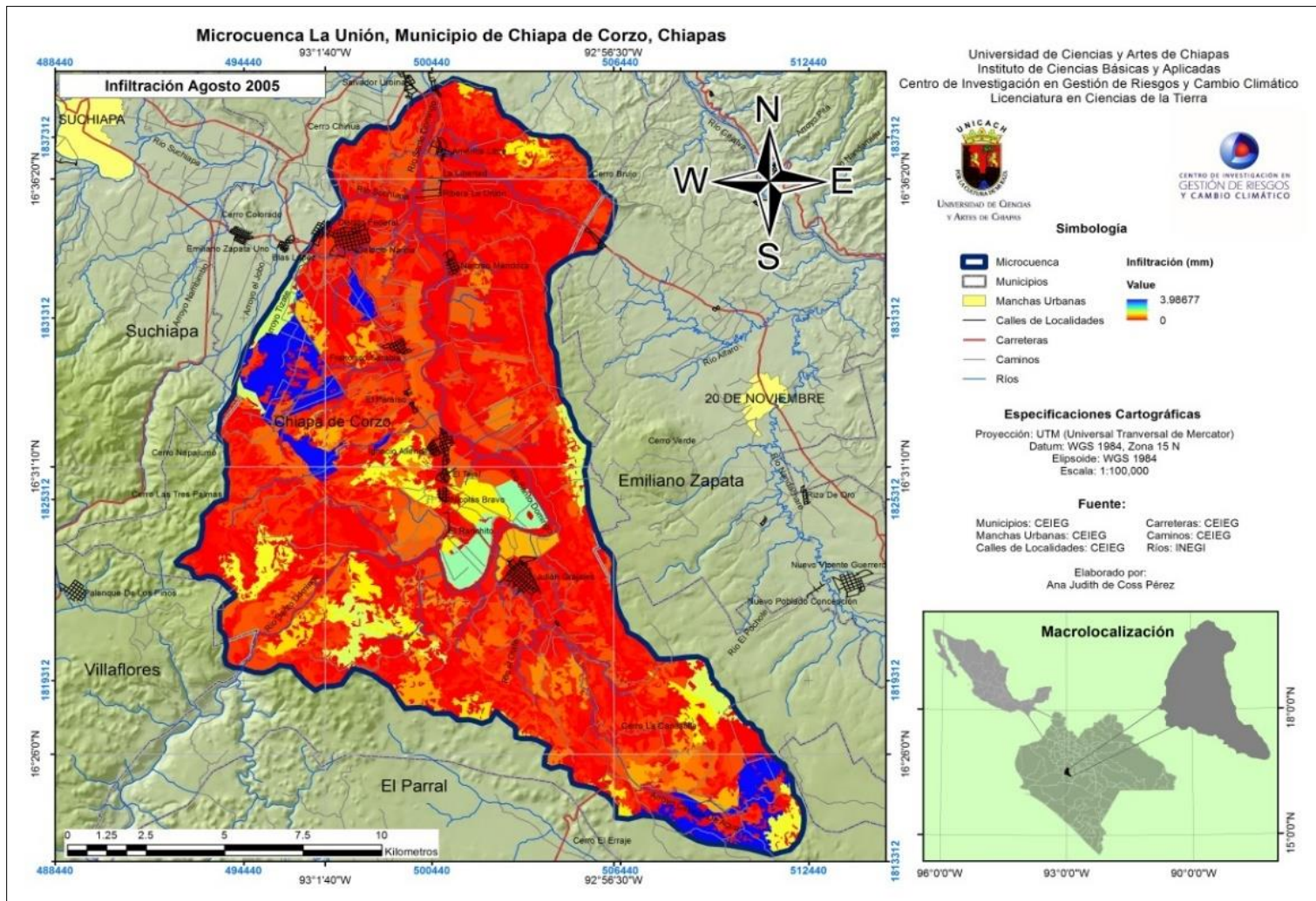


Figura No. 42 Mapa de infiltración del mes de agosto del año 2005

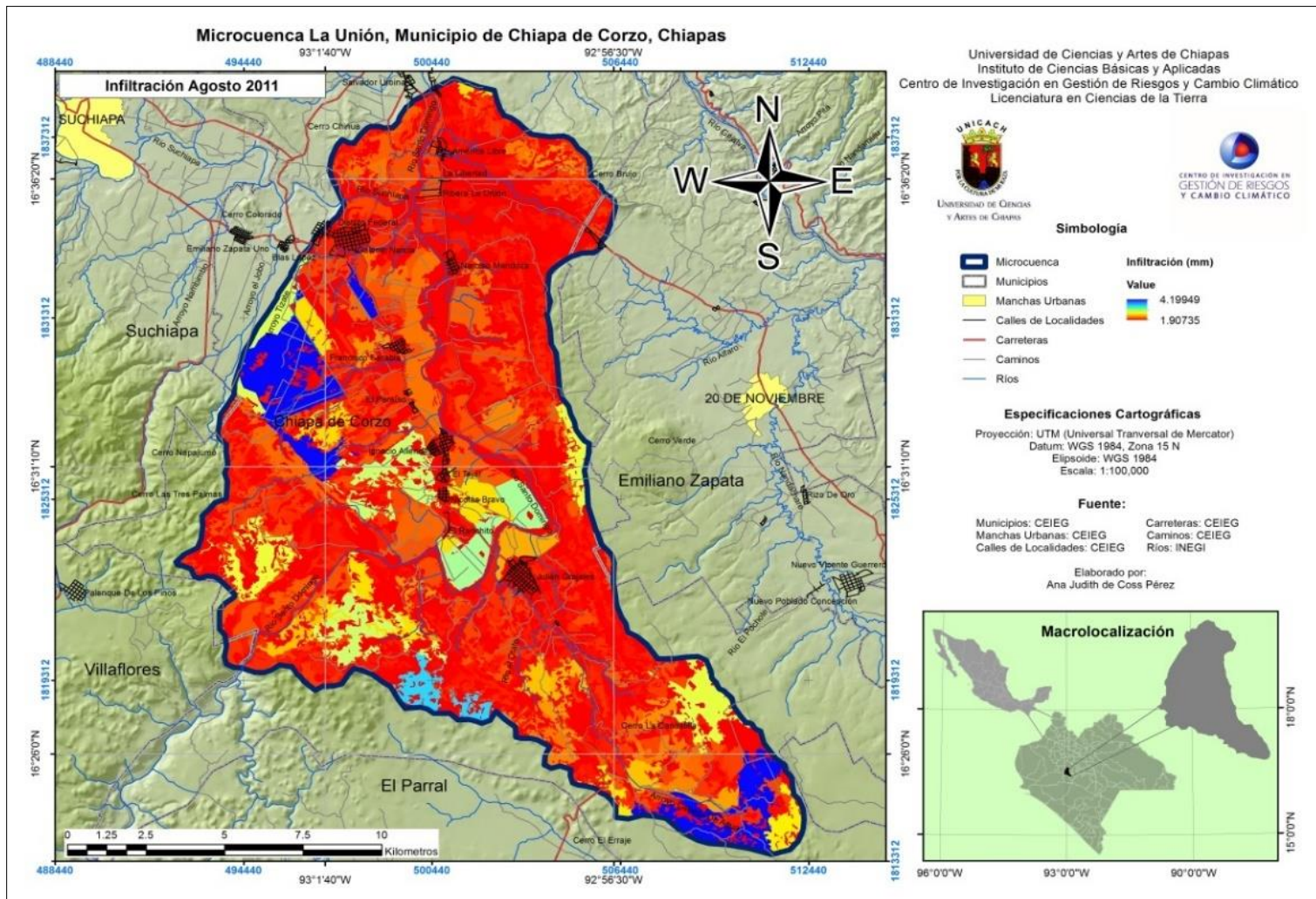


Figura No. 43 Mapa de infiltración del mes de agosto del año 2011

Balance hídrico natural

Temporada de lluvia (Agosto 2005 y 2011)

En la temporada de lluvia para ambos años la distribución espacial del balance hídrico natural de la microcuenca fue de manera similar, como se muestra en la figura No.44 del año 2005 con valores de 0 a 7.97 mm y en la figura No.45 corresponde al año 2011 con rangos de 3.81 a 8.39 mm, en tonalidades de color amarillo menor recarga hídrica y en color azul las zonas con mayor almacenamiento hídrico.

En la tabla No.7 se muestran los resultados correspondientes a las variables que integran el balance hídrico, en el mes de agosto para ambos años.

