



a
 d Autónoma de
 o de los objetivos y políticas
 4-2018, presenta la **Colección de**
 u versión digital, resultado de la
rsitario emitida a través de la Dirección

arios, editada por la Dirección General de
 H, difunde el patrimonio científico, cultural y
 nico 2014-2018 de la Universidad. Es una colección
 rre a los avances tecnológicos, modernizando su
 de su valor académico. Los títulos publicados conforman
 tífico de nuestra Universidad. Así, la **Colección** puede
 e nuestro tiempo.

Universitario revelan aspectos c
 nuestra Universidad en el momento de su
 testimonio de la recepción en el á
 con singular claridad las conviccio
 fronteras, al estar disponibles virtualmente

Universitarios se propone ser parte del
 Editorial Universitario. Su producción
 investigación referidos en el mejoramiento de

onas y grupos colegiados de científicos y académicos con
 gaciones, formulen sus propias preguntas y encuentren
 conocimientos científicos, tecnológicos y humanísticos
 o y ambiental del estado de Chiapas, la región y el país.
 amientas necesarias para que, a través del estudio
 os y enriquecer humanamente su entorno.

de la necesidad de servir”

nio Ruiz Hernández
 sidad Autónoma de Chiapas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

COLECCIÓN DE TEXTOS UNIVERSITARIOS

Suelos de Chiapas: Manejo, conservación y restauración

Juan Alberto Rodríguez Morales
 José Luis Arellano Monterrosas
 Jaime López Martínez





RECTORÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SUELOS DE CHIAPAS: MANEJO, CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

Juan Alberto Rodríguez Morales

José Luis Arellano Monterrosas

Jaime López Martínez

DIRECTORIO

Mtro. Carlos Eugenio Ruiz Hernández
RECTOR

Mtro. Hugo Armando Aguilar Aguilar
SECRETARIO GENERAL

Mtro. Roberto Sosa Rincón
SECRETARIO ACADÉMICO

Lic. Erick Emmanuel Luis Gijón
ENCARGADO DE LA SECRETARÍA ADMINISTRATIVA

Mtro. Luis Iván Camacho Morales
SECRETARIO AUXILIAR DE RELACIONES INTERINSTITUCIONALES

Dra. María Eugenia Culebro Mandujano
DIRECTORA GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Dr. Lisandro Montesinos Salazar
DIRECTOR GENERAL DE PLANEACIÓN

Lic. Víctor Fabián Rumaya Farrera
DIRECTOR GENERAL DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Mtra. Rocío Aguilar Sánchez
JEFA DE LA UNIDAD DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



RECTORÍA
2014-2018

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
Mtro. Carlos Gumaro García Castillo
DIRECTOR

Dr. Benjamín Moreno Castillo
SECRETARIO ACADÉMICO



a
d Autónoma de
o de los objetivos y políticas
14-2018, presenta la **Colección de**
su versión digital, resultado de la
Universitario emitida a través de la Dirección

Universitarios, editada por la Dirección General de
H, difunde el patrimonio científico, cultural y
mico 2014-2018 de la Universidad. Es una colección
urre a los avances tecnológicos, modernizando su
de su valor académico. Los títulos publicados conforman
ntífico de nuestra Universidad. Así, la **Colección** puede
de nuestro tiempo.

Universitario revelan aspectos c
nuestra Universidad en el momento de su
testimonio de la recepción en el ál
con singular claridad las convicción
fronteras, al estar disponibles virtualmente

Universitarios se propone ser parte del
Editorial Universitario. Su producción
investigación referidos en el mejoramiento de

sonas y grupos colegiados de científicos y académicos con
igaciones, formulen sus propias preguntas y encuentren
conocimientos científicos, tecnológicos y humanísticos
o y ambiental del estado de Chiapas, la región y el país.
ramientas necesarias para que, a través del estudio
os y enriquecer humanamente su entorno.

de la necesidad de servir”

onio Ruiz Hernández
sidad Autónoma de Chiapas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
COLECCIÓN DE TEXTOS UNIVERSITARIOS

Suelos de Chiapas: Manejo, conservación y restauración

Juan Alberto Rodríguez Morales
José Luis Arellano Monterrosas
Jaime López Martínez



**SUELOS DE CHIAPAS:
MANEJO, CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN**

D.R. © 2017. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
Boulevard Belisario Domínguez Km. 1081 sin número, Colina Universitaria,
Terán, C.P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

D.R. © 2017. Juan Alberto Rodríguez Morales, José Luis Arellano Monterrosas
y Jaime López Martínez

ISBN: 978-607-8459-59-9

Edición:

Dirección General de Investigación y Posgrado

Imagen de portada:

Jorge Reyes Reyes

"Productores de café del ejido Jalapa, municipio de Escuintla, Chiapas,
construyendo presas de morillos"

Colección:

Textos Universitarios (versión digital)

Coordinación General Editorial:

María Eugenia Culebro Mandujano

Coordinación de enlace:

Rocío Aguilar Sánchez

Diseño de la Colección:

Bernardo O. R. De León

Este libro fue impreso con recursos del Programa "Fortalecimiento de la Calidad Educativa"
Reprogramación 2016 P/PFCE-2016-07MSU0001H-01

La presente publicación ha sido evaluada y aprobada por pares académicos externos a la institución.

Dirección General de Investigación y Posgrado

Hecho en México (*Made in Mexico*)

CONTENIDO

PRESENTACIÓN II

PRELIMINARES 13

CAPÍTULO 1

LOS SUELOS EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS 17

LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO
DE MOTOZINTLA, CHIAPAS Y PROPUESTAS
PARA SU MANEJO Y CONSERVACIÓN 19

APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS Y MICORRIZAS
EN PLANTAS DE JAMAICA (*HIBISCUS SABDARIFFA* L.)
PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN 33

DRENAJE AGRÍCOLA CONTROLADO EN LA COSTA DE CHIAPAS 57

CAPÍTULO 2
LOS SUELOS EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN
AL CAMBIO CLIMÁTICO **105**

¿POTENCIAL DE LAS FABÁCEAS PARA EL CONTROL
BIOLÓGICO DE ARVENSES Y RESILIENCIA DE SUELOS
EN SISTEMAS PALMA DE ACEITE **107**

REHABILITACIÓN DE SUELOS CON FABÁCEAS
ARBUSTIVAS EN AGROECOSISTEMAS DE MANGO
ATAULFO (*MANGIFERA INDICA* L.) **121**

EVALUACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES
HIDROLÓGICOS EN SUBCUENCAS DEL ÁREA
NATURAL PROTEGIDA LA FRAILESCANA **135**

CAPÍTULO 3

LOS SUELOS Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE 159

REFORESTACIÓN EN LA CUENCA DEL VALLE
DE JOVEL, CHIAPAS 161

SUSTRATOS ALTERNATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN
DE PLANTAS FORESTALES DE INTERÉS COMERCIAL 167

PERCEPCIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO
EN PRODUCTORES DE SISTEMAS SILVOPASTORILES
EN EL MUNICIPIO DE PIJIJAPAN, CHIAPAS 183

ZONIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS
DE INTERVENCIÓN EN CUENCAS DE LAS REGIONES
SIERRA MADRE Y COSTA DE CHIAPAS 195

EVALUACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO
INTEGRADO PARA LA CUENCA VILLAHIDALGO 207

UNACH

PRESENTACIÓN

La Universidad Autónoma de Chiapas, en el marco de los objetivos y políticas del *Proyecto Académico 2014-2018*, presenta la **Colección de Textos Universitarios** en su versión digital, resultado de la convocatoria **Libro Digital Universitario** emitida a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado.

La Colección de Textos Universitarios, editada por la Dirección General de Investigación y Posgrado de la UNACH, difunde el patrimonio científico, cultural y tecnológico enunciado en el *Proyecto Académico 2014-2018* de la Universidad. Es una colección con doble propósito editorial porque recurre a los avances tecnológicos, modernizando su producción, publicación y distribución; además de su valor académico. Los títulos publicados conforman escenarios para el desarrollo académico y científico de nuestra Universidad. Así, la **Colección** puede considerarse como una estrategia representativa de nuestro tiempo.

Los contenidos presentes en el **Libro Digital Universitario** revelan aspectos decisivos en la investigación de los estudiosos activos en nuestra Universidad en el momento de su publicación, al mismo tiempo que dan testimonio de la recepción en el ámbito de las Instituciones Educativas, que perciben con singular claridad las convicciones de que los libros digitales nos permiten cruzar las fronteras, al estar disponibles virtualmente en cualquier parte del mundo.

La Colección de Textos Universitarios se propone ser parte del quehacer universitario dentro del Programa Editorial Universitario. Su producción contribuirá a lograr los objetivos de docencia e investigación referidos en el mejoramiento de los programas educativos.

Hoy más que nunca, la sociedad necesita personas y grupos colegiados de científicos y académicos con mentes de capacidad crítica, que realicen investigaciones, formulen sus propias preguntas y encuentren sus propias respuestas; asimismo, que generen conocimientos científicos, tecnológicos y humanísticos para contribuir al desarrollo social, económico y ambiental del estado de Chiapas, la región y el país. Es tiempo de brindar a los lectores las herramientas necesarias para que, a través del estudio reflexivo, puedan transformarse a sí mismos y enriquecer humanamente su entorno.

“Por la conciencia de la necesidad de servir”

Mtro. Carlos Eugenio Ruiz Hernández

RECTOR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

MAYO DE 2017

PRELIMINARES

El suelo es uno de los recursos finitos más utilizados por la humanidad, es básico para la producción agropecuaria y forestal. En los últimos años la tendencia a su degradación ha sido creciente en muchos países; México y particularmente el estado de Chiapas no escapan a esta situación.

En nuestro país se considera que más del 80% de los suelos están afectados por problemas de erosión o degradación de sus características naturales; la causa principal radica en el manejo que se les ha dado en los diferentes sistemas de producción agropecuaria y forestal. Los procesos de degradación como la deforestación, sobrepastoreo, usos del suelo en contra de su aptitud y capacidad natural, la erosión hídrica y el establecimiento de monocultivos, entre otros, han causado importantes efectos sobre la cantidad y calidad de los suelos en uso productivo.

Está suficientemente demostrado que no conservar los suelos en buen estado puede llevar a problemas económicos y sociales, como la generación de conflictos por el uso del agua y la tierra, baja producción agrícola, pobreza, vulnerabilidad y emigración obligada de la población.

Por ello, la importancia de los suelos para el sostén de la vida humana, ha sido reconocida durante el último medio siglo con la aparición de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), junto con ella, decenas de otras instituciones internacionales y nacionales, año tras año alertan sobre la degradación del suelo y sus repercusiones en el mantenimiento de la biodiversidad, la mitigación de la pobreza y la seguridad alimentaria.

De esta manera, la FAO declaró el 2015 como el **“Año Internacional de los Suelos”**, con el fin de crear conciencia sobre su importancia en la vida humana y reconocer su valor en la producción de alimentos, la mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible.

En el marco de las celebraciones del **“Año Internacional de los Suelos”** y **“Día Internacional del Suelo”** (5 de diciembre), la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) a través de la Facultad de Ciencias Agrícolas; la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) a través del Centro de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático y de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra; la Comisión Nacional del Agua a través del Organismo de Cuenca Frontera Sur y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias a través del Campo Experimental Centro de Chiapas, organizaron y llevaron a cabo el **Cuarto Seminario sobre Manejo y Conservación del Suelo y Agua en Chiapas (2015, Año Internacional de los Suelos)** convocando a los especialistas, técnicos e investigadores para que dieran a conocer los resultados de investigaciones y transferencia de tecnología sobre el uso, manejo y la conservación de los suelos en las diferentes regiones y sistemas de producción agropecuaria y forestal del estado de Chiapas.

Este libro integra los trabajos presentados en el Seminario referido, dividido en tres capítulos: El primero *“Los suelos en la producción de alimentos”*, en su primer trabajo aborda la fertilidad de los suelos en el municipio de Motozintla como base para el manejo y la conservación de este recurso, dada la vulnerabilidad de esas áreas y los efectos de los cambios de usos del

suelo, en palabras de las autoras, el aumento de la productividad puede lograrse si la fertilidad de los suelos se mejora mediante prácticas agroecológicas. Retomando estos criterios, el segundo documento evalúa la aplicación de abonos orgánicos para incrementar la producción de cáliz de la flor de jamaica. El último trabajo presenta experiencias de drenaje agrícola controlado en áreas tropicales de México con manejo del régimen de humedad en el suelo y analiza los efectos en la cosecha de caña de azúcar. El Capítulo dos **“Los suelos en la mitigación y adaptación al cambio climático”** presenta dos escritos con resultados sobre la utilización de fabáceas arbustivas y su potencial en el control de arvenses y rehabilitación de suelos tanto en cultivo de palma de aceite como en mango ataulfo; el tercer trabajo de este capítulo aborda el estudio de los servicios ambientales hidrológicos en un área natural protegida. Por último, en el Capítulo tres **“Los suelos y el desarrollo sustentable”**, se presentan seis documentos, dos de ellos consisten en evaluación de sustratos alternativos para la producción de especies forestales de interés comercial y reforestación; asimismo, se integra un escrito sobre reforestación y el impacto social en la zona del Valle de Jovel. Estudio sobre la percepción de la calidad del suelo por parte de productores es abordado en otro de los trabajos; la siguiente contribución trata sobre la zonificación de áreas prioritarias para intervenir con trabajos de conservación-restauración de suelos y la última, evalúa el efecto de las acciones en materia de conservación del suelo y agua a nivel de cuenca. Todos los trabajos derivados de investigaciones realizadas dentro del contexto territorial del Estado de Chiapas, en el sureste de México.

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

CAPÍTULO 1

LOS SUELOS EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO DE MOTOZINTLA, CHIAPAS Y PROPUESTAS PARA SU MANEJO Y CONSERVACIÓN

Gloria Cristina Pérez Sarmiento
y Silvia Guadalupe Ramos Hernández

RESUMEN

En la Sierra Madre de Chiapas ha cambiado el uso del suelo de forestal a agrícola, incluso se han involucrado terrenos con pendientes pronunciadas. En el municipio de Motozintla, una de las limitaciones más importantes que existen está relacionada con la baja fertilidad de los suelos a causa de malas prácticas de manejo. El objetivo del presente trabajo es evaluar las propiedades físicas y químicas asociadas con la fertilidad actual de los suelos en la cuenca representativa del municipio de Motozintla; para ello, se realizó una caracterización geomorfológica, el estudio de ocho perfiles y se tomaron 20 muestras para el análisis de fertilidad y la caracterización del área. Las propiedades físicas y químicas de los suelos fueron diferentes significativamente

y, aunque comparten algunos rasgos comunes, sugieren que ello debe considerarse para la caracterización del área. Las 20 muestras de suelo presentaron pH neutro a moderadamente ácido y, en general, textura arenosa, las cuales son condiciones restrictivas para la producción. El porcentaje de materia orgánica es bajo y la capacidad de intercambio de iones reducida, aunque con valores considerables de bases de Ca y Mg intercambiables. Además, en la zona influyen de manera considerable los parámetros morfométricos que determinan una mayor pérdida de nutrientes y, por tanto, de degradación. En conclusión, el aumento de la productividad puede lograrse si la fertilidad de los suelos se mejora mediante prácticas agroecológicas como la adición de materiales orgánicos, tomando en consideración el aspecto ambiental así como la productiva.

INTRODUCCIÓN

El suelo es importante para la vida del hombre y de todos los seres vivos, por ello, este recurso se debe conservar. Sin embargo, en la actualidad está amenazado seriamente por la práctica de sistemas de producción inadecuados, que incluso han acelerado los procesos de erosión y desertificación de grandes zonas. De igual forma, la industrialización y urbanización han generado una gran cantidad de desechos que son incorporados al suelo, lo cual ocasiona tanto la reducción de su fertilidad como la modificación de sus procesos naturales.

El análisis físico y químico de los suelos es considerado como el medio adecuado para el diagnóstico de problemas de producción relacionadas con su fertilidad. En el sentido más estricto de la palabra, el término *análisis de suelo* considera la determinación de su estado nutritivo incluyendo la interpretación, evaluación y, en algunos casos, la recomendación de prácticas de restauración. Por otro lado, esta caracterización general, podría ser usada como un indicador de apoyo para la interpretación de resultados de análisis de suelos en la zona.

Son innumerables los informes sobre los beneficios en la fertilidad del suelo logrados por las adiciones de enmiendas orgánicas y, más precisamente, por las aplicaciones de compostas maduras; por ejemplo, Pool-Novelo *et al.* (2000), realizaron un trabajo concerniente a mejorar la fertilidad del suelo agrícola de ladera en los Altos de Chiapas, México; León-Nájera *et al.* (2006), estudiaron la mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los Altos de Chiapas, México; en la región del Soconusco, Chiapas; Alonso y Aguirre (2011), estudiaron el efecto del manejo del suelo sobre algunas de sus propiedades físicas, químicas e hidráulicas. De estos estudios se deriva que el conocimiento de las características físicas y químicas de los suelos de una región determinada permite predecir, en forma muy general, cuales son los problemas nutrimentales que podrían ocurrir con mayor frecuencia y, a su vez, tener una afectación en los cultivos.

En el presente trabajo se evaluó la fertilidad de los suelos en laderas y valle de Motozintla, con el fin de identificar los posibles factores que están limitando a los diferentes cultivos y formular recomendaciones para mejorar la productividad de los suelos de la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un recorrido de campo en la zona con base en cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Se calcularon los parámetros morfométricos de la cuenca tales como: densidad de ríos, disección vertical, pendiente y el orden de ríos (Lugo, 1988); se tomó de base la cartografía del INEGI (2006) de escala 1: 50 000, un Modelo Digital de Elevación (1:50,000). Así, la información fue digitalizada con las herramientas de los sistemas de información geográfica (SIG): Arc View® versión 3.2 y Arc Gis Map®, para ello, diferentes módulos de análisis espacial como Spatial Analysis y 3D Analyst fueron usados. Posteriormente, se delimitó la cuenca de la zona de estudio mediante el análisis hidrográfico, realizando los

ajustes digitales según las cartas topográficas. De acuerdo a la información cartográfica y geomorfológica, los sitios de muestreos fueron seleccionados al azar y ocho perfiles de suelos se localizaron para describir las características morfológicas. Todos los sitios se referenciaron con un geo-posicionador (GPS), registrando datos en campo sobre los usos del suelo. Para fines de fertilidad, se colectaron 20 muestras de suelos del estrato 0-20 cm, que corresponde a la zona de mayor desarrollo radical. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico y se etiquetaron con los datos correspondientes para identificarlas debidamente; para ello, se contemplaron los siguientes datos: número de muestra y el tipo de cultivo que se tiene en el lugar, así como las coordenadas geográficas registradas en el GPS. Las muestras ya secadas, molidas y tamizadas con malla de 2 mm, se sometieron a los análisis físico (color, Da, Dr, porosidad y textura) y químico (pH, MO, C, CIC, Ca y Mg) siguiendo los métodos establecidos en el Laboratorio de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mapas en base a las características geomorfológicas

La cuenca por su geomorfología montañosa presenta un gradiente altitudinal de 1024 a los 2700 m (Figura 1). De acuerdo a las curvas de nivel ésta se subdividió en microcuencas, de las cuales fueron seleccionadas 12 donde se ubican los ocho perfiles y los 20 puntos de muestreo de fertilidad (Figura 2).

Orden hidrológico

Los ríos principales presentes en la zona son el Xelajú chico, Xelajú grande y Río Mazapa, éstos tienen diferentes órdenes hidrológicos que van del primer al quinto orden observándose que en la cuenca predomina las de primer orden (Figura 3).

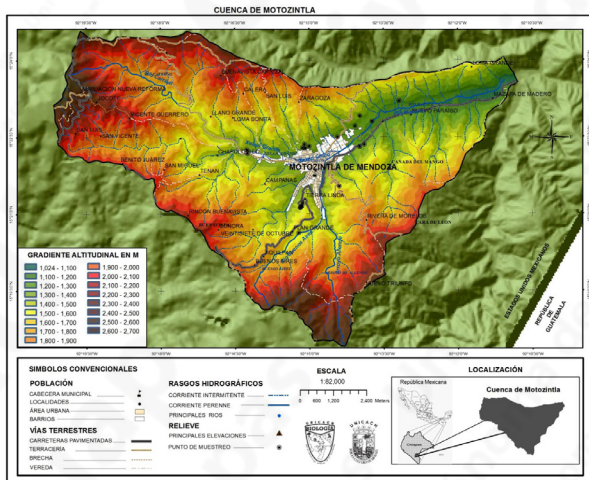


Figura 1. Generalidades de la cuenca de Motozintla, Chiapas (Mapa: Gloria Cristina Pérez Sarmiento)

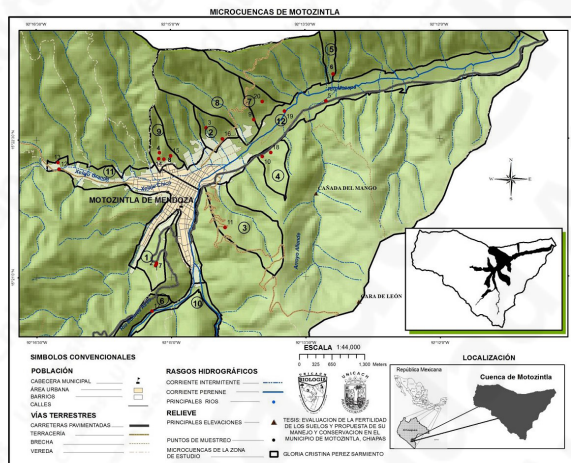


Figura 2. Representación de las microcuencas en las cuales se ubican los puntos de muestreos de fertilidad (Mapa: Gloria Cristina Pérez Sarmiento)

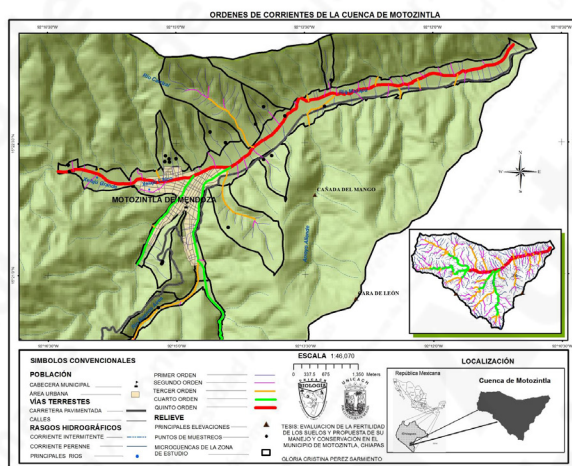


Figura 3. Orden hidrológico de las microcuencas de acuerdo al método de Strahler (1964) (Mapa: Gloria Cristina Pérez Sarmiento)

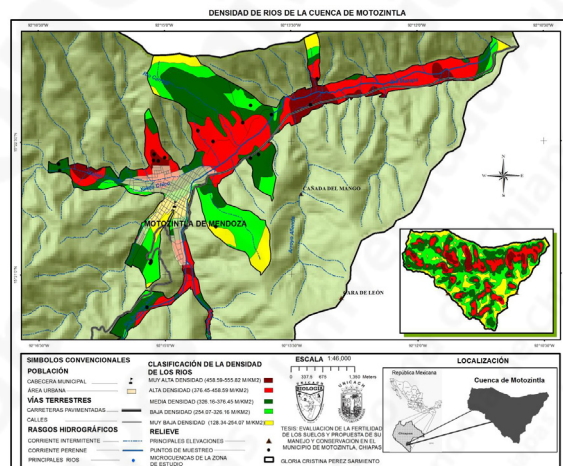


Figura 4. Densidad de ríos de las microcuencas (Mapa: Gloria Cristina Pérez Sarmiento)

De acuerdo a la clasificación de Horton, la cuenca presenta órdenes de corriente del primer al quinto, predominando los de primer orden.

En igualdad de condiciones en relación al área, clima y suelo, cuanto más alto es el orden de corriente de la cuenca mayor es su grado de desarrollo fluvial (Campos, 1998) y responde rápidamente a una tormenta (Aparicio, 2001); esto se observó en las microcuencas 11 y 12 que se localizan en la parte media de la cuenca presentando un quinto orden de corriente, donde se encuentran las muestras 5, 12, 13, y 19 con algunas propiedades físico y química similares. Asimismo, un mayor orden indica en general mayor posibilidad de erosión y consigo la pérdida de los nutrientes importantes por la fuerza que la corriente ejerce sobre el área, principalmente en los laterales del cauce.

Densidad de escurrimiento

La densidad de ríos se clasificó en muy baja densidad ($128.34 - 254.07 \text{ m km}^{-2}$), baja densidad ($254.07 - 326.16 \text{ m km}^{-2}$), media densidad ($326.16 - 376.45 \text{ m km}^{-2}$), alta densidad ($376.35 - 458.59 \text{ m km}^{-2}$) y muy alta densidad ($458.59 - 555.82 \text{ k km}^{-2}$) (Figura 4).

La zona presenta media, alta y muy alta densidad en la parte alta, siendo menos densa en la parte baja de la cuenca; los valores de densidad están generalmente asociados a condiciones climáticas y litológicas de la región (Summerfiel, 1991; Breña y Jacobo, 2006), condiciones características de la zona de estudio. Donde estos indicadores son elevados, los suelos se erosionan fácilmente o son relativamente impermeables, las pendientes son altas y la cobertura vegetal es escasa. Lo que refleja una cuenca altamente disectada (Figura 5), generando una alta respuesta y generación de escurrimiento hacia el punto de descarga o salida de la cuenca. El escurrimiento de esta cuenca no es permanente, presentándose solo durante la época lluviosa pero consecuentemente trae consigo el arrastre de material por falta de vegetación y así el empobrecimiento de la fertilidad del suelo en la zona.

Disección vertical

En la parte central de la cuenca se ubica el valle tectónico, la disección vertical presente son montañas fuertemente diseccionadas de 500 a 1000 m km⁻² (Figura 5).

Pendiente

La pendiente en la cuenca se clasificó en ligeramente inclinados de 3° a 5°, ligera a medianamente inclinados de 5° a 10°, medianamente inclinados de 10° a 15°, mediana a fuertemente inclinados de 15° a 20°, fuertemente inclinados de 20° a 30° y muy fuertemente inclinados de 30° a 45° (Figura 6).

