



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**DINÁMICA DEL FLUJO DE AGUA,
DURANTE LA LLUVIA, EN
ÁRBOLES DE SELVA BAJA
CADUCIFOLIA**

FINLANDIA BARBOSA MORENO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

La presente tesis titulada: DINÁMICA DEL FLUJO DE AGUA, DURANTE LA LLUVIA, EN ÁRBOLES DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA-realizada por la alumna: Finlandia Barbosa Moreno, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. DEMETRIO S. FERNÁNDEZ REYNOSO

ASESOR



M.C. ERASMO RUBIO GRANADOS

ASESOR



DR. IGNACIO SÁNCHEZ COHEN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril de 2015

DINÁMICA DEL FLUJO DE AGUA, DURANTE LA LLUVIA, EN ÁRBOLES DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA

Barbosa Moreno Finlandia, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

La Selva Baja Caducifolia se desarrolla en áreas semiáridas con déficit de agua y es la cubierta vegetal con la mayor extensión a nivel mundial y nacional con el 42% y 60% de cobertura, respectivamente. Una de las zonas que mejor representan éste biosistema en México es la Región Mixteca. La cobertura arbórea de esta selva, por la intercepción de las gotas de lluvia del dosel, impacta el escurrimiento y la erosión hídrica. Con el propósito de conocer el efecto del dosel en la intercepción de la lluvia, se midió el flujo caulinar, el flujo de dosel y la lámina interceptada por el follaje. Estas mediciones se usaron para establecer relaciones matemáticas, utilizando regresión lineal múltiple, que permitieron calcular sus magnitudes; a través de valores conocidos de lámina de lluvia, por evento, y geometría del dosel. Los registros se realizaron durante 2013, en 21 árboles (9 especies) predominantes de la Selva Baja Caducifolia, para 350 eventos de lluvia en cinco sitios representativos de la región Mixteca. Los árboles en promedio registraron un flujo de dosel del 66.5%, flujo caulinar del 6.1% e intercepción del 27.5%. La información de campo permitió identificar los mejores modelos para evaluar la dinámica del flujo de agua de lluvia. Entre valores observados y predichos se obtuvo un R^2 de 0.83 para la lámina interceptada, de 0.96 para flujo de dosel y de 0.67 para flujo caulinar. Estas relaciones son útiles para alimentar modelos de simulación que estimen el balance hidrológico de este ecosistema.

Palabras clave: Flujo de dosel, flujo caulinar, intercepción dosel, Región Mixteca.

WATER FLOW DYNAMIC, DURING RAINFALL, ON TREES OF TROPICAL
DECIDUOUS FOREST

Barbosa Moreno Finlandia, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

The Tropical Deciduous Forest develops in semiarid areas with water shortages and it is the most extensive land cover at global and national scale, covering 42% and 60% respectively. The area that best represent this biosystem in Mexico is the Mixteca Region. The trees' covering, on this forest, by canopy interception of raindrops, affects the runoff and water erosion. In order to know the canopy's effect on rain interception, stemflow, canopy flow, and foliage's rainfall interception were measured. These measurements were used to establish mathematical relationships, using multiple linear regressions, to assess their magnitudes; by knowing values of rainfall and canopy geometry. Measurements were made during 2013 in 21 trees (9 species) prevailing in the Tropical Deciduous Forest, for 350 rainfall events in five representative sites in the Mixteca Region. The trees on average recorded 66.5% for a canopy flow, 6.1% for stemflow, and 27.5% for rainfall interception. The field data allowed identifying the best models to assess rainfall's flow dynamics. Between observed and predicted values, were found a R^2 of 0.83 for rainfall interception, 0.96 for canopy flow and 0.67 for stemflow. These relationships are useful for model simulation to provide basic and essential information, on this ecosystem, on hydrological balances.

Key words: Canopy flow, stemflow, rainfall interception, Mixteca Region.

DEDICATORIA

A mis padres: Gilberto Melchor Barbosa Velasco, quien me ha enseñado el valor de la responsabilidad, perseverancia y confianza; Evelia Moreno Martínez quien nunca ha dejado de confiar en mí y me ha cuidado tanto como ella solo lo sabe hacer; a ustedes les debo todo lo que soy ahora, son mi vida y los quiero mucho.

A mis hermanos: María Eugenia y Pilar, quienes me han cuidado y confiado en mí, además de siempre apoyarme en todo lo que hago; y Luciano, quien ha sido mi guía y apoyo en todo momento; ustedes son parte de mí y de cada una de las metas que yo cumpla en mi vida, los quiero mucho.

A mis sobrinos: Gilberto Said, Ricardo Eliud y Evelyn por ser parte de mi alegría y hacerme ver las cosas de la forma más simple, los quiero a todos.

A mi abuela: Guillermina V. G. por sus consejos, apoyo y amor.

A mis cuñados por todo su apoyo brindado.

A todos mis amigos, los que están cerca y a los que casi no veo pero que con su amistad hemos compartido alegrías y enojos, sentimientos que son parte de la vida.

A todos les dedico este logro y gracias por ser parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el financiamiento de mi posgrado.

Al **Colegio de Postgraduados**, en específico a la Escuela del **Postgrado de Hidrociencias** por la capacitación académica brindada, sin duda alguna una escuela de excelencia en temas hidrológicos.

Al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias**, por el apoyo y la experiencia de trabajo tan invaluable.

Al **Dr. José Luis Oropeza Mota**, quien me ayudo en la dirección técnica del trabajo de investigación y que lamentablemente dejo incluso, donde quiera que este usted muchas gracias por su amistad y apoyo.

Al **Dr. Demetrio Salvador Fernández Reynoso**, por su constante trabajo en la revisión, orientación y dirección de la investigación.

Al consejo: **M.C. Erasmo Rubio Granados** por su acertada revisión científica del presente trabajo de investigación; y al **Dr. Ignacio Sánchez Cohen** por su notable revisión estadística de la tesis y sobre todo por sus consejos y opiniones en mi formación laboral y además muchas gracias doctor por su amistad, confianza y apoyo.

Al **Dr. José Rafael Contreras Hinojosa**, gracias por su valioso apoyo en todo, no solo en esta investigación si no en muchas actividades más, gracias por su amistad y su confianza.

Al **Dr. Martín Gómez Cárdenas**, gracias por sus consejos y opiniones tan valiosos en el desarrollo de la presente investigación.

Al **M. C. Anders Siggins** por la confianza y todo el apoyo brindado.

Al **Dr. Rafael Ariza Flores**, gracias por sus consejos y su apoyo en mi formación laboral.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS E HIPOTESIS	2
	Objetivo general	2
	Objetivos específicos	3
	Hipótesis	3
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
	Vegetación	4
	Flujo caulinar	4
	Flujo de Dosel	5
	Intercepción	6
	Selva Baja Caducifolia	6
	Región Mixteca	8
	Hidrología	8
	Uso de suelo	9
	Suelo	11
	Clima	13
	Altitud	16
	Fisiografía	16
	Geología	17
	Erosión	18
	Modelación de los flujos de agua precipitada	19
	Estudios antecedentes	20
IV.	MATERIALES Y METODOS	23
	Sitios de estudio	23
	Selección de la vegetación	24
	Cuantificación de los flujos de agua	26
V.	RESULTADOS	30
	Índices de Área Foliar de las especies	30
	Análisis de la Intercepción	32
	Evaluación del Flujo de Dosel	37
	Evaluación del Flujo Caulinar	40
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
	Conclusiones	44
	Recomendaciones	46
VII.	LITERATURA CITADA	47
VIII.	ANEXO. FRACCIONAMIENTO DE LA LLUVIA	57

CUADROS

Cuadro 1. Cartografía digital utilizada para identificar los sitios de estudio.....	23
Cuadro 2. Lugares representativos de la región Mixteca.	23
Cuadro 3. Especies estudiadas de árboles de Selva Baja Caducifolia, región Mixteca, México.....	30
Cuadro 4. Geometría de los árboles de Selva Baja Caducifolia seleccionados, región Mixteca, México.	31
Cuadro 5. Valores promedio observados de la fragmentación de la lluvia.....	32
Cuadro 6. Valores porcentuales observados para árboles de Selva Baja Caducifolia.	33
Cuadro 7. Valores observados del índice de área foliar y lámina interceptada para árboles de Selva Baja Caducifolia.....	35
Cuadro 8. Valores observados de índice de área foliar, precipitación, lámina interceptada y flujo de dosel para árboles de Selva Baja Caducifolia; región Mixteca, México.....	38
Cuadro 9. Valores observados de índice de área foliar, precipitación, lamina interceptada y flujo caulinar para arboles de Selva Baja Caducifolia; región Mixteca, México.....	41

FIGURAS

Figura 1. Ubicación nacional de la Selva Baja Caducifolia (Rzedowski, 2006).	7
Figura 2. Distribución del Uso Actual del Suelo, región Mixteca, México.	11
Figura 3. Unidades de suelo, región Mixteca, México.	12
Figura 4. Texturas del suelo, región Mixteca, México.	13
Figura 5. Rangos Térmicos de la región Mixteca, México.	13
Figura 6. Rangos de Precipitación (mm), región Mixteca, México.	14
Figura 7. Climograma para la estación Tlapa de Comonfort, Gro.	15
Figura 8. Climograma para la estación Huajuapán de León, Oax.	15
Figura 9. Rangos Altitudinales (msnm), región Mixteca, México.	16
Figura 10. Rangos de Pendiente, región Mixteca, México.	17
Figura 11. Lugares de estudio en la Región Mixteca, México.	24
Figura 12. Detalle de Fotografías Hemisféricas.	25
Figura 13. Unidad de medición en campo.	27
Figura 14. Estructura de la unidad experimental.	28
Figura 15. Comportamiento entre el IAF y la lámina interceptada para las especies de Selva Caducifolia, región Mixteca, México.	36
Figura 16. Lámina interceptada observada y calculada, especies de Selva Caducifolia, región Mixteca, México.	37
Figura 17. Flujo de dosel observado y calculado, especies de Selva Caducifolia, región Mixteca, México.	40
Figura 18. Flujo caulinar observado y calculado, especies de Selva Baja Caducifolia, región Mixteca.	43

I. INTRODUCCIÓN

La vegetación tiene un efecto en la regulación de los ciclos hidrológicos y el flujo de nutrimentos, sin menoscabo de la importancia de los servicios ambientales que oferta. Las plantas intervienen en el movimiento general del agua, lo cual hace necesaria la generación de parámetros que caractericen y cuantifiquen los componentes eco-fisiológicos en las diferentes coberturas forestales, especialmente en la Selva Baja Caducifolia (SBC), también conocido como “bosque seco tropical”, que provean elementos científicos útiles para la aplicación de modelos hidrológicos que permitan valorar los servicios ambientales y soporten las estrategias para su conservación y mejoramiento.

La SBC es un ecosistema frágil y de baja resiliencia que se caracteriza por su alto nivel de endemismo y estacionalidad. Este ecosistema se establece en formaciones montañosas con pendientes moderadas y fuertes. Se conforma básicamente por comunidades vegetales caducifolias con individuos de porte bajo y copas extendidas.

La vegetación de éste biosistema es la de mayor extensión a nivel mundial con un 42 % de las superficies continentales (Murphy-Lugo, 1986). En México, la SBC es el tipo de vegetación tropical que tiene la mayor distribución geográfica (60 %). Esta se localiza en una franja de la vertiente del Océano Pacífico, desde el estado de Sonora hasta Chiapas, y en pequeños fragmentos o áreas aisladas a lo largo de todo el territorio nacional; donde la vegetación ha desarrollado características físicas para solventar lluvias escasas (Trejo, 1999).

El principal problema que presenta éste ecosistema, para su preservación, es el cambio de uso de suelo. Se estima que anualmente se pierden 650 mil ha por diferentes causas entre las que destaca el sobrepastoreo, es decir el incremento de áreas de agostadero, y solo el 30%, de éste tipo de selva tiene escaso grado de perturbación (García *et al.*, 2005).

En ambientes climáticos semiáridos, comunes en el área de SBC de México, el efecto de la vegetación es importante porque regula los diferentes procesos hídricos como

la intercepción de la precipitación y el escurrimiento. La capacidad de intercepción de la lluvia para especies vegetales de clima semiárido es un tema muy poco estudiado.

El presente trabajo analiza la distribución del agua de lluvia precipitada sobre las principales especies arbóreas presentes en las comunidades vegetales de SBC. El área de estudio fue la Región Mixteca, en la confluencia de los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero, donde el pastoreo, desde la época de la colonia, ha perturbado de manera importante la densidad arbórea y en consecuencia ha propiciado la degradación de los suelos originalmente cubiertos por este tipo de selva (Steffen, 2001).

Un programa de intervención que busque atenuar los problemas de degradación en los agostaderos inducidos requerirá cuantificar, para una correcta estimación de la relación escurrimiento-erosión, el efecto de la vegetación. En este sentido, el presente trabajo evalúa, en función de la lámina precipitada y la geometría del dosel, la fracción de la lluvia que escurre por el tallo, la que atraviesa el follaje y la que retiene el follaje. Todos ellos parámetros hidrológicos útiles en modelos de simulación como, KINEROS (*Kinematic Runoff and Erosion Model*), WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) y EUROSEM (*European soil erosion model*), para cuantificar el escurrimiento, la infiltración y la erosión en estas comunidades vegetales.

II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

Objetivo general

Determinar y cuantificar los flujos de agua de las principales especies arbóreas nativas que crecen en el ecosistema de Selva Baja Caducifolia de la Región Mixteca (Puebla, Oaxaca y Guerrero), con el fin de generar parámetros básicos útiles en modelos de simulación hidrológica.

Objetivos específicos

Cuantificar la intercepción del agua precipitada en función de la geometría del dosel.

Estimar el flujo de agua a través del dosel en función del evento de lluvia y la geometría del dosel.

Calcular el flujo caulinar en función de la cantidad de lluvia y la geometría del dosel.

Hipótesis

Es factible establecer relaciones matemáticas para estimar el flujo caulinar, el flujo de dosel y la lámina interceptada en función de la lámina de lluvia y el índice de área foliar.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Vegetación

La cubierta vegetal interviene en las diferentes fases del ciclo del agua líquida, desde las entradas hasta las salidas, es decir desde lo que se denomina “depósito de agua” hasta la “pérdida de agua” en donde el agua se transforma en gas y se direcciona hacia la atmósfera. La vegetación sirve como un factor que regula el equilibrio del ciclo hidrológico y representa el elemento intermedio entre el suelo y la precipitación; en éste proceso de regulación hídrica intervienen diferentes factores como el clima, la geología, el relieve, el tipo de vegetación y la precipitación, de forma principal.

El estudio del equilibrio hídrico que proporcionan las plantas, con respecto a la precipitación, requiere de observar la división física de la lluvia en la vegetación y analizar sus componentes; para el análisis cuantitativo es necesario usar modelos matemáticos y de esta manera representar el sistema hidrológico del fraccionamiento de la lluvia. Este fraccionamiento se compone de dos tipos de flujos, el flujo caulinar y el flujo de dosel que en conjunto con la precipitación ocurrida, permite estimar la interceptación de la plantas (Rodrigues *et al.*, 2015).

Los elementos que intervienen en la cuantificación de la interceptación son el flujo de dosel y el flujo caulinar. El flujo de dosel se define como el agua proveniente de la precipitación que atraviesa, en forma de gotas, el dosel de las plantas y los espacios libres del follaje. El flujo caulinar, es el agua proveniente de la precipitación que escurre por el tronco o eje principal de las plantas; y la interceptación es el agua precipitada que es retenida de forma temporal por la superficie de las plantas para que después sea evaporada a la atmósfera (Méndez, 2013).