Tabla No. 7 Cálculos del balance hídrico del mes de agosto 2005-2011

Cálculos del mes de agosto		
Componentes del balance hídrico	2005	2011
Precipitación media (mm)	19.84	24.56
Escorrentamiento superficial (mm)	15.86 a 19.85	20.41 a 24.61
Infiltración (mm)	0 a 3.98	1.90 a 4.19
Balance hídrico (mm)	0 a 7.97	3.81 a 8.39

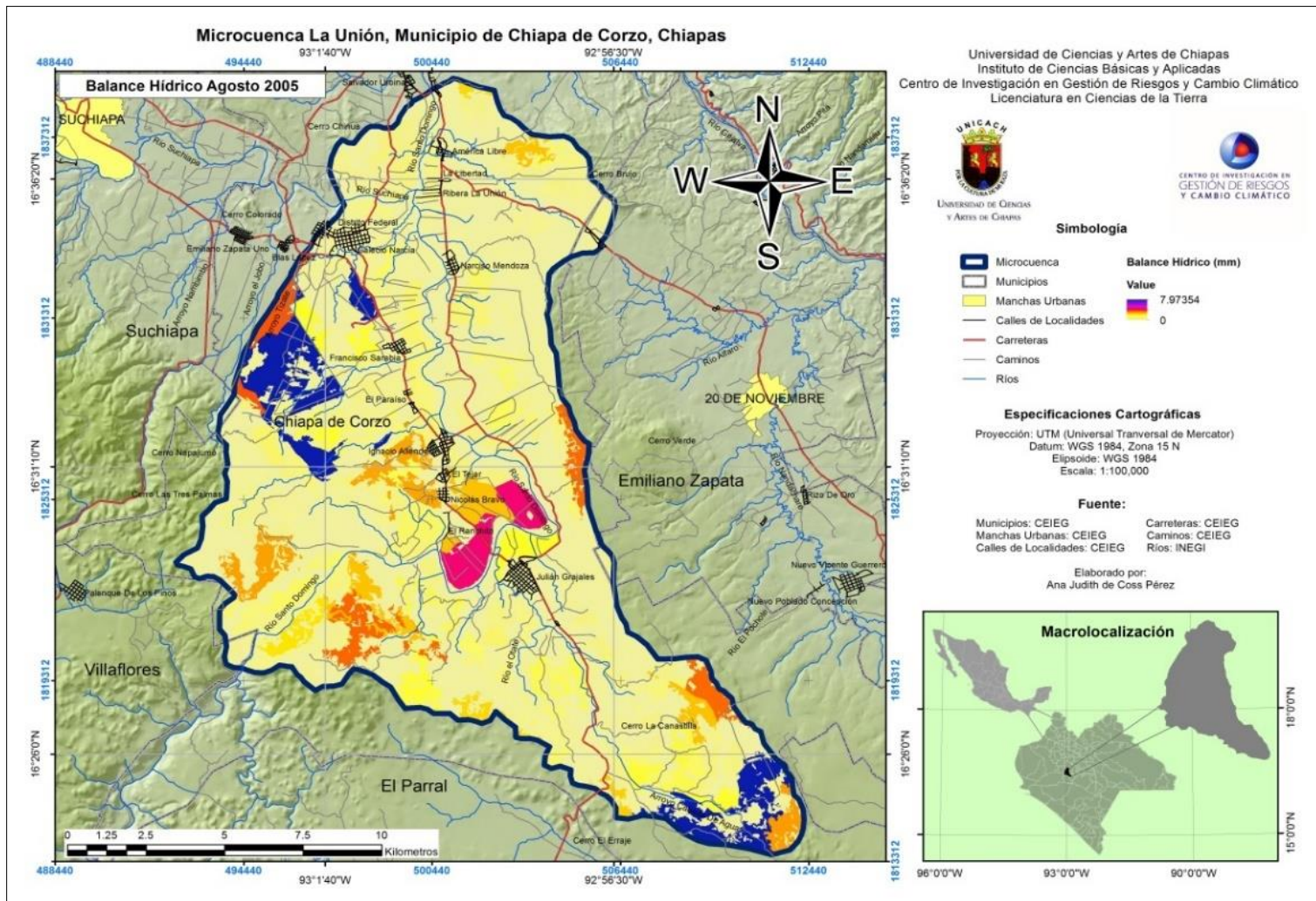


Figura No. 44 Distribución espacial del balance hídrico del mes de agosto del año 2005

