

Capacidad de infiltración de la cuenca del río Cuxtepeques, Chiapas, México

Walter López Báez

e-mail: lopez.walter@inifap.gob.mx

Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP, Ocozocoautla, México.

Roberto Reynoso Santos

e-mail: reynoso.roberto@inifap.gob.mx

Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP, Ocozocoautla, México.

Itzel Castro Mendoza

e-mail: castro.itzel@inifap.gob.mx

Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP, Ocozocoautla, México.

Eileen Salinas Cruz

e-mail: salinas.eileen@inifap.gob.mx

Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP, Ocozocoautla, México.

Reynol Magdaleno Sánchez

e-mail: reymg01@hotmail.com

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad Topografía, Tuxtla Gutiérrez, México

RESUMEN

La reserva de la biosfera El Triunfo (REBITRI) es un importante regulador hídrico de corrientes que alimentan diversas cuencas de México. A pesar de ello, los servicios ecosistémicos que proporciona son poco valorados. Se estudió la capacidad de infiltración en la cuenca del río Cuxtepeques, Chiapas con el objetivo de resaltar la importancia de la REBITRI como zona de recarga hídrica. Los resultados muestran que la REBITRI, situada en la parte alta de la cuenca juega un papel muy importante en la captación de agua con 2,5 veces más que fuera de ella. La conservación del uso de suelo forestal dentro de la REBITRI es de gran importancia, ya que es fundamental para mantener los servicios ecosistémicos y el funcionamiento de los ecosistemas.

Palabras clave: balance hídrico, cuenca Cuxtepeques, REBITRI, zona de recarga.

Infiltration capacity of the river Cuxtepeques watershed, Chiapas, Mexico

ABSTRACT

The biosphere reserve El Triunfo (REBITRI for its Spanish acronym) is an important regulator of streams that provide water resources for different watersheds in Mexico. Nevertheless, the assessment of ecosystem services provided by the Biosphere Reserve is still rare. In the Cuxtepeques river basin a water balance infiltration capacity was studied with the aim to point out the importance of the REBITRI as a recharge zone. The results show that the REBITRI, located in the upper part of the watershed, plays a decisive role in water catchment, being 2,5 times more than outside of the biosphere reserve. Forest conservation in the REBITRI is highly important as this land use is fundamental to maintain ecosystem services and its functioning.

Keywords: water balance, Cuxtepeques watershed, REBITRI, water catchment.

INTRODUCCIÓN

La reserva de la biosfera El Triunfo (REBITRI), ubicada en la Sierra Madre de Chiapas, es uno de los lugares que reciben la mayor precipitación pluvial del país. La densa cubierta forestal presente en la zona permite que la reserva actúe como zona de captación de agua y aporte de corrientes fluviales que irrigan la planicie costera del Pacífico y al Golfo de México (SEMARNAT2002).

En los últimos 15 años se han presentado fenómenos meteorológicos extremos, causando desastres por derrumbes e inundaciones y afectando a las actividades agrícolas y la infraestructura hidráulica y social en el estado de Chiapas. Por otra parte, la superficie de la REBITRI se ha visto afectada por el cambio de uso de suelo (uso agrícola de laderas), procesos de deforestación y lluvias atípicas que inducen a procesos de erosión.

A pesar de la importancia de la REBITRI como regulador hídrico y protección contra la erosión de suelos, existe un desconocimiento e inadecuada valoración por parte de la sociedad y los tres niveles de gobierno sobre los servicios ecosistémicos de la reserva y su importancia, además, se necesitan estudios que demuestren los beneficios que se derivan de su conservación.

Debido a lo anterior, el objetivo del estudio fue analizar el balance hídrico de la cuenca Cuxtepeques y la importancia de la REBITRI como zona de recarga hídrica.

El balance hídrico de la cuenca Cuxtepeques permitirá obtener datos más precisos del papel de la REBITRI como zona de recarga hídrica para el monitoreo de los recursos naturales de la cuenca.

LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca río Cuxtepeques abarca los municipios de Pijijiapan, La Concordia y Mapastepec, entre las coordenadas 93°10'05" y 92°40'08" de longitud oeste y 16°09'53" y 15°39'56" de latitud norte, con una superficie de 1 048,44 km².