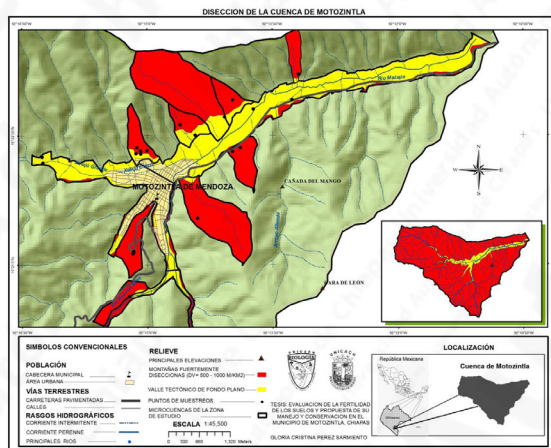


Figura 5. Disección de las microcuencas (Mapa: Gloria Cristina Pérez Sarmiento)

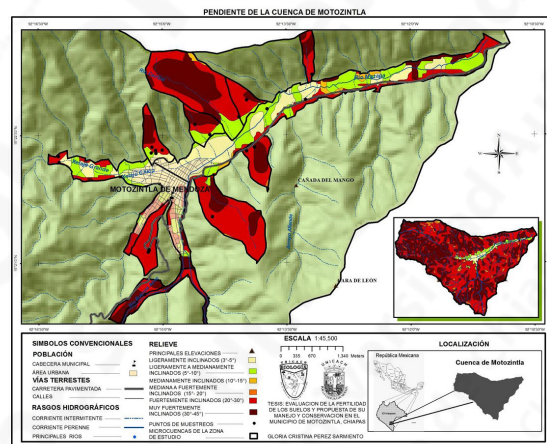


Figura 6. Pendiente de las microcuencas (Mapa: Gloria Cristina Pérez Sarmiento)

Las cuencas de mayores pendientes tienen una escorrentía de mayor velocidad, por tanto, tienden a responder más rápidamente a la precipitación (Campos, 1998). Al aumentar la pendiente de la zona (Figura 6) aumenta también la dinámica erosiva, incrementando la escorrentía superficial y arrastre de material (López, 2012). Por otro lado, los procesos erosivos están relacionados con las zonas donde se desarrollan actividades agrícolas en relieves

de fuertes pendientes; en estos sectores la sobre utilización de las tierras, ligada a las prácticas inadecuadas de labores agrícolas, han conducido a la eliminación de la capa fértil y a la reducción de los rendimientos de la producción.

Análisis físicos y químicos de las muestras para fines de fertilidad

El color predominante de las muestras es pardo en seco y pardo rojizo en húmedo. Cuatro del total de muestras (13, 17, 18 y 19) presentaron coloraciones grisáceas. Los colores oscuros pueden indicar la presencia de complejos de materia orgánica con óxidos de hierro, de carbón, de óxidos de manganeso y/o de magnetita (Montenegro y Malagón, 1990). En la zona, la mayor parte de los suelos presentaron una coloración de pardo amarillento a pardo rojizo y pocos con coloraciones grisáceas, lo que indica contenido reducido de materia orgánica.

De acuerdo a las propiedades físicas, el color predominante de los suelos es de pardo en seco y pardo rojizo en húmedo, algunos perfiles presentan coloraciones grisáceas (Cuadro 1). Los valores de densidad aparente en la mayoría de las muestras son menores al valor crítico de 1.35 g cm^{-3} , ya que fluctúan entre 0.87 y 1.27 g cm^{-3} , registrándose con mayor frecuencia valores menores a 1.17 g cm^{-3} . El valor máximo que se encontró fue de 1.47 g cm^{-3} y el mínimo fue de 0.87 g cm^{-3} . Los valores de densidad real en la mayoría de las muestras fueron menores al rango de 2.60 a 2.75 g cm^{-3} . El valor máximo que se encontró fue de 2.61 g cm^{-3} y el mínimo fue de 2 g cm^{-3} .

Los valores de densidad aparente en la mayoría de las muestras se encuentran por debajo del valor crítico (1.35 g cm^{-3}), ya que presentan valores que fluctúan entre 0.87 g cm^{-3} a 1.27 g cm^{-3} . Con mayor frecuencia se presentan valores por debajo de 1.17 g cm^{-3} . El valor máximo que se encontró fue de 1.47 g cm^{-3} correspondiente a la muestra tres. El valor mínimo fue de 0.87 g cm^{-3} correspondiente a la muestra cinco. La densidad aparente es dependiente de la

porosidad y, por esto mismo, adquiere valores muy variables aún en un mismo tipo de suelo; además, es afectada por las actividades de manejo y la cantidad de materia orgánica (Narro, 1994; León, 2001). Los valores de la densidad real en la mayoría de las muestras se encuentran por debajo del rango de 2.60 a 2.75 g cm⁻³. El valor máximo que se encontró fue de 2.61 g cm⁻³, correspondiente a la muestra 20. El valor mínimo fue de 2.0 g cm⁻³ de la muestra ocho.

Cuadro 1. Análisis de las propiedades físicas del suelo para caracterizar el área de Motozintla

Perfil	Prof. (cm)	Clase textural	Color		Porosidad (%)
			Seco	Húmedo	
1	180	Arenosa, franca-arenosa y franca-areno-arcillosa	Pardo amarillento	Pardo amarillento obscuro en húmedo	49.00
2	110	Franca Arenoso	Pardo claro	Pardo intenso en húmedo	entre el 42 a 52
3	152.5	Arenosa y arenosa franca	Gris claro a pardo amarillento claro	Gris obscuro a pardo amarillento obscuro	37 a 55
4	81	Arenosa y arenosa franca	Pardo amarillento claro	Pardo obscuro	48.00
5	97	Franca arena-arcillosa, franca arenosa y arenosa	Pardo pálido a amarillo cobrizo	Pardo obscuro a amarillo cobrizo	50.84
6	79	Franca arenosa a arenosa franca	Pardo amarillento a gris claro	Pardo grisáceo muy obscuro a gris cobrizo claro	45.82
7	150	Franca Arenosa	Pardo pálido	Pardo amarillento	49.60
8	95	Franco arenoso	Pardo amarillento obscuro	Pardo amarillento obscuro	55.44

Los valores de porosidad fueron mayores al 38%. El valor máximo que se encontró fue de 57.47%, mientras que el mínimo de 38.23%. La clase textural con mayor frecuencia fue la franca arena-arcillosa. Los suelos con texturas arenosas tienden a tener densidades mayores que suelos más finos, esto se puede notar en la mayor parte de las muestras de texturas arenosa y franco-arenosa (Cuadro 1). Debido a ello, en los suelos arenoso hay un rápido movimiento de aire y agua en el interior, mientras que en los arcillosos, por la deficiente circulación

del aire y agua, la infiltración se ve limitada y genera un ambiente anaeróbico, que afecta el desarrollo de la raíz y el crecimiento de las plantas en general (Narro, 1994). Lo anterior se ve reflejado en las muestras de fertilidad que presentaron texturas franco arcillo arenoso; por tanto, los terrenos son notablemente más afectados.

De acuerdo a las propiedades químicas, la mayor parte de las muestras presentan trazas de alófono que van de niveles muy bajos a bajos, solo una muestra presenta alto contenido y dos no presentaron alófono. Los suelos provenientes de rocas básicas tienen un pH mayor que aquellos formados de rocas ácidas como el granito. Una parte de la zona se caracteriza por presentar material metagranítico y vegetación de bosque de pino-encino; por lo tanto, dos muestras presentan un pH fuertemente ácido, debido posiblemente a los aportes provenientes de la descomposición de la materia orgánica, principalmente compuesta por acículas de *Pinus spp* (Shoji et al., 1993).

La mayoría de los valores del potencial de hidrogeniones (pH) en agua se encuentran arriba de 6, el máximo fue de 7.6, correspondiente a la muestra dos. El pH de las muestras se encuentran en un rango de 4.7 a 7.6. Los valores en KCl 1N alcanzaron valores arriba de pH 4.07, con un valor máximo 7.08 correspondiente a la muestra 3. De acuerdo a los valores obtenidos se puede observar que la mayoría de las muestras tienen un pH moderadamente ácido mientras las demás muestras presentan neutralidad.

El valor más alto de materia orgánica es 6.9% correspondiente a la muestra 8; el valor mínimo fue de 0.71% de la muestra tres; para la mayoría de las muestras el porcentaje de materia orgánica es medio. Los porcentajes de carbono son bajos en todas ellas. Es importante mencionar que los contenidos de materia orgánica (MO) disminuyen con la profundidad del perfil (Bertsch, 1995); en los horizontes superficiales de los perfiles presentaron mayor contenido de MO; considerando los valores establecidos en la NOM-021, el contenido de

materia orgánica en las muestras de fertilidad son bajos, medios y un poco altos; éstos pueden estar indicando procesos de lavado o erosión debidos al mal uso y manejo de los suelos; sin embargo, debido al efecto físico del tamaño de las partículas, la materia orgánica aumenta la capacidad de retención de agua de suelos arenosos y aumenta la capacidad de aireación de suelos arcillosos (Julca- Otiniano *et al.*, 2006). Para la mayoría de las muestras, el porcentaje de materia orgánica es medio; por tanto, los porcentajes de carbono son bajos en todas.

La capacidad de intercambio catiónico se encuentra en un rango de 1.59 a 5.28 meq 100 g⁻¹. El valor con mayor frecuencia es mayor de 2 meq 100 g⁻¹. De acuerdo a la clasificación de la fertilidad de los suelos, la CIC es muy baja. El contenido de calcio es variable en las muestras, pero aun así en la mayoría tuvo niveles grandes de Ca y Mg; la concentración mayor fue de 31.61. La disminución de la CIC ha promovido una menor retención de cationes básicos en el suelo, lo cual es notorio al observar la tendencia en los contenidos de calcio y magnesio. El contenido de calcio y magnesio en los suelos fue relativamente bajo posiblemente a que tiende a perderse por lixiviación o drenaje.

El contenido de calcio es variable en las muestras pero aun así en la mayoría tiene niveles altos de Ca y Mg, la concentración mayor es de 31.61 correspondiente a la muestra 12.

CONCLUSIONES

El tipo de material parental, granítico, influye altamente en las propiedades físicas y químicas de los suelos considerados, así como a las condiciones climáticas, generando que estos sean, en su mayoría, arenosos y por tanto susceptibles a erosionarse.

En cuanto a las propiedades químicas, los suelos presentaron condiciones de acidez asociadas a la naturaleza del material parental ígneo granítico y, principalmente, al tipo de vegetación, en este caso al bosque de pino-encino. Las muestras 3-8 presentaron un pH que

oscila entre 6 y 8, asociados a una variación en el material parental más básico metagranítico. El contenido de materia orgánica en general fue pequeño, con valores que variaron de 0.64 a 3.42%. Esta condición hace que la fertilidad de los suelos en la mayor parte de la zona se considere baja, ya que la materia orgánica es la fuente más importante de nitrógeno y fósforo, de manera que las deficiencias de nutrientes y la exposición a la erosión, por estar ubicados en fuertes pendientes y fuertemente deforestados, contribuyen al empobrecimiento de los suelos y, por tanto, a la disminución de la productividad de cultivos en forma sensible.

En general, la baja fertilidad y el deterioro de las propiedades físicas y químicas de los suelos en la zona son ocasionados por el manejo inadecuado, la deforestación, el uso agrícola de roza-tumba-quema y factores morfométricos que favorecen la erosión y pérdida de la capa fértil del suelo. Esta problemática, sugiere que es urgente el establecimiento de prácticas sustentables de manejo, conservación y restauración de suelos, considerando las características físicas y químicas del área, desde la reforestación, abonos verdes, rotación de cultivos, labranza mínima, abonos orgánicos y otras.

LITERATURA CITADA

- Alonso Báez, M. y Aguirre Medina, J.F. (2011). *Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo*. Terra Latinoamericana. 29(2): 113-121.
- Aparicio M. F.J. (2001). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
- Bertsch H, F. (1995). *Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. Costa Rica, C.A.: Universidad de Costa Rica.
- Breña P.A.F. y Jacobo V.M.A. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Campos A.D.F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.
- INEGI (2005). *Carta Geológico-Minera Huixtla D15-2, CHIAPAS*. 1ª Edición. Servicio Geológico Mexicano. Escala 1:250, 000. Elaborada con información bibliocartográfica de PEMEX.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática -INEGI. (1989). *Datos Básico de geografía de México*. México. D.F.

- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R. y Bello-Amez, S. (2006). *La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura*. Idesia (Arica), 24(1), 49-61.
- León, S. L. A. (2001). *Evaluación de la fertilidad del suelo*. En: Silva F. (ed.). *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control*. Cali, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- León-Nájera, J.A., Gómez-Álvarez, R., Hernández-Daumás, S., Álvarez-Solís, JD y Palma-López, DJ. (2006). Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los altos de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia*.
- López H.I.T. (2012). *Utilización del modelo hidrológico semidistribuido HEC-HMS para simular el proceso lluvia-escurrimiento ante cambios de cobertura vegetal y uso de suelo, considerando escenarios de cambio climático en la cuenca del río Huixtla, Chiapas*. Tesis Doctoral. Jiutepec, Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Lugo Hubp, J.I. (1988). *Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*. México: Instituto de Geografía.
- Montenegro, G. H. y Malagón, C. D. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Santafé de Bogotá, D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Subdirección Agrológica.
- Narro, F. E. (1994). *Física de suelos con enfoque agrícola*. México: Editorial Trillas S.A. de C. V.
- Pool Novelo, L., A. Trinidad-Santos, J. D. Etchevers B., J. Pérez M. y A. Martínez G. (2000). *Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de los altos de Chiapas, México*. *Agrociencia* 34: 251-259.
- Shoji, S., M. Manzyo and R. Dahlgren. (1993). *Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization*. *Developments Soil Science* 21. Amsterdam, The Netherlands.
- Summerfield, M. A. (1991). *Global Geomorphology*. Inglaterra: Editorial Longman Scientific and Technical.

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS Y MICORRIZAS EN PLANTAS DE JAMAICA (*HIBISCUS SABDARIFFA* L.) PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN

Mario Alonso Fuentes Pérez, Jorge Reyes Reyes, Juan Alberto Rodríguez Morales,
Jesús Esperanza López Cortez y Rafael Chirino Ovando

RESUMEN

La producción del cultivo de Jamaica en México es baja en comparación con países como China y la India, donde se registran rendimientos de 2,000 kilogramos por hectárea; el bajo rendimiento impacta en la productividad del cultivo, por ello se elaboró el presente proyecto de investigación enfocado a incrementar la calidad del cáliz y el rendimiento mediante la inoculación de micorrizas, aplicación de abonos orgánicos y ácidos húmicos derivados del proceso de lombricultura como fertilizante foliar. El proyecto constó de dos etapas: en la primera se elaboraron abonos orgánicos, se registró la composición fisicoquímica y se realizó análisis de

suelo para conocer los nutrimentos contenidos en el mismo antes de la aplicación de los abonos; en la segunda etapa se estableció el cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en parcelas de dimensiones 4 x 5 m., aplicando los abonos previamente preparados para evaluar el efecto de estos en la calidad del cáliz. Se evaluaron cinco tratamientos: T₁ = Testigo N P K; T₂ = Composta + Acido húmico; T₃ = Lombricomposta + Acido húmico; T₄ = Biofertilizantes + Acido húmico y T₅ = Composta + Lombricomposta + Biofertilizantes + Acido húmico, con tres repeticiones, contando con un total de 15 unidades experimentales. Las variables que se midieron fueron: crecimiento de la planta y rendimiento de cáliz; los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza a través del Diseño Completamente al Azar y se realizó la prueba de Tukey a dos niveles de significancia (0.01 y 0.05). Los cálices deshidratados fueron analizados bromatológicamente. La inoculación con micorrizas en combinación con abonos orgánicos mejora el desarrollo fenológico de las plantas de Jamaica, lo cual se tradujo en un incremento notable en el rendimiento y calidad de los cálices. El análisis estadístico de las variables bajo estudio indicó diferencias estadísticas altamente significativas entre el T₅ y los tratamientos restantes.

INTRODUCCIÓN

La jamaica o flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) pertenece a la familia Malvácea; es conocida comúnmente como: rosa de jamaica, flor de dardo, rosa de Jericó, té rojo, flor de jamaica, flor roja y jamaica. Es un cultivo poco difundido, aunque debido a sus propiedades medicinales se cultiva en México, América Central y Sur, en el Sudeste asiático, incluido el Sur de China.

Los mayores productores del mundo son China y Tailandia; la producción es menor en México, Egipto, Senegal, Tanzania, Malí y Jamaica, y la de mejor calidad del mundo procede de Sudán, aunque en poca cantidad. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para

la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el 2004 se produjo un total de 97,975 toneladas de jamaica en el mundo. Según este reporte, China ocupa el primer lugar con 27.76% de la producción, seguido por la India (17.91%), Sudán (9.1%), Uganda (8.40%), Indonesia (6.23%) y Malasia (5.53%) y México ocupa el séptimo lugar como productor con el 5.14%.

Morton (1987), indica que en otros países como China se reportan rendimientos de hasta 2,000 kilogramos por hectárea del cáliz de jamaica, en comparación a los reportados para México, en donde se reporta rendimientos promedio de 291 kilogramos por hectárea. De acuerdo con la FAO (2004), en México existe un déficit de producción ya que se importa casi el 50% de la jamaica que se consume; por lo que es de suma importancia buscar las alternativas que ayuden a incrementar los rendimientos de este cultivo de manera sostenible.

En virtud de lo anterior, se ha optado el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes como alternativa hacia una producción limpia, ya que éstos disminuyen el daño al ambiente (Aguirre, 2006), previenen la erosión de suelos y la contaminación del manto freático, al mismo tiempo aumentan la producción y rendimiento de los cultivos haciéndolos rentables para el productor (Ramírez, 2005). El uso de abonos orgánicos influye favorablemente en las características fisicoquímicas del suelo, aumenta la porosidad, mejora la estructura, aumenta la capacidad de retención de agua, aireación, entre otros beneficios (López *et al.*, 2001; Julca *et al.*, 2006; Trinidad, 2006).

La aplicación de composta en el suelo mejora la fertilidad del mismo y ayuda a la descomposición de la materia orgánica, permitiendo así la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas, ayuda a tener mejores rendimientos en los cultivos (Trinidad, 2006). La lombricomposta y los ácidos húmicos son abonos orgánicos sólidos y líquidos respectivamente, obtenidos del proceso de lombricomposteo, son abonos ricos en microorganismos, que ayudan al suelo a mantener su fertilidad, estimulan la bioactividad al tener los mismos microorganismos

del suelo pero en mayor cantidad, creando un medio antagónico para los patógenos existentes, ayuda a la solubilización del Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

El uso de biofertilizantes microbianos complementados con abonos orgánicos, además de mejorar la fertilidad del suelo, incrementan la producción y rendimiento de los cultivos (Matheus, 2004), ya que alargan el alcance del sistema radicular e inducen resistencia a enfermedades y a condiciones de sequía, así como también ayudan a la absorción de agua y nutrimentos. La presente investigación tuvo el objetivo principal de aumentar la calidad en los cálices del cultivo de jamaica y mejorar el rendimiento, mediante la aplicación de micorrizas, la aplicación de abonos orgánicos sólidos (composta y lombricomposta) y el uso de ácido húmico, derivado del proceso de lombricultura como fertilizante foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica del área de estudio

El municipio de Chahuities Oaxaca, se encuentra localizada en el extremo Sureste del estado de Oaxaca, a unos 20 kilómetros de la frontera con el estado de Chiapas, sus coordenadas geográficas son $16^{\circ}17'12''\text{N } 94^{\circ}11'35''\text{O}$ y se encuentra a una altitud de 35 metros sobre el nivel del mar. Su principal vía de comunicación es la carretera federal 200 que lo une al Norte con San Pedro Tapanatepec a 9 kilómetros y hacia el Sureste con Arriaga Chiapas, a 40 kilómetros (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2009). El experimento se llevó a cabo en el Barrio Juchi, con dirección en Avenida Libertad # 16, Chahuities, Oaxaca. En el domicilio particular de Teófila Alonso Toledo.

ETAPAS DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue dividida en dos etapas para su ejecución: la primera estuvo constituida por la elaboración de los abonos orgánicos (composta y lombricomposta), y la segunda fue la etapa de campo, que consistió en el establecimiento de un experimento del cultivo de jamaica y la aplicación micorrizas y abonos orgánicos, con el fin de evaluar el rendimiento y la calidad del cáliz de la flor de jamaica.

ETAPA 1: Elaboración de Abonos Orgánicos

Se realizaron dos tipos de abonos orgánicos: composta y lombricomposta. Para ello y para reducir costos, los insumos para tal fin se recolectaron en las áreas cercanas al sitio de estudio.

Elaboración de la composta

Recolección del material orgánico. Como primer paso para la elaboración de la composta, se recolectó el estiércol de borrego, ya que aporta más cantidad de Nitrógeno y otros nutrientes de importancia para el crecimiento de las plantas; se recolectaron aproximadamente 150 kg de estiércol seco. Se procedió a recolectar tierra negra, ya que ésta proporciona parte del volumen de la composta, al mismo tiempo que sirve como inóculo de microorganismos que descomponen la materia orgánica que conforma la composta; este material se obtuvo de huertos de mango de la localidad.

Se procedió a recolectar material verde, con el fin de equilibrar la relación Carbono y Nitrógeno (C/N) de la composta, esto es de gran importancia ya que si no respetamos la relación adecuada (25-30:1) pueden haber pérdidas considerables de Nitrógeno por volatilización, o bien un proceso de descomposición muy lento. El material verde fue el resultado del corte de arvenses de los huertos de mango y la poda de ramas de árboles de mango.

Se buscó un lugar protegido de los elementos climáticos como radiación solar, viento y lluvia principalmente, con el fin de lograr un buen producto. Se elaboraron cuatro pilas de compostaje con dimensiones de 1 m de ancho, 2.5 m de largo y 1.20 m de alto, estas dimensiones son las adecuadas para lograr un compostaje eficiente, ya que si la pila está demasiado alta, los materiales se compactan y no hay oxigenación dentro de la composta, y por lo consiguiente comienza una descomposición anaerobia y genera malos olores y microorganismos patógenos que al final afectan la calidad de la composta.

Se procedió a limpiar el lugar de establecimiento de la composta, y se colocó un plástico por debajo, ya que no se contaba con piso firme de cemento, esto se hizo con el fin de evitar pérdidas por filtraciones y evitar el contacto directo con la tierra que pudiese tener microorganismos patógenos que afectaran la composta.

Sobre el plástico se colocó una capa de tierra negra de 10 cm de espesor, y se humedeció levemente para que al final no se hiciera dificultoso brindar la humedad necesaria a los materiales para que los microorganismos comenzaran a actuar. Posteriormente, se colocó una capa de material verde previamente picado en pequeños trozos, con el fin de acelerar la descomposición de los materiales. Esta capa tuvo un espesor de aproximadamente 30 cm, por la relación C:N. Sobre la capa del material verde, se aplicó una capa de estiércol de borrego de 15 cm de espesor, distribuyéndola uniformemente sobre la pila de compostaje, y quitando objetos extraños como piedras y palos; posteriormente se aplicó agua sobre esta capa para brindar una humedad adecuada a la pila.

Sobre los primeros niveles de la pila se procedió a incorporar una leve capa de ceniza con un espesor de aproximadamente 0.5 cm; se colocó otra capa más de material verde dispersándolo sobre la pila de composta y humedeciéndola para favorecer una descomposición adecuada. Esta capa tuvo un espesor de 30 cm para mantener la relación C:N y obtener una composta de calidad.

Se añadió una capa más de tierra negra, para brindar volumen a la composta e inocular con microorganismos descomponedores. La capa de suelo tuvo un espesor de 10 cm y se aplicó agua uniformemente, teniendo cuidado de humedecer la pila para obtener un proceso de fermentación uniforme.

Posteriormente, se aplicó otra capa de estiércol sobre la anterior capa de tierra negra, la cual tuvo un espesor de 15 cm y se humedeció uniformemente. Para terminar de conformar la pila de composta, se añadió una capa final de tierra negra de aproximadamente 15 cm de espesor, aplicando agua uniformemente procurando humedecer toda la cama de composta.

Una vez conformada la pila de compostaje con todos los materiales, se procedió a cubrir la misma con un plástico, para aislar el calor generado y brindar condiciones óptimas de humedad y temperatura, para llevar a cabo un compostaje eficiente y de calidad. Se colocaron tubos de PVC (Cloruro de Polivinilo) alrededor y en el centro de la composta, con el fin de brindar una oxigenación y aireación adecuada.

Duración del proceso de compostaje y obtención de la composta

El proceso de descomposición controlada de residuos orgánicos mediante la técnica de compostaje, tuvo una duración de dos meses. Durante este proceso se observaron semanalmente ciertas condiciones físicas y químicas para saber si el proceso de compostaje se está llevando de forma correcta (Figura 1).



Figura 1. Recolección de la composta
Foto: Mario Alonso Fuentes Pérez

Se realizaron cuatro volteos a la pila de composta con intervalos de siete días, posteriormente se realizó cada 15 días, con el fin de favorecer la aireación y disminuir la temperatura que se generan en los primeros 20 días. Después de dos meses se realizó la recolección de la composta terminada.

ELABORACIÓN DE LA LOMBRICOMPOSTA

La lombricomposta es un abono orgánico que se obtiene a partir de proceso de transformación de los residuos orgánicos a través de la crianza de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Por ello, se estableció un módulo para el cuidado del pie de cría de las lombrices, cuyas dimensiones fueron de 2 m de largo, 1 m de ancho y 0.50 m de alto. Se eligió un lugar protegido del sol, del viento y de la lluvia, ya que las lombrices necesitan humedad y temperaturas específicas para su reproducción.

Recolección de materia orgánica: Se procedió a recolectar la materia orgánica para posteriormente ponerla a fermentar y poder alimentar el pie de cría de *E. foetida*, la recolección

se realizó en el municipio de Chahuities, Oaxaca, obteniendo aproximadamente 100 kg de estiércol de borrego seco. Se buscó que el estiércol que está destinado a la alimentación de las lombrices, no sea viejo, ya que este tipo de estiércoles pueden contener huevecillos de insectos enemigos de la lombriz, como la planaria, que ovoposita generalmente en estiércoles viejos. Se recolectó tierra negra en los huertos de mango de la localidad de Chahuities, para incorporar a la pila de materiales orgánicos a precompostear para alimentación del pie de cría de lombriz roja californiana. Es importante mencionar que la precomposta requiere de una adecuada relación C:N para que el proceso de degradación de los materiales orgánicos se lleve a cabo de manera adecuada, por ello se procedió a recolectar material verde derivado de la poda de arvenses en Chahuities, Oaxaca.