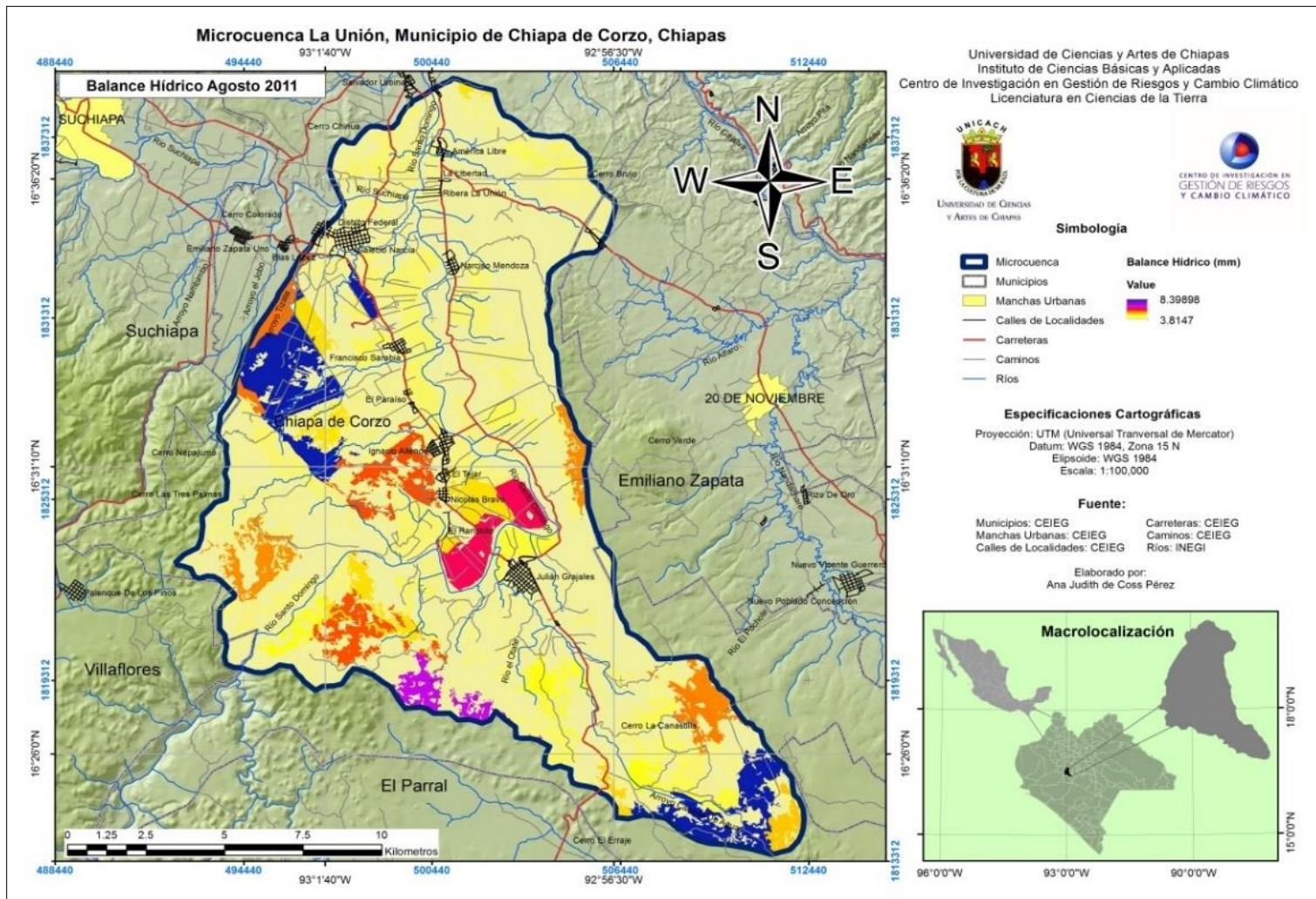


Figura No. 45 Distribución espacial del balance hídrico del mes de agosto del año 2011

9. DISCUSIÓN

Los cambios en los componentes del balance hídrico por la pérdida de cobertura vegetal en la microcuenca de estudio fueron relativamente pequeños, ya que el periodo de análisis para los cálculos presenta un intervalo de 6 años (2005-2011), esto se debe a la poca disponibilidad de datos con la que se cuenta, por mencionar algunos, imágenes satelitales para la elaboración de los mapas de USV, datos climatológicos (evapotranspiración).

Para ambos años y ambas temporadas los cálculos mostraron que las zonas con mayor almacenamiento hídrico, infiltración y menor escurrimiento se encuentran localizadas en las áreas con presencia de vegetación, por el contrario el escurrimiento es mayor, la infiltración y la recarga en el acuífero son menores en las áreas que se perdió cubierta vegetal, aunado a la expansión de las actividades agropecuarias.