Flujo caulinar

El escurrimiento de la precipitación en el tallo de las plantas, se le denomina flujo caulinar o escurrimiento fustal y representa una forma de acumulación de nutrientes y agua en la zona cercana a la base del tallo y cerca del suelo, lo cual facilita la entrada

de dichos nutrientes al suelo y favorece la recarga natural de agua. El escurrimiento fustal es un mecanismo de adaptación de las plantas al estrés hídrico (García *et al.*, 2010).

El agua precipitada en el tallo inicia de arriba hacia abajo de la planta, una vez que el dosel se ha saturado de precipitación. En esta dirección el flujo de agua líquida genera muchos beneficios como: la termorregulación del tallo de la planta, la infiltración del agua en el suelo, mejora la solución nutritiva del suelo, favorece la humedad del suelo, interviene en el patrón de distribución individual de la vegetación, y tiene una influencia significativa en la generación de escorrentía con lo cual previene la erosión hídrica del suelo (Xiao *et al.*, 2008).

El dosel de la vegetación o la copa de los árboles redistribuyen la precipitación en el suelo a través del flujo caulinar por lo cual el agua se puede almacenar en el suelo para ser usada por las plantas en condiciones de sequía (Llorens-Domingo, 2007). El escurrimiento fustal es el tipo de flujo más importante en ecosistemas semiáridos como el de SBC.

Flujo de Dosel

La precipitación que cae sobre las copas de los árboles, o el dosel de las diferentes plantas, se llama flujo de dosel. Este flujo ocupa entre el 70 y 80 % del total de la lluvia que detienen las plantas anualmente. La suma de la precipitación que escurre sobre el dosel y la que atraviesa los espacios vacíos del mismo es lo que conforma el flujo de dosel o traslocación (Seyed *et al.*, 2015).

La lluvia que cae sobre la vegetación es captada de forma temporal por las hojas y ramas, que es lo que compone el dosel de las plantas, la parte que no es retenida por el dosel escurre por los espacios vacíos del área foliar total, a ésta lluvia se le denomina lluvia interfoliar (Flores *et al.*, 2013). La precipitación interfoliar es importante en el control del escurrimiento, porque el obstáculo físico que ofrece el dosel disminuye la velocidad de caída de las gotas de lluvia y con ello se atenúa la erosión hídrica.

Al flujo de dosel entonces se le puede llamar traslocación o lluvia interfoliar y en los ecosistemas semiáridos como el de la SBC, juega un papel importante en la generación de agua disponible para las plantas, al mismo tiempo que interviene en la regulación del escurrimiento proveniente del agua precipitada en el suelo.

Intercepción

El proceso de intercepción de la lluvia, es la precipitación total que la vegetación retiene o capta de forma temporal durante un evento de lluvia, por lo que la intercepción es el principal factor por medio del cual las plantas intervienen en la producción y regulación del agua en un ecosistema (Holko, 2010).

La lluvia de intercepción es un proceso de gran variabilidad por las especies de plantas (arquitectura de la copa y distribución de las hojas) y las características de la precipitación (tamaño y tipo); también depende de algunas condiciones meteorológicas como la velocidad del viento y la presión de vapor de agua. Los efectos de la intercepción son entre otros, la redistribución espacial y temporal de la humedad en el suelo y en las plantas, la reducción de la erosión del suelo y la disminución en la concentración de contaminantes (Xiao *et al.*, 2000).

La cuantificación de la intercepción depende de los métodos de medición y monitoreo, los más utilizados son los de medición directa, en los cuales con pluviómetros se mide el volumen de agua precipitada. Estos métodos son los que mejor representan el proceso físico de la intercepción y evitan la variabilidad en el muestreo y el tipo de planta, ya que muchos otros se enfocan a medir series de varios tipos de plantas y extrapolar los resultados para diferentes ecosistemas (Holwerda *et al.*, 2006).

Selva Baja Caducifolia

La SBC se conoce también como bosque tropical caducifolio, bosque tropical deciduo, bosque tropical seco o bosque tropical seco estacional; es un ecosistema que tiene gran diversidad de especies, sin embargo en condiciones ambientales extremas de temperatura y humedad baja, dicha diversidad disminuye (Silva *et al.*, 1996). Este tipo de ecosistema se establece hasta los 1600 msnm, en climas del trópico húmedo

subhúmedo y en zonas con temperatura promedio de 20°C y precipitación promedio de 800 mm. Se caracteriza por la presencia de una temporada seca anual que dura entre 7 y 8 meses, además de tener el 25 % de las especies endémicas a nivel de género y el 40 % de las mismas a nivel de especie (Rzedowski, 2006). En la Figura 1 se observan las áreas donde se localiza la SBC.



Figura 1. Ubicación nacional de la Selva Baja Caducifolia (Rzedowski, 2006).

La vegetación de este tipo de bosque está compuesta de forma principal por árboles de copas extendidas con alturas promedio entre 7 y 8 m, y estratos arbustivos densos. Las familias de las especies vegetales con mayor predominancia en la SBC son la Leguminosae, Euphorbiaceae, Burseraceae, Cactaceae, Malphigiaceae y Anacardiaceae. De forma general, casi todas las plantas que pertenecen a éste tipo de selva, crecen en laderas de pendientes moderadas a fuertes y suelos someros (Trejo, 1996).

La distribución de éste tipo de selva incluye las cuencas del río Santiago y el Balsas, se extiende desde el sur de Sonora (29° latitud norte) y el suroeste de Chihuahua hasta Chiapas. En la vertiente del océano Atlántico se puede observar su presencia al sur de Tamaulipas, sureste de San Luis Potosí, el extremo norte de Veracruz y al norte de Yucatán. El bosque tropical caducifolio también se ha establecido en la zona central del país, en la región del Bajío y el Mezquital del Altiplano mexicano (Castillo *et al.*, 2007).

De acuerdo con Trejo y Dirzo (2000) este tipo de cobertura, en el territorio nacional, disminuye por la expansión agrícola y ganadera y el desarrollo de la infraestructura turística e industrial. En 2003 las selvas secas ocupaban 33. 51 millones de hectáreas y en la actualidad se disponen de 22.12 millones de hectáreas (Challenger-Soberón, 2008); para combatir esta problemática una de las alternativas de solución es valorar la importancia de las diversas especies que crecen en este ecosistema.

Las características fisonómicas principales de este ecosistema son: corta altura de sus componentes arbóreos (4 a 10 m), copas muy abiertas, y pérdida de sus hojas durante un periodo de 5-7 meses; lo que provoca un contraste en el color de la vegetación entre la época seca y la lluviosa. Las especies en la SBC tienen exudados resinosos o laticíferos, sus hojas despiden olores fragantes o resinosos al estrujarlas y dominan las hojas compuestas y/o cubiertas con abundante pubescencia. Con frecuencia los troncos de los árboles son cortos, robustos, torcidos y ramificados; cerca de la base, muchas especies presentan cortezas escamosas, piráceas y con protuberancias espinosas o corchosas. Un número elevado de especies tienen la capacidad de reproducir vástagos en forma de tocones y chupones. El estrato herbáceo es bastante reducido y solo se puede apreciar en el inicio de la época de lluvias. Los bejucos son abundantes y las plantas epífitas que se encuentran principalmente son Bromeliáceas como *Tillandsia spp.*

Región Mixteca

La región de la Mixteca se conforma de 194 municipios que pertenecen al estado de Oaxaca (GP, 2007), 16 municipios a Guerrero y 44 a Puebla, es una de las regiones más pobres en términos de marginación y pobreza, que van desde los niveles altos a muy altos.

Hidrología

La región se ubica en las cuencas hidrológicas V Pacífico Sur y VI Balsas. En 2004, para la región Pacífico Sur la disponibilidad media de agua fue de 32,508 hm³, el escurrimiento medio superficial total fue de 30,799 hm³, la recarga media total de

acuíferos fue de 1,709 hm³ y el volumen concesionado fue de 1,268 hm³. En el mismo año, para la región del Balsas la disponibilidad de agua natural media fue de 28,924 hm³; el escurrimiento medio superficial total fue de 24,944 hm³ y la recarga media total de acuíferos fue de 3980 hm³ (CONAGUA, 2011).

A nivel regional no se tienen datos exactos de la disponibilidad de agua, sólo estudios de modelos para evaluar la disponibilidad de agua superficial (Álvarez *et al.*, 2011), pero en lo que se refiere al consumo de agua, una familia en promedio sobrevive para sus necesidades básicas con solo siete litros de agua al día, esto se debe a que desde el punto de vista cultural, la población rural tiene una historia antecedente en el manejo y uso eficiente del agua.

La distribución variable de precipitaciones en la región, ocasiona en algunas zonas erosión hídrica por lo intenso de las lluvias y en otras la escasez de agua. Una de las prácticas más comunes en la población para solventar el problema de la escasez, es canalizar el agua de los manantiales que de forma natural se encuentran en algunas localidades.

La presencia de manantiales demuestra el gran potencial que tiene la región para la recarga natural de agua a través de la infiltración; sin embargo, en gran parte del territorio la superficie del suelo se encuentra desprovista de vegetación, lo que favorece el escurrimiento sobre la infiltración (López, 2009).

Valencia *et al.* (2006) señala que para evitar resultados negativos, como aquellos provenientes de numerosos trabajos hechos en la región, encaminados a reforestar para incrementar la cobertura vegetal, es necesario utilizar especies vegetales que mejoren las condiciones físicas del suelo; con buena producción de residuos vegetales y adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas de la región.

Uso de suelo

En la región Mixteca la vegetación se compone de *Pinus* y *Quercus*, matorrales, pequeñas áreas con bosque tropical caducifolio y mesófilo de montaña (García *et al.*, 1994). Berumen (2004) reporta la presencia de SBC, selva baja espinosa y pastizal

inducido. El componente vegetal de la Mixteca se encuentra representado por 2703 especies incluidas 189 familias entre las que destacan, Cactaceae, Compositae, Gramineae, Orchidaceae y helechos, muchas de las cuáles son usadas como alimento (127 especies), forraje (122), uso medicinal (60) y combustible (92).

A lo largo del territorio nacional se distribuye una gran diversidad de comunidades vegetales naturales como los bosques, selvas, matorrales y pastizales, junto con amplios terrenos dedicados a actividades agrícolas, ganaderas, acuícolas y zonas urbanas. A las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se les conoce como “uso del suelo”.

En los lugares donde no ha habido modificación, o ésta ha sido ligera, y el suelo sigue cubierto por la vegetación natural, se le considera como primaria. En contraste, si ha ocurrido alguna perturbación considerable, removido parcial o totalmente la cubierta vegetal primaria, la vegetación que se recupera en esos sitios se le conoce como secundaria y puede ser muy diferente (estructural y funcionalmente) a la original. El caso extremo de transformación es cuando se elimina por completo la cubierta vegetal para dedicar el terreno a actividades agrícolas, pecuarias o zonas urbanas, éstas se conocen como coberturas antrópicas.

La superficie del país está cubierta por cuatro formaciones vegetales principales, bosques y selvas (en los que predominan formas de vida arbórea), matorrales y pastizales. Los primeros generalmente localizados en regiones templadas y las segundas en zonas con clima tropical (también conocidas como bosques tropicales) y mucho más ricas en especies. Los matorrales, cubierta vegetal dominada por arbustos, están muy extendidos en el país y se localizan principalmente en zonas áridas o semiáridas. Por último, los pastizales se caracterizan por estar dominados por plantas de porte herbáceo, generalmente pastos, y se localizan sobre todo en la parte central del norte del país.

En la zona de estudio, región Mixteca, prevalece la SBC, bosque de encino, pastizal inducido y las áreas de agricultura de temporal. La SBC se localiza desde el nivel del mar hasta los 1,700 msnm donde la temperatura media anual es superior a 20° C y

las precipitaciones medias anuales de 800 mm, máximo 1,200 mm, con una temporada seca severa que puede durar de 7 a 8 meses.

Las formas de vida suculentas son frecuentes en particular en los géneros *Agave*, *Opuntia*, *Stenocereus* y *Cephalocereus*. La selva se desarrolla de forma preferente en terrenos de ladera, pedregosos con suelos someros, arenosos o arcillosos con fuerte drenaje superficial (Pennington-Sarukhán, 2003).

En la Figura 2 se presenta, delimitado por el polígono en rojo, el Uso del Suelo de la zona de estudio.

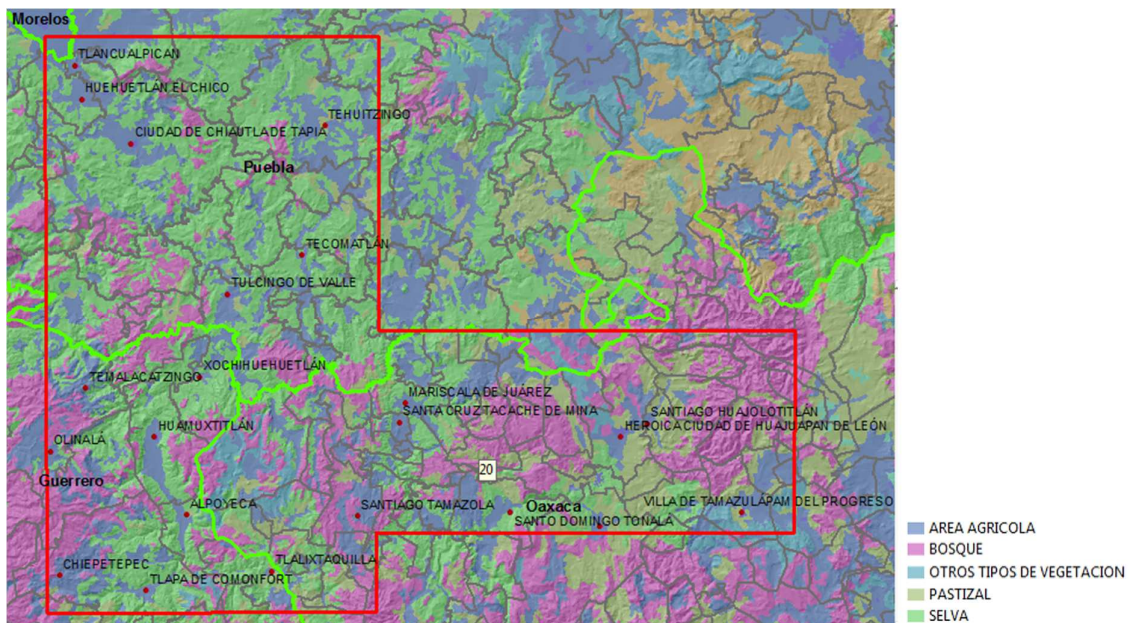


Figura 2. Distribución del Uso Actual del Suelo, región Mixteca, México.

Suelo

Los suelos de la Mixteca tienen un pH promedio de 6.8 a 8.7, básico, se caracterizan por tener bajos contenidos de materia orgánica y nutrimentos minerales, textura media y pendientes entre 9 y 20 %. Con base en la clasificación de la FAO las clases de suelo predominantes de la región son los litosoles, regosoles y feozem que tienen una profundidad promedio de 25 a 50 cm.

El suelo predominante en el área es el Litosol de color negro o gris muy oscuro y tiene desde 10 cm de profundidad en laderas (pendientes abruptas con alto riesgo de erosión) hasta 50 cm en los valles. También son frecuentes los suelos Feozem, ricos en materia orgánica, textura media, buen drenaje y adecuada ventilación. En general son suelos someros, muy inestables y casi siempre pedregosos, por lo que se aprovechan para el pastoreo. En la Figura 3 se presenta la distribución de las clases de suelos en la región Mixteca, mientras que en la Figura 4 se muestra la distribución de las clases texturales, donde se puede observar que en la zona de estudio predominan suelos Francos o de textura media (45% de arena, 40% de limo y 15% de arcilla).