Preparación de la Precomposta: El proceso de precompostaje consiste en la degradación de materiales orgánicos destinados a la alimentación del pie de cría de la lombriz roja californiana, como primer paso se eligió un lugar techado; se añadió una capa de tierra negra para comenzar a conjuntar los materiales orgánicos y someterlos a degradación, para alimentación del pie de cría de lombriz roja californiana. Se aplicó agua uniformemente para brindar una humedad necesaria y óptima para la realización adecuada del proceso de compostaje. Por encima de la primera capa de suelo, se colocó una capa de material verde previamente troceado, con el fin de acelerar la descomposición de la pila de precomposta; es importante respetar y establecer de manera adecuada la relación C:N, ya que de exceder la dosis, el Nitrógeno se volatilizaría en forma de gas (amoníaco). Se colocó una capa de estiércol esparcida de manera uniforme sobre la capa anterior (material nitrogenado). El estiércol seco nos aporta gran cantidad de micronutrientes y es fuente de Carbono para los microorganismos que actúan en el proceso de descomposición. Se agregó una leve capa de ceniza para regular la acidez (pH) de la precomposta e inhibir ciertos microorganismos patógenos que no son de utilidad en el

proceso de fermentación. La ceniza es fuente de potasio (K), además que contiene micronutrientes necesarios para el mejoramiento del suelo. Como paso siguiente se añadió una capa más de tierra para inocular los materiales anteriormente conjuntados, con microorganismos degradadores de materia orgánica. Se esparció cubriendo uniformemente la pila destinada al precompostaje. Sobre la capa de suelo, se agregó una nueva capa de material nitrogenado, aproximadamente de 25 cm de espesor y se agregó agua hasta obtener la humedad requerida (60%), comprobada con la prueba del puño. Para compensar el contenido de carbono, se añadió una capa más de estiércol seco, esparcido de manera uniforme en la pila de precompostaje, con un espesor de 15 cm aproximadamente. Sobre la capa de estiércol se añadió una capa de suelo para terminar de conjuntar el material orgánico destinado a la alimentación del pie de cría de la lombriz roja californiana y se esparció sobre esta una leve capa de ceniza. Como último paso en la conjunción de los materiales destinados a la alimentación del pie de cría de la lombriz, se procedió a tapar la pila con un plástico negro, para aislar el calor generado por el proceso de fermentación y para mantener la humedad en el rango adecuado (50 -60%).

Obtención del pie de cría de *E. foetida* L.: La cantidad de lombrices que se adquirió fueron aproximadamente 2 kg. Una vez pasados 15 días, se procedió a colocar el alimento previamente descompuesto para el pie de cría, colocándose éstas sobre una capa delgada de materia degradada, y sobre el costado se colocó el resto del alimento.

Duración del proceso de lombricultura: Una lombriz roja californiana, consume el equivalente a su propio peso en gramos por día (1 g día^{-1}), por lo que el proceso de degradación de la materia, es lento. El pie de cría de lombriz *E. foetida*, degradó el material orgánico precompostado anteriormente, a los 2.5 meses aproximadamente, obteniéndose un abono de excelente calidad. El abono se guardó en costales y se almacenó en un lugar seco y sombreado (Figura 2).



Figura 2. Recolección de la lombricomposta
Foto: Mario Alonso Fuentes Pérez

Análisis de la información

Esta etapa del proyecto, no presentó diseño estadístico por no tener tratamientos comparativos bajo estudio ni repeticiones como puntos de referencia, se realizó el manejo de datos en forma descriptiva. Los datos obtenidos se presentarán en cuadros para su análisis y su posterior discusión.

ETAPA 2: Etapa de Campo

La segunda etapa del proyecto fue la etapa de campo, en el manejo del cultivo de la flor rosa de la Jamaica, que comprendió desde la siembra hasta la cosecha y la deshidratación respectiva de los cálices.

Tratamientos

Se establecieron cinco tratamientos diferentes, descritos en el Cuadro I.

Cuadro I. Tratamientos para evaluar el rendimiento y la calidad de cáliz de jamaica

Tratamientos	Descripción de los tratamientos
	T ₁ Testigo (N, P, K).
T ₂	Composta + Acido Húmico
T ₃	Lombricomposta + Acido Húmico
T ₄	Biofertilizantes + Acido Húmico
T ₅	Composta + Lombricomposta + Biofertilizantes + Acido Húmico

Manejo y conducción del experimento

En el primer paso para establecer el cultivo de la flor rosa de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), se procedió a delimitar el área de estudio, para ello fue utilizada una cinta métrica y estacas, el lugar tuvo las dimensiones siguientes: 20 m por 20 m, contando con un área total de 400 m²; posteriormente, se realizó la limpieza del terreno con herramientas menores.

Preparación del suelo y aplicación del riego pesado

La preparación del suelo, se realizó mediante el sistema de labranza mínima, roturando los primeros 30 cm con pico y azadón, para mantener la fauna microbiana. Como se explicó anteriormente, el estudio se llevó a cabo con cinco tratamientos diferentes, por ello se acondicionaron las parcelas de acuerdo al tratamiento aleatorizado. Se aplicó la composta y lombricomposta respectivamente.

A todas las parcelas se les realizó el mismo sistema de labranza, con la diferencia del abonado; en el tratamiento testigo solo se utilizó fertilización inorgánica consistente en N-P-K; al tratamiento dos se le aplicó composta; al tres se le incorporó lombricomposta; el tratamiento cuatro fue manejado con biofertilizante, y al número cinco se le aplicó composta y lombricomposta; en todos, a excepción del testigo, se realizó la aplicación de ácidos húmicos. Con el fin de obtener

un buen porcentaje de germinación de la semilla, se aplicó un riego pesado un día antes de la siembra, inundando el terreno, para que éste pudiese alcanzar la capacidad de campo adecuada.

Peleteado de la semilla con el inóculo micorrízico

Se realizó el *peleteado* de las semillas de jamaica, con el inóculo micorrízico para su posterior siembra; esto se realizó dentro de un recipiente plástico y con una paleta de madera, donde se mezcló de manera homogénea la semilla y el inóculo, procurando que la micorriza quedara lo más adherida posible a la semilla.

Siembra

Se realizó la siembra de la semilla de jamaica, con los distintos tratamientos establecidos con micorrizas, abonos orgánicos (composta y lombricomposta), y el tratamiento testigo. La siembra se realizó depositando de tres a cinco semillas por postura, con una distancia de 0.50 m entre posturas y 1 m entre surcos.

Manejo agronómico

Aporque: ésta es una actividad que consiste en amontonar tierra en el cuello de la planta y se realizó con el fin de que ésta tuviera la mayor aireación posible para las raíces; así mismo, para estimular el crecimiento de raíces para un mejor anclaje de la misma. Debido a que este tipo de cultivo es sensible al exceso de humedad, ya que puede contraer enfermedades fungosas, se realizó la aplicación de riegos semanales, de forma manual.

Fertilización

Se realizó con abonos orgánicos, los cuales permite al suelo recuperar la vida microbiana benéfica que ha perdido con el uso indiscriminado de agroquímicos; además permite obtener frutos

de excelente calidad nutrimental, reducen los costos de producción hasta un 50% y aumentan los rendimientos considerablemente en comparación con los agroquímicos, ya que son abonos completos que brindan los nutrimentos necesarios para las plantas. La nutrición del cultivo de jamaica, se llevó a cabo de dos formas: granulado (sólido) y aplicaciones foliares (líquido), la primera aplicación del abono sólido se realizó cuando se laboreó el terreno previo a la siembra, y la segunda se realizó cuando la planta emitió los primeros botones florales. Esta aplicación fue de composta, lombricomposta y NPK (triple 17) de acuerdo a los tratamientos bajo estudio. La fertilización líquida, se realizó con ácidos húmicos derivados del proceso de lombricultura.

Cosecha

La cosecha se llevó a cabo cuando los cálices presentaron un cambio de coloración de un rojo claro a un rojo más intenso y oscuro. Este es un buen indicativo de que el cáliz se encuentra en el punto óptimo de cosecha. Esta actividad, se realizó tres meses y medio después de la siembra, con ayuda de tijera y cúter, se cortó el cáliz desde la base, dejando un cm de longitud aproximadamente del peciolo que lo une al tallo de la planta.

Deshidratado y Almacenamiento

Se realizó el deshidratado de los cálices cosechados, el cual consistió en dejarlos a la sombra sobre un cartón para exponerlos al calor del ambiente con el fin de homogenizar el secado, se guardó por la noche para evitar la humedad. Esta actividad de deshidratado a la sombra duró 2 días. Una vez secado los cálices, se procedió a guardarlos en cajas de cartón (Figura 3).



Figura 3. Deshidratado y almacén de los cálices cosechados
Foto: Mario Alonso Fuentes Pérez

Variables de respuesta

Con el fin de conocer el comportamiento del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas, se midieron diversas variables que muestran las diferencias entre los diferentes tratamientos bajo estudio, enfocadas al mejoramiento de la calidad del cáliz, en términos de peso y diámetro del mismo.

Diámetro de tallo (cm)

Con un vernier se midió el diámetro de tallo de diez plantas de jamaica por cada tratamiento con sus respectivas repeticiones. En total se obtuvieron 150 plantas elegidas al azar en forma de Z. La toma de datos se realizó de forma semanal para conocer el comportamiento de cada tratamiento.

Altura de planta (cm)

Con una cinta métrica, se tomó la altura en centímetros de las plantas muestreadas para diámetro de tallo; esta actividad se realizó tomando la altura desde la base del tallo hasta la hoja bandera de la planta. La toma de datos se realizó de forma semanal, desde que la planta presentó el primer par de hojas verdaderas hasta la etapa de fructificación.

Días a floración

Se cuantificó en días la fecha en que las plantas de jamaica iniciaron la floración, tomando como base el día de siembra. Se dejó de contar cuando ocurrió un 90% de la floración aproximadamente en los diferentes tratamientos bajo estudio.

Días a fructificación

De igual manera se cuantificó en días la fecha en que las plantas de jamaica iniciaron su fructificación tomando como base el día de siembra. Se dejó de cuantificar cuando el 90% de las plantas emitieron al menos un fruto.

Biomasa

Con la finalidad de conocer la biomasa de las plantas de jamaica, se realizó un muestreo destructivo de dos plantas por mes por cada tratamiento establecido bajo estudio. Dicha actividad inició desde que la planta emitió el primer par de hojas verdaderas, hasta la etapa de fructificación. Posteriormente se pesaron en una báscula digital, para obtener el peso en gramos.

Diámetro de los cálices

Una vez cosechados los cálices de la jamaica se procedió a medir el diámetro de los mismos con ayuda de un vernier, para esto se realizó un muestreo de 50 cálices por cada tratamiento y sus respectivas repeticiones en diferentes cosechas.

Peso fresco de los cálices

Se tomó la cosecha de los cálices de las plantas de jamaica de un metro cuadrado por cada tratamiento establecido y posteriormente se obtuvo el rendimiento en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) en peso fresco. Esta actividad se realizó con ayuda de una balanza digital inmediatamente

después de la cosecha, para evitar la pérdida de humedad y peso en las horas próximas, y procurar que el resultado del rendimiento no tuviera variaciones.

Peso seco de los cálices

Una vez pesados en fresco los cálices, se procedió a realizar el deshidratado a la sombra, para ello se utilizó cartón para colocar los cálices y proceder al secado, hasta obtener una humedad de 12% aproximadamente. Posteriormente se pesó para obtener el rendimiento en peso seco en gramos.

Diseño Experimental

El diseño experimental empleado para el presente proyecto fue completamente al azar (DCA), en donde se establecieron 5 tratamientos y 3 repeticiones, por lo que se obtuvo un total de 15 unidades experimentales.

Análisis de la información

Los datos obtenidos de algunas variables establecidas en el estudio se sometieron a un análisis de varianza a través del Diseño Completamente al Azar (DCA) en el programa MENÚ®. En las variables que presentaron diferencias significativas se procedió a realizar el análisis de rango múltiple de Tukey al nivel de 95% y 99% de confiabilidad. En las variables en donde no procedió la aplicación del análisis estadístico se construyeron figuras y cuadros y se documentaron en fotografías para su respectivo análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa de Campo: Cultivo de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)

En la segunda etapa del proyecto de investigación, se probó la efectividad de las micorrizas y los abonos orgánicos en el cultivo de la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), para mejorar la calidad (tamaño y peso) y el rendimiento del cáliz.

Diámetro de tallo

En la Figura 4 se aprecian los valores promedios de la variable diámetro de tallo a lo largo del desarrollo fenológico del cultivo en los diferentes tratamientos evaluados.

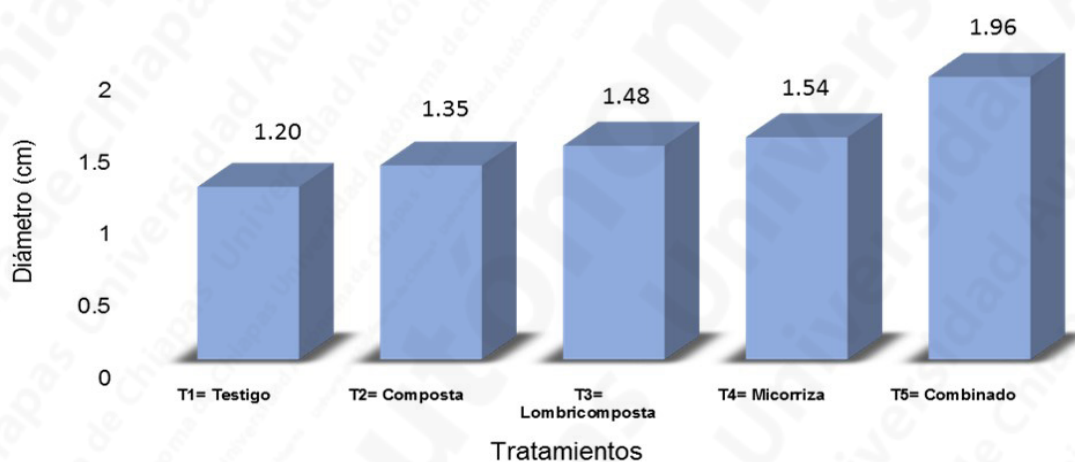


Figura 4. Efecto del tratamiento de abonado en el diámetro de tallo en la planta de jamaica

Tal como se aprecia en la Figura 4, el promedio más alto para el diámetro de tallo en las plantas de jamaica, lo obtuvo el tratamiento combinado T5 que consistió en la mezcla de composta + lombricomposta + biofertilizantes + ácido húmico, con un valor de 1.96 cm, mientras que el testigo T1 (fertilización con NPK) presentó el promedio más bajo con un valor de 1.20, la diferencia numérica es notoria con un valor de 0.76 cm y altamente significativo ($P < 0.01$).

Altura de planta

En la Figura 5, se muestran los valores promedios obtenidos para la variable de altura de planta a lo largo del crecimiento fenológico del cultivo, en los diferentes tratamientos bajo estudio.

El crecimiento mayor en altura de planta de jamaica lo obtuvo el tratamiento 5 (Composta + Lombricomposta + Biofertilizantes + Acido húmico), con un valor de 89.75 cm, esto indicó mayor respuesta a la aplicación de abonos orgánicos y la inoculación con micorrizas.

Por otra parte, la mayor diferencia de alturas se puede observar entre el tratamiento 3 (Lombricomposta) y el tratamiento 2 (Composta), con una valor de 10 cm, esto indica que hay una diferencia numérica importante en el crecimiento vegetativo de las plantas a lo largo del desarrollo fenológico del cultivo.

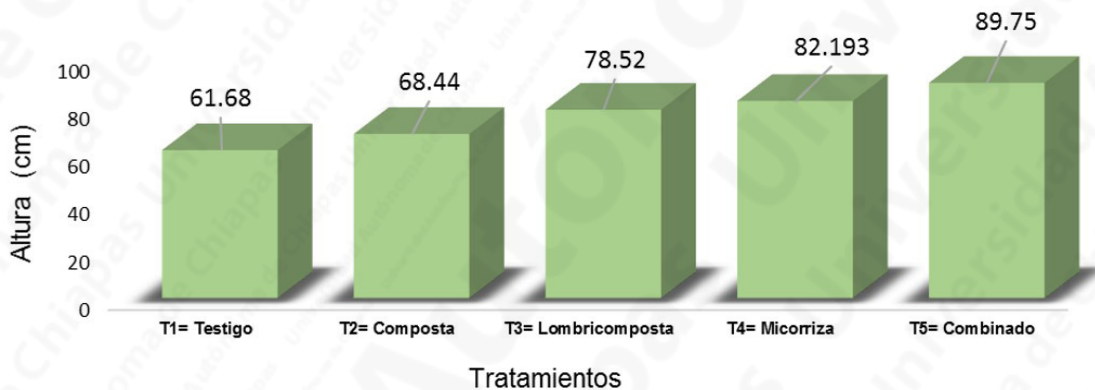


Figura 5. Efecto del tratamiento de abonado en el crecimiento de la planta de jamaica

Diámetro de cáliz

En la Figura 6, se muestran los datos promedios del diámetro de los cáliz cosechados en los diferentes tratamientos establecidos en el cultivo de la flor de Jamaica.

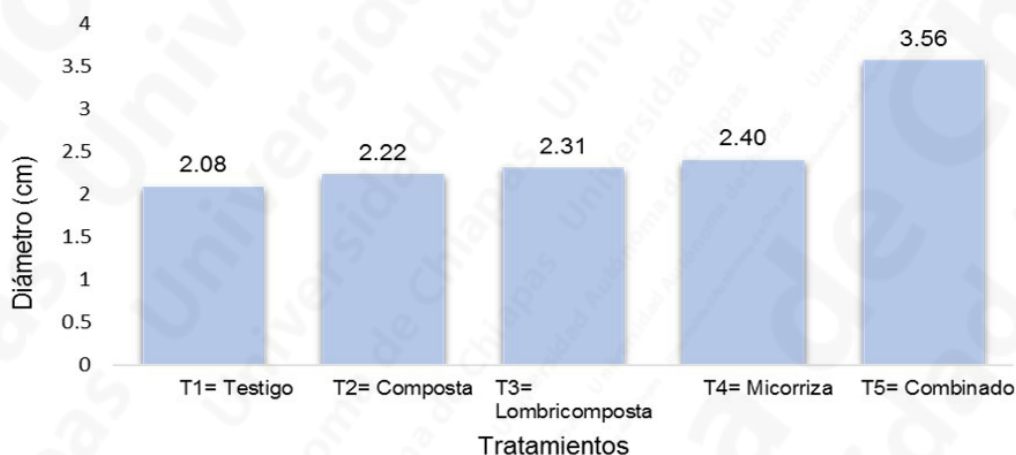


Figura 6. Diámetro de cálices cosechados en los diferentes tratamientos evaluados en el cultivo de Jamaica

Se observa que en el tratamiento 5 (Composta + Lombricomposta + Biofertilizantes + Acido húmico), se obtuvo el promedio mayor con un valor 3.56 cm, esto indica que los cálices que se cosecharon en este tratamiento, poseían un mejor aspecto en tamaño en comparación con los demás tratamientos.

Peso fresco de los cálices

En la Figura 7, se muestran los valores promedios de la variable peso fresco, obtenidos en los diferentes tratamientos establecidos en el cultivo de Jamaica.

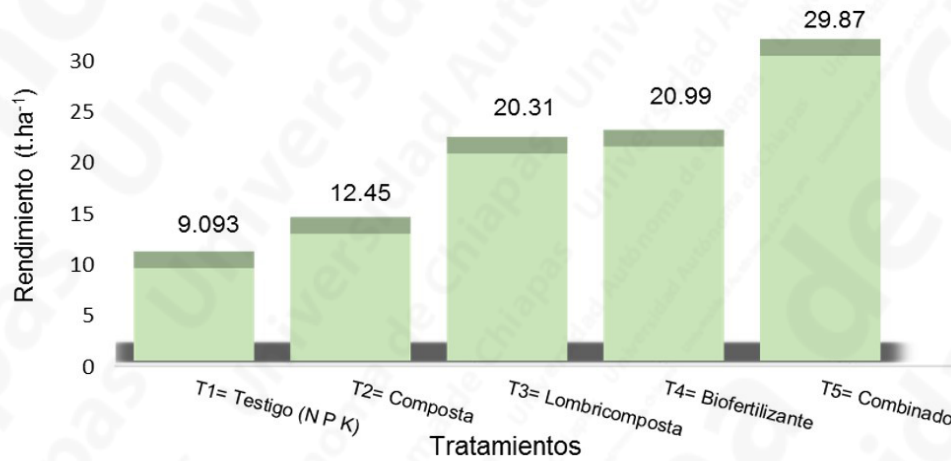


Figura 7. Efecto del abonado orgánico en el peso fresco del cáliz de la jamaica

Tal como se muestra, el tratamiento 5 (Composta + Lombricomposta + Biofertilizantes + Acido húmico), obtuvo el mejor promedio en cuanto a peso fresco de sus cálices cosechados con un valor de 2.991 kg m², por ende el rendimiento fue mejor con un valor de 29.87 t ha⁻¹, ya que es un dato directamente proporcional al valor obtenido en la variable de peso fresco.

Peso seco de los cálices

En la Figura 8, se aprecian los valores promedios de la variable peso seco, obtenidos en los cinco diferentes tratamientos establecidos en el cultivo de la flor de jamaica.

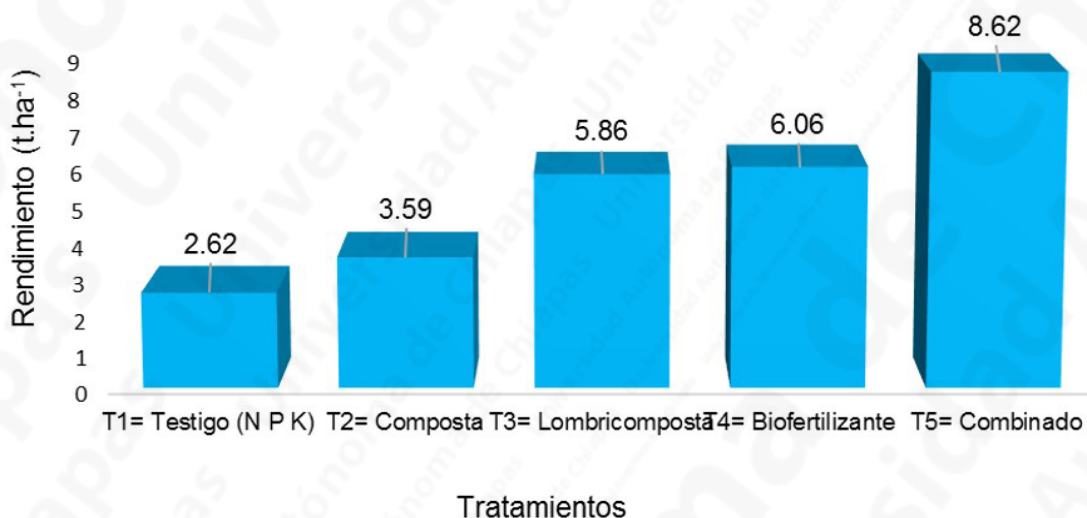


Figura 8. Efecto del abonado orgánico en el peso seco del cáliz de la jamaica

El peso seco de los cálices cosechados, está estrechamente vinculado con los resultados del peso fresco de los cosechados en un metro cuadrado de cada tratamiento.

Se puede observar claramente en la Figura 8, que el promedio más alto obtenido en la variable de peso seco, pertenece al tratamiento combinado T5 (Composta + Lombricomposta + Biofertilizantes + Acido húmico), con un valor de 0.862 kg m⁻², mientras que en el rendimiento estimado en ha fue 8.62 t. El rendimiento menor, fue en el tratamiento I (Testigo NPK), con 2.62 t ha⁻¹.

CONCLUSIONES

Los tratamientos tres, cuatro y cinco mejoraron sustancialmente la fenología de las plantas de jamaica cuyo efecto se traduce en incrementos en la calidad del cáliz de la flor (diámetro y peso seco) y en el rendimiento del cultivo.

El rendimiento en peso seco del cáliz de jamaica, fue superior en los tratamientos 4 y 5, en los cuales se encontraba presente las micorrizas interactuando con los abonos orgánicos.

La aplicación combinada de composta, lombricomposta, biofertilizantes y ácidos húmicos (T_5) al cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) incrementó el rendimiento de los cálices hasta 8.62 t ha^{-1} en comparación con el testigo T_1 (2.62 t ha^{-1}) cuya fertilización consistió en la aplicación de NPK. Al realizar los análisis estadísticos para las variables bajo estudio, se determinó que existieron diferencias altamente significativas entre el T_5 y todos los restantes tratamientos.

El uso de los abonos orgánicos en el cultivo de jamaica, además de incrementar el rendimiento del cáliz por encima del promedio nacional (0.5 t ha^{-1}) en este cultivo, representan una estrategia para restaurar y conservar las condiciones ecológicas de los suelos en el estado de Chiapas.

Por último, dada la escasez de información sobre el uso de micorrizas en el cultivo de jamaica, y a la luz de los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda seguir realizando estudios que integren y evalúen el uso de esta tecnología en los sistemas productivos en las condiciones tropicales de México.

LITERATURA CITADA

- Aguirre M., J.F. (2006). *Biofertilizantes microbianos: Experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México*. Libro Técnico Núm. 2. Tuxtla Chico, Chiapas, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. (2001). *Biofertilizantes: importancia y manejo en la agricultura*. Agricultura Técnica en México. 26:63-75.
- Contreras, J. A. (2001). *Establecimiento de una parcela de Jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) en el sur de Quintana Roo*. Informe Técnico Final del Proyecto SAGARPA-FUQROO-INIFAP. México: Universidad de Quintana Roo.
- Defrieri R.L, Jiménez MP, Efron D, Palma M. (2005). *Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje*. Agriscientia XXII (1): 25-31.