Los cambios en las variables de los componentes del balance hídrico se observan en su distribución espacial, provocado por el cambio de USV. En la temporada de seca el escurrimiento es menor, la infiltración y el almacenamiento son mayores, y las zonas de recarga es por un periodo de tiempo corto, por ser un mes con pocas precipitaciones, las aguas subterráneas alimentan las corrientes superficiales por lo que el nivel freático va disminuyendo, y al ser una de las primeras precipitaciones la lluvia es interceptada por la vegetación por lo que sólo una parte de esta llega al suelo. En temporada de lluvia aumenta la distribución de la esorrentía, ya que por ser un mes lluvioso la vegetación intercepta poca agua y la precipitación alcanza en su mayoría el suelo, este a su vez al encontrarse ya saturado solo una parte del agua se infiltra alimentando a los acuíferos y subiendo el nivel freático, por lo que el almacenamiento hídrico se mantiene por mayor tiempo.

En algunas áreas de la microcuenca con presencia de vegetación se observó que el escurrimiento es mayor, debido a que la pendiente del terreno

es más inclinada o por la clasificación que fue solamente en dos, <3 y >3 , ya que así lo indica el método del SCS. Por otra parte, se observó que principalmente en el Sur de la microcuenca que no está cubierta por vegetación la infiltración y el almacenamiento son mayores, en comparación de donde sí ay mayor cubierta vegetal, esto debido a que es una zona kárstica. Sin embargo, esto no significa que el agua retenida en esa área se mantenga por un período de tiempo largo si no hay vegetación que la retenga.

Existen estudios sobre la influencia de la vegetación en el balance hídrico de las implicaciones hidrológicas por el cambio de USV entre otros, los cuales obtienen como resultado que el cambio en los componentes del balance hídrico es relativamente pequeño y que la vegetación es un factor que influye directamente en la distribución espacial de este recurso hídrico, ya que al existir cobertura vegetal en temporada de seca o de lluvia el agua que se aporta al acuífero se mantiene por más tiempo, teniendo así mayor disponibilidad hídrica. Cuando la cobertura es eliminada, en las dos temporadas (seca-lluvia) el agua almacenada en el acuífero es por menor tiempo, provocando así un déficit hídrico.

10. CONCLUSIONES

Para el desarrollo del análisis del balance hídrico en la microcuenca La Unión, se utilizó información de los años 2005 y 2011 como fueron: datos de precipitación media diaria, imágenes satelitales para estimar el USV en los años citados anteriormente, para lo cual se exponen a continuación las principales conclusiones.

Con base a la información climatológica utilizada, de las 6 estaciones Acala, Cuauhtémoc, Flores Magón, Portacelli y Puente colgante, obtenidas de las bases de datos del Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez, perteneciente al Organismo de Cuenca Frontera Sur, de la CONAGUA, se logró determinar los regímenes de precipitación en la microcuenca La Unión, en específico para los años 2005 y 2011.

Los datos de precipitación del año 2005 corresponden a los meses de abril (mes seco) y agosto (mes lluvioso), este año se caracterizó desde el punto de vista climatológico como lluvioso, y catalogado como neutro frío, lo anterior se basa en la clasificación realizada por Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez de la CONAGUA, por lo que fue un año que presentó precipitaciones abundantes en la región bajo estudio.

Para el caso del año 2011, los datos de precipitación utilizados fueron de los meses de abril y agosto, de acuerdo a la CONAGUA este año fue considerado como año Niña (año lluvioso), desde el punto de vista climatológico, con precipitaciones por arriba de la media histórica, como se puede observar en la figura No.46, donde la línea en color azul corresponde a la precipitación media histórica y la línea en color roja a la precipitación media del año 2011. Se puede observar que esta última línea se ubica por arriba de la media en todos los meses, la información proporcionada fue obtenida de los informes internos que genera el área de meteorología operativa, del Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez de la CONAGUA.