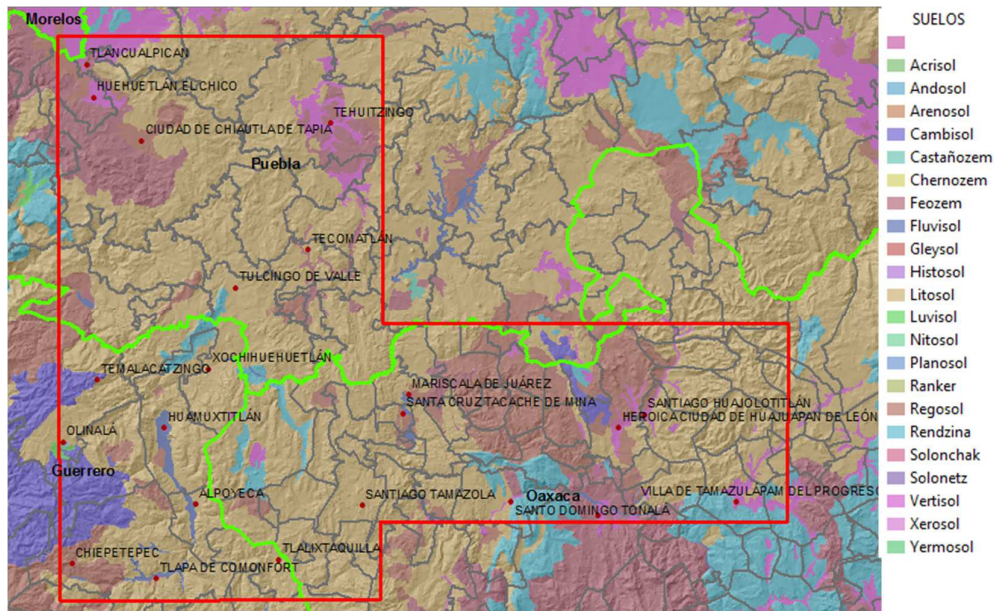


Figura 3. Unidades de suelo, región Mixteca, México.

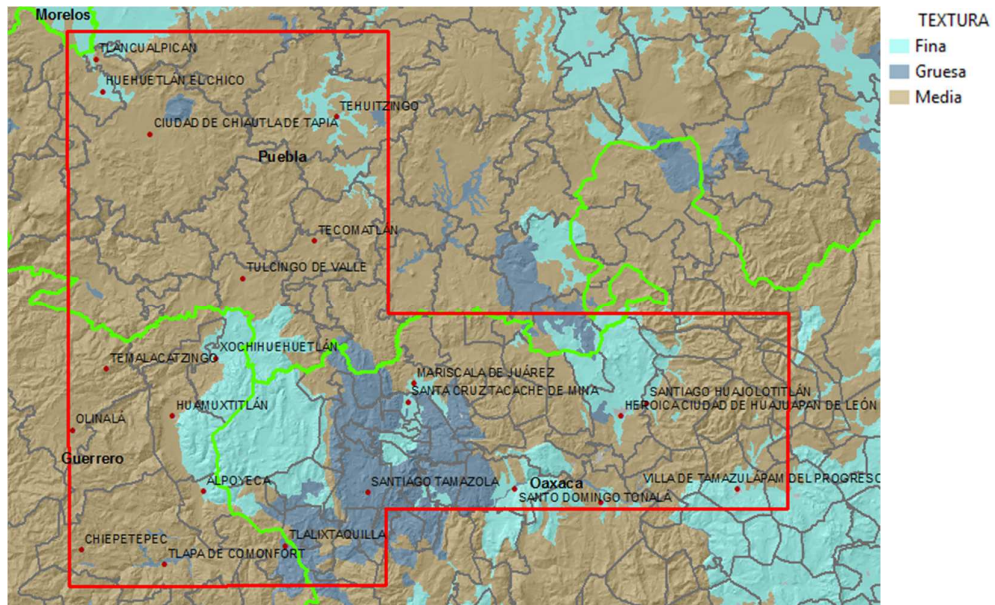


Figura 4. Texturas del suelo, región Mixteca, México.

Clima

Los climas predominantes en la región son los templados subhúmedos, semicálidos (20-25°C) subhúmedos y templados semisecos, con una temperatura media anual entre los 12 y 22 °C, la precipitación anual es variable, de 300 a 750 mm (López, 2009). En la Figura 5 se presentan los Rangos Térmicos en el área de estudio.

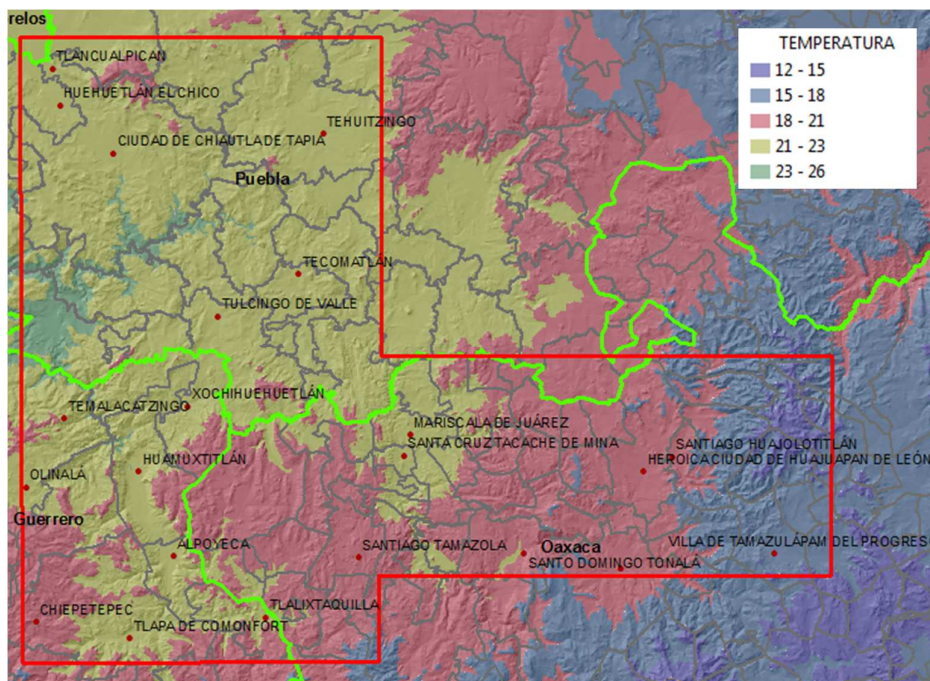


Figura 5. Rangos Térmicos de la región Mixteca, México.

Los rangos pluviales anuales históricos, en el área de estudio, se encuentran entre los 400 y 1200 mm. En la Figura 6 se presenta la distribución de los valores de precipitación medios en la región, mientras que en las Figuras 7 y 8 se muestran los Climogramas correspondientes a algunas de las estaciones meteorológicas que se ubican en la zona, se observa en éstas la homogeneidad de las temperaturas medias y la variación en la cantidad y distribución mensual de la lluvia.

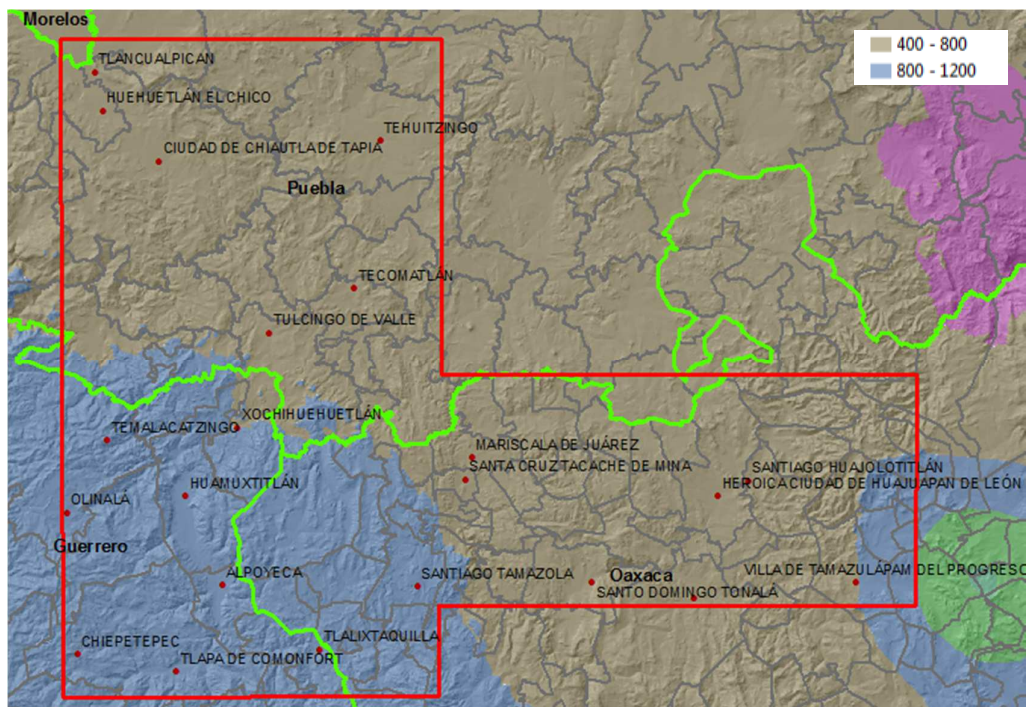


Figura 6. Rangos de Precipitación (mm), región Mixteca, México.

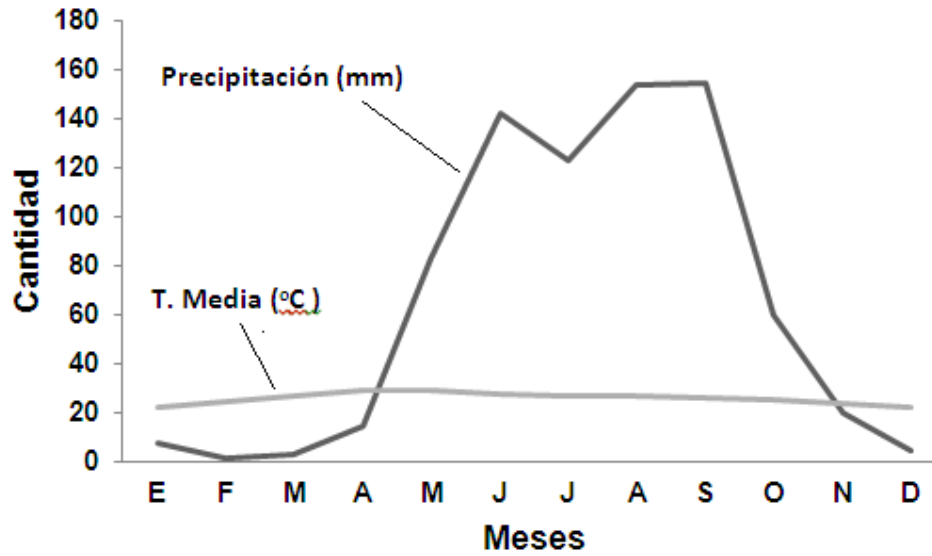


Figura 7. Climograma para la estación Tlapa de Comonfort, Gro.

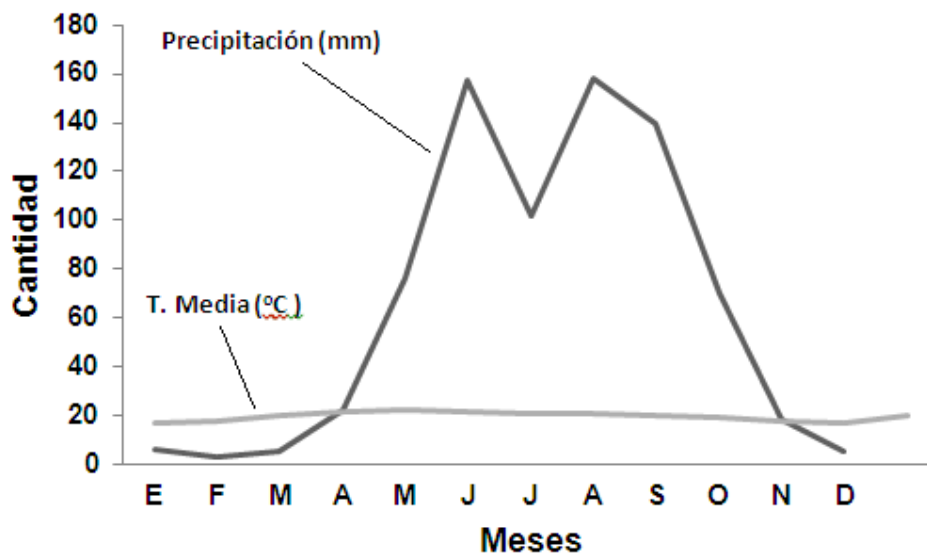


Figura 8. Climograma para la estación Huajuapán de León, Oax.

En el área de estudio prevalecen climas como el Semiseco muy cálido, Semicálido Subhúmedo y Cálido Subhúmedo.

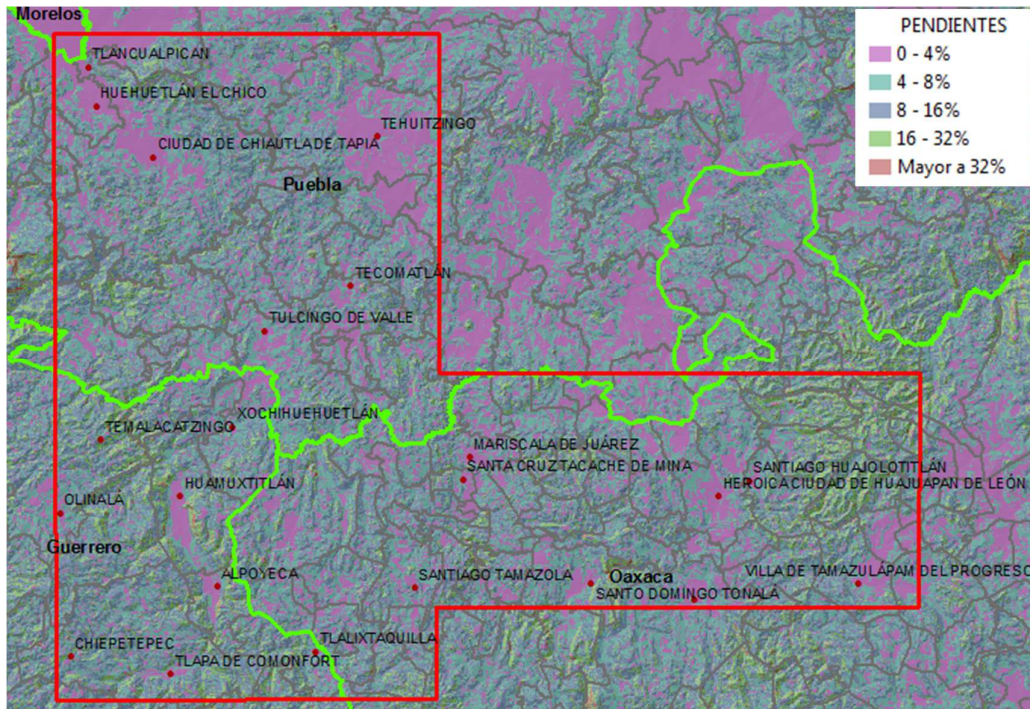


Figura 10. Rangos de Pendiente, región Mixteca, México.