- Durán L. y Henríquez C. (2007). *Caracterización química, física y microbiológica de vermicomposta producidos a partir de cinco sustratos orgánicos*. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.
- González Rosales, G. Nieto. 2009. *Guía técnica para la producción de lombricomposta*. La Paz, Baja California Sur, México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Julca-O. A., L. Meneses F., R. Blas S. y S. Bello A. (2006). *La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura*. *IDESIA* 24(1): 49-61.
- López M. J. D., A. Díaz E. E. Martínez R. y R.D. Valdez C. (2001). *Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz*. *Terra* 19:293-299.
- Matheus, L. J. E. (2004). *Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (Biofertilizante) en el cultivo de maíz (Zea mays)*. *Bioagro* 16: 219-224.
- Noriega, A.G. (1999). *Curso Intensivo sobre la producción de abonos orgánicos y lombricultura (apuntes)*. Tuxtla, Gutiérrez; Chiapas: Universidad Autónoma Chapingo.
- Ramírez, H. (2005). *Producción Sostenible De Hortalizas*. In: Curso-Taller Introductorio Producción Sostenible De Hortalizas. Posgrado en Agronomía, Barquisimeto, Edo. Lara: Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado.
- Reines, A.M. (1998). *Lombricultura: alternativa del desarrollo sustentable*. Jalisco, México: Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara.
- Restrepo, J. (2002). *Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca*. Cali, Colombia: Fundación Juquira Candirú.
- Restrepo, R. J. (1998). *La idea y el arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados*. Colección Agricultura Orgánica para principiantes. Managua Nicaragua: Edit. SIMAS.
- Rivera, R. y Fernández, K. (2003). *El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe*. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).
- Trinidad S.A. (2006). *Abonos Orgánicos*. In: Sistema de Agronegocios Agrícolas. Montecillo, Estado de México: Colegio de Posgraduados-SAGARPA.
- Villalobos, S.R.I. (1993). *Potencial de la micorriza arbuscular en la producción de chile (Capsicum annum L.) y cebolla (Allium cepa L.)*. Tesis de Maestría. Montecillo, México: Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados.
- Zepeda, P.R. (1998). *Cría y manejo de la lombriz de tierra*. Managua, Nicaragua. S/Edit.

DRENAJE AGRÍCOLA CONTROLADO EN LA COSTA DE CHIAPAS

José Rodolfo Namuche Vargas, José Luis Arellano Monterrosas
y Heber Eleazar Saucedo Rojas

RESUMEN

Se presentan experiencias de drenaje agrícola controlado en áreas tropicales de la Costa de Chiapas, México. El estudio se realizó en varias etapas: 1) Localización de zonas que constantemente se inundan por las precipitaciones de gran intensidad y duración; 2) Estudio agroclimático: a) balance hídrico, b) a partir de los registros históricos la obtención de datos de lluvia máxima diaria de cada año y su ajuste a funciones probabilísticas; 3) Estudio topográfico; 4) Estudios de freaticimetría: a) Pozos de observación, b) Conductividad hidráulica a saturación, c) Planos freaticimétricos; 5) Diseño del sistema de drenaje agrícola: a) Drenaje superficial; b) Diseño del drenaje subterráneo: i) Cálculos hidráulicos, ii) diseño de planta, iii) diseño del perfil, iv) estructuras de control; 6) Construcción del sistema de drenaje; a) Drenaje superficial, b) Drenaje subterráneo; 7) Análisis de los beneficios del drenaje.

Con el drenaje superficial principal se experimentó con el cultivo de pasto y se obtuvo con buen desarrollo durante 30 días. Con el drenaje subterráneo parcelario en el cultivo de

caña de azúcar, se incrementa el uso eficiente del aprovechamiento del fertilizante en un 5%; con el manejo del manto freático se incrementa la producción en caña en un 50 a 70% y de sacarosa de 3 a 5 puntos porcentuales. Se adelanta un mes la época de siembra y un mes la época de cosecha en caña de azúcar y se logra mediante la estructura de control, abatir los picos en cuanto a la acumulación de agua al controlar mediante la compuerta la velocidad con la que es desalojada el agua.

INTRODUCCIÓN

En regiones húmedas, la función principal del drenaje es la eliminación del agua libre, tanto en la superficie del terreno como en la zona de raíces de las plantas. Así, se entiende por drenaje, el control de la elevación del nivel de agua subterránea dentro de la zona de raíces con la finalidad de obtener una mejor producción y productividad en los cultivos (Cruz, 1995). La precipitación es de vital importancia en el desarrollo de los cultivos en regiones húmedas, tanto con respecto a su distribución durante la estación de crecimiento, como a su carácter durante cualquier período de lluvias. Dichas consideraciones determinan, en gran parte, la clase y extensión de los trabajos de drenaje necesarios para la rápida evacuación del exceso de humedad, en aquellas ocasiones en que tiende a ser perjudicial para el desarrollo de los cultivos. Para proyectar un sistema de drenaje es preciso saber en primer término para qué cultivo se ha de utilizar el terreno, puesto que ello determina en gran parte el grado de drenaje, por lo tanto, es un factor importante en la economía del diseño.

En México la superficie potencial de temporal o secano es de 9.5 millones de hectáreas, de las cuales se aprovechan aproximadamente 3 millones y se tienen 800,000 hectáreas con problemas de manto freático somero y drenaje deficiente. A la fecha se han instalado 3,500 hectáreas con drenaje subterráneo. Estas zonas tienen la infraestructura hidroagrícola principal

en la cual pueden descargar los sistemas de drenaje subterráneo donde el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha adaptado y generado tecnología de drenaje agrícola.

En el presente trabajo se muestra una metodología para el manejo del régimen de humedad en el suelo con drenaje agrícola superficial y subterráneo controlado aplicado a las condiciones ambientales y edáficas propias de la Costa de Chiapas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La región Soconusco se localiza en los 15°19' N de latitud y los 92°44' W de longitud, cubriendo 5.475 km² (el 7.2% del territorio del estado de Chiapas). El Soconusco es la región extremo sudeste del Estado mexicano de Chiapas, comprendida entre la Sierra Madre de Chiapas al norte y el Mar Mexicano al sur, fronteriza al este con Guatemala (Figura 1).

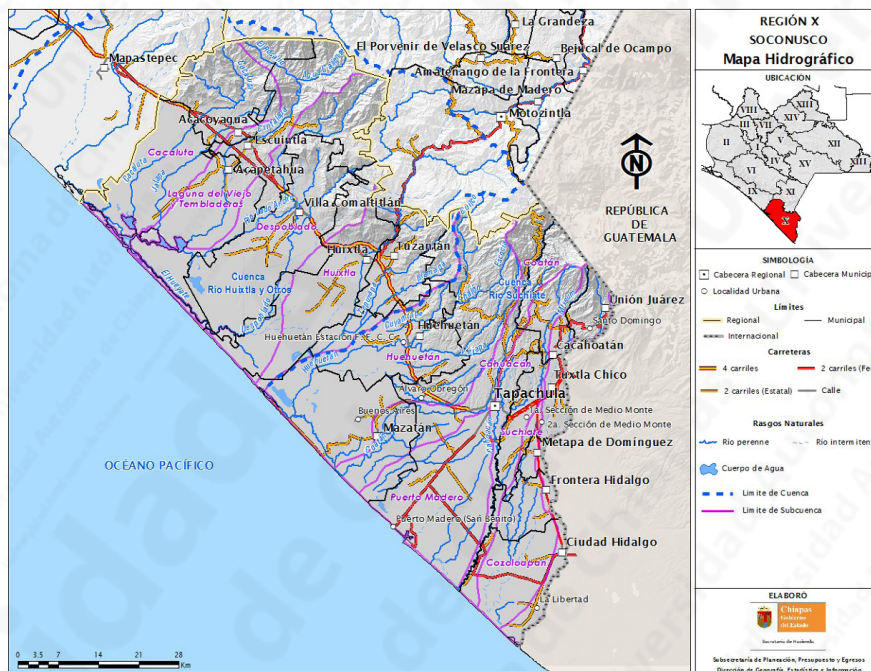


Figura 1. La zona de estudio en la Región Soconusco, Chiapas

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ha realizado trabajos de drenaje superficial y subterráneo en la Costa de Chiapas en los municipios de Suchiate, Tapachula, Huehuetán, Huixtla, Villa Comaltitlán, Acapetahua y Pijijiapan. En el presente trabajo se muestra como estudios de caso los resultados más relevantes realizados en los municipios de Huixtla y Suchiate.

El municipio de Huixtla, Chiapas se ubica entre las coordenadas geográficas $14^{\circ}59'$ - $15^{\circ}18'$ de Latitud Norte y $92^{\circ}25'$ - $92^{\circ}43'$ de Longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich, a una altitud promedio de 50 msnm. Forma parte de la región fisiográfica de la Planicie Costera del Pacífico Sur, en la Provincia Terrestre del grupo de los Mames (caracterizado por volcanes y materiales extrusivos), formando parte de la Región Terrestre FbI (Planicies con áreas de lomeríos) en la Subregión de Ciudad Hidalgo. Pertenece a la Región Hidrológica No. 23 Costa de Chiapas que comprende la cuenca río Huixtla y otros así como las Subcuencas: a) río Huixtla; b) río Despoblado y c) Laguna del Viejo y Tembladera.

La clasificación climática de Köppen modificado por García (1988), permite identificar tres tipos de clima en el municipio de Huixtla: Am (cálido húmedo con abundantes lluvias en verano) cubriendo el 45% de la superficie del municipio, Aw2 (subhúmedo con lluvias en verano) abarcando el 53% del área del municipio y Acm (semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano), en el resto de la superficie. La temperatura anual promedio es de 28.4°C y la precipitación anual promedio 2,346 mm, correspondientes a 15 años de observación en la estación climatológica de Huixtla.

Estudio agroclimático

A) Balance hídrico. Con los registros de la serie histórica mensual de la precipitación y evaporación y el almacenamiento de la humedad del suelo de 100 mm, obteniendo como resultado

los meses en que hay que drenar por un exceso de humedad en el suelo y los meses en que se presenta déficit en el suelo por lo tanto hay que aplicar riego complementario.

B) Análisis de las precipitaciones máximas. Para determinar la lluvia máxima se tomaron los datos climatológicos de la estación de Huixtla localizada entre la longitud oeste de 92.486 y la latitud norte de 15.141, a una altura sobre el nivel del mar de 40 m, con periodo de observación de julio de 1954 a mayo de 2008 (54 años).

C) Funciones probabilísticas. Los valores de lluvias máximas de las estaciones climatológicas, se analizaron y ajustaron a las siguientes funciones probabilísticas: Normal, Log normal, Pearson III o Gamma de tres parámetros, Gumbel y, Gumbel doble.

D) Periodo de retorno (T_r). Expresado en años, se define como el número promedio de años en que un evento puede ser igualado o excedido. Por otra parte, la probabilidad de que un evento con un período de retorno (T_r) ocurra en cualquier año es igual a $p(x) = \frac{1}{T_r}$. En un conjunto de eventos máximos anuales, ya sean gastos o lluvias, el período de retorno que se asocia a cada uno de ellos puede ser estimado con la fórmula de Weibull: $T_r = \frac{(n+1)}{m}$, donde: m es el número de orden y n el número total de años del registro.

E) Análisis y determinación del escurrimiento superficial. En cuencas que no cuentan con datos de aforos de corrientes superficiales para la estimación de la escorrentía total, el método más generalizado, flexible y fácil de aplicar es el del Número de Curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos (SCS, 1972). Se desarrolló utilizando información de un gran número de cuencas experimentales pequeñas y se ha validado en áreas con clima y condiciones geográficas tropicales. Los registros de precipitación y otros parámetros de las cuencas de drenaje son necesarios para su aplicación. La ecuación con la que se calcula el escurrimiento superficial

$$R_e = \frac{\left(P + 5.08 - \frac{508}{CN} \right)^2}{\left(P - 20.32 + \frac{2032}{CN} \right)} \quad (1)$$

Donde, R_e , es el escurrimiento (cm), P , es la precipitación máxima (cm) y CN , es el número de curva.

F) Determinación del módulo de drenaje. En forma general se puede expresar como un gasto por unidad de tiempo y área. Es una función de la escorrentía y del tiempo de drenaje:

$$\text{Para drenaje superficial: } q = \frac{\eta * R_e}{T_d} \quad (2)$$

$$\text{Para drenaje subterráneo: } q = \frac{\eta * (P - R_e)}{T_d} \quad (3)$$

Donde, R_e es la escorrentía total (mm), P es la precipitación máxima (mm), T_d es el tiempo de drenaje (horas) y η es una constante con un valor de 2.78.

G) Topografía. Se realizó un levantamiento topográfico detallado, mediante cuadrículas de 20*20 metros, con la finalidad de nivelar el terreno y realizar el diseño del sistema de drenaje subterráneo; perfiles longitudinales de los drenes o arroyos para el diseño de los sistemas de drenaje superficial; así como la localización de las estructuras de control.

H) Freatimetría. Se denomina *nivel freático* al nivel superior de las aguas subterráneas libres que tienen una presión igual a la presión atmosférica. La freatimetría tienen por objetivo la medición de la profundidad del nivel freático (Cruz, 1995).

i) **Pozos de observación.** Para estudiar el comportamiento del manto freático somero es necesario conocer las variaciones espacio-temporales de la posición del nivel freático. Con este fin, en la zona de estudio, se construyó una red de pozos de observación freaticométrica con un total de 91 pozos a una profundidad de 2 m y con 5.08 cm (2 pulgadas) de diámetro. La perforación de los pozos se realizó utilizando una barrena tipo holandesa de hoja ancha (Figura 2). Los pozos fueron ademados con tubería de PVC de 2" de diámetro (Figura 3). Las coordenadas de cada pozo se obtuvieron utilizando un GPS (Sistema Global de Posicionamiento) (Figura 4). La distribución espacial de los pozos se muestra en la Figura 5.



Figura 2. Perforación de pozos de observación



Figura 3. Pozo de observación



Figura 4. Obtención de coordenadas de cada pozo

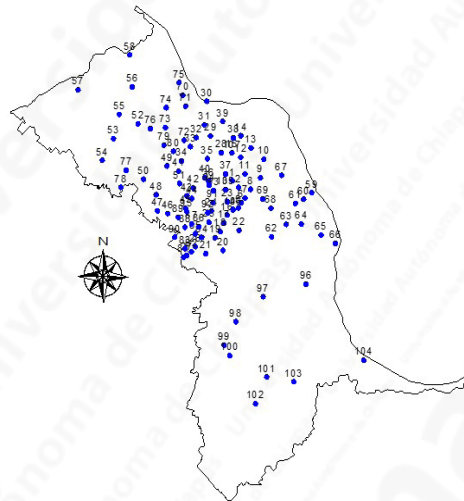


Figura 5. Distribución espacial de los pozos de observación freaticas, DTT 018 Huixtla, Chiapas

ii) **Conductividad hidráulica a saturación (K_s).** Se estima por medio del método del pozo barrenado. Es un indicador de la velocidad con la que el agua se mueve en el suelo. Para medir esta variable se utilizó el método del pozo barrenado, la conductividad hidráulica se calcula mediante la fórmula de Ernst (Ritzema, 1994):

$$K_s = C_k \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde, K_s es la conductividad hidráulica a saturación [m/día], $\Delta y/\Delta t$ es la velocidad media de recuperación del nivel [cm s^{-1}] y C_k es el coeficiente que toma en cuenta la geometría del flujo [adimensional].

C_k , se calcula mediante las fórmulas de Ernst (Ritzema, 1994):

$$\text{Para } D \leq \frac{Y}{2} \quad C_K = \frac{3600}{\left(10 + \frac{Y}{r_s}\right) \left(2 - \frac{y_s}{Y}\right)} \frac{r_s}{y_s} \quad (5)$$

$$\text{Para } D > \frac{Y}{2}, \quad C_K = \frac{4000}{\left(20 + \frac{Y}{r_s}\right) \left(2 - \frac{y_s}{Y}\right)} \frac{r_s}{y_s} \quad (6)$$

Donde, y_s es la profundidad media entre las profundidades inicial y final durante la prueba, D es la distancia entre el fondo de la barrenación y el hidroapoyo o estrato impermeable (cm), r_s el radio del pozo (cuando se usa un tubo perforado como ademe, este valor es el radio externo del tubo) [cm] y Y es la altura de la columna de agua en el pozo barrenado (cm). La profundidad media (y_s) se calcula con $y_s = y_0 - \frac{\Delta y}{2}$, donde; y_0 es el abatimiento inicial [cm], Δy es la recuperación máxima del nivel del agua en el pozo durante la prueba ($\Delta y \leq 0,25 y_0$), [cm]. Este procedimiento se esquematiza en la Figura 6.

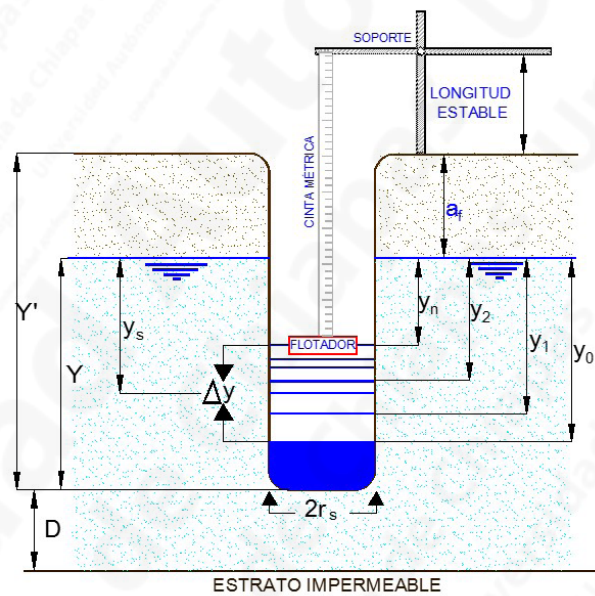


Figura 6. Variables que intervienen en el método del pozo barrenado

El Cuadro I, muestra otro método para calcular la conductividad hidráulica y porosidad drenable por la textura y estructura del suelo.

Cuadro I. Valores de conductividad hidráulica (K_s) y porosidad drenable (μ) en relación con la textura y estructura del suelo (USBR)

Textura	Estructura del suelo	μ (%)	K_s (m día ⁻¹)
Arcillosa Franco arcillosa pesada	Masiva: columnar fina o muy fina	1-2	<0.05
Arcillosa Franco arcillosa Arcillo limosa Franco arcillo arenosa	Prismática, bloques angulares y laminar muy fina y fina	1-3	0.05-0.1
Arcillosa Arcillo limosa Arcillo arenosa Franco arcillosa Franco arcillo arenosa Franco limosa Limosa	Prismática, bloques angulares y laminar fina y media.	3-8	0.1-0.5
Franco arcillo ligera Limosa Franco limosa Franco arenosa muy fina Franca	Prismática y bloques subangulares media	6-12	0.5-1.5
Franco arenosa fina Franco arenosa	Bloques subangulares media y angulares gruesa migajosa fina	12-18	1.5-3.0
Arenosa franca Arenosa fina	Migajosa media granos sueltos	18-22	3.0-6.0
Arenosa media	Granos sueltos	22-26	>6
Arenosa gruesa Grava	Granos sueltos	26-35	>6

iii) **Planos freaticométricos.** Con la información generada de los pozos de observación se elaboran planos de isobatas, isohipsas, de incrementos, de mínimos y gráficas de áreas tiempo, con la finalidad de obtener áreas con problemas de manto freático somero, dirección de flujo y de donde se acumula más agua freática y profundidad mínima de los drenes.

DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE AGRÍCOLA

A) Drenaje superficial

i) **Cálculos hidráulicos.** Es necesario tener la topografía, los planos freaticométricos, conductividad hidráulica a saturación y módulos de drenaje; lo que nos permitirá calcular la sección hidráulica de los drenes o arroyos. Para la determinación de la sección hidráulica de los drenes se aplicó la fórmula de Manning (Levi, 1996), $Q = \frac{AR^{2/3} S^{1/2}}{n}$, Donde; Q es el gasto en $m^3 s^{-1}$, n es el coeficiente de rugosidad, R es el radio hidráulico y S es la pendiente.

ii) **Diseño en planta.** Se dibuja en un plano la conformación del dren o arroyo con sus secciones transversales cada 20 metros, así mismo se indica la localización de las estructuras de control.

iii) **Diseño en perfil.** En el plano se indica la profundidad y cotas de la superficie del terreno y rasante, pendiente de la rasante, secciones transversales con volumen del movimiento de tierra; es decir, corte y relleno, y su terraplén para el camino de mantenimiento; así como la localización de las estructuras de control.

iv) **Estructuras de control.** El diseño consiste en realizar un plano estructural muy acotado, considerando el cultivo a establecer se debe indicar la profundidad a la cual debe estar el vertedor.

B) Drenaje subterráneo

i) **Determinación del espaciamiento.** Para condiciones tropicales generalmente se utilizan las ecuaciones de régimen transitorio, las cuales permiten obtener el espaciamiento entre drenes como una función del tiempo en que se desea el abatimiento del manto freático, desde una posición inmediatamente después de la lluvia, hasta la profundidad deseada antes de que caiga la siguiente lluvia.

La fórmula más utilizada en este caso es la de Glover-Dumm (Ritzema, 1994):

$$L = \pi \sqrt{\frac{K_s D}{\mu \alpha}} \quad (7)$$

Donde, L es el espaciamiento entre drenes [m], π es una constante de 3.1416, K_s es la conductividad hidráulica del suelo [m día^{-1}], D es el espesor saturado equivalente [m], M es la porosidad drenable [$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$] con la fórmula propuesta por Van Beers para su estimación $\mu = \sqrt{\frac{K_s}{100}}$, donde, α es el factor de reacción [l/día], que se determina con la fórmula $\alpha = \frac{1}{t} \ln\left(1.16 \frac{h_0}{h_t}\right)$, donde, t es el tiempo en el cual debe abatirse el nivel del manto freático [días]; h_0 es la elevación media del nivel freático con respecto al nivel del agua de los drenes inmediatamente después del riego o lluvia, es decir, el nivel inicial del manto freático [m]; h_t es la elevación media del nivel freático con respecto al nivel del agua en los drenes después de t días del riego (antes del siguiente riego) [m].

ii) Cálculos hidráulicos. Los cálculos hidráulicos consisten en lo siguiente:

- Calcular el gasto que debe ser removido por drenes y colectores.
- Verificar que la capacidad de conducción con las pendientes y diámetros propuestos sea suficiente para desalojar los gastos que deben ser removidos.
- Verificar que la velocidad del agua en sitios críticos sea superior a 0.15 m/s para evitar el riesgo de azolvamiento.

El gasto que debe remover un dren en cualquier sección de su desarrollo, es $Q_r = q A_d$, donde; Q_r es el gasto que debe ser removido, [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]; q es el módulo de drenaje, [m día^{-1}]; A_d es área drenada, [m^2].

Normalmente las áreas drenadas son de forma rectangular y entonces $A_d = L X_d$, donde; X_d es la distancia desde el inicio hasta la sección de cálculo, [m]; L es el espaciamiento entre drenes, [m].

El gasto de los drenes y colectores es máximo en la descarga; el de los colectores entubados es la suma del gasto de los drenes que desembocan en ellos.

La capacidad de conducción de las tuberías utilizadas se calcula con fórmulas de la hidráulica, en función de la dimensión, rugosidad y pendiente; para tubos corrugados: (Ritzema, 1994), $Q_c = 2 d^{2.667} i^{0.5}$, donde; Q_c es la capacidad de conducción, [$m^3 s^{-1}$]; d es el diámetro interno del tubo, [m]; i es la pendiente de la tubería, [adimensional]. El diámetro propuesto para la tubería, se acepta si se cumple la condición: $Q_c \geq Q_r$.

La velocidad de escurrimiento se calcula mediante las siguientes fórmulas para tubos corrugados (Ritzema, 1994), $v = 28 d^{0.667} i^{0.5}$, donde; V es la velocidad de movimiento del agua, [$m s^{-1}$]. Esta velocidad debe ser superior a $0.15 m s^{-1}$, para evitar o disminuir los problemas de depósitos de azolves.

iii) **Diseño de planta.** En un plano se indica: la separación y longitud entre drenes, pendiente, diámetro de la tubería, si es o no ranurada o ciega, con filtro o sin filtro, cotas del terreno y cotas de rasante, al inicio y final del dren. Estos drenes descargan a un dren colector parcelario. Todo el sistema debe ser georreferenciado (Coordenadas X, Y, Z); el colector parcelario descarga a la estructura de control, dependiendo del cultivo que se tenga o quiera implantar el vertedor de dicha estructura se colocara a la profundidad que no afecte la raíz del cultivo.

iv) **Diseño del perfil.** El plano indicará lo mismo para el drenaje subterráneo, pero hay que considerar que la descarga de la estructura de control al dren superficial debe estar mínima a 30 centímetros sobre la rasante de dicho dren.

v) **Estructuras de control.** El diseño consiste en realizar un plano estructural muy acotado, considerando el cultivo a establecer se debe indicar la profundidad a la cual debe estar el vertedor y debe estar a 60 centímetros debajo de la superficie del suelo. Esto con la finalidad de que la raíz de la plantas tengan aireación. En el caso del cultivo de arroz el vertedor se debe localizar a 20 centímetros debajo de suelo.

Construcción del sistema de drenaje

- A) **Drenaje superficial.** Con el plano de diseño de planta y perfil se realiza un replanteo en campo considerando las cotas absolutas que marcan dichos planos (profundidad, pendiente, sección hidráulica), así como también la localización de la estructuras de control. La construcción o si es mantenimiento de un arroyo o de un dren principal será con una retroexcavadora de orugas, si es a nivel parcelario puede ser manual o con excavadora de llanta o zanjadora Dondi.
- B) **Drenaje subterráneo.** Con los planos de planta y perfil se procede a realizar el replanteo. Para la construcción, primeramente se instala un nivel laser en la cual se calibra e introduce la pendiente de los drenes; con una máquina zanjadora con receptor recibe la señal del láser, esta señal llega a una caja que tiene tres focos (como un semáforo), un rojo, un verde y un ámbar. Si al estar instalando el sistema de drenaje el foco rojo permanece unos tres minutos hay que parar la máquina porque se está profundizando el dren, si el foco ámbar permanece tres minutos se para la máquina porque el dren está quedando muy superficial. La instalación correcta debe siempre estar prendido el foco verde,
- C) **Estructura de control.** Con los planos estructurales se procederá a realizar la obra civil de acuerdo con la especificación, teniendo mucho control en las acotaciones para asegurar el buen funcionamiento de dichas estructuras, tanto para el drenaje superficial como en el drenaje subterráneo.