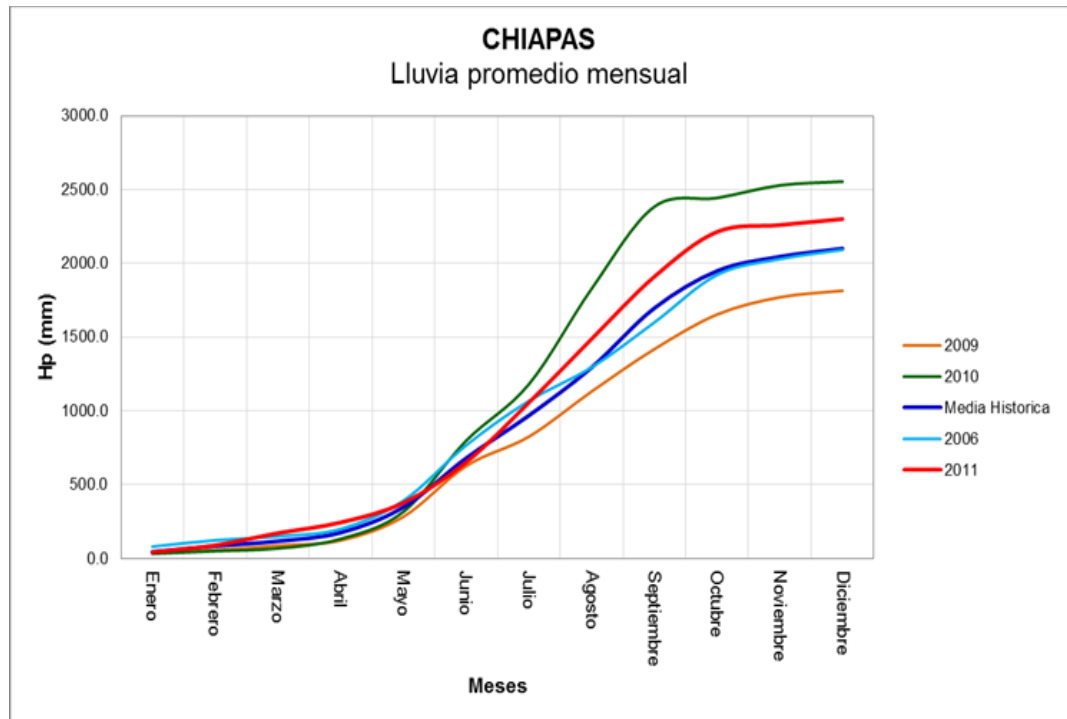


Figura No. 46 Gráfica de precipitación del estado de Chiapas
Fuente: Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez. CONAGUA

Con lo anterior se tiene que el presente trabajo se realizó bajo dos escenarios, un año con abundancia de precipitaciones al final del periodo (2005), y el otro con abundante precipitación a lo largo de 12 meses (2011).

Con las imágenes Quickbird obtenidas del servidor de Google Earth se obtuvo el mapa de USV del año 2005, y para el caso del año 2011 se utilizaron las imágenes satelitales Rapideye, proporcionadas por el CIGERCC. Ambos productos se compararon utilizando el software Arc Gis 10.1, y se observó que para el caso de la vegetación de selvas se perdió un 15.61 % (115.08 km²); así también se tiene que las áreas desprovistas de vegetación que se encontraban en su totalidad en las márgenes del río Santo Domingo provocado por los eventos hidrometeorológicos disminuyó un 42.01 % (6.20 km²). Otra área que se redujo sustancialmente fueron las áreas de humedales, un 8.51 % (0.22 km²).

Por otro lado, las áreas que se regeneraron fueron la de vegetación riparia en un 21.85 % (1.51 km²), aumentaron también los asentamientos humanos e infraestructura en un orden del 15.07 % (4.35 km²), así como las zonas de agricultura y pastizales en un 18.44 % (108.78 km²).

Con lo anterior se tiene que la microcuenca La Unión presenta una pérdida de cobertura vegetal del orden de 15.61 %. Dichos cambios inciden en la distribución del balance hídrico natural, ya que las áreas que fueron desprovistas de vegetación por las actividades antrópicas, tiene como consecuencia, mayor escurrimiento superficial, menor infiltración y almacenamiento en el acuífero.

Por otra parte, con respecto al método del CATIE, fue posible conocer, visualizar y analizar espacialmente los valores de lámina de agua (mm) de los componentes del balance hídrico natural.

En general, la distribución espacial del balance hídrico presenta correlación espacial con las áreas cubiertas de vegetación, se observó que las zonas con mayor almacenamiento hídrico son donde existe cobertura forestal, al comparar los resultados del 2005 contra los valores del 2011, se obtuvo que las modificaciones fueron sustanciales con el cambio de USV, aunado a que ambos años fueron considerados como lluviosos.

Cabe aclarar al lector, que el presente trabajo no aplicó la norma oficial de la CONAGUA (NOM-011-CONAGUA-2000), que describe el proceso para la estimación del balance hídrico en una cuenca, ya que se pretendía analizar desde el punto de vista espacial los parámetros de escurrimiento superficial, infiltración y las láminas de balance hídrico natural en dos años específicos, por lo que, si se deseara determinar los volúmenes de disponibilidad hídrica en m³, será necesario aplicar dicha norma.