Geología

La región Mixteca está constituida por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas de edades del Jurásico tardío, Paleozoico y Precámbrico. En la región se localizan diversas regiones Mesozoicas, es decir de la Era Secundaria (de hace más de 220 millones de años), pertenecientes a los períodos Triásico, Jurásico y Cretácico, este último que data de los 110 a los 70 millones de años de antigüedad, está bastante desarrollado. La geología de la Mixteca muestra que ha sufrido un proceso de emersión repetida, que data desde el Triásico, hace más de 200 millones de años (García *et al.*, 1994).

En esta zona es probable que se formó parte del Geosinclinal “Centroamericano Antillano” que estuvo emergido desde el Proterozoico (hace más de 600 millones de años) y que se fue hundiendo de forma lenta, a la vez que se acumulaban sedimentos; quedo totalmente formado durante el Paleozoico (hace 60 a 70 millones de años) y sirvió de base para los plegamientos marginales que se formaron en el período posterior, uno de estos se denomina ahora “Escudo Mixteco” (Ortega *et al.*, 1992).

Los estudios realizados demuestran que el escudo permaneció emergido hasta el Triásico Inferior (220 a 230 millones de años) y que a partir del Triásico Superior inició una transgresión (nueva inmersión) y la deposición de sedimentos residuales o detríticos sobre la superficie ya erosionada del escudo (Torales, 2008).

Por la naturaleza de los sedimentos se considera que los mares que cubrieron la región fueron poco profundos. La estratigrafía de éstos muestra en las primeras capas depósitos lacustres; en las intermedias abundan los acarreos fluviales y las superficiales fueron formadas probablemente en bahías o esteros (Guerrero, 2002).

En el Jurásico los mares fueron más profundos y se extendieron hasta las Montañas Rocallosas de tal forma que ocuparon un área mayor. En las cuencas de los ríos Huajuapán, Mixteco y Atoyac existen depósitos Triásicos. Al finalizar el Cretácico Medio (70 a 85 millones de años) un nuevo movimiento de inmersión disminuyó la profundidad de los mares, razón por la cual actualmente se pueden encontrar muchas regiones con depósitos de yeso. En el Cretácico Superior tuvo lugar una nueva inmersión (Ortega *et al.*, 1992).

La serie de movimientos ha dado como resultado un relieve montañoso, que son plegamientos de origen sedimentario, aunque también existen algunas formaciones volcánicas y metamórficas.

La composición esencial de la roca madre la integran la Caliza (carbonato de calcio); Marga (carbonato de calcio y arcilla); Andesita (roca poco ácida, 59% de Sílice y otros Feldespatos, como los Sódicos y el Cálculo o Plagioclasa); Basalto (roca negra o verdosa muy dura); Riolita (roca volcánica ácida 69% de Sílice); Traquita (roca volcánica parecida al Pórfido); Granito (roca dura, Feldespato, Cuarzo y Mica) y Pizarra Cristalina (piedra blanda azul) (INEGI, 1987).

Erosión

Producto de su historia geológica y ubicación geográfica, la región es una de las áreas con las mayores tasas de erosión a nivel nacional. La erosión hídrica se reconoce como la principal forma de remoción del suelo, con una superficie afectada de 232,105

ha, donde en promedio se pierden dos centímetros de suelo al año. Algunos investigadores indican que la tasa de erosión, en el 59 % de su superficie, es superior a 50 ton/ha/año (Rivas *et al.*, 2006). Otros autores, como Valencia *et al.*, (2006) señalan que en el 46 % de la región se pierden de 50 a 200 ton/ha/año de suelo, mientras que en el 39 % de la superficie se pierden entre 10 y 15 ton/ha/año. Contreras *et al.* (2005) mencionan que en el 95 % de la superficie regional existe la presencia de algún grado de erosión. .

Contreras *et al.* (2003) afirman que los porcentajes de cobertura vegetal para una comunidad representativa de la región Mixteca van del 26 al 55 %, con predominancia de pastos y arbustos en áreas erosionadas.

Modelación de los flujos de agua precipitada

La medición del flujo de agua en plantas consiste en cuantificar la lámina de agua de la precipitación, que cae sobre éstas, en espacio y tiempo, y utilizar diferentes modelos, los cuáles se construyen a partir de las características in situ o propias del ambiente climático en donde crecen las especies vegetales.

Los modelos se utilizan para evaluar el comportamiento del flujo de agua y determinar la influencia real de las plantas en la ganancia (infiltración) y pérdida de agua (intercepción).

En el análisis de la intercepción de la precipitación por parte de la vegetación, la generación de modelos es importante y los elementos que sirven en la elaboración de los mismos para las especies vegetales (Van Dijk-Bruijnzeel, 2001; Bulcock-Jewitt, 2012; Dohnal *et al.*, 2014; Clark *et al.*, 2008; Bulcock-Jewitt, 2010 y Muzylo *et al.*, 2009) en estudio son: los valores de flujo de dosel y flujo caulinar, éstos permiten calcular la intercepción de una forma genérica, para conocer el comportamiento de este proceso de manera específica por cada especie vegetal, es necesario considerar factores como el índice de área foliar (IAF) (Boken-Chandra, 2012; Luo *et al.*, 2002 y Martin *et al.*, 2013).

La intercepción, el flujo caulinar y el flujo de dosel están en función del IAF y la precipitación, por lo que para un evento de lluvia de gran magnitud, una vez saturado el dosel y de acuerdo a la especie, toda el agua precipitada va a escurrir por el tallo y atravesar el dosel.

Estudios antecedentes

Se han hecho numerosos estudios en la región que tienen que ver con evaluar y conocer especies vegetales nativas y arbóreas (Guízar *et al.*, 2010), (Hernández *et al.*, 2008) y con el fin de restaurar suelos (Martínez *et al.*, 2006; Ruíz *et al.*, 2005 y Fernández *et al.*, 2011). Sin embargo, se ha puesto poca atención a la cuantificación del agua in situ en la vegetación, en esta medición uno de los fenómenos físicos poco estudiados es la intercepción del agua en especies vegetales nativas que crecen en áreas de agostadero de la SBC, tales como las que se encuentran en la región Mixteca.

El proceso de intercepción de la lluvia empieza con la caída de agua sobre la vegetación, una parte de la misma atraviesa el follaje y disminuye la velocidad de caída y la energía cinética del agua precipitada, otra mínima parte escurre por el tronco o eje principal de las plantas y puede alcanzar la superficie del suelo (Ufoegbune *et al.*, 2010; Maloney *et al.*, 2002).

El proceso físico de la intercepción del agua por acción de la vegetación se ha explicado, sin embargo existen factores específicos que controlan la cantidad de agua interceptada tales como: el tamaño, intensidad, duración y frecuencia de la precipitación; topografía; dirección y velocidad del viento; presencia de nieve (Guerrits *et al.*, 2010); y características de la vegetación como arquitectura, edad, densidad, forma, orientación y tamaño de las hojas (Maloney *et al.*, 2002); con base en las anteriores características, en promedio la intercepción de lluvia por la vegetación es del 15 al 35 %, para los árboles de coníferas es del 20 al 40 % y en los árboles de hoja caduca es del 20 al 25 % (Petan *et al.*, 2008 y Toba-Ohta, 2005).

Los elementos que intervienen en la cuantificación de la intercepción son el flujo de dosel y el flujo caulinar. El flujo de dosel se define como el agua proveniente de la

precipitación que atraviesa el dosel de las plantas en forma de gotas y por los espacios libres del follaje. El flujo caulinar, es el agua proveniente de la precipitación que escurre por el tronco o eje principal de las plantas; y la intercepción es el agua precipitada que es retenida de forma temporal por la superficie de las plantas para que después sea evaporada a la atmósfera (Méndez, 2013).

La precipitación interceptada en promedio para una misma especie de bosque de montaña es del 21 %, el flujo de dosel del 77% y el flujo caulinar de menos del 2 % (Munishi y Shear, 2005), este comportamiento no es el mismo entre varias especies diferentes, por ejemplo para pino, guaje, neem melina y teka la intercepción es del 18%, 21 %, 26 %, 11 % y 38 %, respectivamente (Ufoegbune *et al.*, 2010), y de diferentes edades como lo muestra Sun *et al.*, (2013) en donde la intercepción para abetos jóvenes fue del 28 %, en el caso de los maduros del 25 % y los seniles de un 31 %.

En el campo del estudio de la intercepción de la lluvia la mayor parte de los trabajos experimentales se han realizado en zonas de bosque de diferentes especies de árboles como bambú (Cantu-Okumura, 1996), haya (Ahmadi *et al.*, 2009), melina (Amori *et al.*, 2012), maquis (Baloutsos *et al.*, 2009), encino (Hosseini *et al.*, 2012 y Xiao *et al.*, 2000), abeto (Sun *et al.*, 2013), y algunas especies de bosque urbano como la jacaranda (Xiao – McPherson, 2003); también muchos de los trabajos están orientados a determinar un balance hidrológico en bosques de elevada altitud como lo es el bosque mesófilo de montaña donde el objetivo es utilizar la intercepción de la lluvia como un factor para determinar la disponibilidad de agua en términos de lámina (Muñoz *et al.*, 2012).

En las áreas semiáridas la restricción acerca del análisis de la intercepción de la lluvia se hace más evidente y es en éstas donde en la mayoría de los casos se subestima el porcentaje de intercepción. La medición de este proceso en condiciones áridas y semiáridas se ha hecho en árboles de bosque como: coníferas, donde la variación de la intercepción es del 11 al 51 % para una misma especie (Xu *et al.*, 2013); huizache, en donde se registra en promedio del 15 al 27 %; mezquite, con valores del 17 al 27 % (Mastachi *et al.*, 2010); acacia, del 1.12 al 3.6 % y huamúchil, del 1.5 al 10.3 % (Návar *et al.*, 2008).

En este tipo de zonas el recurso agua es importante y por ello algunos estudios se orientan más al análisis de la relación del flujo caulinar con la infiltración y recarga de acuíferos; de acuerdo a datos obtenidos por Návar, (2011), una precipitación mayor a 15 mm produce agua para recarga.

En el marco de los trabajos experimentales ya mencionados, es necesario decir que no se disponen de estudios específicos de la intercepción de la lluvia, por medio de modelos, para la generación de parámetros hidrológicos en especies vegetales nativas del ecosistema de SBC, a nivel internacional, motivo por el cual se introduce la presente investigación desarrollada en diferentes sitios de estudio de la región Mixteca.

IV. MATERIALES Y METODOS

Sitios de estudio

Con el objetivo de evaluar la intercepción de la lluvia, en las principales especies vegetales nativas del ecosistema de SBC, se seleccionaron dos lugares representativos de la región Mixteca para el estado de Puebla y Guerrero, y uno para Oaxaca. Esta selección se realizó con base en la cartografía del área de estudio que se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cartografía digital utilizada para identificar los sitios de estudio.

Mapa	Escala / Resolución	Fuente
Uso de suelo	1 : 250,000	INEGI S-II (2004)
Unidades de suelo	1 : 250,000	INEGI (2004)
Temperaturas	1 dato cada 90 m	INIFAP (2013)
Precipitación	1 dato cada 90 m	INIFAP (2013)
Altitudes	1 dato cada 90 m	INEGI (1995)
Pendientes	1 dato cada 90 m	INIFAP (2013)
Climas	1 : 1'000,000	CONABIO (2002)
Texturas	1 : 250,000	INEGI (2004)
Geología	1 : 250,000	INEGI (2004)

Los sitios de estudio son los que se muestran en el Cuadro 2, y se ubican con puntos rojos y asteriscos verdes en la Figura 11.

Cuadro 2. Lugares representativos de la región Mixteca.

Localidad	Estado	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Pendiente (%)
San Pedro Añãñe	Oaxaca	17°31'30.1"	97°22'08.4"	2180	2 a 8
Tecomatlán	Puebla	18°07'17.0"	98°18'25.2"	964	2 a 12
Tehuizingo	Puebla	18°20'18.8"	98°16'49.9"	1071	2 a 28
Xochihuehuetlán	Guerrero	17°53'51.2"	98°29'22.3"	1064	2 a 10
Huamuxtitlán	Guerrero	17°46'46.3"	98°34'54.3"	934	2 a 4

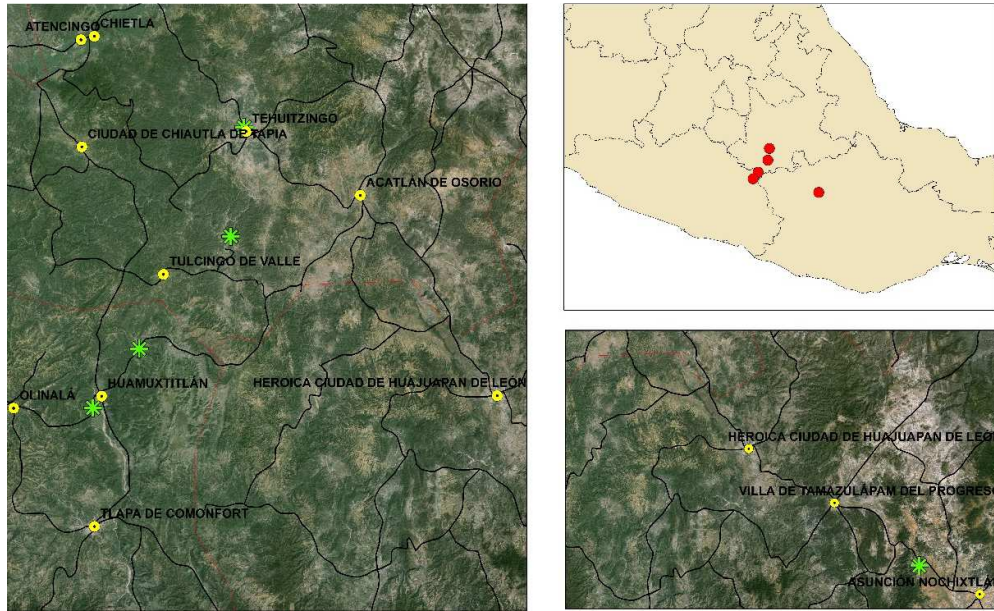


Figura 11. Lugares de estudio en la Región Mixteca, México.

Selección de la vegetación

La vegetación se eligió con referencia a los siguientes criterios:

- Bajo consumo de agua.
 - a) Caducifolias en estación seca.
 - b) Alta eficiencia fotosintética con poco agua disponible (Eficiencia en su transpiración). Plantas c3 o c4.
 - c) Control estomático o bajo número de estomas.
 - d) Copa densa.
- Sistema radical pivotante y con raíces profundas y verticales.
- Con copa bien desarrollada (grande) en tiempo de lluvias.
- Con poca demanda de nutrimento y fijadoras de nitrógeno.
- Corteza lisa y ramas ascendentes
- Abundancia

En la selección de especies vegetales se hicieron recorridos de campo, al inicio de la temporada de lluvias, en los lugares de estudio, en estos recorridos se tomó una muestra vegetal por cada especie seleccionada, con un tamaño de muestra de dos

ramas por especie. Las muestras vegetales de las especies seleccionadas se clasificaron a nivel de género y especie.

Los ejemplares seleccionados se localizaron en los sitios con suelo desnudo, y se ubicaron en la cresta o en la parte intermedia de los lomeríos; también se consideró que las plantas tuvieran exposición oeste en dirección al sol. En las especies vegetales seleccionadas se cuantificaron los flujos de agua que componen la intercepción (flujo de dosel, flujo caulinar y precipitación); además de la medición de algunas características de la vegetación como altura, longitud del diámetro primario [D_1 (m)] y secundario [D_2 (m)] para definir el área de la copa [A_c (m^2)], índice de área foliar (IAF) y área foliar [A_f (m^2)]; el A_c y el A_f se calcularon a partir de las siguientes fórmulas:

$$A_c = (0.5D_1)(0.5D_2)(\pi) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$A_f = A_c * IAF \quad \text{Ecuación 2}$$

Para determinar el índice de área foliar se utilizó el software CSIRO Land and Water Forest Tools v1.0 (Siggins, 2014) y mediante la toma de fotografías hemisféricas (Rajaei, 2014), se consideraron tres repeticiones por especie (Figura 12).