Dentro de esta cuenca se encuentran 336 localidades de las cuales todas pertenecen al municipio de la Concordia (figura 1). El 20,6 % de la cuenca (21 594,5 km²) se ubica dentro del polígono de la REBITRI y corresponde a la parte alta. Presenta una topografía que va desde 540 a 2 560 msnm.

Cuenta con cuatro tipos de climas, cálido subhúmedo, cálido húmedo, templado húmedo y templado subhúmedo. El más representativo es el cálido subhúmedo con 84,8 %. Se caracteriza por registrar precipitaciones entre 1 000 y 2 000 mm anuales y temperaturas que oscilan entre 22° y 26°C. El tipo de suelo predominante es el acrisolplintico con 37 % de la superficie, distribuido en la parte media y baja de la cuenca.

En la parte alta y media de la cuenca, los tipos de vegetación predominantes son el bosque mesófilo de montaña (24,29 %), el bosque de pino (15,2 %) y el bosque de pino-encino (8,42 %). Mientras que en la parte baja predominan los usos agrícolas, tales como agricultura de temporal (13,15 %), agricultura de riego (7,89 %) y el agroecosistema de café (6,24 %).

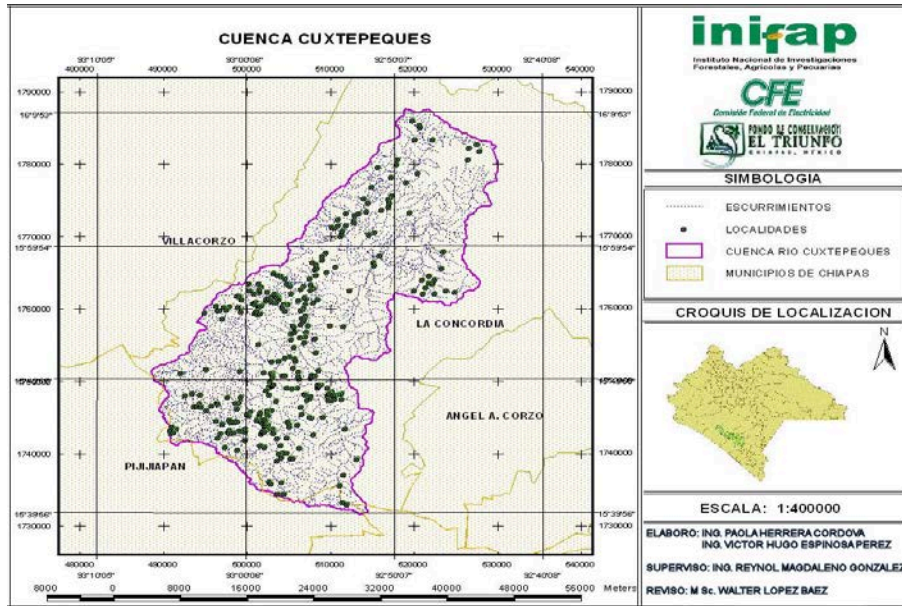


Figura 1. Localización del área de estudio; la cuenca del río Cuxtepeques

Caracterización hidrológica

Para conocer la importancia que tiene la REBITRI como zona de recarga hídrica y regulación ecosistémica en la cuenca Cuxtepeques, se siguió la metodología de López et al. (2016), que consiste en generar polígonos de las áreas dentro y fuera de la reserva para poder estimar y comparar el volumen anual de agua ($m^3/ha/año$) que escurre y se infiltra.

El balance hídrico se realizó con la metodología propuesta por Llerena (2003) para cuencas con poca información disponible (ecuaciones 1 y 2).

$$P = Q + ET \quad (1)$$

donde: P = precipitación (m^3)
 Q = escurrimiento (m^3)
 ET = evapotranspiración (m^3)

$$Q = Es + Ess + Est \quad (2)$$

donde: Es = escurrimiento superficial (m^3)
 Ess = escurrimiento subsuperficial (m^3)
 Est = escurrimiento subterráneo (m^3)

El escurrimiento subsuperficial (Ess) y subterráneo (Est), conforman el volumen de infiltración (In) que no es evapotranspirado y se le conoce como volumen de recarga neta potencial (FIRCO 2002). Sustituyendo lo anterior en la ecuación 1 se obtiene la ecuación 3.