Beneficios del drenaje

El drenaje superficial principal se experimentó con el cultivo de pasto y se obtuvo un buen desarrollo durante 30 días; con el drenaje subterráneo parcelario, en el cultivo de caña de azúcar, se incrementa la eficiencia del aprovechamiento del fertilizante en un 5%; con el manejo del manto freático se incrementa la producción en caña en un 50 a 70%, la sacarosa de 3 a 5 puntos porcentuales. Se adelanta un mes la época de siembra y un mes la época de cosecha en caña de azúcar y se logra mediante la estructura de control, abatir los picos en cuanto a la acumulación de agua al controlar mediante la compuerta la velocidad con la que es desalojada el agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio agroclimático

A) Balance hídrico. Considerando las precipitaciones medias mensuales y la evapotranspiración mensual estimada, se analiza el balance del agua en el suelo a lo largo del año. El conocimiento del balance de humedad en el suelo es importante porque nos permite: evaluar la disponibilidad de agua para los cultivos, estudios hidrológicos, de conservación de suelos, de drenaje, de recuperación de suelos salinos, de repoblación forestal, o el establecimiento del régimen de humedad de los suelos o de criterios de diferenciación climática. Existen varios modelos para estimar el balance de agua en el suelo; aquí seguiremos el método directo propuesto por Thornthwaite y Matter, según el cual se va perdiendo agua para poder generar la evapotranspiración potencial hasta agotar la reserva de agua en el suelo.

Según el balance hídrico realizado para la estación 7045, El Dorado en Suchiate, localizada entre la longitud de 92.213° y la latitud norte de 14.673° , a una altura sobre el nivel del mar de 9 m (Cuadro 2 y la Figura 7). Se presenta un período de déficit de humedad en el suelo entre el mes de diciembre y abril, por lo que hay que aplicar riego complementario; siendo los meses de junio a octubre los meses con exceso de humedad, por lo tanto hay que drenar.

Cuadro 2. Balance hídrico en un suelo de textura media con 100 mm de almacenamiento para la estación El Dorado, Suchiate, Chiapas

Lámina (mm)	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL
Precipitación	8.8	43	131.6	250.9	191.1	192	296	163	42.6	7.5	2.4	0.6	1329.1
ET	131.9	129.9	115	96.8	100.2	97.2	88.7	87.6	78.9	79.8	91.7	106.4	1204.1
P-ET	-123	-86.9	16.6	154.1	90.9	94.8	207	75.5	-36.3	-72.3	-89.3	-105.8	125
Reserva (R)	0	0	16.6	100	100	100	100	100	63.7	0	0	0	580.3
VR	0	0	16.6	83.4	0	0	0	0	0	-63.7	0	0	36.3
ETR	8.8	43	115	96.8	100.2	97.2	88.7	87.6	0	71.2	2.4	0.6	711.5
Exceso (E)	0	0	0	70.7	90.9	94.8	207	75.5	0	0	0	0	538.7
Déficit (D)	-123	-86.9	0	0	0	0	0	0	0	-8.6	-89.3	-105.8	-413.7

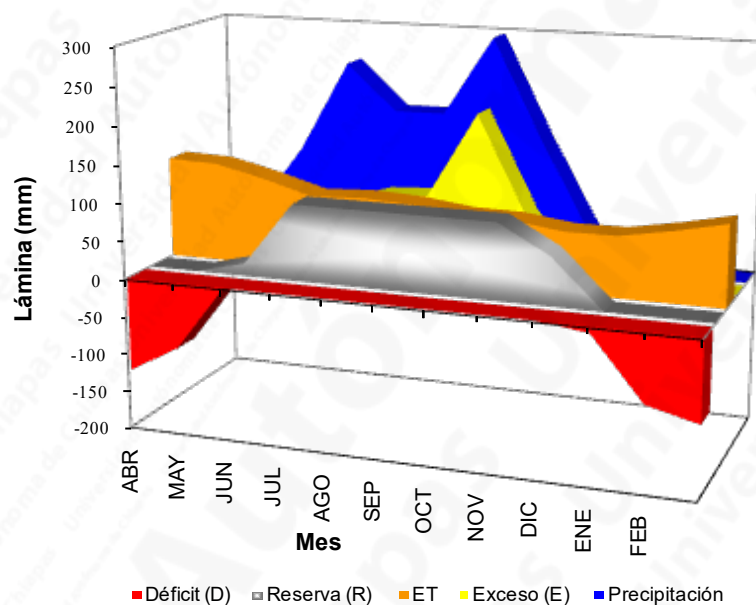


Figura 7. Balance hídrico de la estación El dorado, Suchiate, Chiapas

B) Lluvia Máxima: Se seleccionaron las lluvias máximas anuales de un periodo de observación de julio de 1951 a diciembre de 2000, los datos climatológicos se tomaron de la estación El Dorado, Suchiate, Chiapas.

Utilizando el software Ax.exe®, del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), el cual contiene las funciones probabilísticas enunciadas en la metodología, se ajustaron las lluvias máximas a cada función y se escogió aquella que tuviera menor error estándar, este método es el más utilizado para hacer una selección de la función de distribución de probabilidad (Cuadro 3 y Figura 8).

Cuadro 3. Resumen de errores estándar

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Lognormal	17.301	14.308	19.743	14.280
Gumbel	17.314		19.758	
Gamma	19.499		20.735	18.701
Doble Gumbel	7.248			

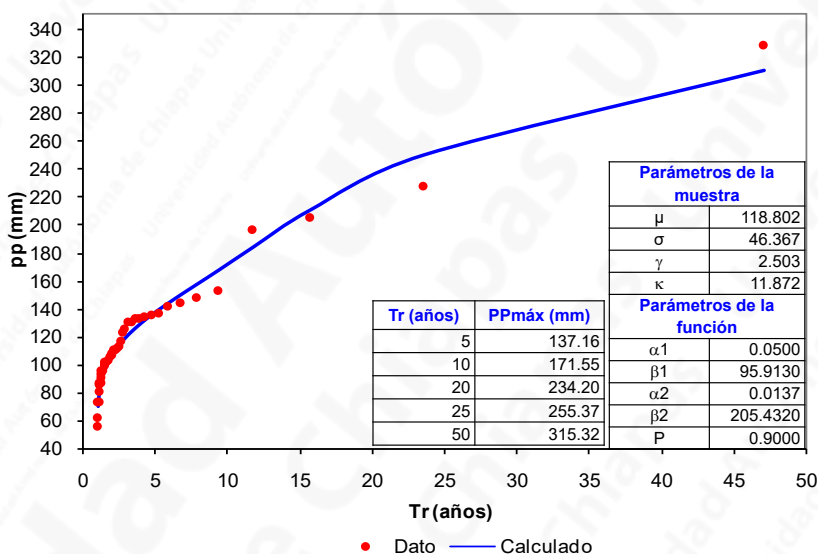


Figura 8. Ajuste de la distribución Doble Gumbel a los valores de precipitación máxima

C) Escurrimiento superficial: La zona de estudio se ubica en una región de clima subtropical motivo por el cual puede considerarse semejante a las condiciones climáticas de Puerto Rico; así mismo, ha sido utilizada en el sureste del país con buenos resultados; teniendo en cuenta lo anterior se determinó el número de curva (CN) utilizando el procedimiento descrito por Namuche (2003), se estimó el escurrimiento superficial para cada estación, obteniéndose los resultados mostrados en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Estimación del escurrimiento superficial

Cultivo	Maíz	Pasto
Ppmax (cm)	31.53 (Tr=50 años)	31.53 (Tr=50 años)
Clasificación del suelo	C	C
Condición hidrológica	Mala	Mala
No. de curva (CN)	79	89
Re (cm)	24.66	28.05

D) Módulo de drenaje:

- i) **Para drenaje superficial** se aplicó la ecuación 2, el módulo de drenaje estimado para el área antes indicada y con $T_d = 24$ y 72 horas para el maíz y pasto, respectivamente, es de 28.6 (maíz) y 10.8 (pasto) $L s^{-1} ha^{-1}$.
- ii) **Para drenaje subterráneo** se utilizó la misma metodología mostrada anteriormente pero para la estación climatológica de Huixtla, Chiapas, obtenemos que para el cultivo de caña de azúcar los siguientes parámetros: Precipitación máxima de 175.3 mm, escurrimiento superficial 91.5 mm, tiempo de drenaje de 72 horas y aplicando la ecuación 3, se obtiene un módulo de drenaje de 3.1 $L s^{-1} ha^{-1}$.

E) Estudios topográficos: Para el drenaje superficial, el levantamiento consiste en trazar un perfil longitudinal del dren o arroyo con secciones transversales cada 50 m, así como la vegetación existente, ya sea en centro o bermas de la infraestructura para presupuestar costos (Figuras 9, 10 y 11).

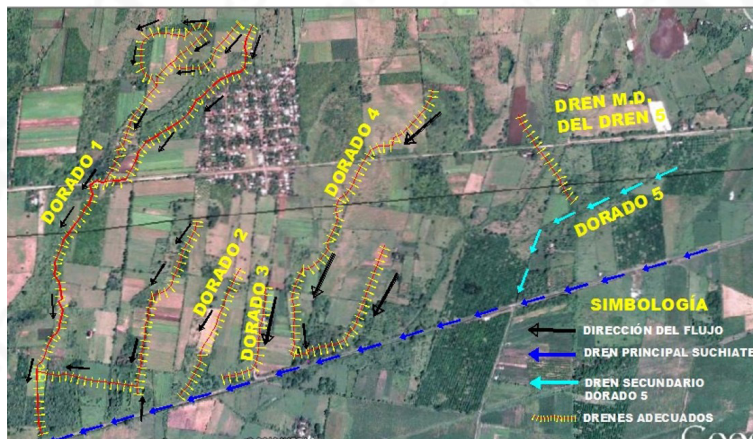


Figura 9. Trazo de los drenes y arroyos



Figura 10. Localización de los drenes



Figura 11. Levantamiento del eje longitudinal en terreno con arbustos

Para el drenaje subterráneo, se realizó un levantamiento topográfico detallado mediante cuadrículas de 20 x 20 metros con la finalidad de nivelar el terreno y realizar el diseño del sistema de drenaje subterráneo (Figura 12).

Freatimetría

A) Conductividad hidráulica. Se estimó por el método del pozo barrenado (Figura 13). El valor medio de la conductividad hidráulica a saturación (K_s) fue de 1.7 m día^{-1} . La distribución espacial de curvas con igual K_s se muestra en la Figura 14. En la zona de Mazatán, al sur del distrito de temporal tecnificado, no fue posible realizar las pruebas porque la profundidad del manto freático era mayor de dos metros.

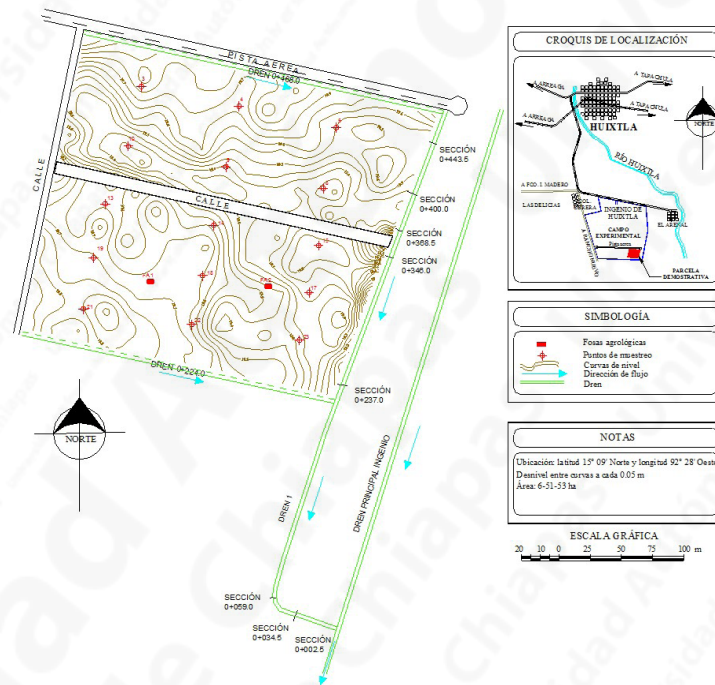


Figura 12. Topografía para el drenaje subterráneo



Figura 13. Estimación de la conductividad hidráulica a saturación por el método del pozo barrenado

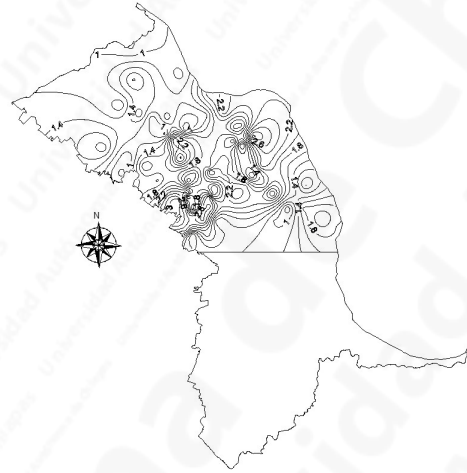


Figura 14. Conductividad hidráulica a saturación (K_s) del suelo, $m\ día^{-1}$

B) Planos freaticométricos Isobatas. Para conocer la distribución espacial de las áreas con diferente profundidad del manto freático se elaboraron los planos de isobatas. Puede observarse que en la parte sur del Distrito de Temporal Tecnificado 018 Huixtla, municipio de Mazatán y parte de Huehuetán, la profundidad del manto freático es mayor de tres metros y en el resto del área la profundidad es menor de tres metros. Las zonas con los niveles freáticos más someros están en los poblados de Huixtla, Monte Cristo, Lázaro cárdenas, arenal y La Unión. En las Figuras 15, 16, 17 y 18 se muestra la delimitación espacial de zonas con diferentes profundidades del manto freático.



Figura 15. Sondeo de la profundidad del manto freático

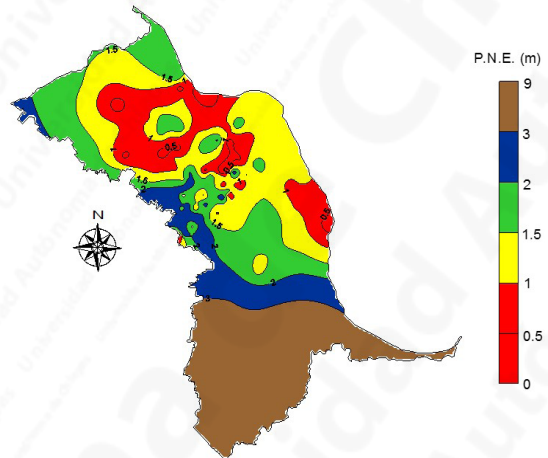


Figura 16. Plano de isobatas, 15 de septiembre de 2004

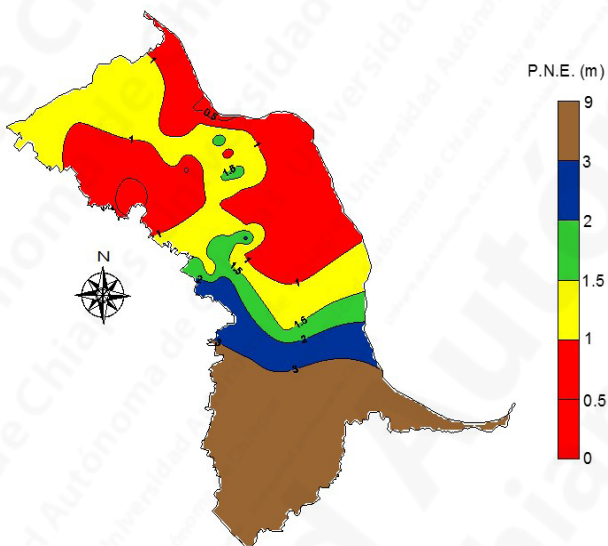


Figura 17. Plano de isobatas, 30 de septiembre de 2004

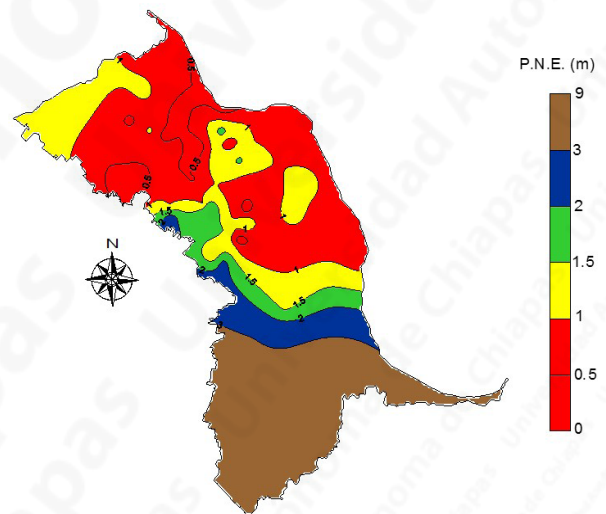


Figura 18. Plano de isobatas, 15 de octubre de 2004

i) **Gráfica de áreas tiempo.** Con los planos de isobatas se construyó el gráfico de áreas-tiempo que permite conocer la evolución de la superficie con diferente profundidad del manto

freático (Figura 19). Para el área de estudio se estimó que la superficie con problemas de drenaje deficiente; es decir, aquella donde el manto freático se encuentra a profundidades hasta de un metro, medidas desde la superficie del suelo, es de 22,035 hectáreas (Cuadro 5).

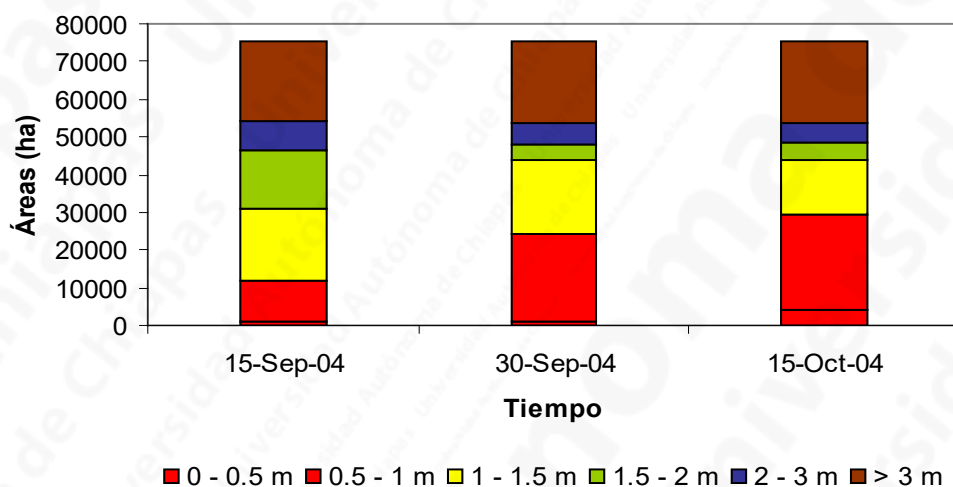


Figura 19. Gráfico áreas tiempo

Cuadro 5. Áreas según la profundidad del nivel freático

Profundidad (m)	Áreas (ha)			
	15-Sep-04	30-Sep-04	15-Oct-04	Promedio
0-0.5	1,276.128	969.735	3,894.083	2,046.649
0.5-1	10,782.507	23,434.995	25,748.527	19,988.676
1-1.5	18,908.095	19,267.373	14,354.871	17,510.113
1.5-2	15,521.989	4,517.662	4,589.660	8,209.770
2-3	7,481.640	5,376.399	5,105.583	5,987.874
3-9	21,410.870	21,815.064	21,688.503	21,638.146
Total	75,381.228	75,381.228	75,381.228	

ii) **Plano de isohipsas.** Llamado también plano de elevación del manto freático, la dirección general del flujo subterráneo puede inferirse de la configuración espacial de la elevación del nivel estático (Figura 20). Puede observarse que la dirección del flujo es predominantemente de este a oeste, siguiendo la configuración de la topografía, los gradientes mayores se observan en la zona de Mazatán.

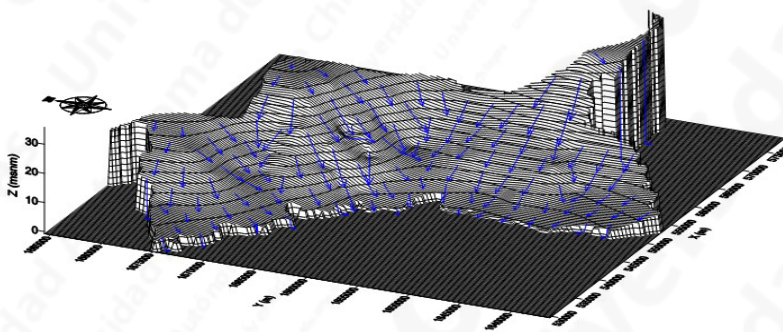


Figura 20. Elevación de la superficie del manto freático

iii) **Modelo digital de elevación (MDE).** Son de gran utilidad en obras que involucran la necesidad de un conocimiento detallado de la topografía. Los MDE se han utilizado en diversas áreas como: análisis ambiental, ingeniería civil y cartografía, entre otras. El modelo consiste en un arreglo de cotas cuya resolución depende del tamaño del pixel. Esto es, mientras más pequeño sea el pixel, mayor será la resolución, y esto significa que la forma del modelo se acerca más a la forma real de la superficie terrestre.

En la Figura 21 se muestra el modelo digital de elevación (MDE) para el Distrito de Temporal Tecnificado 018 Huixtla, Chiapas. Puede observarse la configuración topográfica, la localización de los pozos de observación del manto freático y las corrientes de agua perennes e intermitentes. Debido al fuerte cambio de pendiente que se presenta entre la zona montañosa

y el DTT, a la naturaleza de la red drenaje natural, a los tipos de suelo que se presentan en el distrito, y a la cantidad de lluvia, que es de 3,300 mm en el municipio de Huixtla, se presenta el ascenso de los mantos freáticos en época de lluvias, y se generan inundaciones en la parte baja de dicho distrito.

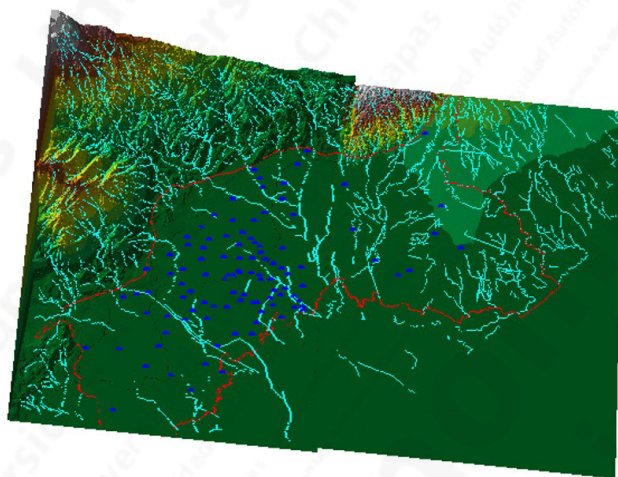


Figura 21. Modelo digital de elevación

DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE AGRÍCOLA

A) Drenaje superficial

i) **Cálculos hidráulicos.** Con base en el módulo de drenaje de $10.83 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, se determinó el gasto requerido (Q_r) de los drenes (Cuadro 6). Para calcular el gasto de diseño (Q_d) se utilizó el programa HCANALES[®]. La sección hidráulica tipo se muestra en la Figura 22 y las características hidráulicas de los drenes en el Cuadro 7.

Cuadro 6. Valores de gasto hidráulico requerido por los drenes interceptores

Drenes	Módulo de drenaje ($L s^{-1} ha^{-1}$)	Área drenada (ha)	Q_r ($m^3 s^{-1}$)
Dren Dorado 1	10.83	1,000	10.83
Ramal M.I.	10.83	400	5.80
Ramal M.D.	10.83	50	0.72
Subramal M.I.	10.83	50	0.72
Subramal M.D.	10.83	50	0.72
Dren Dorado 2	10.83	50	0.72
Dren Dorado 3	10.83	51	0.74
Dren Dorado 4	10.83 </td <td>400</td> <td>5.80</td>	400	5.80
Ramal	10.83	50	0.72
Dren Dorado 5	10.83	180	2.61

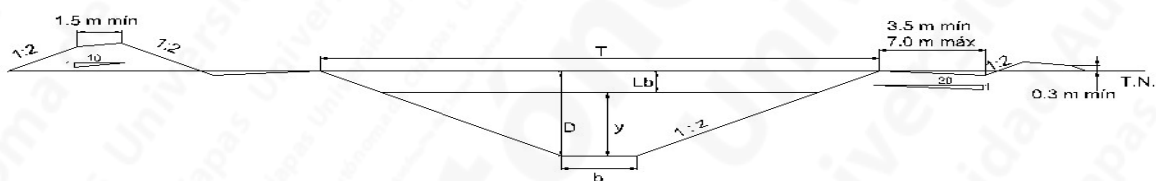


Figura 22. Sección hidráulica tip

Cuadro 7. Características hidráulicas de los drenes

Parámetros	Dren 1	Ramal M.I.	Ramal M.D.	Subramal M.I.	Subramal M.D.	Dren 2	Dren 3	Dren 4	Ramal	Dren 5
Gasto (Q , m^3s^{-1})	11.83	6.04	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	6.04	1.15	3.42
Coefficiente de rugosidad (n , adim.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Base del canal (b , m)	3.00	2.5	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	2.5	0.40	1.2
Tirante (y , m)	2.50	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	1.5	2.0
Talud (z , adim.)	1:1.5	1:1.25	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1.25	1:1	1:1
Pendiente del canal (s , m/m)	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Área de la sección transversal (A , m^2)	16.87	10.0	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	10.0	2.85	6.4
Radio hidráulico (R , m)	1.4	1.12	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	1.12	0.62	0.93
Perímetro mojado (P , m)	12.0	8.90	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	8.90	4.64	6.86
Velocidad promedio (V , ms^{-1})	0.70	0.60	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.60	0.40	0.53

Si $Q_r < Q_d$, se acepta el gasto de diseño (Q_d) para la construcción de drenes superficiales. Se verificó que los drenes tuvieran pendientes continuas no erosivas, que aseguren que el escurrimiento recibido sea conducido sin provocar encharcamientos o pequeñas lagunas. Comparando los gastos requeridos (Cuadro 6) con los gastos de diseño (Cuadro 7), se concluye que se aceptan los gastos de diseño.

ii) **Diseño del dren en planta.** Determinada la sección hidráulica del dren (Cuadro 7), se procede al trazo del mismo en plano de la parcela con secciones transversales cada 50 m. El objetivo principal de esta operación es lograr la alternativa que la profundidad en la descarga cumpla con los parámetros de diseño (Figura 23).