Figura 12. Detalle de Fotografías Hemisféricas.

El factor foliar de las plantas en estudio fue importante para estandarizar los valores de los flujos de agua en las diferentes especies.

Cuantificación de los flujos de agua

El fraccionamiento de la lluvia consistió en medir los principales flujos de agua precipitada (flujo caulinar, flujo de dosel y precipitación) para las especies vegetales seleccionadas que crecen en los sitios de estudio.

Para los lugares de evaluación, después de que se definió la época de lluvias, y con el objetivo de medir el flujo caulinar, se colocaron, en forma de espiral, mangueras de plástico de 1 m de longitud a lo largo del tallo de las plantas seleccionadas, y en la parte donde termina la manguera (base de la planta) se colocaron cubetas con capacidad de 20 litros para la captación del flujo.

El cálculo del flujo caulinar o escurrimiento por el tallo (F_c), solo requiere del área de la copa (A_c) del árbol, que se determinó con la Ecuación 1, la proporción del A_c fue el factor de corrección en la medición del flujo caulinar. Finalmente los mililitros cuantificados se convirtieron a milímetros de lámina utilizando la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{V}{A_c} * 1000 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde: F_c , flujo caulinar (mm); A_c , área de la copa (m^2); V , volumen captado en el recipiente por evento de lluvia (m^3).

El agua precipitada que atraviesa el dosel (F_d) de las plantas elegidas, se midió con pluviómetros de dosel, los cuales consisten en una canaleta metálica de forma triangular y de tamaño variable, ya que éste depende de las dimensiones del follaje, pero en promedio la longitud de la canaleta fue de 36 cm. El pluviómetro se colocó en pendiente y debajo de la sombra del follaje; la lluvia se captó a lo largo del área de la canaleta y con una manguera se direccionó a un recipiente para su posterior medición. Los cálculos para obtener la cantidad de lluvia que atravesó el follaje consideraron la relación del área de captación de la canaleta (Ecuación 4) y éste fue el factor de corrección de esta medición (Figuras 13 y 14).

$$F_d = \frac{V}{Acc} * 1000$$

Ecuación 4

Dónde: F_d , flujo de dosel (mm); V , volumen captado en el recipiente por evento de lluvia (m^3); Acc , área de captación de la canaleta (m^2).



Figura 13. Unidad de medición en campo.



Figura 14. Estructura de la unidad experimental.

La precipitación, en los sitios de estudio, se midió con un pluviómetro Estándar similar al que utiliza el Servicio Meteorológico Nacional, éste tiene un diámetro de 20 cm, los registros se realizaron en unidades de volumen, luego se convirtieron a términos de lámina considerando un factor de 35 mililitros por cada milímetro.

Las mediciones de lluvia se analizaron y se obtuvieron los valores de flujo caulinar (F_c), flujo de dosel (F_d) y por diferencia con respecto a la precipitación (P_p) se calculó la lámina interceptada (L_i) con la siguiente fórmula:

$$L_i = P_p - (F_d + F_c)$$

Ecuación 5

Lo anterior se hizo para cada una de las especies vegetales seleccionadas en los diferentes sitios de estudio. La finalidad de esta cuantificación de flujos de agua es definir por un lado la relación entre el índice de área foliar (IAF) y la lámina interceptada (L_i), y por otro determinar la ecuación de flujo de dosel y flujo caulinar

para la vegetación en estudio, en función del índice de área foliar, la precipitación y la lámina interceptada, bajo un análisis matemático de regresión múltiple.

V. RESULTADOS

Índices de Área Foliar de las especies

En los lugares de estudio y considerando los criterios ya mencionados, se seleccionaron las especies vegetales que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Especies estudiadas de árboles de Selva Baja Caducifolia, región Mixteca, México.

Localidad	Nombre común	Nombre científico	Núm. de árbol
San Pedro Añãe	Enebro	<i>Juniperus flaccida</i>	1
	Enebro	<i>Juniperus flaccida</i>	2
	Enebro	<i>Juniperus flaccida</i>	3
	Rhus	<i>Rhus standleyi</i>	4
	Rhus	<i>Rhus standleyi</i>	5
Tecomatlán	Palo blanco	<i>Acacia coulteri</i>	1
	Casahuate blanco	<i>Ipomoea arborescens</i>	2
	Casahuate blanco	<i>Ipomoea arborescens</i>	3
Tehuizingo	Palo camarón	<i>Caesalpinia hintonii</i>	1
	Palo camarón	<i>Caesalpinia hintonii</i>	2
	Palo camarón	<i>Caesalpinia hintonii</i>	3
	Espino	<i>Acacia</i> sp.	4
	Espino	<i>Acacia</i> sp.	5
Xochihuehuetlán	Tehuixtle	<i>Acacia bilimekii</i>	1
	Tehuixtle	<i>Acacia bilimekii</i>	2
	Copal hediondo	<i>Bursera submoniliformis</i>	3
	Copal hediondo	<i>Bursera submoniliformis</i>	4
	Copal hediondo	<i>Bursera submoniliformis</i>	5
Huamuxtlán	Pochote de secas	<i>Ceiba parvifolia</i>	1
	Pochote de secas	<i>Ceiba parvifolia</i>	2
	Pochote de secas	<i>Ceiba parvifolia</i>	3

La diversidad de especies espinosas y de porte medio son las que predominan en el área y sitios de estudio, muchas de ellas de gran utilidad para diferentes fines como medicinal o para la alimentación del ganado, todas las especies seleccionadas pertenecen al ecosistema de SBC. En éstos árboles se midieron algunas características que sirvieron en el cálculo de los flujos de agua (Cuadro 4).

Cuadro 4. Geometría de los árboles de Selva Baja Caducifolia seleccionados, región Mixteca, México.

Localidad	No. de árbol	Altura (m)	D ₁ (m)	D ₂ (m)	Ac (m ²)	IAF	Af (m ²)
San Pedro Añãe	1	2	1.7	1.5	2.0	1.72	3.44
	2	2.4	1.9	2.1	3.1	1.05	3.29
	3	2.2	2	2.4	3.8	0.85	3.20
	4	2.6	3	3.2	7.5	1.50	11.31
	5	2.5	2.7	2.6	5.5	1.52	8.38
Tecomatlán	1	9	10	9.4	73.8	1.41	104.10
	2	4	6	5.4	25.4	0.78	19.85
	3	4.5	3.6	3.8	10.7	1.09	11.71
Tehuitzingo	1	2.5	3.3	3.3	8.6	5.90	50.46
	2	3	3.8	3	9.0	2.58	23.10
	3	3.2	3.8	4.45	13.3	2.60	34.53
	4	2.5	2.4	2.15	4.1	2.60	10.54
	5	2.6	2.25	1.85	3.3	2.65	8.66
Xochihuehuetlán	1	4.7	6.5	10.34	52.8	4.14	218.54
	2	4.4	7.35	10.11	58.4	5.52	322.16
	3	4	6.45	8.48	43.0	2.40	103.10
	4	4.5	9.53	8.8	65.9	3.22	212.09
	5	5.2	8.28	6.6	42.9	3.39	145.50
Huamuxtitlán	1	3.5	6.2	7.26	35.4	1.80	63.63
	2	3.6	6.16	5.2	25.2	1.44	36.23
	3	3.8	3.66	3.52	10.1	0.87	8.80

* D₁=Diámetro primario; D₂= Diámetro secundario; Ac= Área de la copa; IAF=Índice de Área Foliar y Af=Área foliar

El IAF se determinó con la utilización del software CSIRO Land and Water Forest Tools v1.0 (Siggins, 2014).

Análisis de la Intercepción

Los valores promedio de los componentes del fraccionamiento de la lluvia son los que se muestran en el Cuadro 5, para la obtención de éstos se tomaron en cuenta los registros por árbol que se localizan en el Anexo 1. La lámina interceptada se calculó con la Ecuación 5. En el Cuadro 6 se observan los valores porcentuales; con respecto a la precipitación; del flujo de dosel, flujo caulinar y lámina interceptada, por tipo de árbol.

Cuadro 5. Valores promedio observados de la fragmentación de la lluvia.

Localidad	No. de árbol	P _p (mm)	F _d (mm)	F _c (mm)	L _i (mm)
San Pedro Añáñe	1	14.1	10.1	0.6	3.42
	2	13.6	11	0.6	2.08
	3	13.8	11.8	0.3	1.69
	4	13.3	10.4	0.4	2.5
	5	13.7	10.3	0.3	3
Tecomatlán	1	19.5	14.1	0.8	4.55
	2	15.3	9.7	2.4	3.23
	3	15.9	12.6	0.9	2.32
Tehuiztingo	1	20.7	10.6	2.2	7.96
	2	14.9	9.1	0.4	5.45
	3	16.1	9.4	1.1	5.64
	4	16.2	9.3	1.5	5.47
	5	13.9	7.9	0.5	5.58
Xochihuehuetlán	1	22.4	13.7	1.6	7.16
	2	22.6	14.4	0.8	7.42
	3	23.3	14.4	3.5	5.41
	4	24.8	14.8	3.2	6.81
	5	24.2	13.8	3.2	7.16
Huamuxtitlán	1	8.7	5	0.1	3.62
	2	8.3	5.3	0.1	2.86
	3	5.5	3.6	0.1	1.72
Promedio		16.2	10.5	1.2	4.5
Máximo		24.8	14.8	3.5	7.96
Mínimo		5.5	3.6	0.1	1.7

*P_p= Precipitación; F_d= Flujo de dosel; F_c= Flujo caulinar y L_i= Lámina interceptada.

Cuadro 6. Valores porcentuales observados para árboles de Selva Baja Caducifolia.

Nombre común	Nombre científico	F _d (%)	F _c (%)	L _i (%)
Enebro	<i>Juniperus flaccida</i>	79.2	3.6	17.3
Rhus	<i>Rhus standleyi</i>	77.1	2.6	20.4
Palo blanco	<i>Acacia coulteri</i>	72.4	4.2	23.4
Casahuate blanco	<i>Ipomoea arborescens</i>	71.4	10.8	17.9
Palo camarón	<i>Caesalpinia hintonii</i>	56.7	6.7	36.6
Espino	<i>Acacia</i> sp.	56.8	6.4	36.9
Tehuixtle	<i>Acacia bilimekii</i>	62.4	5.2	32.4
Copal hediondo	<i>Bursera submoniliformis</i>	59.5	13.8	26.8
Pochote de secas	<i>Ceiba parvifolia</i>	62.6	1.6	35.9
Promedio		66.5	6.1	27.5
Máximo		79.2	13.8	36.9
Mínimo		56.7	1.6	17.3

*F_d= Flujo de dosel; F_c= Flujo caular y L_i= Lámina interceptada.

Las especies seleccionadas en promedio tienen un flujo de dosel de 10.5 mm, flujo caular de 1.2 mm y 4.5 mm de lámina interceptada; los mayores valores en flujo de dosel, flujo caular e interceptación fueron de 14.8, 3.5 y 7.9 mm respectivamente, mientras que los mínimos oscilaron en 3.6, 0.1 y 1.7 mm.

Los valores promedio más altos de flujo caular se tuvieron en Xochihuehuetlán, de forma específica en *Bursera submoniliformis* (3.5 mm), los menores valores se tuvieron en Huamuxtitlán con 0.1 mm en *Ceiba parvifolia*.

Por tipo de árbol se muestra, en términos porcentuales, que la máxima lámina interceptada se observó en el espino (*Acacia* sp.) con 36.9 %, mientras que los valores de interceptación más bajos se obtuvieron para el enebro (*Juniperus flaccida*) y el casahuate blanco (*Ipomoea arborescens*); con el 17.3 y 17.9 % respectivamente, éstos valores mínimos corresponden con lo obtenido por Flores *et al.*, 2013.

En lo que respecta al flujo de dosel, los registros estuvieron entre el 3.6 y 14.8 mm, esto indica que bajo condiciones de SBC, los tipos de vegetación dominantes, de

forma principal la del género *Acacia*, tenderían a desarrollar un follaje no muy denso que provoca que la mayor parte de la lluvia atravesase el follaje.

Los resultados de intercepción se relacionan con la literatura, la lámina de precipitación interceptada puede ser del orden del 15 al 35 % (Maloney *et al.*, 2002); mientras que el flujo de dosel puede llegar a ser tan alto como del 77% (Ufoegbune *et al.*, 2010). En este caso, el máximo valor fue de 36.9 % de lámina interceptada para el espino (*Acacia sp.*), mientras que los valores menores fueron de 17.3 y 17.9 % para los árboles de enebro (*Juniperus flaccida*) y casahuate blanco (*Ipomoea arborescens*), respectivamente.

El comportamiento de los componentes del fraccionamiento de la lluvia es directo, es decir, a mayor cantidad de precipitación mayor será el flujo caulinar, el flujo de dosel y la intercepción con un límite máximo marcado por el índice de área foliar de cada especie vegetal. La importancia de la lámina interceptada por la vegetación se explica de la siguiente manera, por ejemplo una diferencia en intercepción del 30 % para una lluvia anual de 600 mm equivale a 180 mm de agua que no alcanza el suelo, esto reduce el riesgo de erosión hídrica por efecto de la disminución en el escurrimiento; bajo esta consideración se proponen especies con la mayor capacidad de interceptar la lluvia.

Las especies que interceptan más precipitación son el espino (*Acacia sp.*) con 36.9 %, el palo camarón (*Caesalpinia hintonii*) con 36.6 % y el pochote (*Ceiba parvifolia*) con 35.9 %.

El índice de área foliar (IAF) se consideró como un parámetro estándar para determinar la ecuación de intercepción. En el Cuadro 7 se muestran los valores medidos de IAF y lámina interceptada (L_i), y en la Figura 15 se observa la tendencia gráfica de ambas variables.

Cuadro 7. Valores observados del índice de área foliar y lámina interceptada para árboles de Selva Baja Caducifolia.

Localidad	No. de árbol	IAF	L_i(mm)
San Pedro Añãe	1	1.72	3.42
	2	1.05	2.08
	3	0.85	1.69
	4	1.50	2.50
	5	1.52	3.00
Tecomatlán	1	1.41	4.55
	2	0.78	3.23
	3	1.09	2.32
Tehuizingo	1	5.90	7.96
	2	2.58	5.45
	3	2.60	5.64
	4	2.60	5.47
	5	2.65	5.58
Xochihuehuetlán	1	4.14	7.16
	2	5.52	7.42
	3	2.40	5.41
	4	3.22	6.81
	5	3.39	7.16
Huamuxtitlán	1	1.80	3.62
	2	1.44	2.86
	3	0.87	1.72

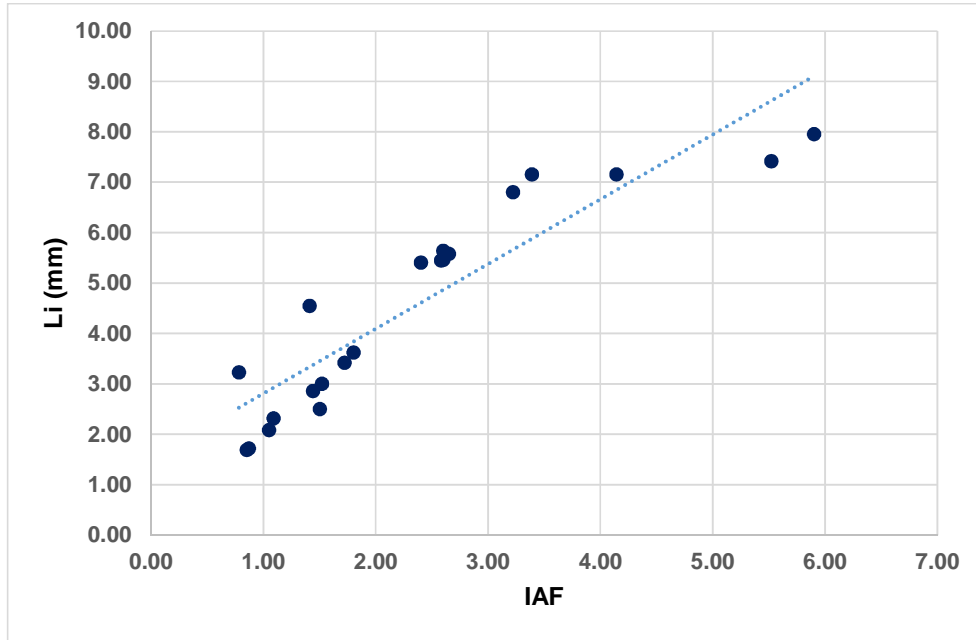


Figura 15. Comportamiento entre el IAF y la lámina interceptada para las especies de Selva Caducifolia, región Mixteca, México.