Recomendaciones

Con los resultados obtenidos en esta tesis en cuanto a la aplicación del modelo utilizado para el cálculo del balance hídrico, existen aspectos que deben ser complementados. Las principales líneas de acciones que se deben realizar en el futuro son:

- 1) Aplicar la metodología en un año clasificado como seco o parcialmente seco, como es el año 2009, el cual está por debajo de la media, como se puede observar en la figura No. 46.
- 2) Realizar el cálculo del balance hídrico a nivel mensual, con el objetivo de conocer el comportamiento de este en los diferentes meses del año.
- 3) Realizar el cálculo de la disponibilidad hídrica en volumen, es decir en metros cúbicos, en el área de estudio con el método establecido por la CONAGUA (NOM-011-CONAGUA-2000).

11. LITERATURA CITADA

- Barragán Cesas, *et al.*, 2012. Evaluación de los Cambios de Cobertura Vegetal en las Áreas de Mezquital del Noreste de Nuevo León Mediante la Utilización de Sensores Remotos. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Galeana José, *et al.*, 2009. Análisis Dimensional de la Cobertura Vegetal, Uso de Suelo en la Cuenca del Río Magdalena. Pp. 22.
- Guerrero Thomas, 2012. Procesamiento de Imágenes Satelitales en la Caracterización de la Cuenca Media y Baja del Catatumbo. Universidad del Norte, Km 5 Vía a Puerto Colombia. Barranquilla Colombia. Pp. 121-131.
- Mendoza Manuel, *et al.*, 2002. Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. pp. 26
- Pérez Azucena y Ortiz Mario, 2002. Cambio de la cubierta vegetal y vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz. Pp. 22.
- Rivas Casas, *et al.*, 2011. Influencia del Uso de Suelo y Vegetación en el Balance Hídrico en tres microcuencas de Tarimoro Guanajuato. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Facultad de Ciencias Naturales. Facultad de Ingeniería UAQ. ITESM Centro de Calidad Ambiental. Laboratorio de Sistemas de Información.
- Santiago 2005. Fundamentos de ArcGIS versión ArcView 9.1. Tutorial de lecturas. Áreas de tecnologías de información Gubernamental. Pp. 157.

- Ordoñez Juan, 2011. Balance Hídrico Superficial. SENAMHI. Contribuyendo al desarrollo de una cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. Lima Perú. Pp. 44.
- Patiño Juan, *et al.*, 2007. Propuesta metodológica para comparar el efecto de diferentes coberturas vegetales en la regulación de caudales en cuencas hidrográficas. Aplicación en la microcuenca de la Quebrada la Murciélagu. Antioquía. Pp. 12.
- Estudios de paisajes hidrológicos y balance hídrico, en la cuenca Lerma Chapala. 2003. Instituto Nacional de Ecología (INE). Pp. 135.
- Andray Alfredo *et al.*, Ensayo. Un modelo de balances hídricos, para cuencas hidrográficas, discusión, propuesta y aplicaciones. Pp. 10.
- Gutiérrez Lady, *et al.*, 2011. Balance hídrico asociado a la cobertura vegetal. Cuenca del río Orotoy. Pp. 54.
- Castillo Claudia. 2005. Análisis de caudales máximos en cuencas experimentales para distintas condiciones de cobertura arbórea, Décima Región, Chile. Pp. 64
- Arellano José. La configuración territorial de la Cuenca Superior del río Grijalva, Chiapas. CONAGUA. Organismo de Cuenca Frontera Sur Organismo de Cuenca Frontera Sur. Pp. 29.
- Muñoz A., *et al.* 2011. Hidrología Superficial en la Cuenca del Río Grijalva: Calibración del Modelo Hidrológico de Capacidad de Infiltración Variable (Vic). Aqua-LAC. Volumen 3. Pp13
- Rosales Edgar. 2012. Metodología y estimación del balance hídrico de la cuenca del Usumacinta. Desarrollo de Redes Para la Gestión Territorial del Corredor Biológico Mesoamericano–México. FORDECYT-CONACYT-CENTROGEO. México. Pp. 29.