Figura 23. Diseño en planta del ramal M.D. km 0+009

iii) **Diseño del dren en perfil.** Para determinar la sección hidráulica de los drenes se utiliza el perfil longitudinal, la rasante con su pendiente y la sección tipo. Con la sección hidráulica definida en el Cuadro 7, se obtienen los cortes y rellenos, utilizando un software de AUTOCAD® y CIVILCAD® (Figura 24). Se observa que el terraplén se construirá en la margen derecha del dren (Figura 25) para que cuando se presente un exceso de lluvia, el agua escurra al dren por la margen izquierda y no se forme una barrera considerando la pendiente transversal del dren Suchiate que va este a oeste.



Figura 24. Diseño en perfil del dren

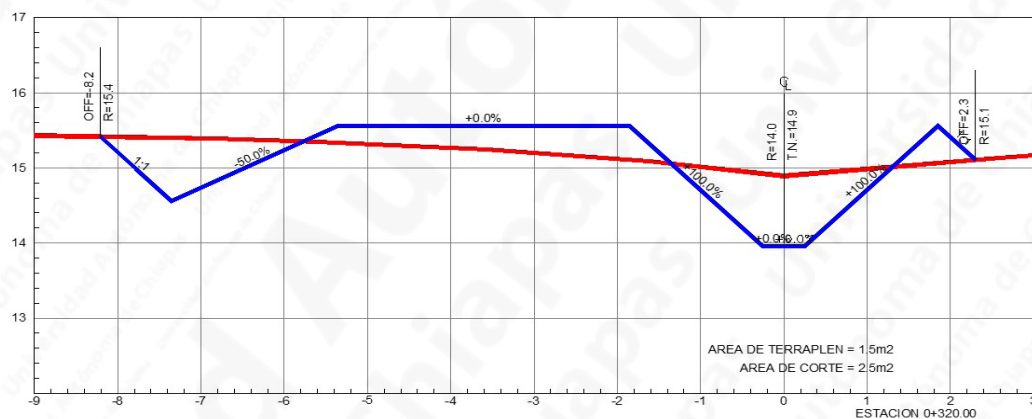


Figura 25. Sección típica de un dren

iv) **Diseño de la estructura de control para drenaje superficial.** Estas estructuras hidráulicas ya sea caídas o rápidas y alcantarillas son utilizadas para el control y manejo del agua

superficial, y permiten regular el flujo en determinado momento. En este caso es necesario que la estructura se cierre cuando la época de lluvia se está alejando, generalmente a fines del mes de octubre, y se abra cuando comienza el temporal, a comienzo de mayo. Para este último caso analizaremos las caídas.

Las caídas son estructuras de conducción que tienen como objetivo fundamental salvar desniveles que van acumulándose debido a las diferencias que existen entre las pendientes del dren y las del terreno natural correspondientes al eje longitudinal del mismo, tratando que los tramos aguas arriba y aguas abajo de la estructura no se vean alterados por efectos debidos a altas velocidades provocadas por el desnivel entre uno y otro tramo. Las caídas sirven para conducir el agua de una elevación superior a otra inferior, con la disipación consiguiente del exceso de energía y con la protección debida del tramo de terreno atravesado.

v) **Diseño hidráulico de una caída inclinada.** Considera lo siguiente: 1) Transición de entrada, 2) Sección de control, 3) Conducto inclinado, 4) Colchón o tanque amortiguador, 5) Estructura de salida y 6) Diseño del tanque amortiguador (Figura 26).

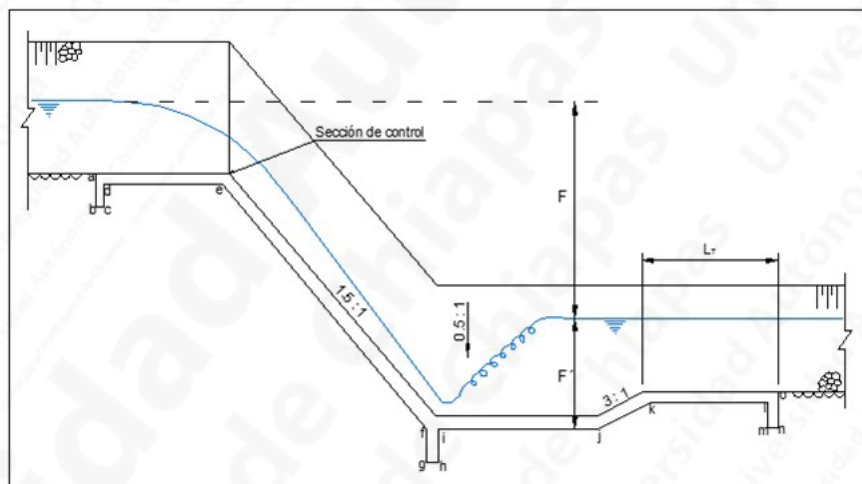


Figura 26. Salto hidráulico en caída Inclinada

vi) **Diseño estructural de una caída inclinada.** Se considera lo siguiente: 1) Análisis a estructura vacía, con muros laterales y losa de piso, 2) Análisis a estructura llena, con muros laterales y losa de piso (Figura 27).

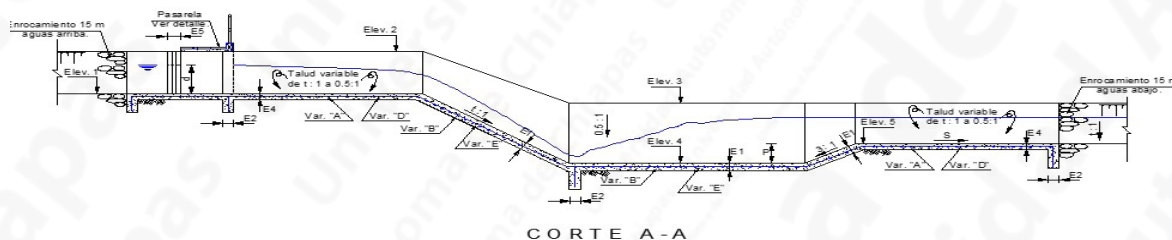


Figura 27. Plano estructural de caída

B) Drenaje subterráneo

i) **Determinación del espaciamiento.** Utilizando el programa ESPADREN[®], para un tiempo de drenaje de tres días, que es el máximo que soporta la caña de azúcar inundada, nos da un espaciamiento de 20 m (Figura 28). Este trabajo se llevó a cabo en un módulo experimental por lo que se optó también instalar a espaciamientos de 10 y 15 metros; así mismo, se optó por las estructuras de control para los espaciamientos de 10 y 20 metros, dejando el espaciamiento de 15 metros libres para realizar la evaluación hidráulica.

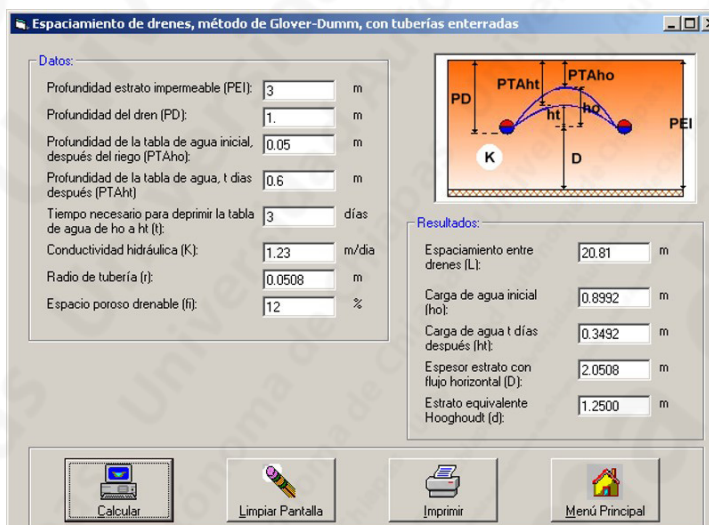


Figura 28. Determinación del espaciamiento con el programa ESPADREN

ii) **Cálculos hidráulicos.** Con el módulo de drenaje de $3.1 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ y las fórmulas 21, 22, 23 y 24, determinamos los gastos a remover (Cuadros 8 y 9) y los gastos de conducción (Cuadro 10 y 11).

Cuadro 8. Gasto a remover de colectores (Q_r)

Colector/dren	Área drenada (ha)	Módulo de drenaje ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$)	Gasto a remover ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
A	3.2817	0.0031	0.01017
B	1.8180	0.0031	0.00564
C	0.4050	0.0031	0.00126
D	0.4080	0.0031	0.00126
E	0.4125	0.0031	0.00128

Cuadro 9. Gasto a remover de drenes (Q_d)

Dren	Área drenada (ha)	Módulo de drenaje ($m^3 s^{-1} ha^{-1}$)	Gasto a evacuar ($m^3 s^{-1}$)
A2	0.4536	0.0031	0.00141
A4	0.4600	0.0031	0.00143
A6	0.4660	0.0031	0.00144
A8	0.4740	0.0031	0.00147
A10	0.4800	0.0031	0.00149
A12	0.4860	0.0031	0.00151
B2	0.2490	0.0031	0.00077
B4	0.2510	0.0031	0.00078
B6	0.2520	0.0031	0.00078
B8	0.2540	0.0031	0.00079
B10	0.2560	0.0031	0.00079

Cuadro 10. Gasto de conducción de colector (Q_c)

Colector Dren	Diámetro (m)	Pendiente ($m m^{-1}$)	Gasto calculado ($m^3 s^{-1}$)
A	0.2032	0.00150	0.01215
B	0.2032	0.00150	0.01215
C	0.1016	0.00100	0.00156
D	0.1016	0.00100	0.00156
E	0.1016	0.00100	0.00156

Cuadro I1. Gasto de conducción de drenes (Q_c)

Dren	Diámetro (m)	Pendiente ($m\ m^{-1}$)	Gasto calculado ($m^3\ s^{-1}$)
A2	0.1016	0.00150	0.00191
A4	0.1016	0.00150	0.00191
A6	0.1016	0.00150	0.00191
A8	0.1016	0.00150	0.00191
A10	0.1016	0.00150	0.00191
A12	0.1016	0.00150	0.00191
B2	0.1016	0.00100	0.00156
B4	0.1016	0.00100	0.00156
B6	0.1016	0.00100	0.00156
B8	0.1016	0.00100	0.00156
B10	0.1016	0.00100	0.00156

El gasto de conducción es mayor que el gasto requerido ($Q_c \geq Q_r$) por lo tanto se acepta los diámetros de la tubería para colectores y drenes.

La velocidad de escurrimiento de colectores y drenes es mayor de $0.15\ m\ s^{-1}$, por lo tanto, es muy poco probable que se azolven (Cuadro I2).

Cuadro I2. Velocidad de escurrimiento de colector (V_c)

Colector Dren	Diámetro (m)	Pendiente ($m\ m^{-1}$)	Velocidad ($m\ s^{-1}$)
A	0.2032	0.00150	0.37
B	0.2032	0.00150	0.37
C	0.1016	0.00150	0.21
D	0.1016	0.00150	0.21
E	0.1016	0.00150	0.21
A2	0.1016	0.00150	0.21
A4	0.1016	0.00150	0.21
A6	0.1016	0.00150	0.21

Colector Dren	Diámetro (m)	Pendiente (m m ⁻¹)	Velocidad (m s ⁻¹)
A8	0.1016	0.00150	0.21
A10	0.1016	0.00150	0.21
A12	0.1016	0.00150	0.21
B2	0.1016	0.00100	0.21
B4	0.1016	0.00100	0.21
B6	0.1016	0.00100	0.21
B8	0.1016	0.00100	0.21
B10	0.1016	0.00100	0.21

iii) Diseño en planta. Con la información generada con los cálculos hidráulicos se procede a elaborar el diseño del sistema de drenaje (Figura 29). En un plano se indica: la separación entre drenes, longitud de drenes, pendiente, diámetro de la tubería, si es o no ranurada o ciega, con filtro o sin filtro, cotas del terreno y cotas de rasante, al inicio y final del dren. Estos drenes descargan a un dren colector parcelario, se indicara de la misma manera que los drenes subterráneos. Todo el sistema debe ser georeferenciado (Coordenadas X, Y, Z); el colector parcelario descarga a la estructura de control.

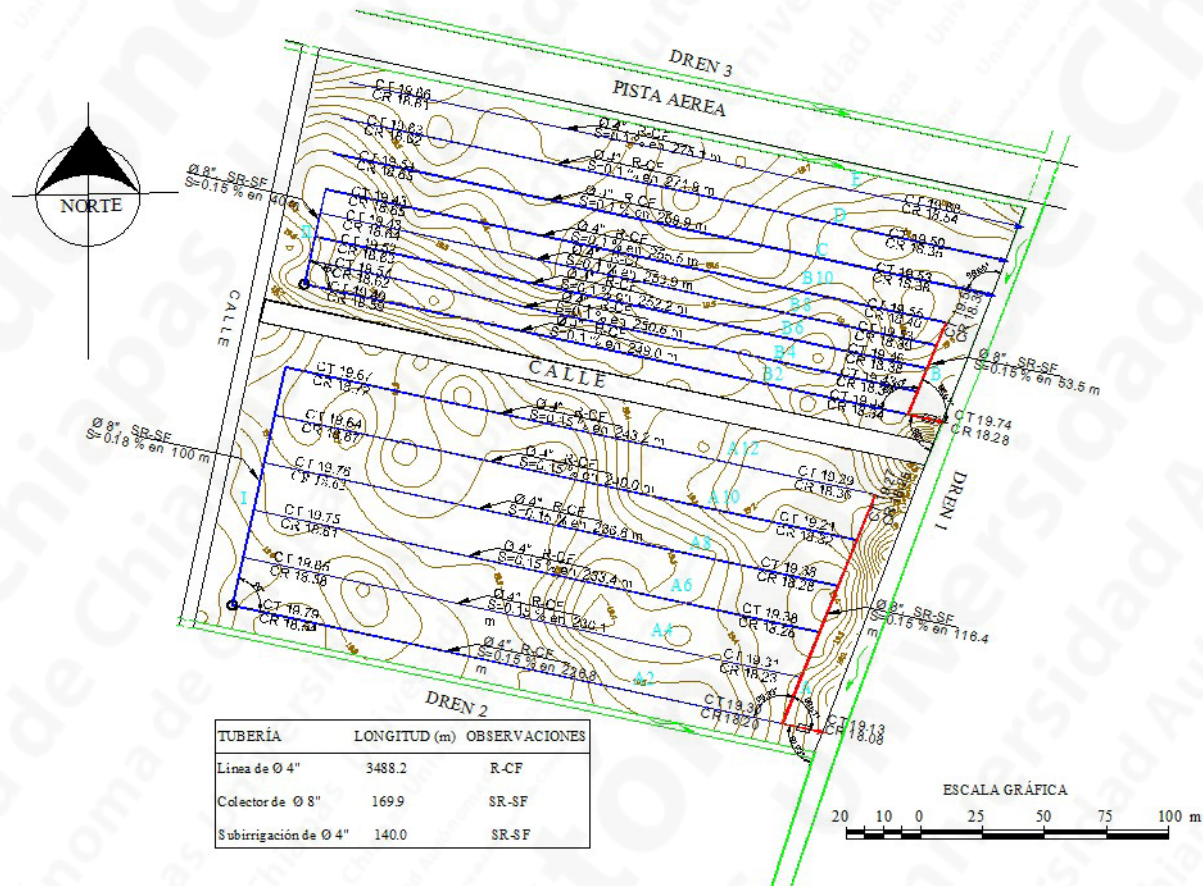


Figura 29. Plano de planta del sistema de drenaje subterráneo

iv) **Diseño en perfil.** Posterior a la ubicación en planta de drenes laterales y colectores parcelarios, se procede a efectuar el diseño en perfil que consiste en: 1) calcular el perfil del terreno a lo largo de la ubicación propuesta para el colector entubado, 2) proponer la ubicación del colector en el perfil calculado, procurando que la pendiente sea cuando menos de 0.001 m m^{-1} y que las aguas puedan descargar libremente en el colector abierto (en este caso, la descarga debe estar por lo menos 20 cm por encima del nivel máximo del agua), 3) calcular los perfiles del terreno en la ubicación de cada dren lateral que descargue en el colector

analizado y trazar en dichos perfiles los drenes correspondientes. Este último trazo se realiza a partir del punto de descarga (que es la parte superior de la tubería del colector en el punto de unión con el lateral) y considerando la pendiente de diseño (Figura 30). Se deben identificar en campo las salidas de los colectores o líneas que descargan a un dren a cielo abierto, utilizando un señalamiento adecuado que indique la nomenclatura del colector o línea según el plano de diseño, esto tiene como finalidad una ubicación precisa de los elementos del sistema de drenaje en la fase de mantenimiento. Además se debe construir una protección de mampostería a la salida del colector para evitar la erosión en el talud del dren, asimismo el colector debe tener una tapa tipo rejilla o tipo check, para evitar la entrada de roedores que puedan obstruir la salida del flujo.

v) Estructura de control. Las estructuras de control del manto freático permitirán efectuar el manejo del agua para propiciar el balance del régimen hídrico del suelo, para lo cual se realizó un diseño estructural e hidráulico. La estructura consta de una compuerta y un vertedor que se encuentra a 60 cm de la superficie del suelo para el cultivo de caña de azúcar (Figura 31).

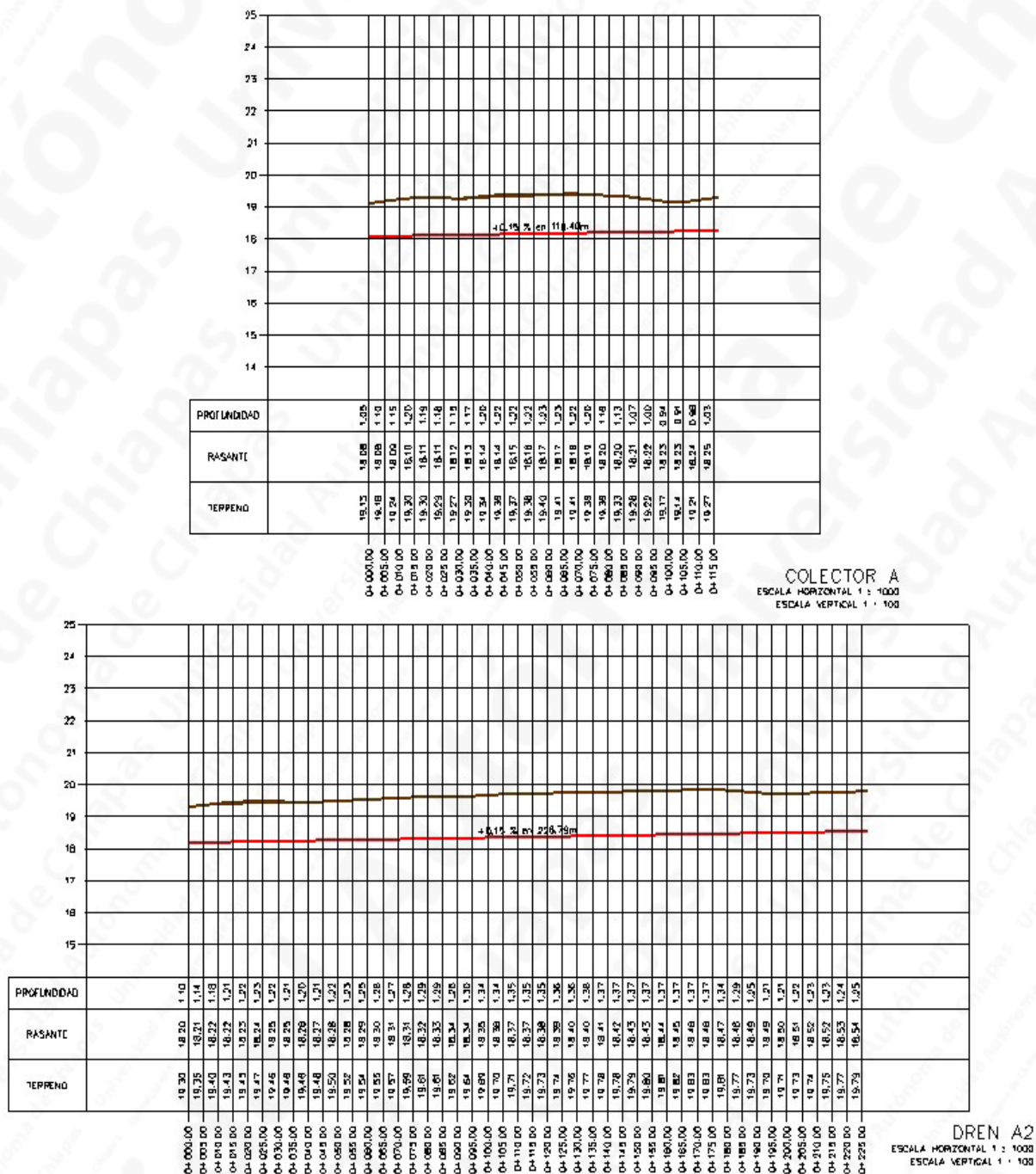


Figura 30. Perfil longitudinal del colector A y el dren A2



Figura 32. Replanteo de dren



Figura 33. Construcción y adecuación de dren



Figura 34. Mantenimiento del dren



Figura 35. Dren construido



Figura 36. Dren parcelario con maquina Dondi



Figura 37. Funcionamiento de dren parcelario



Figura 38. Acondicionamiento de alcantarilla como estructura de control



Figura 39. Estructura de control con compuertas y vertedores

B). Drenaje subterráneo. La instalación se realizó conforme al plano de diseño (Figura 31), es decir, se instalaron seis drenes laterales de 4" de diámetro a una separación de 20 m con pendiente de 0.15%, que descargan al colector A de 8" de diámetro con una pendiente de 0.15%; cinco drenes laterales de 4" de diámetro a separación de 10 m con pendiente de 0.10%, que descargan al colector B de 8" de diámetro con pendiente de 0.15%. Los dos colectores subterráneos descargan al dren I a cielo abierto; también se instalaron tres drenes laterales de 4" de diámetro a una separación de 15 m con pendiente de 0.10% que descargan directamente al dren I. Se utilizaron 3,488 m de tubería de 4" de diámetro ranurada y con filtro geotextil de 400 micras, 173 m de colector de 8" sin ranurar y sin filtro, catorce tapas de 4", dos tapas de 8", 35 conectores de 4", 30 conectores de 8" y 11 tes de 8"x 8"x 4". La instalación se inició con el trazo de los drenes laterales y los colectores. Posteriormente, se instaló el emisor de rayos láser que auxiliaría en el control de la pendiente. Los colectores se instalaron con ayuda de una retroexcavadora de llantas, la pendiente se controló utilizando el sistema de rayo láser para mantener al mínimo las variaciones al momento de la instalación. En el extremo final de los colectores se colocaron tapas para evitar la entrada de partículas de suelo que provoquen azolvamiento de la tubería. La unión entre el colector y los drenes laterales se efectuó utilizando "Ts" de 8"x8"x4". En la instalación de los drenes laterales se utilizó una zanjadora de llantas con receptor de rayo láser. Para la tracción de la zanjadora se utilizó un tractor D7, cuando la potencia del tractor D7 era insuficiente para instalar los drenes, debido a las características físico-químicas y condiciones de humedad del terreno, se conectaban dos tractores agrícolas al tractor D7 (Figuras 40, 41 y 42).



Figura 40. Instalación del emisor de rayo láser con la pendiente del colector



Figura 41. Instalación de colectores



Figura 42. Instalación de un dren lateral

C) Estructura de control. La construcción se realizó con base en el plano de diseño (Figura 31), consiste en el acondicionamiento de la zona de trabajo, suministro de material, armado de cimbra y colocación de acero #4 (1/2"), fabricación y colocación de concreto $F'c = 250 \text{ kg cm}^{-2}$, fletes, acarreos, mano de obra y otro material necesario (Figura 43).

D) Beneficios del drenaje agrícola. Una buena técnica implica, generalmente, a la vez drenaje superficial y subsuperficial en debidas proporciones, puesto que la mayor eficiencia

de los drenajes subsuperficiales depende de la adecuada distribución por el terreno del agua superficial. Al principio, el coste de dicho drenaje, si se requería, era considerado justificado en términos generales por permitir la utilización de una fertilidad que no podía aprovecharse de otra manera (Figura 44).

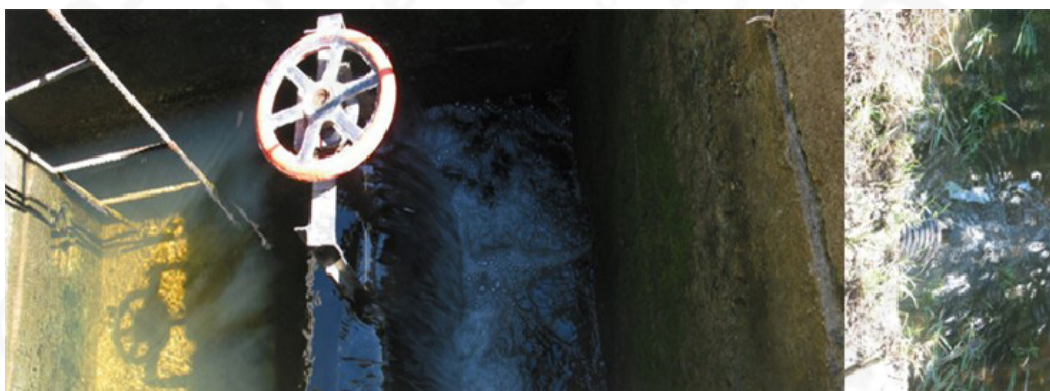


Figura 43. Estructura de control



Figura 44. Sistemas de drenaje superficial y subterráneo en el sureste de México

La construcción de sistemas de drenaje agrícola (superficial y subterráneo), permite obtener los siguientes beneficios:

- La eliminación de pantanos y cenagales hace que los campos sean trabajados más fácil y económicamente, puesto que dichas superficies originalmente húmedas constituían obstrucciones (Figura 45 y 46), lo que dificultaba trasladar los productos cosechados a los puntos de venta o almacén.
- Se adelanta un mes la época de siembra y de zafra del cultivo de caña de azúcar (Figura 45 y 46).
-



Figura 45. Isobatas en la parcela testigo
Fecha: 26 de noviembre, 0 mm

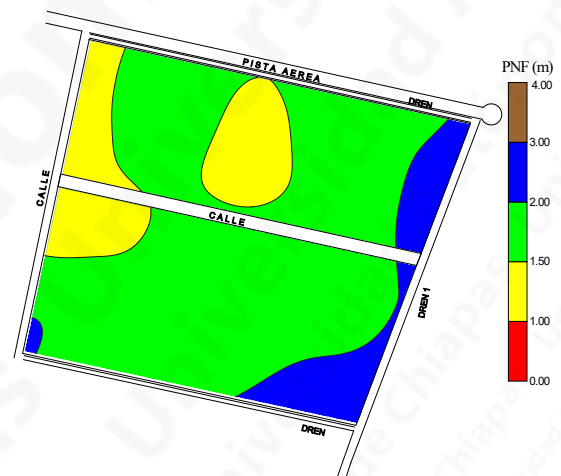


Figura 46. Isobatas en la parcela demostrativa
Fecha: 26 de noviembre, 0 mm

- Reducción de pérdidas en las cosechas debidas al exceso de agua (Figura 47).
- Sin extender la superficie de las parcelas, un buen drenaje aumenta la producción en áreas de elevada fertilidad potencial (Figura 48).
- Mejoramiento de la calidad de los productos.