La ecuación lineal de intercepción con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8281 y en base al IAF para las principales especies vegetales que crecen en el ecosistema de SBC es la siguiente:

$$L_{ic} = 1.2852IAF + 1.526 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

L_{ic} : Lámina interceptada calculada (mm)

IAF: Índice de Área Foliar

La forma lineal de la Ecuación 6 es congruente con la de los trabajos de De Jong-Jetten, (2007); Gómez *et al.* (2001) y Vegas *et al.*, 2012 en los que se determina la lámina interceptada para árboles. La función cuadrática ofrece un coeficiente de determinación mayor al de la función lineal, sin embargo éste tipo de función ya ha sido probada y evaluada y solo es aplicable para cultivos agrícolas (Von Hoyningen, 1981).

La correlación entre valores observados y calculados se muestra en la Figura 16.

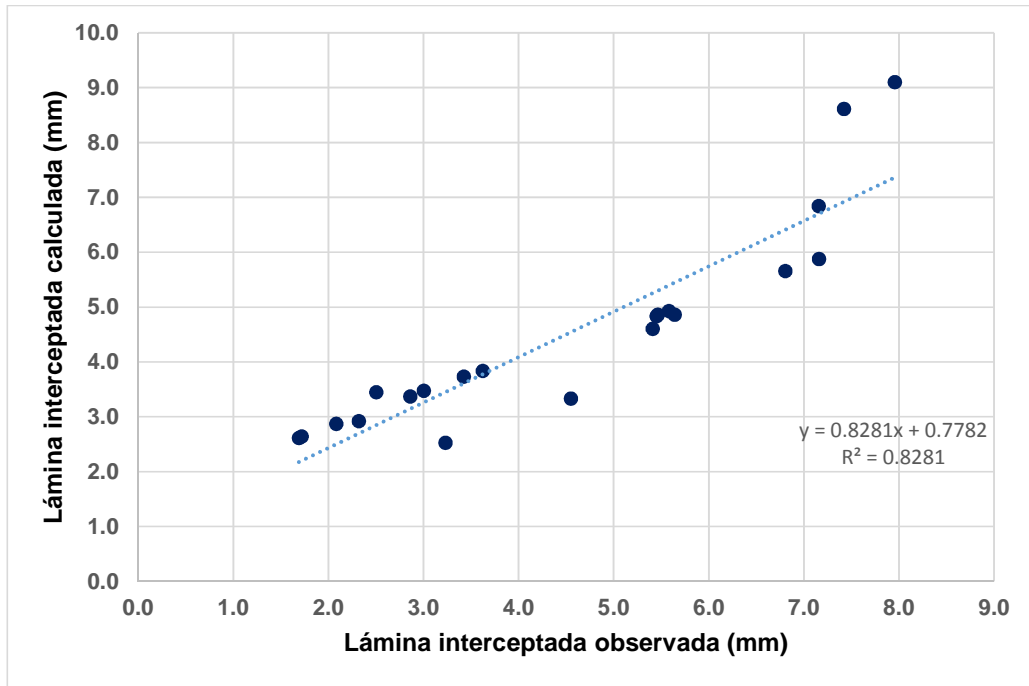


Figura 16. Lámina interceptada observada y calculada, especies de Selva Caducifolia, región Mixteca, México.

Evaluación del Flujo de Dosel

En el Cuadro 8 se muestran los promedios de los valores observados de índice de área foliar (IAF), precipitación (P_p), flujo de dosel (F_d) y lámina interceptada (L_i)

Cuadro 8. Valores observados de índice de área foliar, precipitación, lámina interceptada y flujo de dosel para árboles de Selva Baja Caducifolia; región Mixteca, México.

Localidad	No. árbol	Nombre científico	IAF	P _p (mm)	L _i (mm)	F _d (mm)
San Pedro Añãe	1	<i>Juniperus flaccida</i>	1.72	14.1	3.42	10.1
	2	<i>Juniperus flaccida</i>	1.05	13.6	2.08	11.0
	3	<i>Juniperus flaccida</i>	0.85	13.8	1.69	11.8
	4	<i>Rhus standleyi</i>	1.50	13.3	2.50	10.4
	5	<i>Rhus standleyi</i>	1.52	13.7	3.00	10.3
Tecomatlán	1	<i>Acacia coulteri</i>	1.41	19.5	4.55	14.1
	2	<i>Ipomoea arborescens</i>	0.78	15.3	3.23	9.7
	3	<i>Ipomoea arborescens</i>	1.09	15.9	2.32	12.6
Tehuizingo	1	<i>Caesalpinia hintonii</i>	5.90	20.7	7.96	10.6
	2	<i>Caesalpinia hintonii</i>	2.58	14.9	5.45	9.1
	3	<i>Caesalpinia hintonii</i>	2.60	16.1	5.64	9.4
	4	<i>Acacia</i> sp.	2.60	16.2	5.47	9.3
	5	<i>Acacia</i> sp.	2.65	13.9	5.58	7.9
Xochihuehuetlán	1	<i>Acacia bilimekii</i>	4.14	22.4	7.16	13.7
	2	<i>Acacia bilimekii</i>	5.52	22.6	7.42	14.4
	3	<i>Bursera submoniliformis</i>	2.40	23.3	5.41	14.4
	4	<i>Bursera submoniliformis</i>	3.22	24.8	6.81	14.8
	5	<i>Bursera submoniliformis</i>	3.39	24.2	7.16	13.8
Huamuxtitlan	1	<i>Ceiba parvifolia</i>	1.80	8.7	3.62	5.0
	2	<i>Ceiba parvifolia</i>	1.44	8.3	2.86	5.3
	3	<i>Ceiba parvifolia</i>	0.87	5.5	1.72	3.6

La ecuación de flujo de dosel para las especies nativas estudiadas que crecen en el ecosistema de SBC en la región Mixteca, determinada con el software SAS (SAS, 2010), con base a índice de área foliar, precipitación y lámina interceptada es la siguiente:

$$F_{dc} = 1.587094 + 0.435693IAF + 0.841686P_p - 1.264808L_i \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

F_{dc} : Flujo de dosel calculado (mm).

IAF: Índice de Área Foliar.

P_p : Precipitación (mm).

L_i : Lámina interceptada (mm).

El modelo de estimación del flujo de dosel, para las especies de SBC, se obtuvo con un R^2 de 0.9621 lo cual indica que es recomendable para la cuantificación de este tipo de flujo dentro del proceso de interceptación de la lluvia. En la Figura 17 se observa el comportamiento del flujo de dosel observado en comparación con el flujo de dosel calculado con la Ecuación 7, para las diferentes especies en estudio, como se muestra, la tendencia en los puntos es lineal a un 96 %.

En el caso de que no se conozca la lámina interceptada, la ecuación a utilizar es la siguiente, obtenida al sustituir la L_{ic} de la Ecuación 6 en la L_i de la Ecuación 7:

$$F_{dc} = -0.343003 - 1.189838IAF + 0.841686P_p \rightarrow R^2 = 0.8848 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

F_{dc} : Flujo de dosel calculado (mm).

IAF: Índice de Área Foliar.

P_p : Precipitación (mm).

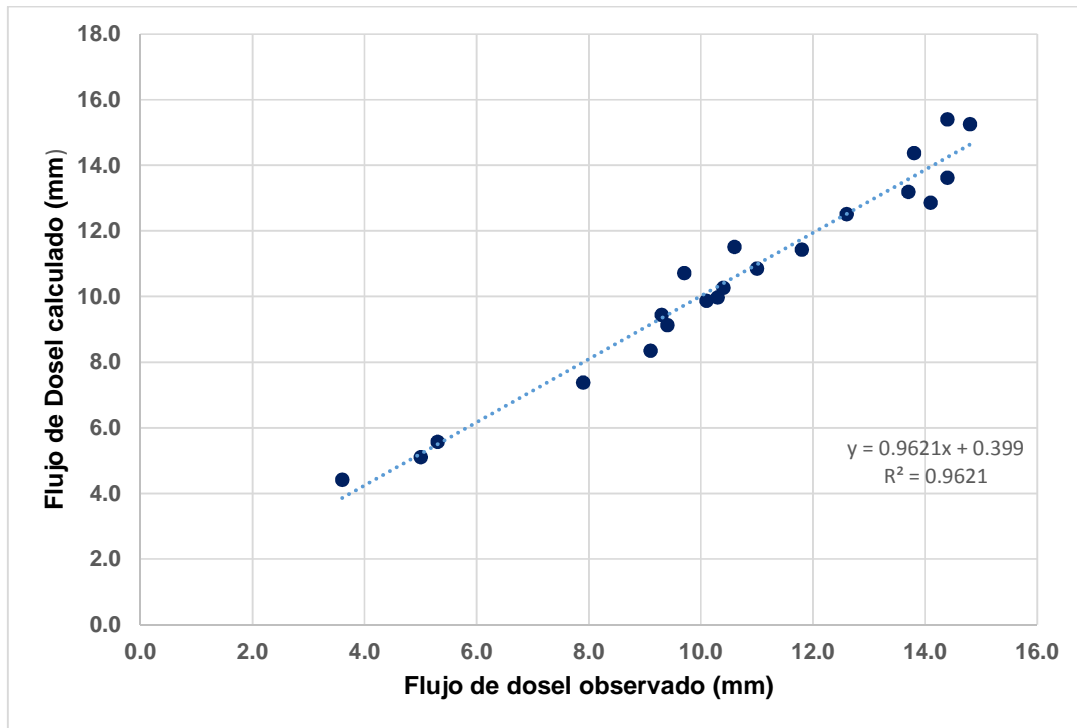


Figura 17. Flujo de dosel observado y calculado, especies de Selva Caducifolia, región Mixteca, México.

Evaluación del Flujo Caulinar

A través de un análisis de regresión se correlacionó el flujo caulinar (F_c) con los valores observados de índice de área foliar (IAF), precipitación (P_p) y lámina interceptada (L_i). En el Cuadro 9 se muestran los valores observados que fueron usados en el análisis para la estimación del flujo caulinar.

Cuadro 9. Valores observados de índice de área foliar, precipitación, lamina interceptada y flujo caulinar para arboles de Selva Baja Caducifolia; región Mixteca, México.

Localidad	No. árbol	Nombre científico	IAF	P _p (mm)	L _i (mm)	F _c (mm)
San Pedro Añãe	1	<i>Juniperus flaccida</i>	1.72	14.1	3.42	0.6
	2	<i>Juniperus flaccida</i>	1.05	13.6	2.08	0.6
	3	<i>Juniperus flaccida</i>	0.85	13.8	1.69	0.3
	4	<i>Rhus standleyi</i>	1.50	13.3	2.50	0.4
	5	<i>Rhus standleyi</i>	1.52	13.7	3.00	0.3
Tecomatlán	1	<i>Acacia coulteri</i>	1.41	19.5	4.55	0.8
	2	<i>Ipomoea arborescens</i>	0.78	15.3	3.23	2.4
	3	<i>Ipomoea arborescens</i>	1.09	15.9	2.32	0.9
Tehuizingo	1	<i>Caesalpinia hintonii</i>	5.90	20.7	7.96	2.2
	2	<i>Caesalpinia hintonii</i>	2.58	14.9	5.45	0.4
	3	<i>Caesalpinia hintonii</i>	2.60	16.1	5.64	1.1
	4	<i>Acacia</i> sp.	2.60	16.2	5.47	1.5
	5	<i>Acacia</i> sp.	2.65	13.9	5.58	0.5
Xochihuehuetlán	1	<i>Acacia bilimekii</i>	4.14	22.4	7.16	1.6
	2	<i>Acacia bilimekii</i>	5.52	22.6	7.42	0.8
	3	<i>Bursera submoniliformis</i>	2.40	23.3	5.41	3.5
	4	<i>Bursera submoniliformis</i>	3.22	24.8	6.81	3.2
	5	<i>Bursera submoniliformis</i>	3.39	24.2	7.16	3.2
Huamuxtitlan	1	<i>Ceiba parvifolia</i>	1.80	8.7	3.62	0.1
	2	<i>Ceiba parvifolia</i>	1.44	8.3	2.86	0.1
	3	<i>Ceiba parvifolia</i>	0.87	5.5	1.72	0.1

En las especies nativas estudiadas de la región Mixteca, la ecuación de flujo caulinar determinada con el software SAS (SAS, 2010), es la que se muestra a continuación:

$$F_{cc} = -1.603671 - 0.457046IAF + 0.154235P_p + 0.295899L_i \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

F_{cc} : Flujo caulinar calculado (mm)

IAF: Índice de Área Foliar.

P_p : Precipitación (mm).

L_i : Lámina interceptada (mm).

El modelo de estimación del flujo caulinar, para las especies de SBC, se obtuvo con un R^2 de 0.6735 lo que indica que es recomendable para la cuantificación de este tipo de flujo dentro del proceso de interceptación de la lluvia. La Figura 18 muestra la comparación entre el flujo caulinar observado y el flujo caulinar calculado con la Ecuación 9, para las diferentes especies en estudio, la tendencia en los datos es logarítmica en un 79 %.

La fórmula que resulta de sustituir la L_{ic} de la Ecuación 6 en la L_i de la Ecuación 9 es la siguiente:

$$F_{cc} = -1.152129 - 0.076757IAF + 0.154235P_p \rightarrow R^2 = 0.6339 \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

F_{cc} : Flujo caulinar calculado (mm).

IAF: Índice de Área Foliar.

P_p : Precipitación (mm).