$$P = Es + In + ET \quad (3)$$

Estimación de la precipitación

El volumen anual precipitado se estimó a partir de álgebra de mapas con la ecuación propuesta por Aparicio (2009) para datos de precipitación medios anuales (ecuación 4).

$$VP = P * AC \quad (4)$$

donde: VP = volumen anual de precipitación (m³)
 P = precipitación media anual (m)
 AC = área de la cuenca (m²)

Para determinar VP se ubicaron las estaciones climatológicas de influencia sobre la cuenca con registro de medias mensuales y anuales de precipitación y temperatura. Se interpolaron los valores anuales de precipitación (m³) para obtener un raster que refleje el comportamiento promedio de la precipitación en la cuenca. El cálculo del volumen de lluvia se obtiene a partir del raster de precipitación multiplicada por el área de la cuenca, tanto dentro como fuera de la reserva.

Estimación del escurrimiento superficial

El escurrimiento superficial se estimó con el método del escurrimiento medio propuesto por SARH-CP (1982), a partir de la lluvia media anual (mm) en el área de la cuenca, el área de drenaje y su coeficiente de escurrimiento (ecuación 5).

$$Es = AC * C * P \quad (5)$$

donde: Es = volumen promedio que puede escurrir (miles de m³)
 AC = área de la cuenca (m²)
 C = coeficiente de escurrimiento, adimensional, sus valores varían de 0,1 a 1.
 P = precipitación media anual en la cuenca (m).

Para estimar el coeficiente de escurrimiento se utilizó la metodología que se presenta en el Apéndice Normativo A (A.1.2.1.2) de la NOM-011-CNA-2000 (SEMARNAT 2002) y se expresa en las ecuaciones (6) y (7) y en la tabla 1 y tabla 2.

$$C = k * \frac{P - 250}{2000} + \frac{k - 0,15}{1,50} \quad (6)$$

Cuando $k > 0,15$

$$C = k * \frac{P - 250}{2000} \quad (7)$$

Cuando $k \leq 0,15$

donde:

k = parámetro que depende del tipo y uso del suelo (tabla 1)
 P = precipitación anual o mensual (mm)

Tabla 1. Valores de k que son utilizados en México

Uso de suelo o cubierta vegetal	Tipo de suelo		
	A	B	C
Cultivos:			
En hilera	0,24	0,27	0,3
Legumbres o rotación de praderas	0,24	0,27	0,3
Granos pequeños	0,24	0,27	0,3
Pastizal (% de suelo cubierto/ pastoreo):			
Más del 75%/ poco	0,14	0,2	0,28
Del 50 al 75%/ regular	0,2	0,24	0,3
Menos del 50%/ mucho	0,24	0,28	0,3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,3
Otros usos:			
Pradera permanente	0,18	0,24	0,3
Barbecho, áreas sin cultivo o desnudas	0,26	0,26	0,30
Cascos y zonas con edificaciones	0,26	0,29	0,32
Camino (incluyendo derecho de vía)	0,27	0,3	0,33

Tabla 2. Tipos de suelo

TIPO DE SUELOS	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos.
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los suelos A; terrenos migajosos.
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas.

Para calcular el valor de k, y generar un mapa con estos valores, primero se determinaron los mapas de uso de suelo (figura 2). Se generaron mapas de uso de suelo digitalizando a través de la fotointerpretación de imágenes de satélite de alta resolución disponibles en Google Earth V.5,0 para la cuenca. Con los mapas de uso de suelo generados se les asignaron los valores de k a las áreas con características homogéneas.

Para la generación del mapa de los tipos de suelo se utilizó el conjunto de datos vectoriales de suelo de la carta edafológica 1:250 000 del INEGI, Serie III.