- Disminución de malezas y enfermedades de los cultivos.
- Aprovechamiento total de la superficie para los cultivos.
- Facilita las labores culturales en el ciclo de producción de los cultivos durante todo el año.
- Permite la aireación del sistema radicular de las plantas.
- Mejoramiento en el acceso a las parcelas y tránsito en las mismas.
- Costos de mantenimiento menores en comparación con los sistemas superficiales.
- El drenaje agrícola subterráneo permite una gestión adecuada del régimen de humedad en los suelos de las regiones húmedas, lo cual permite modificar las fechas de siembra del cultivo de la caña de azúcar, y aumentar su contenido de azúcar (Cuadro 13).
- Al mantener abiertos los poros del suelo durante todo el año, el drenaje superficial y subsuperficial acrecienta los ritmos de infiltración y permeabilidad del suelo, permitiendo la absorción de una mayor cantidad de agua de lluvia, reduciéndose así la erosión superficial.

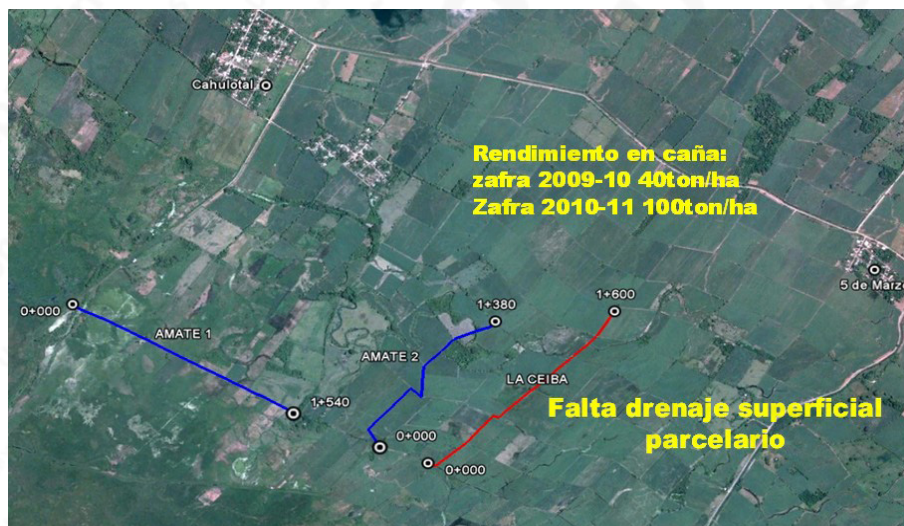


Figura 47. Incremento de la producción en una misma superficie

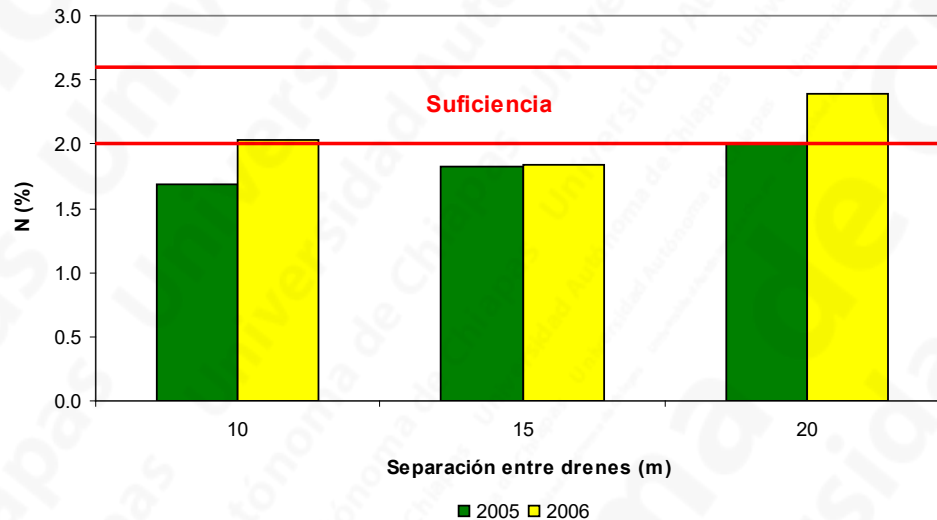


Figura 48. Aprovechamiento eficiente de los fertilizantes en dos ciclos de cosecha

Cuadro 13. Incremento de la sacarosa en función de la separación de drenes

Separación (m)	10, con estructura de control		15, sin estructura de control		20, con estructura de control	
	Humedad (%)	Sacarosa (%)	Humedad (%)	Sacarosa (%)	Humedad (%)	Sacarosa (%)
01/11/2006	79.0	11.3	78.9	12.2	81.3	10.9
15/11/2006	78.8	11.3	78.4	11.9	80.2	10.0
30/11/2006	79.8	11.9	78.6	12.5	79.4	10.8
15/12/2006	79.0	11.5	73.9	12.8	79.3	10.7
30/12/2006	76.2	12.6	75.5	12.7	79.2	11.5
15/01/2007	78.1	12.7	79.1	12.0	77.5	12.7
08/03/2007	72.4	13.6	75.0	11.7	71.6	13.0
Rendimiento (ton/ha)	103.90		91.64		120.72	

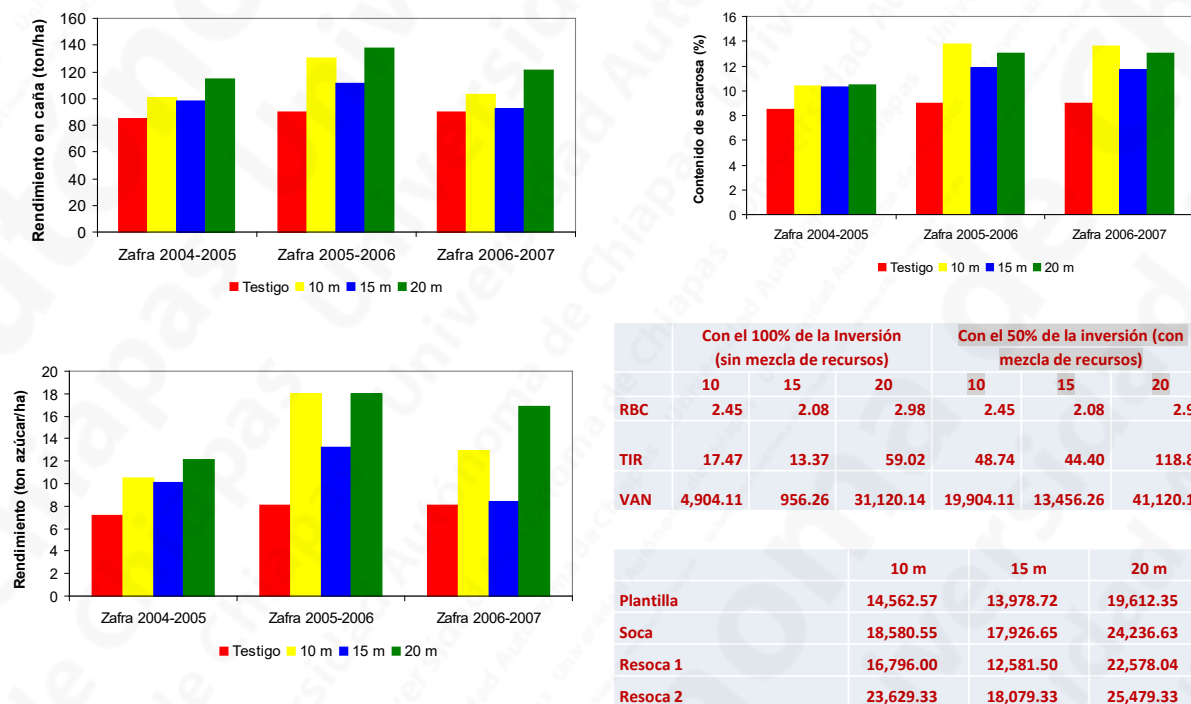


Figura 49. Incremento de la producción en caña y sacarosa en tres ciclos de zafra

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología adaptada y mejorada por Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, sobre el manejo del régimen de humedad en el suelo con drenaje agrícola controlado en áreas tropicales de México, permite un buen desarrollo en cultivo de pasto. Con el drenaje subterráneo parcelario en cultivo de caña de azúcar, se eficiente el aprovechamiento del fertilizante en un 5%, con el manejo del manto freático se incrementa la producción en caña en un 50 a 70%, la sacarosa de tres a cinco puntos porcentuales. Se adelanta un mes la época de siembra y un mes la época de cosecha en caña de azúcar y se logra mediante la estructura de control, abatir los picos en cuanto a la acumulación de agua al controlar mediante la compuerta, la velocidad con la que es desalojada el agua.

	Con el 100% de la Inversión (sin mezcla de recursos)			Con el 50% de la inversión (con mezcla de recursos)		
	10	15	20	10	15	20
RBC	2.45	2.08	2.98	2.45	2.08	2.98
TIR	17.47	13.37	59.02	48.74	44.40	118.81
VAN	4,904.11	956.26	31,120.14	19,904.11	13,456.26	41,120.14

	10 m	15 m	20 m
Plantilla	14,562.57	13,978.72	19,612.35
Soca	18,580.55	17,926.65	24,236.63
Resoca 1	16,796.00	12,581.50	22,578.04
Resoca 2	23,629.33	18,079.33	25,479.33

LITERATURA CITADA

- Cruz, V. R. (1995). *Drenajes*. En: CENICAÑA (Ed). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Adaptado a las condiciones de la República Mexicana. Serie de libros núm. 6. Quinta edición corregida y aumentada el 2004.
- Gómez J.F., Aparicio J., Patiño C. (2010). *Manual de análisis de frecuencias en hidrología*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Gumbel, E. J. (1954). *The statistical theory of droughts*. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. (80): 439-1- 439-19.
- Levi E. (1996). *Tratado elemental de hidráulica*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Namuche V., Saucedo R. y Lázaro Ch. (2003). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema de drenaje parcelario subterráneo controlado en la costa de Chiapas*. Informe de proyecto. Jiutepec, Morelos: CNA-IMTA.
- Namuche V., Saucedo R. y Lázaro Ch. (2004). *Establecimiento de un módulo demostrativo con un sistema de drenaje subterráneo controlado en el Distrito de Temporal Tecnificado 001 La sierra en el estado de Tabasco y evaluación agrohidráulica de un sistema de drenaje instalado en la costa de Chiapas*. Informe de proyecto. Jiutepec, Morelos: CNA-IMTA.
- Namuche V., Saucedo R. y Lázaro Ch. (2005). *Establecimiento de un módulo demostrativo con sistema de drenaje parcelario subterráneo controlado en el Distrito de Temporal Tecnificado 035 Los Naranjos, Veracruz*. Informe de proyecto. Jiutepec, Morelos: CNA-IMTA.
- Palacios V., O., Y. Nikolskii G. y J. Melo A. (1993). *Construcción de un módulo de drenaje subterráneo controlado en 60 ha del campo experimental "El Trapecio"*. Memoria Técnica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México: CEICADES-CP
- Ritzema, H. P. (1994). *Drainage principles and applications*. ILRI Publication 16. Wageningen, The Netherlands: International Livestock Research Institute.
- Soil Conservation Service. (1972). *Drainage of agricultural lands*. Washington, D.C.: Water Information Center.

CAPÍTULO 2 LOS SUELOS EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

POTENCIAL DE LAS FABÁCEAS PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE ARVENSES Y RESILIENCIA DE SUELOS EN SISTEMAS PALMA DE ACEITE

Francisco Javier Marroquín Agreda, Luis Alberto Sumuano Barragán,
Juan Alberto Rodríguez Morales, Juan Manuel Garza Hernández
y José Noé Lerma Molina

RESUMEN

En el estado de Chiapas, el sistema de producción Palma de Aceite se encuentra establecido en una superficie de 43,205 hectáreas con un aporte social de más de 5,000 empleos; ofreciendo así este cultivo un potencial para el desarrollo socioeconómico de la entidad federativa. El paquete tecnológico para esta oleaginosa se fundamenta en las actividades de cosecha, fertilización y control de arvenses, trabajos que generan los mayores costos de producción y efectos ecológicos adversos; el control anual de este tipo de plantas integra 3 controles con

machete y 4 aplicaciones de herbicidas (Paraquat y Glifosato); decisiones generalizadas en los palmeros, quienes mantienen un suelo limpio y sin problemas, pero colateralmente y sin entendimiento del productor, esta tecnología provoca una mayor evaporación, erosión superficial del suelo y aniquilación de la materia orgánica del suelo y como producto final la resistencia de las arvenses a los herbicidas, lo que se traduce en altos costos y baja productividad del sistema. El reconocimiento de las fabáceas como fijadoras de nitrógeno y mejoradoras del suelo es ampliamente documentado; sin embargo, el potencial de esas especies para el control biológico de las arvenses, conservación de suelos y disminución de los costos de control de la flora acompañante en palma de aceite es poco estudiado. Analizar la eficiencia de fabáceas para el control de arvenses, mejorador del suelo y costo beneficio de la asociación en los sistemas Palma de Aceite, son los objetivos de este trabajo. Las fabáceas *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth (Kudzu tropical) y *Mucuna pruriens* (L.) DC var. *Utilis* (Wight) Burck se establecieron en dos áreas representativas de palma de aceite del Soconusco, Chiapas: 1) Escuintla – 2014, y 2) Acapetahua - 2015. Los resultados demuestran que *P. phaseoloides* durante el primer año controla un 70% de las arvenses y para el segundo año el 98%; incorpora aproximadamente 162 kg de N ha⁻¹ y fija 2,487 kg de C ha⁻¹, resultados muy similares se obtuvieron con *M. pruriens*; así mismo, la aplicación de herbicida para el primer ciclo se reduce y para el segundo año se erradica completamente esta actividad del sistema de producción. Finalmente, el potencial de las fabáceas se expresa en una disminución del 58.7% de los costos para el control de arvenses. Todo ello demuestra que las fabáceas ofrecen un eficiente y económico control biológico de arvenses, mejorando con ello la resiliencia de los suelos en el sistema de producción palma de aceite estudiado.

INTRODUCCIÓN

La palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. es una oleaginosa originaria de las regiones tropicales de África; actualmente esta especie se encuentra en varios países de Asia y América. Por su alto potencial de rendimiento de los híbridos (Deli x Nigeria hasta 36.4 t ha⁻¹ y Deli x Ghana 34 t ha⁻¹) (ASD Costa Rica, 2016) y el precio de TMFF (\$1,584.00 Mx por tonelada), este cultivo es una opción viable para el desarrollo socioeconómico de zonas tropicales de México; sin embargo, la producción en Chiapas (14.05 t ha⁻¹) aún se encuentra muy por debajo de la media de otros países como; Colombia con 16.56 t ha⁻¹, Costa Rica 20.14 t ha⁻¹ y Guatemala 28 t ha⁻¹ (SIAP, 2014, FEDEPALMA, 2012, ASD Costa Rica, 2016)

En el estado de Chiapas, las áreas productoras de palma de aceite se concentran en las regiones del Soconusco, Istmo-Costa, Palenque y Marqués de Comillas; zonas que están representadas por organizaciones de productores y cuentan con un padrón de más 5,403 integrantes; cultivando 43,205 ha; de las cuales actualmente el Soconusco alberga 26,595 ha, con una producción total de 381 mil TMRFF y una derrama económica de más de 618.1 millones de pesos, siendo esta región la que representa el 60% de la superficie en producción en el estado (SIAP, 2014).

Las plantaciones de *Elaeis guineensis* Jacq. están expuestas, en general, a varios problemas cuando la cobertura del suelo corresponde a un complejo de arvenses dominantes de la Familia Poaceae y las condiciones ambientales son caracterizadas por una sequía prolongada y una intensidad alta de lluvia en la época de precipitación. Condiciones que obligan a los productores al abuso en aplicación de herbicidas (Glifosato y Paraquat) y laboreo del suelo, para mantenerlos libres de este tipo de plantas; provocando el incremento de la evaporación y pérdida de la capa arable del suelo, erosión física-química del suelo y graves efectos en la flora

y fauna. Actualmente estas repercusiones se reflejan drásticamente en la caída de la producción en épocas de enero – marzo y durante agosto – septiembre.

El uso de fabáceas para el control de arvenses, al tiempo que contribuyen en el aporte de materia orgánica y en la fijación de N; este es el caso del frijol terciopelo con una producción de biomasa fresca de 5.5 a 21 t ha⁻¹ y de N hasta 331 kg ha⁻¹ (Bryan Bruner, 2011); sin embargo, el potencial de las fabáceas para control biológico de las arvenses y su rentabilidad económica, así como en la conservación del suelo y agua es poco documentado en sistemas de producción de palma de aceite. Con base a la problemática ecológica y económica de la palma de aceite; el presente trabajo centra sus objetivos en el análisis de la dinámica de arvenses por la asociación de fabáceas y la relación costo-beneficio, para el control agroecológico de la flora acompañante; así como el potencial de las asociaciones para la fijación de Nitrógeno y Carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se inició en el mes de junio del 2014 en las primeras etapas de lluvias y se concluyó en diciembre de 2015, en dos plantaciones representativas de palma de aceite en la región Soconusco, Chiapas: 1). Sistema palma con cuatro años de edad, ubicada en el ejido El arenal, municipio de Acapetahua, Chiapas; 2). Parcela con palma de aceite de un año de establecida, ubicada en el ejido el Carmen municipio de Escuintla, Chiapas. En cada una de las áreas se seleccionó una superficie de 1 ha, la cual se dividió en 3 bloques de aproximadamente 3,333 m²; en dos de los bloques se sembraron las fabáceas (*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth “Kudzu” y *Mucuna pruriens* (L.) DC var. Utilis (Wight) Burck “Fríjol terciopelo”) y en el tercer bloque se manejaron las arvenses con herbicidas y chapeo con machete. Para este trabajo se utilizó un diseño de bloques completos al azar, conformado de 3 tratamientos y cuatro repeticiones. En cada bloque se seleccionaron 4 puntos fijos de muestreo de 1 m²,

donde se cuantificó y determinó la cobertura y la cenosis de arvenses; asimismo se cuantificó el N_2 total y C orgánico contenido en la biomasa y en el suelo. Los análisis se hicieron durante los meses julio - noviembre del 2015 y enero del 2016 y para el suelo en junio de 2015 al iniciar el experimento y en diciembre del 2015 al finalizarlo. Para conocer la rentabilidad económica de los escenarios con fabáceas y sin asociación, se realizó un flujo de efectivo para todo el sistema durante 6 meses en el sistema palma de aceite, anotando en una hoja de Excel® costos fijos, costos variables y costo de oportunidad por no asociar las fabáceas.

Para el establecimiento de las fabáceas; en el mes de junio se hizo el chapeo con machete y 15 días después se aplicó Glifosato en una dosis de 200 ml $20 L^{-1}$ de agua.

Kudzu

Escuintla: Se estableció el cuatro de agosto del 2014, la siembra se hizo por el método al bole, con aprox. 6 kg de semilla ha^{-1}

Acapetahua: Se estableció el 17 de julio del 2015, la siembra se hizo por el método al Boleo, con aprox. 6 kg de semilla ha^{-1}

Frijol terciopelo

Escuintla: Se estableció el 11 de agosto del 2014, la siembra se hizo por medio del método de la macana, con distanciamiento de 1 x 1 m, depositando 3 semillas en cada agujero.

Acapetahua: Se estableció el 17 de julio del 2015, la siembra se hizo por medio del método de macana, con una distancia entre plantas de 1 x 1 m, depositando 3 semillas en cada agujero.

Sin Fabáceas (Testigo)

En el área para el testigo no se sembró fabáceas, manejando las arvenses con aplicación de herbicidas y control con machete; se hicieron 04 aplicaciones de herbicidas y 03 controles con machete.

Este sistema consiste en el control tradicional de arvenses. Para ello en el mes de julio se hizo el chapeo con machete y 15 días después se aplicó Glifosato en una dosis de 200 ml / 20 l de agua. Posteriormente cada 25 a 30 días se hicieron los controles mecánicos y /o químicos (Paraquat + diuron) de arvenses.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, demuestran que las variantes con fabáceas superaron al testigo en número de especies de arvenses en el periodo pos-establecimiento (30 días después de siembra "dds"); observándose en la asociación de Palma de aceite y *Mucuna pruriens* la mayor riqueza (22 especies m^2) y en *Pueraria phaseoloides* 22 sp. m^2 ; y únicamente 14 sp m^2 en el tratamiento sin asociación de leguminosas (Figura 1). Mientras que en el muestreo realizado a los 90 días después de la siembra de las leguminosas; en *P. phaseoloides* la diversidad disminuye a 12 sp m^2), *M. pruriens* a 11 sp. m^2 , y el testigo albergó 11 sp. m^2 (Figura 1).

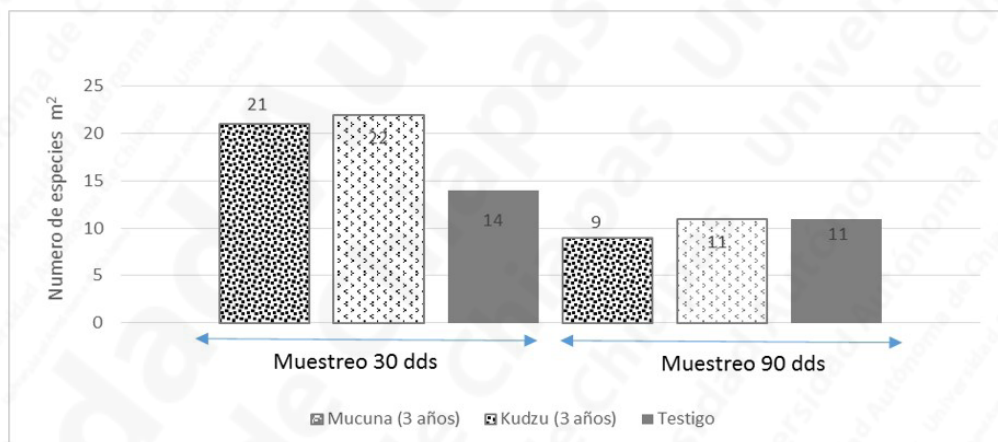


Figura 1. Diversidad de especies de arvenses en una plantación de palma de aceite intercalada con fabáceas

La dinámica de la riqueza de las arvenses en los tratamientos con fabáceas se debe a los cambios del microclima, donde la cobertera produce modificaciones en la humedad, temperatura y la luz recibida en la superficie del suelo, provocando la germinación de nuevas especies y por otro lado un letargo de otras. Caso contrario se presenta en el sistema con manejo tradicional de arvenses, donde la resistencia y evolución de la flora acompañante, hace que un reducido número de especies proliferen bajo el nicho ecológico estable. Es por eso que la especie plumilla (*Leptochloa filiformis*) se presentó únicamente en el testigo, asimismo la Colchocilla (*Oplismenus burmanii*) se presentó en *Mucuna*, mientras que el zacate cabezón (*Paspalum paniculatum*) y Linderna (*Linderna crustacea*) en Kudzu; aunque esas especies ya no se presentaron con mayor frecuencia en los tratamientos para el segundo muestreo a los 90 días después de la siembra. Sin embargo, a los 90 días se obtuvo la proliferación de cola de caballo (*Coniza bonariensis*) en el testigo, carricillo (*Spananthe paniculata*) en *Mucuna*, *Hyptis brevipes* y chiquizacillo (*Mitracarpus villosus*) en Kudzu. La diversidad de arvenses responde negativamente a la cobertura vegetal, a medida que se incrementa la cobertera de las fabáceas la diversidad y abundancia de la flora acompañante disminuye.

Según Granados (2013), el porcentaje de cobertura sobre el terreno produce cambios en la riqueza de arvenses y determina un aumento de la diversidad. Por su parte, Sans (2007), refiere que terminadas prácticas agrícolas pueden incrementar la diversidad de especies de arvenses.

El término diversidad hace referencia al conjunto de plantas y animales que viven e interaccionan en un ecosistema, también llamada biodiversidad. Se ha documentado y comprobado científicamente que las coberturas vegetales al utilizar agua y nutrientes minerales para su desarrollo, compiten con las especies palmáceas a las que están asociadas (Ohler, 1986; Ortiz y Fernández, 1992; Villachica, 1996). De acuerdo con Ravelo et al. (1987), al poseer las plantas de cobertura y las arvenses un sistema radicular mucho más superficial que las plantas del cultivo,

hace que éstas se encuentren en una situación ventajosa para absorber el agua y nutrientes que generalmente se sitúan en las capas superficiales del suelo. Esto hace que los productores recurran a una serie de estrategias para eliminarlas o controlarlas; siendo el control químico el método más popular y generalizado en los sistemas palma de aceite.

Las coberturas son especialmente importantes en las regiones tropicales con lluvias fuertes, mejorando con ellas la absorción del agua, la conservación del suelo al reducir el impacto de la gota, la escorrentía, la lixiviación de nutrientes y la erosión del suelo y la supresión de las arvenses (Renard *et al.*, 1991). Asimismo, algunos autores afirman que las coberturas reducen las temperaturas 2°C en los 10 cm superiores del suelo durante días calientes y en 5°C en las tardes (Gundel, 1998).