- Instituto Nacional De Ecología. 2003. Estudios de paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala. Planeación, desarrollo y recuperación ambiental, (PRADEYRA). Pp. 135.
- Garzón Henry. 2012. Efecto de Algunas Coberturas Vegetales de la Region Andina Colombiana en el Régimen de Caudales con Particular Énfasis en el Caudal Mínima a Escala de Micro-Cuenca. Pp. 44.
- Contreras Sergios 2006. Distribución Espacial del Balance Hídrico Anual en Regiones Montañosas Semiáridas. Aplicación en Sierra de Gádor (Almería). Pp. 135.
- J. Lira 1995. México. La Percepción Remota. Nuestros ojos desde el espacio. Pp. 105.
- Martínez y Días 2005. CONAGUA. Percepción remota. Fundamentos de teledetección espacial. Comisión nacional del agua, subdirección general de programación, sugerencia de informática y sistema geográfico del agua, jefatura de control cartográfico. Pp. 62.
- Moizo 2004. La percepción remota y la tecnología SIG. Una aplicación en la ecología de paisaje. Revista internacional de ciencia y tecnología de la Información geográfica. Pp. 24
- Néstor et al 2009. Estimación del Escurrimiento Superficial con el Método SCS-CN en el Trópico Subhúmedo de México. Terra latinoamericana. volumen 28. Número 1. 2010 Pp. 8.
- Aparicio. 1992. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Pp. 152.
- Luna et al., 2011. Influencia de la Vegetación en el Balance Hídrico Superficial de la Cuenca Hidrológica de "El Cabril". Pp. 9.
- Huber y Oyarzun, 1983; Crockford y Richardson, 2000; Savanije, 2004; Zapata y Manzano, 2008; Glover y Gwynne, 1962; Durocher, 1990; Zapata y

Manzano, 2008; Gesper y Holowaychuck, 1971; Belmonte y Romero, 1999; Latron, 2003; Nadal-Romero et al., 2008; Andréassian 2004; citado en: Luna et al., 2011. Influencia de la Vegetación en el Balance Hídrico Superficial de la Cuenca Hidrológica de “El Cabril”. Pp. 9.

Pizarro *et al.*, 2005. Influencia de las masas boscosas en el régimen hídrico de una cuenca semiárida, Chile. Bosque. Pp.91

Arias y Poveda, 2004. Estimación de la relación adimensional de Budyko en Colombia. Posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos, escuela de geociencias y medio ambiente, universidad nacional de Colombia. Pp. 13.

Marchesini et al 2009. La eliminación selectiva de vegetación arbustiva en un bosque seco de Argentina y su efecto sobre la dinámica de agua. Revista de Teledetección, ISSN. Pp. 10.

Jackson 2002 en: Marchesini et al 2009. La eliminación selectiva de vegetación arbustiva en un bosque seco de Argentina y su efecto sobre la dinámica de agua. Revista de Teledetección, ISSN. Pp. 10.

Amador 2009. Querétaro. Estructura de la vegetación y unidades de respuesta hidrológica, un enfoque para el modelamiento ambiental de cuencas en Michoacán. Universidad autónoma de Querétaro, facultad de ciencias naturales biología. Pp. 199

Matteucci y Colma 1982, FGDC 2005; Marsh 1997; Schellekens 2000; Hardy 1981; Fahsi et al 2000; Franklin 1995; en: Amador 2009. Querétaro. Estructura de la vegetación y unidades de respuesta hidrológica, un enfoque para el modelamiento ambiental de cuencas en Michoacán. Universidad autónoma de Querétaro, facultad de ciencias naturales biología. Pp. 199

- Vásquez 2007. Querétaro. Evaluación hidrológica puntual en diferentes tipos de vegetación en zona semiárida. Universidad autónoma de Querétaro, facultad de ingeniería. Pp 81.
- Benik et al 2003; Van y Bruijnzeel 2001; Moro *et al.*, 1997; Bates *et al.*, 2002 en: Vásquez 2007. Evaluación hidrológica puntual en diferentes tipos de vegetación en zona semiárida. Universidad autónoma de Querétaro, facultad de ingeniería. Pp 81.
- FAO. 2009. ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas? Cuestiones de Escala. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación.
- Custodio y Llamas, Hidrología subterránea. Segunda edición. Ediciones omega. Barcelona. 1996.
- Rutter *et al.* 1972, Aston, 1979 en: Sierra y Agugliaro 2008. Influencia de Seis Especies Arbóreas en la Infiltración de Agua en el Suelo. Universidad de Almería, España. Pp. 11.
- Sierra y Agugliaro 2008. Influencia de Seis Especies Arbóreas en la Infiltración de Agua en el Suelo. Universidad de Almería, España. Pp. 11.
- Helena Cotler. 2007. El manejo Integral de Cuencas en México. Segunda Edición. Pp. 348.
- Villalta y Castañeda, 2003. Manual de manejo de cuencas hidrográficas. Universidad de el salvador. Facultad de ciencias agronómicas. Programa de posgrado en agronomía tropical sostenible. Pp. 166.
- World Vision. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Manual de manejo de cuencas. Pp.13.