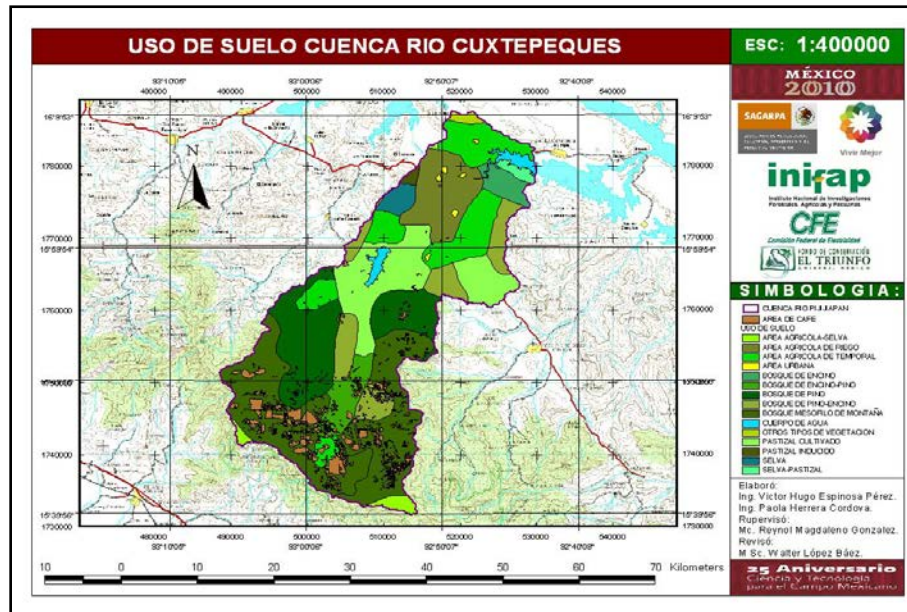


Figura 2. Usos de suelo presentes en la cuenca

Estimación del volumen de recarga neta potencial

El volumen de recarga neta potencial o infiltración neta potencial, se estimó con la ecuación (8).

$$I_n = I_t - ET \quad (8)$$

donde: I_n = volumen infiltrado (m^3)
 I_t = volumen total infiltrado (m^3)
 ET = volumen evapotranspirado (m^3)

El volumen total infiltrado anual puede estimarse como una función del coeficiente de escurrimiento y de la precipitación media anual, de acuerdo con la ecuación (9).

$$I_t = (1-C) * P * AC \quad (9)$$

donde: I_t = volumen total infiltrado (m^3)
 P = precipitación media anual (m)
 AC = área de la cuenca (m^2)
 C = coeficiente de escurrimiento

Estimación del volumen de evapotranspiración

El volumen anual de evapotranspiración, se obtuvo con la ecuación (10).

$$ET = AC * ETR \quad (10)$$

donde: ET= volumen evapotranspirado (m³)
 AC = área de la cuenca (m²)
 ETR = evapotranspiración anual real (m)

La determinación de la evapotranspiración anual real se utilizó a través del método de Turc (Remenieras 1974), quien propone una fórmula simple en función de la precipitación y la temperatura del lugar de estudio (ecuación 11).

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,90 + (P/L)^2}} \quad (11)$$

donde: ETR = evapotranspiración anual real (m)
 P = precipitación media anual (m)
 L = parámetro en función de la temperatura media según la ecuación (12).

$$L=300+25 \cdot T+0,05 \cdot T^3 \quad (12)$$

donde: T = temperatura media anual (°C)

CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LA CUENCA

Con base en el modelo de elevación digital del terreno, se obtuvo la delimitación de la cuenca del río Cuxtepeques. Los resultados de la delimitación arrojan una superficie de 1048,44km² y con una longitud de cauce de 73,7 km.

La morfometría de la cuenca (tabla 3) a partir del coeficiente de compacidad (K), coeficiente de forma (Kf) y el índice de alargamiento (Ia), indican que la cuenca es alargada. De acuerdo con estos valores, la cuenca está bien distribuida y no hay reducción del cauce por donde circula el escurrimiento principal.

Tabla 3. Parámetros morfométricos de la cuenca río Cuxtepeques

K	Kf	Ia	Dd	Dc	Sc	S
1,7333481	0,36363122	1,71149159	1,910161764	1,029148068	0,025747914	0,326098775
K= Coeficiente de compacidad Kf= Coeficiente de forma Ia= índice de alargamiento Dd= densidad de drenaje Dc= densidad de corriente Sc= pendiente del cauce S= Criterio de Alvord						

Los valores de Dd y Dc, sugieren que el escurrimiento que pasa por la cuenca es productivo, por lo que se considera con eficiencia de drenaje (INE 2004). Por otro lado, el valor de Sc muestra una pendiente suave lo cual es importante en términos de desastres aguas abajo.