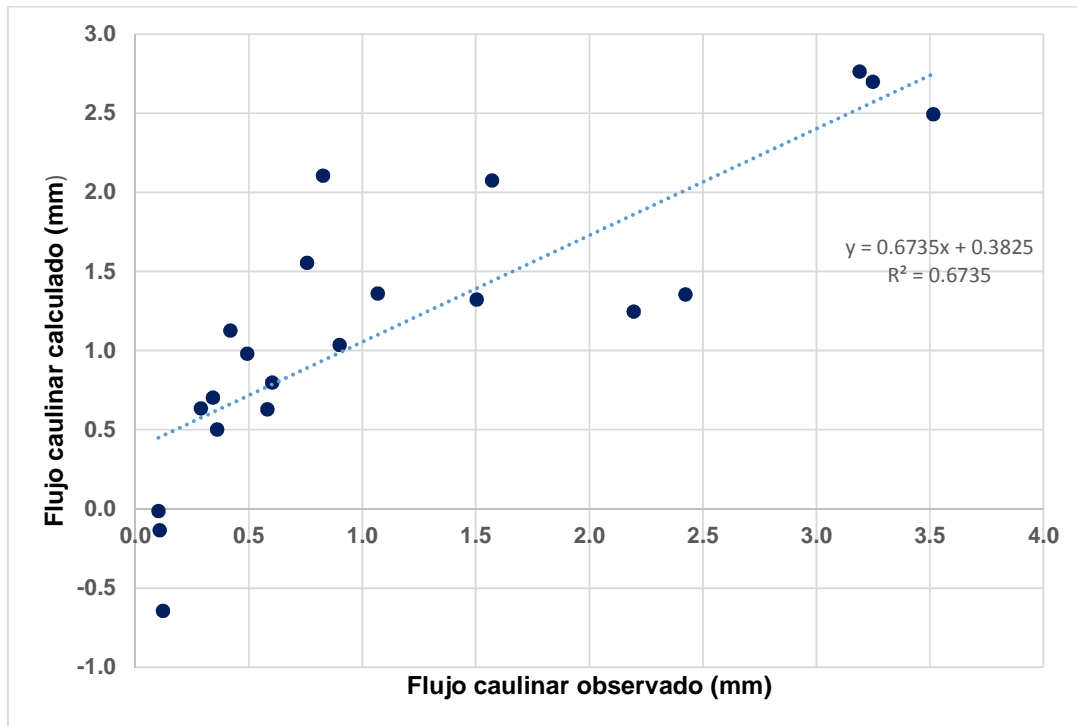


Figura 18. Flujo caulinar observado y calculado, especies de Selva Baja Caducifolia, región Mixteca.

De las relaciones obtenidas se observa que el flujo de dosel puede ser explicado en términos del IAF y la magnitud del evento de lluvia, siendo la P_p el factor que más explica el flujo de dosel, con un 15%. La correlación entre valores observados y estimados para F_{cc} resultó ser de 0.79 menor que para F_{dc} de 0.96, lo cual puede obedecer a la altura de la planta, diámetro del tallo, rugosidad de la corteza y la arquitectura de su dosel (Moses, 2004; Návar, 2011 y Hosseini *et al.*, 2012).

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El presente trabajo analizó los parámetros hídricos en que se fracciona la lluvia, al alcanzar el dosel de los árboles, de las principales plantas nativas que crecen en el ecosistema de SBC de la región Mixteca. El estudio de estos componentes, es uno de los primeros trabajos para cuantificar el flujo caulinar, flujo de dosel e intercepción del follaje para este tipo de vegetación.

En las especies estudiadas la lámina de intercepción se relacionó en forma directa, sin importar la magnitud de la precipitación, con el índice de área foliar en un 83 %. De acuerdo a los modelos generados, el flujo de dosel y el flujo caulinar se pueden estimar con datos de precipitación ocurrida, IAF y lámina de intercepción. De los modelos se concluye que en la misma proporción en que aumenta la lámina interceptada el flujo de dosel disminuye, lo que se refleja en flujos caulinares con mínimas variaciones, alrededor del 6.1% de la lámina de lluvia.

El índice de área foliar en las especies de SBC tiene un comportamiento directo con el flujo caulinar y de dosel, es decir, a mayor IAF ambos flujos serán altos, y a menor IAF los flujos serán bajos; esto en función de la precipitación ocurrida.

Las especies seleccionadas en promedio tienen un flujo de dosel del 66.5 %, el mayor valor fue de 79.2 % y el menor de 56.7 %. El flujo de dosel para especies de SBC puede ser explicado, con una certeza del 96 %, en términos de IAF y la magnitud de la lluvia.

En lo que respecta al flujo caulinar el promedio en las plantas seleccionadas fue del 6.1 %, el mayor valor fue de 13.8 % y el mínimo de 1.6 %. El flujo caulinar para especies de SBC puede ser explicado, con una certeza del 67 %, en términos de IAF y la lámina de lluvia.

Las funciones de ajuste obtenidas son útiles para alimentar, con este tipo de parámetros, a modelos de simulación hidrológica en estimaciones, a nivel de cuenca y regional, del balance hidrológico y erosión hídrica en los ecosistemas de SBC.

Dado que un mayor índice de área foliar permitió a las plantas interceptar una mayor lámina de precipitación, en este sentido, para aminorar el proceso de erosión hídrica, se recomiendan especies como el palo camarón (*Caesalpinia hintonii*) y el Tehuixtle (*Acacia bilimekii*), que tienen altos índices de área foliar y valores de intercepción superiores al 30%. Por otro lado, árboles con altos flujos caulinares favorecen la recarga natural de acuíferos, tales como el copal hediondo (*Bursera submoniliformis*) y el casahuate blanco (*Ipomoea arborescens*). El árbol que ofrece un equilibrio ideal entre flujo de dosel y el flujo caulinar, tanto para evitar escurrimiento superficial como para favorecer la infiltración del agua en el suelo, es el palo camarón (*Caesalpinia hintonii*), que además es muy utilizado en la zona de estudio como alimento para ganado.

Recomendaciones

La toma de datos en campo respecto a la cuantificación del flujo caulinar y de dosel debe seguir un método estándar y específico de acuerdo al tipo de especie, pendiente del área de estudio y época de lluvias.

La automatización en la medición del flujo caulinar, de dosel y la precipitación es recomendable en sitios donde la vigilancia sea permanente; de lo contrario pueden extraviarse equipos de un costo elevado.

Se deberá conocer los pronósticos meteorológicos de lluvia con la suficiente anticipación para tener en campo todo el material de medición en tiempo y en forma.

Se recomienda realizar éste mismo estudio para arbustos y pastos del ecosistema de SBC.

VII. LITERATURA CITADA

Ahmadi T. M., P. Attarod, M. R. Marvi Mohadjer, R. Rahmani and J. Fathi. 2009. Partitioning rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest during the growing season. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 557-568 p.

Álvarez O. G., N. Hotait S. y E. Sustaita R. 2011. Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado. Ingeniería Investigación y Tecnología, 12(3): 277-284 p.

Amori A. A., J. O. Awomeso, G. C. Ufoegbune, A. A. Makinde and A. O. O. Taiwo. 2012. Spatial Variation of Throughfall in Two Tree Plantations in Abeokuta, South-Western Nigeria. International Journal of Ecosystem, 2(1): 15-18 p.

Baloutsos G., A. Bourletsikas and E. Baltas. 2009. Development of a simplified model for the estimation of hydrological components in areas of maquis vegetation in Greece. Wseas Transactions on Environment and Development, 5 (3): 310-320 p.

Berumen B. M. E. 2004. Región Mixteca. Aspectos socio económicos y propuestas de acción para su crecimiento y desarrollo. México. 62 p.

Boken V. K and Chandra S. 2012. Estimating Leaf Area Index For An Arid Region Using Spectral Data. African Crop Science Journal, 20 (4): 215 – 223 p.

Bulcock H. H. and G. P. W. Jewitt. 2010. Spatial mapping of leaf area index using hyperspectral remote sensing for hydrological applications with a particular focus on canopy interception. Hydrology and Earth System Sciences, 14: 383–392 p.

Bulcock H. H. and G. P. W. Jewitt. 2012. Modelling canopy and litter interception in commercial forest plantations in South Africa using the Variable Storage Gash model and idealised drying curves. Hydrology and Earth System Sciences, 16: 4693–4705 p.

Castillo, C. G.; Dávila, A. P. y Zavala, H. J. A. 2007. La selva baja caducifolia en una corriente de lava volcánica en el centro de Veracruz: Lista florística de la flora vascular. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 80: 77-104.

Challenger A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. México. 87-108 p.

Clark D. B., P. C. Olivas, S. F. Oberbauer, D. A. Clark and M. G. Ryan. 2008. First direct landscape-scale measurement of tropical rain forest Leaf Area Index, a key driver of global primary productivity. *Ecology Letters*, 11: 163–172 p.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 185 p.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2002. Catálogo de metadatos geográficos. Geoportal CONABIO.

Contreras H. J. R., V. Haller, V. Oropeza M., J. L. Rodríguez F., C. Martínez S., y T. A. Martínez G. 2003. Estado actual y causas de la degradación de los agostaderos en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca. *TERRA Latinoamericana*, 21(3): 427-435 p.

Contreras H. J. R., V. Haller, V. Oropeza M., J. L. Rodríguez F., C. Martínez S., y T. A. Martínez G. 2005. Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuitlán, Oaxaca, México. *TERRA Latinoamericana*, 23(3): 399-408 p.

Dávalos A. 2006. Evolución tectónica Cenozoica en la región norte de la falla de Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Geociencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Juriquilla, Qro. 123 p.

De Jong S. M. and V. G. Jetten. 2007. Estimating spatial patterns of rainfall interception from remotely sensed vegetation indices and spectral mixture analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(5): 529-545 p.

Dohnal M., T. Cerný, J. Votrubová and M. Tesar. 2014. Rainfall interception and spatial variability of throughfall in spruce stand. *Journal Hydrology Hydromechanics*, 62 (4): 277–284 p.

Fernández G. E., M. M. Mendoza D. y J. López G. 2011. La participación de la población en la recuperación de la biodiversidad: especies no maderables de la Mixteca Oaxaqueña, México. Resumen, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) México. 8 p.

Ferrusquía V. I. 1976. Estudios Geológicos-Paleontológicos en la región Mixteca. PT. 1: Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, estado de Oaxaca. Boletín No. 97. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. 160 p.

Flores A. E.; Becerra L. F.; Buendía R. E.; Carrillo A. F.; Terrazas G. G. H.; Pineda O. T. y Acosta M. M. 2013. Intercepción de lluvia por matorral inerme espinoso en Atotonilco el Grande, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(4): 285-298.

Gaceta Parlamentaria (GP), Cámara de Diputados, número 2374-III. 2007. Rescate a la región Mixteca considerada desastre ecológico por la falta de agua. México. 8 p.

García M. A., P. Tenorio L. y J. Reyes S. 1994. El endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana*, (27): 52-73 p.

García R. A., Mendoza R. K. I. y Galicia S. L. 2005. Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 56: 77-100 p.

García E. P.; N. Alonso B. and J. Alegre. 2010. Water storage capacity, stemflow and water funneling in Mediterranean shrubs. *Journal of Hydrology*, 389 (3-4): 363–372 p.

Gómez J.A.; Giraldez J.V. and Fereres E. 2001. Rainfall interception by Olive trees in relation to leaf area. *Agricultural Water Management*, 49: 65–76 p.

Guerrero H. C. J. 2002. Rocas probablemente factibles de ser explotadas en la zona de la región mixteca oaxaqueña. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 35-43 p.

Guerrits A. M. J., L. Pfister and H. H. G. Savenije. 2010. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. *Hydrological Processes*, 24: 3011–3025 p.

Guízar N. E., D. Granados S. y A. Castañeda M. 2010. Flora y vegetación en la porción sur de la Mixteca poblana. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 16(2): 95-118 p.

Hernández J. E. H., F. J. Franco G., O. Villarreal E., L. M. Aguilar G. y M. G. Sorcia C. 2008. Identificación y preferencia de especies arbóreo-arbustivas y sus partes consumidas por el ganado caprino en la Mixteca Poblana, Tehuaxtla y Maninalcingo, México. *Zootecnia Trop.* 26(3): 379-382 p.

Holko L. 2010. Short-time measurements of interception in mountain spruce forest. *Journal Hydrology Hydromech.*, 58 (4): 213–220 p.

Holwerda F.; Scatena F.N. and Bruijnzeel L.A. 2006. Throughfall in a Puerto Rican lower montane rainforest: a comparison of sampling strategies. *Journal of Hydrology*, 327: 592–602 p.

Hosseini G. B. S.M., P. Attarod, V. Bayramzadeh, M.T. Ahmadi and A. Radmehr. 2012. Throughfall, stemflow, and rainfall interception in a natural pure forest of chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C.A. Mey.) in the Caspian Forest of Iran. *Annals of Forest Research*, 55(2): 197-206 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2004. Mapa nacional edáfico. Unidades de suelo clasificadas por FAO/UNESCO. Escala 1:250,000. Aguascalientes, Ags.; México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1995. Modelo de elevación digital en formato raster con resolución de pixel de 90 metros. Aguascalientes, Ags.; México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1987. Síntesis Geográfica, Nomenclatura y Anexo Cartográfico del estado de Puebla.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2013. Agromapas Digitales LADIGS. INIFAP Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz.

Llorens P. and F. Domingo. 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335: 37–54 p.

López R. E. 2009. Pueblos indígenas de México y agua: Mixtecos de Oaxaca. El pueblo de la lluvia. Atlas de culturas del agua en América Latina y el Caribe. México. 22 p.

Luo T., N. Ronald P., T. Hanqin, Vörösmarty C. J., Zhu H. and Liu S. 2002. A model for seasonality and distribution of leaf area index of forests and its application to China. *Journal of Vegetation Science*, 13: 817-830 p.

Maloney D., S. Bennett A. de Groot and A. Banner. 2002. Canopy interception in a hypermaritime forest on the North Coast of British Columbia. *Extensión Note # 49*. Prince Rupert Forest Region. British Columbia. 6 p.

Martin K. A.; J. T. Van Stan II; S. E. Dickerson-Lange; J. A. Lutz; J. W. Berman; R. Gersonde and J. D. Lundquist. 2013. Development and testing of a snow interceptometer to quantify canopy water storage and interception processes in the rain/snow transition zone of the North Cascades, Washington, USA. *Water Resources Research*, 49: 3243–3256 p.

Martínez P. G., A. Orozco S. y C. Martorell. 2006. Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con

características relevantes para la restauración. Boletín de la Sociedad Botánica de México, (79): 9-20 p.

Mastachi L. C. A.; E. Gonzalez S.; R. Becerril P. y I. Braud. 2010. Pérdidas por interceptación en mezquite (*Prosopis laevigata*) y huizache (*Acacia farnesiana*) de la región semiárida del centro de México. Tecnología y Ciencias del Agua, 1(1): 103-120 p.

Méndez M. J. F. 2013. Metodología para la medición de variables hidrometeorológicas que faciliten la implementación de modelos dinámicos de interceptación de lluvia en el contexto Colombiano. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola y Civil, Universidad Nacional de Colombia. 174 p.

Moses C. D. E. 2004. Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. Journal of Arid Environments, 58: 181-202 p.

Muñoz V. L. E.; F. Holwerda; M. Gómez C.; M. Equihua; H. Asbjornsen; L.A. Bruijnzeel; B.E. Marín C. and C. Tobón. 2012. Water balances of old-growth and regenerating montane cloud forests in central Veracruz, Mexico. Journal of Hydrology, 462–463: 53–66 p.

Murphy P. G. and A. E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. Annual review of ecology and systematics, 17: 67-88 p.

Muzylo A.; P. Llorens; F. Valente; J. J. Keizer; F. Domingo and J. H. C. Gash. 2009. A review of rainfall interception modelling. Journal of Hydrology, 370: 191–206 p.

Návar C. J. de J.; J. Méndez G. y H. González R. 2008. Interceptación de la Lluvia en especies de Leguminosas del Nordeste de México. TERRA Latinoamericana, 26 (1): 61-68 p.

Návar J. 2011. Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: Its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. *Journal of Hydrology*, 408: 35–42 p.

Ortega G. F.; L. M. Mitre S.; J. Roldán Q.; J. Aranda G.; D. Morán Z.; S. A. Alaniz A. y A. F. Nieto S. 1992. Carta geológica de la República Mexicana, escala 1:2'000,000: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 5ª. Edición, 1 mapa con texto explicativo.

Pennington T.D. y J. Sarukhán. 2003. Árboles Tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México. 523 p.