Los resultados de la capacidad de infiltración calculada para la cuenca Cuxtepeques muestran que el área de la cuenca dentro de REBITRI juega papel importante en el volumen de infiltración captado. Expresando el volumen neto infiltrado por unidad de área, dentro de REBITRI se obtiene una tasa de infiltración 2,5 veces mayor que fuera de ella (tabla 4 y figura 3).

Tabla 4. Capacidad de infiltración de la cuenca Cuxtepeques

	IN (millones de m ³)	Área (ha)	TNI (millones de m ³ /ha)
Fuera de la REBITRI	225,42	83 249,98	0,00278
Dentro de la REBITRI	150,28	21 594,50	0,006959
Total	375,70	104 844,48	

IN= Infiltración neta TNI= Tasa neta infiltración

La figura 4 muestra que la mayor precipitación ocurre en la parte alta de la cuenca, en el orden de 2000 hasta 1900 mm anuales. La capacidad de infiltración de la parte alta se debe a que dentro de la misma el uso de suelo es netamente forestal, principalmente bosque mesófilo de montaña, lo que resalta el papel importante que juega la REBITRI como zona de recarga hídrica para la cuenca. López et al. (2014), analizó la conectividad territorial e hídrica de la REBITRI y 14 cuencas interconectadas con la reserva y encontró que la REBITRI juega un papel importante como zona de recarga hídrica de dichas cuencas debido a su localización en la parte alta.

Los resultados sugieren que la REBITRI, tiene un efecto de “esponja hídrica” que regula la escorrentía y aumenta la capacidad de infiltración (Villavicencio et al. 2014), por lo que se deben encaminar acciones para el manejo y conservación de la REBITRI, principalmente para los usos de suelo de bosque.

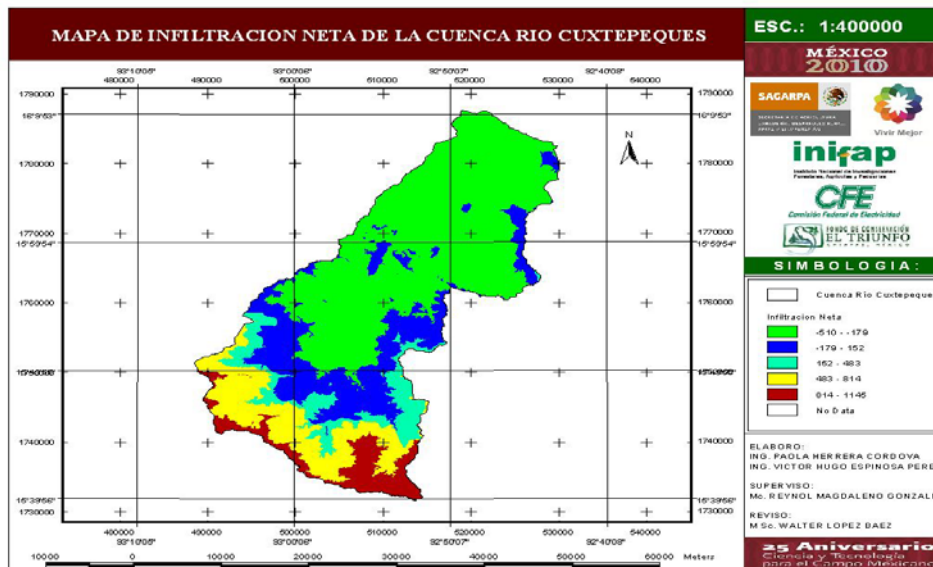


Figura 3. Mapa de infiltración de la cuenca río Cuxtepeques

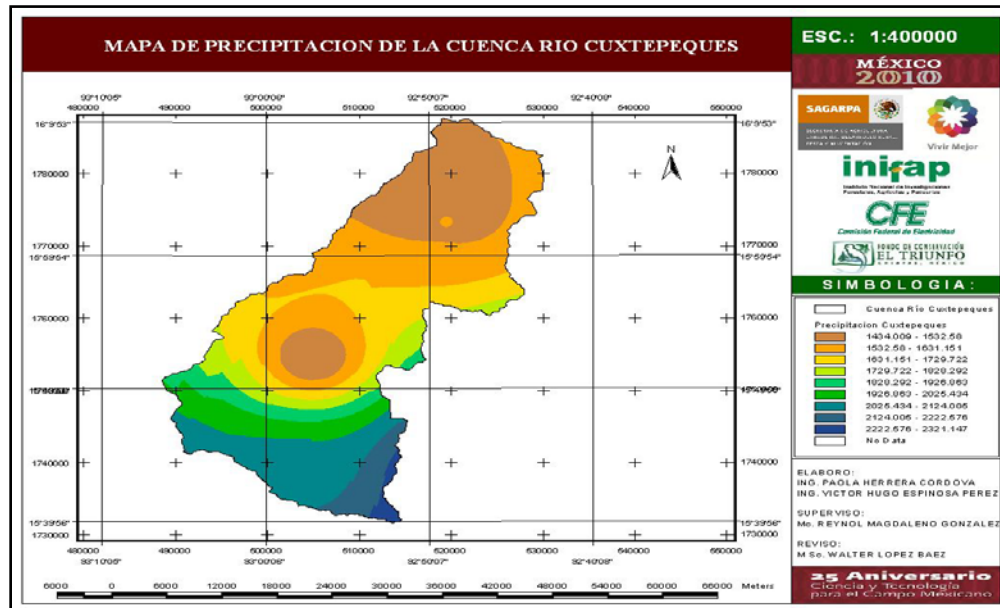


Figura 4. Mapa de precipitación de la cuenca del río Cuxtepeques

A pesar que existen 336 localidades dentro de la cuenca, solamente 3 tienen registro de acuerdo con el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), con una demanda de agua de solo 307 173 m³. La demanda más grande de agua no cuantificada es para el Distrito de Temporal tecnificado número 101 (con una presa de 100 millones de m³) para riego de 10410 ha y 52 km en su red de drenaje ubicada en la parte baja, por lo que es importante que se asegure la conservación de la REBITRI para que tanto el escurrimiento como la infiltración sean suficientes para cubrir la demanda actual de agua en la cuenca.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran la gran capacidad de la REBITRI para la captación de agua, con 2,5 veces mayor infiltración comparada con el área fuera de la REBITRI.

Esta situación está atribuida principalmente a la vegetación de bosque mesófilo de montaña, por lo que es de vital importancia la conservación de la REBITRI.

REFERENCIAS

Aparicio F. J. (2009). "Fundamentos de hidrología de superficie". 1ra Edición. Editorial Limusa, ISBN 968-18-3014-8. pp 303. México.

FIRCO (2002). "Diplomado Nacional de Rehabilitación de Microcuencas". Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. pp. 37.

INE (2004). "Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio Parque Nacional Pico de Tancitaro". Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. México. 47p. extraído de: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf en marzo de 2014.

Llerena C. (2003). “Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua. Conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú”. Foro Regional sobre sistemas de pago por servicios ambientales. Arequipa, Perú. pp 16.

López B. W., Castro M. I. y Camas G. R. (2014). “Servicio ambiental de la reserva de la biósfera El Triunfo, Chiapas, México”. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 35, no. 3, pp. 47-59. ISSN 1815-591X. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). Habana.

López B. W., Castro M. I., Reynoso S. R., Magdaleno G. R. y Salinas C. E. (2016). “Balance hídrico de la cuenca Pijijiapan, Chiapas, México”. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 37, no.2, pp. 18-28. ISSN 1815-591X. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). Habana.

Remenieras G. (1974). “Evaporación, transpiración y déficit de escurrimiento”. en Tratado de Hidrología Aplicada, Capítulo V, Editores Técnicos Asociados, 2ª. Edición, pp. 205–300, ISBN 9788471460288. Barcelona, España.

SARH-CP (1982). “Manual de conservación del suelo y del agua”. 2a edición, pp. 266. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

SEMARNAT (2002). “Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua”. Diario Oficial. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. pp. 1-17.

Villavicencio G. R., Martínez B. R., Toledo S. L. G., Guevara R. D. y Ávila R. C. (2014). “Infiltración de agua y medición del caudal de arroyos en la sierra de Quila”. Revista Mexicana Ciencias Forestales, vol. 5, no. 24. ISSN 2007-1132. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.