Petan S.; M. Sraj; M. Zorn; A. Vidmar; M. Mikos and M. Brilly. 2008. Measurement and modelling of rainfall interception and soil erosion processes an the Dragonja Experimental River basin. *Balwois* 27. 31 de mayo del 2008.

Rajaei N. M. 2014. Use of Smartphone to derive the Leaf Área Index. Thesis Master of Geoinformation Science. Center for Geo-information. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands. 68 p.

Rivas G. M., J. Palerm V., A. Muñoz O., J. Cuevas S. y T. Martínez S. 2006. “Las Jollas” en la Mixteca oaxaqueña. Una técnica tradicional de captación de agua de lluvia para riego. Memorias in extenso del Simposio CIEN 06 “EL ACCESO AL AGUA EN LA HISTORIA DE AMÉRICA”. México. 1-22 pp.

Rodrigues E. L.; M. A. T. Elmiro; F. de A. Braga; C. M. Jacobi and R. D. Rossi. 2015. Impact of changes in land use in the flow of the Pará River Basin, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (1): 70-76 p.

Ruíz A. V.; M. Gómez C.; S. Valencia M. E. y H. Cornejo O. 2005. Ensayo de procedencias de *Pinus oaxacana* Mirov en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca. 435-440 p.

Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.

SAS (Statistical Analysis System), 9.3. 2010. SAS Institute Inc. Cary NC. 27513, USA.

Seyed M. M. S.; P. Attarod; J. T. Van S.; T. Grant P. and D. Dunkerley. 2015. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201: 76–85 p.

Siggins A. 2014. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Land and Water Forest Tools v1.0. Australia.

Silva M. F. F.; R. Secco S. and M.G. A. Lobo. 1996. Ecological aspects of the tropical scrub vegetation on rocky outcrops of the Serra dos Carajas, state of Para, Brazil. *Acta Amazonica*, 26: 17-44 p.

Steffen R. M.C. 2001. Los comerciantes de Huajuapán de León, Oaxaca, 1920-1980. Plaza y Valdez Eds. México. 273 p.

Sun X., G. Wang, Y. Lin, L. Liu and Y. Gao. 2013. Intercepted rainfall in *Abies fabri* forest with different-aged stands in southwestern China. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37: 495-504 p.

Toba T. and T. Ohta. 2005. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. *Journal of Hydrology*, 313: 208–220 p.

Torales I. J. S. 2008. Grado de concentración potencial relativa de los recursos minerales de la Mixteca Oaxaqueña. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 12 (36): 49- 57 p.

Trejo H. J. I. 1996. Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 5: 11- 18 p.

Trejo I. and R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, 94: 133-142 p.

Trejo V. I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 39:40-52 p.

Ufoegbune G.C.; O. Ogunyemi; A.O. Eruola and J.A. Awomeso. 2010. Variation of interception loss with different plant species at the University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*: 4: 831-844 p.

Valencia S. M.; M. V. Velasco G.; M. Gómez C.; M. Ruíz M. y M. A. Capó A. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus Greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(001): 27- 32 p.

Van Dijk A. I. J. M. and L. A. Bruijnzeel. 2001. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2. Model validation for a tropical upland mixed cropping system. *Journal of Hydrology*, 247: 239-262 p.

Vegas G. F.; C. Álvarez; A. García and J.A. Revilla. 2012. Estimated distributed rainfall interception using a simple conceptual model and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *Journal of Hydrology*, 468–469: 213–228 p

Von Hoyningen H. J. 1981. Die interzeption des Niederschlages in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. *Deutscher Verband fur Wasserwirtschaft und Kulturbau* 57: 1–66 p.

Xiao Q. and E. G. McPherson. 2003. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban Ecosystems*, 6: 291–302 p.

Xiao Q.; E. G. McPherson; S. L. Ustin; M. E. Grismer and J. R. Simpson. 2000. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes*, 14, 763-784 p.

Xiao Y. L.; Lian Y. L.; Shang Y. G.; Yu J. M. and Zhi P. Y. 2008. Stemflow in three shrubs and its effect on soil water enhancement in semiarid loess region of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148 (10): 1501–1507 p.

Xu Z.; Z. Feng; C. Zhao; J. Zheng; J. Yang; F. Tian; H. Peng; C. Wang; S. Peng and H. Sher. 2013. The canopy rainfall interception in actual and potential distribution of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) forest. *J. Hydrol. Hydromech*, 61(1): 64–72 p.

VIII. ANEXO. FRACCIONAMIENTO DE LA LLUVIA

San Pedro Añañe, árbol 1.

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
4.3	2.9	0.7
4.3	4.0	0.1
5.1	4.1	0.6
6.1	5.2	0.3
6.3	4.8	0.1
6.3	5.2	0.4
9.3	3.3	0.1
11.9	9.4	0.7
12.3	8.2	1.0
12.3	9.8	0.6
12.6	6.6	0.1
13.1	10.4	0.1
16.3	11.2	0.7
20.3	17.7	0.3
24.3	14.8	0.4
24.3	14.8	2.1
25.1	22.1	1.0
26.3	22.4	1.6
28.3	15.4	0.4

San Pedro Añañe, árbol 2.

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
4.3	3.7	0.5
5.1	3.5	0.2
6.1	4.8	0.1
6.3	5.8	0.1

8.3	4.7	1.5
9.3	8.8	0.3
11.9	9.9	0.5
12.3	10.1	0.2
12.3	10.9	0.2
12.6	8.7	0.9
13.1	11.4	1.8
16.3	14.4	0.2
24.3	17.5	0.2
24.3	17.8	0.9
25.1	21.9	0.7
26.3	21.3	1.2

San Pedro Añañe, árbol 3.

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
4.2	3.1	0.4
4.2	3.3	0.2
5.1	3.5	1.3
6.1	5.4	0.2
6.2	3.3	0.2
6.2	5.5	0.4
11.8	6.6	0.2
12.2	11.0	0.5
12.2	11.3	0.2
12.5	9.4	0.1
13.1	9.7	0.2
16.2	14.4	0.2
20.2	18.0	0.2
24.2	21.3	0.2
25.1	23.5	0.4
26.2	25.3	0.3
28.2	25.7	0.2

San Pedro Añañe, árbol 4.

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
4.3	3.4	0.9
4.3	3.6	0.2
5.1	3.7	0.2
6.1	3.3	0.0
6.3	5.1	0.0
6.3	5.4	0.0
8.3	7.7	0.6
9.3	7.8	0.1
11.9	7.6	0.1
12.3	9.5	0.1
12.3	10.8	0.2
12.6	8.6	0.4
13.1	9.4	1.0
16.3	10.3	0.2
20.3	18.0	0.8
24.3	22.1	0.2
25.1	21.2	0.4
26.3	21.1	0.4
28.3	19.7	1.1

San Pedro Añañe, árbol 5.

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
4.3	2.6	0.2
5.1	4.4	0.2
6.1	3.2	0.1
6.3	3.4	0.2
6.3	5.4	0.1
8.3	4.2	0.5
9.3	8.4	0.2

11.9	11.2	0.3
12.3	9.6	0.2
12.3	9.7	0.1
12.6	10.0	0.2
13.1	11.1	0.3
16.3	14.4	0.2
20.3	15.9	0.7
24.3	14.7	0.2
24.3	18.2	0.4
25.1	20.2	0.8
28.3	19.7	1.4

Tecomatlán, árbol 1

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
7.1	6.7	0.4
7.1	6.7	0.2
7.1	6.7	0.2
12.3	11.4	0.8
12.9	10.5	0.5
14.3	8.6	0.6
21.4	14.1	1.0
22.3	19.0	0.9
42.9	34.3	1.6
47.1	22.9	2.1

Tecomatlán, árbol 2

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
7.1	3.9	1.6
7.1	4.1	1.6
7.1	4.4	1.6
12.9	8.3	3.6

14.3	8.5	3.9
15.7	10.4	3.9
42.9	27.9	0.8

Tecomatlán, árbol 3

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
2.0	1.2	0.3
2.6	2.3	0.3
7.1	4.3	0.5
7.1	5.7	0.3
7.1	5.9	0.3
7.1	5.9	0.3
12.3	10.8	0.7
12.9	8.8	0.9
14.3	8.3	0.6
15.7	8.5	0.7
21.4	18.7	1.4
22.3	18.8	1.6
42.9	35.0	2.4
47.1	42.7	2.4

Tehuizingo, árbol 1

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
7.1	3.3	0.4
14.3	4.9	0.8
14.3	7.0	1.7
14.3	8.2	2.5
14.3	9.0	0.8
21.4	9.0	2.0
21.4	12.1	2.5
28.6	7.0	3.3

28.6	26.2	0.3
42.9	18.9	7.5

Tehuizingo, árbol 2

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
2.6	2.5	0.1
2.6	1.6	0.0
7.1	3.3	0.1
7.1	4.9	0.0
7.1	6.6	0.2
7.1	6.6	0.3
14.3	6.6	0.2
14.3	6.6	0.3
14.3	6.6	0.3
14.3	6.6	0.3
14.3	6.6	0.3
14.3	6.6	0.2
14.3	8.2	0.2
21.4	8.2	0.9
21.4	12.3	0.6
21.4	16.4	0.9
28.6	13.1	0.6
28.6	23.0	1.3
28.6	26.2	1.2

Tehuizingo, árbol 3.

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
2.6	1.6	0.0
7.1	3.2	0.5
7.1	4.0	0.1
7.1	4.9	0.5

14.3	6.5	1.1
14.3	6.5	0.3
14.3	8.1	1.1
14.3	9.7	2.1
21.4	7.6	0.6
21.4	16.2	2.1
28.6	15.4	1.1
28.6	16.2	2.1
28.6	22.7	2.1

Tehuizingo, árbol 4

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
2.6	1.7	0.1
7.1	3.4	1.4
7.1	5.1	0.1
7.1	5.1	1.4
14.3	5.1	0.4
14.3	6.7	0.7
14.3	6.7	0.4
14.3	6.7	0.2
14.3	6.9	2.2
14.3	8.7	0.9
21.4	8.4	3.0
21.4	9.7	2.5
21.4	15.2	0.5
28.6	10.1	3.9
28.6	23.6	4.3
28.6	25.3	2.2

Tehuizingo, árbol 5

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
2.6	2.0	0.0
7.1	3.3	0.9
7.1	4.9	0.2
7.1	4.9	0.2
7.1	6.6	0.1
14.3	2.0	0.0
14.3	4.5	0.7
14.3	8.2	0.9
14.3	9.8	1.8
14.3	3.3	0.9
21.4	14.3	0.2
28.6	11.7	0.2
28.6	26.6	0.4

Xochihuehuetlán, árbol 1

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
0.3	0.2	0.01
0.6	0.2	0.00
3.0	2.5	0.04
5.4	3.2	0.02
5.7	3.8	0.05
7.1	4.2	0.15
8.0	7.1	0.35
8.6	5.7	0.02
11.7	7.9	0.06
12.6	8.4	0.42
14.6	11.6	0.09
17.0	14.1	1.88
21.4	20.4	0.54

28.0	14.9	1.02
34.1	19.0	0.98
35.3	22.5	1.51
35.7	22.7	1.91
37.1	14.5	4.19
42.5	24.8	0.25
42.9	15.2	1.61
43.1	27.6	10.04
50.0	27.6	8.05
50.0	36.0	2.93

Xochihuehuetlán, árbol 2

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
0.6	0.3	0.00
3.7	0.6	0.02
5.7	2.9	0.05
7.1	3.4	0.04
8.6	4.8	0.05
8.6	8.4	0.14
11.7	8.7	0.06
12.6	9.5	0.16
14.6	9.7	0.14
14.6	9.7	0.14
17.0	16.7	0.11
21.4	12.8	0.43
28.0	25.7	1.19
34.1	19.6	0.60
35.3	26.1	0.26
35.7	22.7	0.83
37.1	15.2	8.21
42.5	26.1	0.24
42.9	15.3	0.47
43.1	29.7	0.59

50.0	35.3	2.15
------	------	------

Xochihuehuetlán, árbol 3

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
3.7	1.0	0.8
5.4	3.4	0.81
5.7	3.8	0.06
7.1	3.8	0.55
8.6	5.5	1.95
8.6	5.7	0.65
11.7	8.1	0.26
12.6	7.8	1.27
14.6	8.6	2.25
21.4	11.4	6.75
28.0	21.9	3.26
34.1	21.3	6.54
35.7	22.0	8.64
37.1	24.0	1.46
42.5	22.7	7.93
43.1	23.4	9.92
50.0	29.4	9.92
50.0	35.4	0.24

Xochihuehuetlán, árbol 4

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
5.4	3.6	0.73
5.7	3.8	0.54
7.1	4.2	1.26
8.6	5.7	0.43
8.6	5.7	1.08
8.9	6.1	1.24

11.7	5.3	0.87
12.6	6.1	2.81
14.6	9.7	0.32
17.0	13.7	0.69
34.1	21.0	6.99
35.3	21.6	6.96
35.7	18.5	7.01
37.1	22.9	0.54
42.5	17.6	6.01
42.9	20.1	7.25
43.1	22.7	7.44
50.0	32.6	8.22
50.0	40.2	0.21

Xochihuehuetlán, árbol 5

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
5.4	4.1	0.82
5.7	2.9	0.32
7.1	3.6	0.69
8.6	4.8	0.49
11.7	8.5	0.65
14.6	9.1	1.11
15.7	11.8	3.66
35.3	19.0	5.67
42.9	20.2	7.56
43.1	20.0	7.38
50.0	28.0	9.35
50.0	33.3	1.28

Huamuxtitlán, árbol 1

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
1.4	0.3	0.01
1.6	0.6	0.01
1.9	0.7	0.02
2.0	0.7	0.02
2.1	0.7	0.01
2.9	1.8	0.02
3.1	1.2	0.03
3.1	1.3	0.03
4.0	2.3	0.02
4.1	1.5	0.04
4.3	2.1	0.06
4.9	2.7	0.03
5.3	2.1	0.04
7.1	3.4	0.06
8.6	6.5	0.14
8.6	7.5	0.08
11.4	8.2	0.19
13.4	11.4	0.09
14.3	11.9	0.16
15.7	5.5	0.2
20.0	6.5	0.17
51.4	30.5	0.8

Huamuxtitlán, árbol 2

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
1.4	0.7	0.01
1.7	0.7	0.02
1.9	0.9	0.03
2.0	1.5	0.03

2.1	0.9	0.01
2.9	2.6	0.05
3.1	1.6	0.05
3.1	1.8	0.04
3.6	1.9	0.05
4.0	3.2	0.06
4.1	2.4	0.01
4.3	2.9	0.1
4.9	3.5	0.08
5.3	2.7	0.02
6.7	3.8	0.12
7.1	4.3	0.11
7.7	4.9	0.1
8.3	5.5	0.12
8.9	5.5	0.12
14.3	9.1	0.25
14.9	3.6	0.126
15.7	13.6	0.005
20.0	15.1	0.28
51.4	35.3	0.78

Huamuxtitlán, árbol 3

Precipitación (mm)	Lámina del Follaje(mm)	Lámina del tallo (mm)
1.4	0.6	0.01
1.6	0.8	0.05
1.7	0.7	0.01
2.0	1.4	0.18
2.1	0.8	0.01
3.1	1.8	0.01
3.1	1.9	0.05
3.6	2.0	0.05
4.0	3.9	0.02
4.1	2.4	0.04

4.3	3.7	0.02
4.9	4.2	0.02
5.3	2.6	0.05
6.7	4.1	0.45
7.1	4.9	0.05
7.7	5.6	0.04
8.3	6.1	0.05
8.9	7.3	0.07
14.3	9.8	0.14
14.9	7.6	1.12