La producción de biomasa es el indicador práctico de la adaptación y competitividad de las arvenses en los sistemas agropecuarios. La asociación de fabáceas demuestran un eficiente control de este tipo de plantas; se puede observar (Figura 2) que la biomasa seca de arvenses disminuye de 150 a 60 g m⁻² en 120 días después de la siembra de fabáceas; caso contrario se presenta donde no se tiene asociación, donde la biomasa se incrementa de 180 a 520 g m⁻². Esto indica que a los 60 días después de la siembra de fabáceas requieren de un control; así, se debe de controlar con machete y con eso es suficiente para que las fabáceas compitan y controlen las arvenses. Para el sistema tradicional, será a los 60, 90 y 120 días después del establecimiento un control químico de contacto para los arvenses. Los resultados demuestran que después de los 120 días de establecidas las fabáceas, las arvenses son controladas biológicamente por la cobertera de las primeras (Figura 2); posteriormente, se hacen controles únicamente en el área de goteo. El kudzu por ser una especie perenne, ofrece un control eficiente para los siguientes años, hasta que la sombra de las palmas lo permita, ya que esa leguminosa tienen la capacidad de rebrote y no se necesitan sembrar cada ciclo.

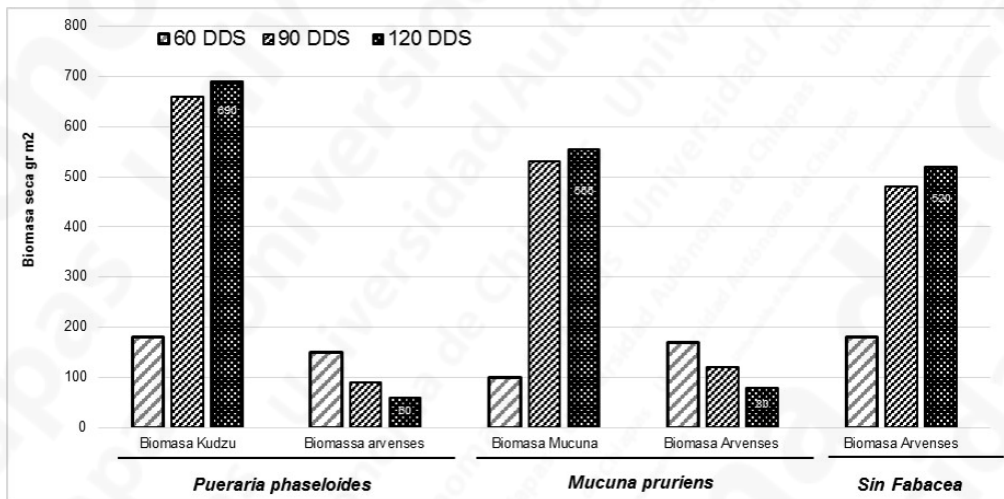


Figura 2. Producción de biomasa seca de la cobertera en sistema palma asociado con fabáceas

La asociación de fabáceas presentan 100% de cobertura a los dos meses con tres semanas (Figura 3); a través del tiempo éstas incrementan la biomasa, al tiempo que se logra la supresión de las arvenses. En los sistemas tradicionales existe una cobertura rápida y producción de biomasa muy similar a las de las fabáceas, pero donde el crecimiento de las arvenses no es horizontal sino todo lo contrario, vertical, lo cual dificulta la realización de las actividades e incrementa la competencia por agua y nutrientes con la palma de aceite. Para contrarrestar la competencia de arvenses con las fabáceas es necesario hacer un control mecánico a los 45 días después de establecida las especies y posterior a ello las fabáceas controlarán las arvenses; para el caso del sistema tradicional, por ser el primer control químico un herbicida sistémico, se requiere un control 60 días después y, posteriormente, cada 30 días uno con herbicida de contacto.

Lo contrario se presenta con los monocultivos, las aplicaciones de fertilizantes químicos y el control de arvenses con herbicidas sistémicos y de contacto, los cuales disminuyen la diversidad de especies de arvenses.

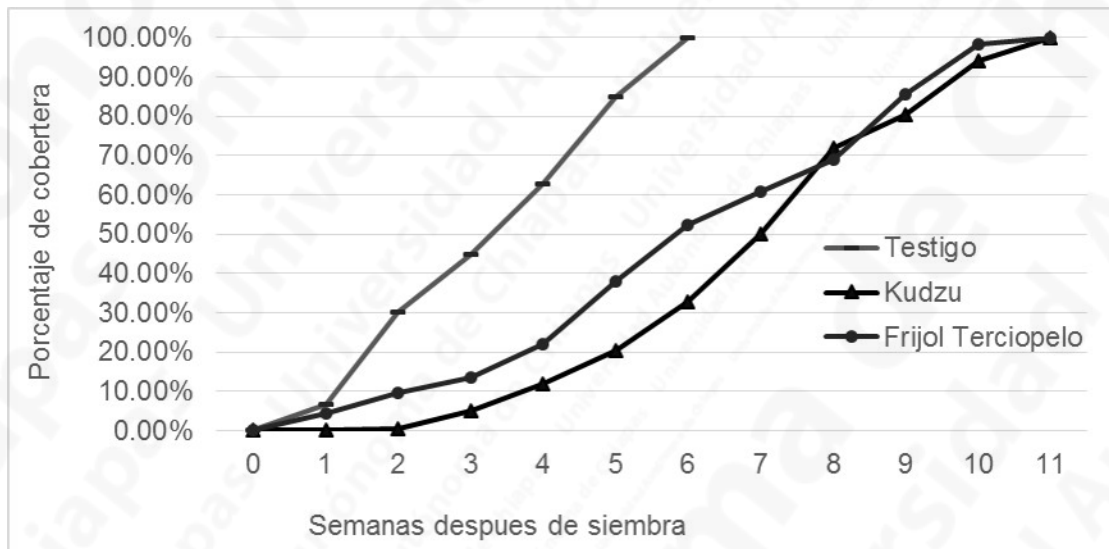


Figura 3. Porcentaje de cobertura de las fabáceas en un sistema palma de aceite

El Carbono contenido en la biomasa en Kudzu fue de 2,489.51 kg de C por hectárea, 6 meses después de la siembra y en Mucuna 1,526.10 kg de C por hectárea; para el caso del testigo no existe fijación por la eliminación química de la biomasa. Cuando las arvenses superan la altura de 40 cm se aplican el control químico (paraquat + diuron), lo cual es de aproximadamente 30 - 45 días, acciones que hacen que la biomasa verde acumulada se pierda.

Asimismo, el Nitrógeno de la biomasa del Kudzu fue de 163.05 kg de N₂ por hectárea y para la especie Mucuna 130.05 kg de N ha⁻¹ (Figura 4). Esto juega un papel importante desde el punto de vista económico y ecológico, donde el N₂ fijado por las fabáceas supera la demanda de las palmas a los 3 años de su establecimiento (39.8 kg N₂ ha⁻¹ año⁻¹), lo que se traduce en una utilidad al eliminar la aplicación de fuentes nitrogenadas.

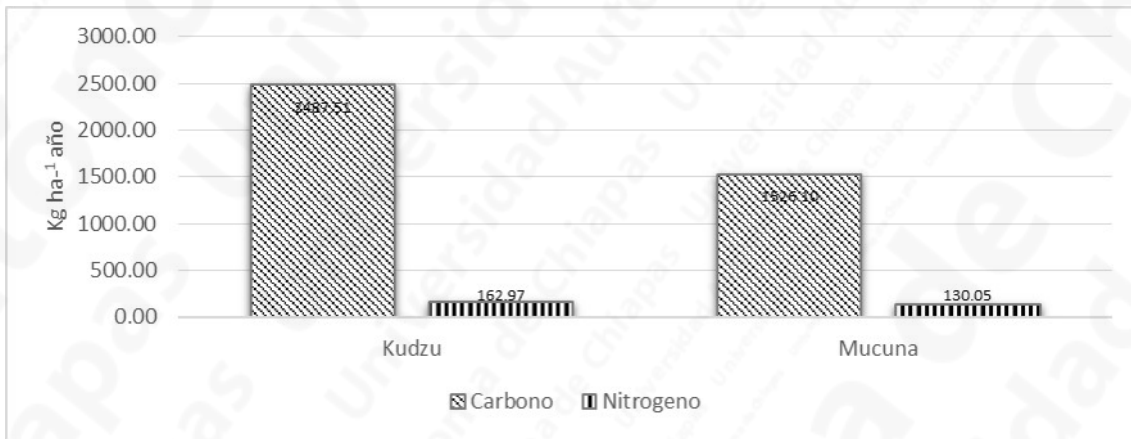


Figura 4. Contenido de Nitrógeno y Carbono en la biomasa de las fabáceas

La diferencia de costos entre el testigo (sin fabácea) y los dos cultivos de cobertera fue positiva a favor de las coberteras vegetales; teniendo así para el primer año de asociación en sistema con Mucuna una reducción del 33.75 % y Kudzu 20.20% de los costos de control de arvenses (Figura 5).

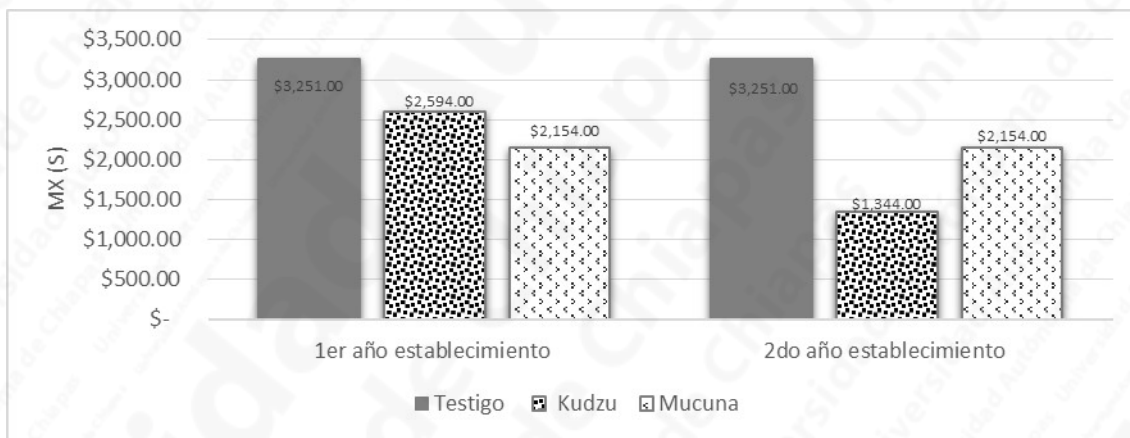


Figura 5. Costo – Beneficio de las coberteras vegetales

Para el segundo año de asociación de leguminosas, el Kudzu por ser una especie perenne, no necesita nuevamente ser sembrada lo que se traduce en una reducción de los costos de control de arvenses de 58.66% comparado con el sistema tradicional.

Cuadro 1. Costos por actividad en tres escenarios de control de arvenses

Actividad	1 ^{er} año			2 ^{do} año		
	Testigo	Mucuna	Kudzu	Testigo	Mucuna	Kudzu
Rastra	\$300	\$300	\$300	\$300	\$300	\$0
Semilla kudzu	\$0	\$0	\$750	\$0	\$0	\$0
Semilla Mucuna	\$0	\$210	\$0	\$0	\$210	\$0
Siembra	\$0	\$300	\$200	\$0	\$300	\$0
Aplicación herbicida	\$800	\$0	\$0	\$800	\$0	\$0
Limpia para ayuda de cobertera	\$0	\$200	\$200	\$0	\$200	\$200
Herbicida	\$1,293	\$0	\$0	\$1,293	\$0	\$0
Cajeteo	\$858	\$1,144	\$1,144	\$858	\$1,144	\$1,144
Total	\$3,251	\$2,154	\$2,594	\$3,251	\$2,154	\$1,344

El costo de oportunidad por no usar cobertera en el sistema Palma de Aceite de menos de 7 años es de \$1,097.00 Mx únicamente en el primer año de haber sembrado la cobertera y para el segundo año \$1,907.00 Mx.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en la evaluación de fabáceas asociadas en una plantación de palma de aceite, como alternativa agroecológica para el control biológico de arvenses, se concluye lo siguiente:

Los resultados de la diversidad de arvenses en sistema palma de aceite, al asociar las fabáceas disminuye la diversidad de 22 a 12 especies de arvenses m^{-2} , superado por el Testigo que disminuyó de 14 a 11 especies de arvenses, asimismo existe una reducción de la abundancia. Después de los 90 días de establecidas las fabáceas, las arvenses son controladas biológica-

mente por la cobertera de las fabáceas; posteriormente se hacen controles únicamente en el área de goteo. Así el kudzu por ser una especie perenne, ofrece un control eficiente para los siguientes años.

El uso de Kudzu y Frijol terciopelo en el sistema Palma de Aceite como coberteras vegetales beneficia de manera positiva en la rentabilidad ecológica por la fijación de C y N; asimismo, ofrecen un control biológico de arvenses, lo que genera la posible erradicación en el uso de herbicidas en los surcos de las plantaciones y como consecuencia de ello se reduce un 58.66% los costos de control mecánico y químico de arvenses, lo que sin duda contribuye a un mejoramiento ecológico de los suelos y resiliencia de los mismos.

LITERATURA CITADA

- Bryan Bruner, J. B. (2011). Mucuna. Hoja informativa 2. Proyecto de agricultura organica.
- FEDEPALMA. (2012)). ISPA (Sistema de Información Estadística de Sector Primario). Evolución histórica anual de los rendimientos de Fruto de Palma de Aceite en Colombia: <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/Home.aspx>
- Granados, H. V. A. (2012). Dinámica de arvenses en un Huerto con Mango (mangifera indica L.) cv Ataulfo Asociado con leguminosas en el Soconusco, Chiapas. Tesis profesional. Huehuetán, Chiapas: Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, Universidad Autónoma de Chiapas.
- Gundel, S. (1998). Participator innovation development and diffusion. Vol 21. Germany: Kommunikation und Beratung Sozialwissenschaftliche Schriften zur Landnutzung und Landlic.
- Ohler, J.G. (1986). *El cocotero: árbol de vida*. Roma: FAO.
- Ortiz, R. A.; O. Fernandez. (1992). Early growth of Young oil palm under different leguminous cover crops. ASD Oil Palm Papers.
- Renard, J.L. and Franqueville, H. (1991). Effectiveness of crop techniques in the intergrated control of oil palm vascular wilt. *Oleagineux* 46(7): 255-265
- Sans, F. X. (2007). La diversidad de los agro ecosistemas. *Revista Ecosistemas*, vol. 16, no. 1, Pp. 111-120.
- SIAP. (2014). Secretaria de Agricultura Ganaderia Desarrollo Rural Pesca y Alimentacion. Retrieved from Servicio de Información Agroalimentaria y Pesqueria: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Villachica, L. H. (1996). Cultivo del pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth) para palmito en la Amazonia. Lima, Perú: TCA.

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

REHABILITACIÓN DE SUELOS CON FABÁCEAS ARBUSTIVAS EN AGROECOSISTEMAS DE MANGO ATAULFO (*MANGIFERA INDICA* L.)

Efraín Barrera Rodríguez, Francisco Javier Marroquín Agreda
y Juan Alberto Rodríguez Morales

RESUMEN

En los trabajos para la rehabilitación de ecosistemas degradados, la vegetación se considera importante por ser productor primario en los ecosistemas y por ser un componente relevante del paisaje, además de la información sobre el medio natural que de ella se infiere. Sin embargo, hasta hace algunos años los precedentes de rehabilitación se habían enfocado a aspectos edáficos y técnicos, sin integrar el sistema de cultivo tradicional del campesinado y las condiciones sociales de éste, así como la interrelación del agroecosistema con el medio en un planteamiento integral de desarrollo sostenible. Como parte del estudio para la rehabilitación de suelos degradados se integran especies vegetales fijadoras de nitrógeno, las cuales son capaces de

reciclar importantes cantidades de materia orgánica y nutrientes a través de la descomposición de la hojarasca. Por ello, se realizó el presente trabajo de investigación que fue establecido en un área productora de mango ataulfo, del municipio de Tapachula, Chiapas, a $14^{\circ} 55' 41''$ latitud Norte, $92^{\circ} 22' 18''$ longitud Oeste y una altitud de 41 msnm. Se aplicó un arreglo factorial, con diseño de parcelas divididas, para evaluar el efecto de la integración de especies de fabáceas arbustivas correspondientes al ciclo agosto de 2013 abril 2014, sobre el comportamiento de la humedad y la temperatura del suelo. La integración de fabáceas arbustivas en la huerta de mango mejoró la conservación de la humedad del suelo hasta un mes posterior comparado al testigo, condiciones que se le atribuyen a la práctica agroecológica ejecutada.

INTRODUCCIÓN

La **rehabilitación** se concibe como volver a “hacer útil o habitable” un ecosistema o espacio degradado, por lo tanto, es devolverlo a un estado y grado de productividad que permita una situación de estabilidad compatible con el uso previsto en el plan de recuperación, el cual debe incluir que la productividad y los valores estéticos-paisajísticos del entorno puedan estar en concordancia. Así mismo, la *recuperación* implica que el ecosistema degradado vuelva a ser habitable por especies anteriormente presentes, antes de la perturbación, y con una biodiversidad semejante, al menos al final del proceso. A diferencia de lo anterior podemos decir que la **restauración** es un proceso que consiste en la reduplicación exacta de las condiciones que existían antes de una perturbación (Hernández y Pastor, 2005).

En los escenarios para la restauración, recuperación y/o rehabilitación de ecosistemas degradados; la vegetación se considera importante no solo por su papel de productor primario en los ecosistemas, sino por ser un componente relevante del paisaje, además de la información sobre el medio natural que de ella se infiere (Hernández y Pastor, 2005).

La rehabilitación de áreas degradadas, siendo un conjunto de técnicas para la recuperación de funciones y la capacidad reproductiva del sistema, puede aplicarse bajo principios agroecológicos. Hasta hace algunos años los precedentes de rehabilitación se habían enfocado a aspectos edáficos y técnicos, sin integrar el sistema de cultivo tradicional del campesinado y las condiciones sociales de éste, así como la interrelación del agrosistema con el medio en un planteamiento integral de desarrollo sostenible (Werner *et al.*, 2006).

La agroecología y sus principios básicos incluyen: el reciclaje de nutrientes y energía, la sustitución de insumos externos; el mejoramiento de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo; la diversificación de las especies de plantas y los recursos genéticos de los agroecosistemas en tiempo y espacio; la optimización de las interacciones y la productividad del sistema agrícola en su totalidad, en lugar de los rendimientos aislados de las distintas especies (Gliessman, 1998).

Asimismo, el estudio para la revegetación de suelos degradados mediante la integración de especies vegetales fijadoras de nitrógeno, es de vital importancia debido a que son capaces de reciclar la materia orgánica y nutrientes a través de la descomposición de la hojarasca, además de que pueden constituir una buena alternativa para la rehabilitación de suelos en otras formas de manejo de tierras degradadas (Ferrari y Wall, 2004).

Desde un punto de vista agroecológico, en las prácticas de conservación de suelos se promueve el cultivo intercalado de leguminosas como abono verde, ya que representa una fuente barata de fertilizante orgánico. Se emplean leguminosas nativas o introducidas en rotación de cultivos o asociado para fijar nitrógeno, disminuir al mínimo las necesidades de fertilizante y aumentar la producción; además, mejoran las características físicas y químicas del suelo, permitiendo acabar con el ciclo de infestación por insectos (Altieri *et al.*, 1998).

La ubicación geográfica del estado de Chiapas permite que exista una gran diversidad biológica, dentro de las que destacan las leguminosas por las alternativas que ofrecen para la rehabilitación agroecológica de los sistemas de producción; este potencial se puede aprovechar en los huertos frutícolas; como ejemplo de estas especies sub-explotadas tenemos: *Cajanus cajan*, *Crotalaria longirostrata* y *C. spectabilis*. En este trabajo, se establece la asociación de estas especies con los agroecosistemas de producción mango Ataulfo y se evaluó su efecto sobre la macrofauna del suelo en el tercer año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización Geográfica del Área de Estudio

El área donde se llevó a cabo el trabajo de investigación se encuentra en el Ejido Álvaro Obregón, municipio de Tapachula, Chiapas, México; localizado a $14^{\circ} 55' 41''$ latitud norte, $92^{\circ} 22' 18''$ longitud oeste y una altitud de 41 msnm (Figura 1). Es parte de un trabajo integral, que se inició en el mes de octubre del 2011 y finalizó en abril 2014, con una continua asociación de fabáceas durante 3 años y manejo agronómico con bajos insumos; cabe señalar que se inició con la siembra de fabáceas en el mes de agosto de 2013 y concluyó al final de la temporada de estiaje en el mes de abril del 2014.

El clima en el área de estudio es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw2), con temperatura media mensual de 28°C , máxima de 37°C y mínima de 18°C . La precipitación se distribuye de mayo a octubre, con una lámina pluvial anual total de 3800 mm. Las características geomorfológicas del área de estudio corresponden a un tipo de suelo Fluvisol eutrítico, con una textura de migajón a migajón arcilloso y un contenido de materia orgánica de 3.33% en los primeros 10 cm y 2.17% en los estratos inferiores, un pH de 6.29, sin problemas de sales solubles y una profundidad mayor a dos metros (Granados, 2013). Al inicio del estudio la flora

silvestre asociada al mango, estaba compuesta por *Rottboellia cochinchinensis* y zacate Jhonson (*Sorghum halepense*) así como, zacate estrella (*Cynodon plectostachium*), escobillo (*Sida acuta* Burm.). Posteriormente a la asociación con fabáceas durante dos años presentó cambios en la estructura de las arvenses, con la aparición de especies como la flor amarilla (*Melampodium* sp.), coquillo (*Cyperus rotundus* L.), apestosa (*Cleome viscosa*), las cuales se consideran especies nobles en los sistemas frutícolas.

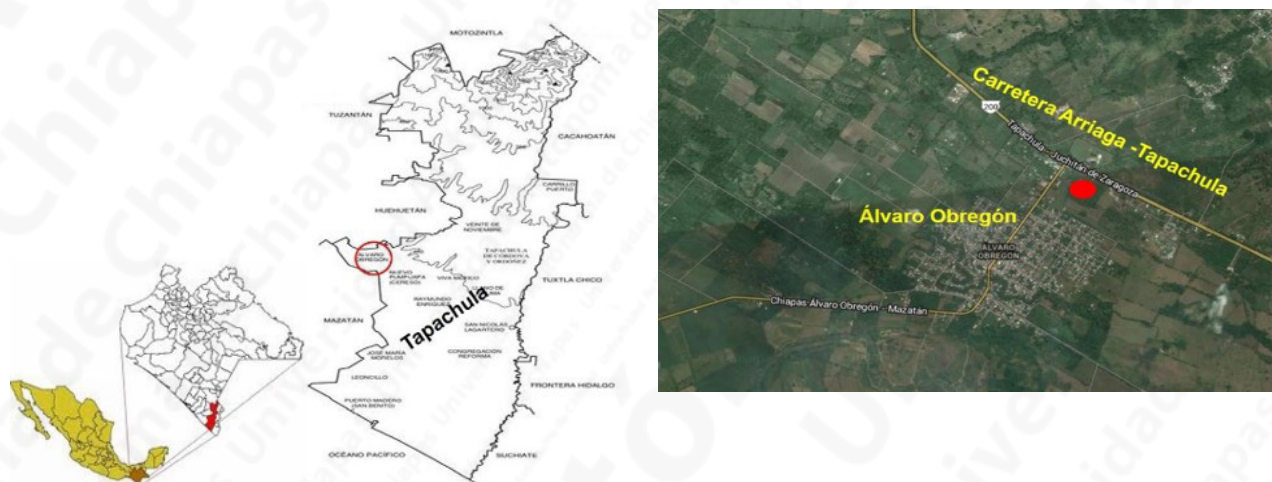


Figura 1. Localización geográfica del área experimental

Tratamientos y Diseño Experimental

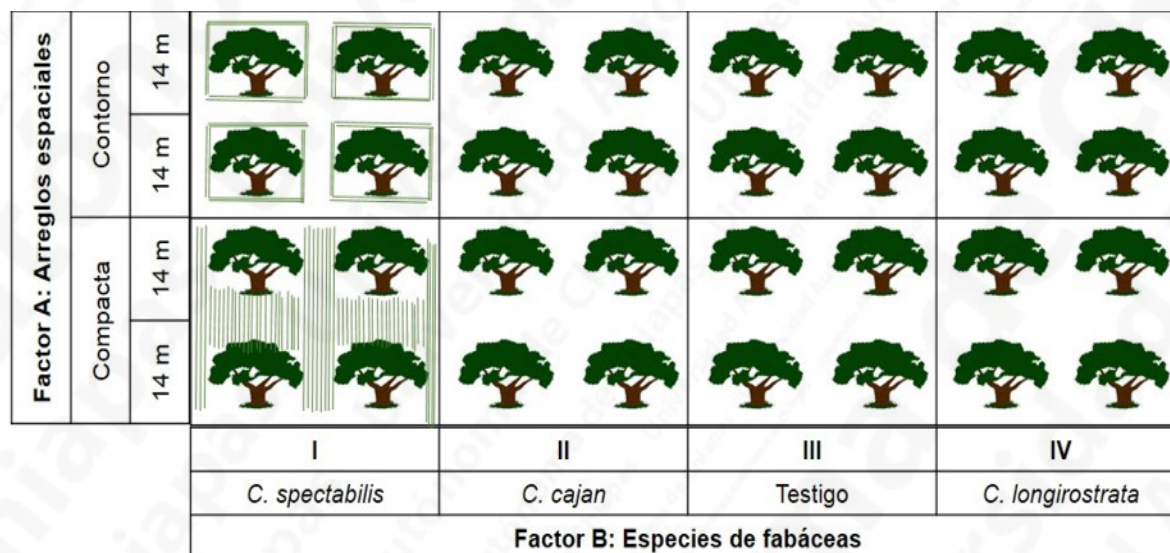
Los tratamientos que se evaluaron en este trabajo de investigación, se agruparon en dos factores: 1) Tres especies de fabáceas arbustivas y 2) Dos arreglos espaciales de las especies de fabáceas; siembra en contorno al límite del área de goteo (Tutor) y siembra compacta entre surcos y árboles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos y sus características evaluadas durante el experimento

Factores	Nivel
Fabáceas	
F1	<i>Crotalaria spectabilis</i> (Chipilín forrajero)
F2	<i>Cajanus cajan</i> (frijol de árbol)
F3	<i>Crotalaria longirostrata</i> (Chipilín)
F4	Testigo
S	
Arreglos espaciales	
S1	Siembra en contorno al límite del área de goteo (2 m ancho)
S2	Siembra compacta entre surcos y entre líneas
COMBINACIONES EVALUADAS	
F1 S1	<i>C. spectabilis</i> en siembra en contorno
F2 S1	<i>C. cajan</i> en siembra en contorno
F3 S1	<i>C. longirostrata</i> en siembra en contorno
F1 S2	<i>C. spectabilis</i> en siembra compacta entre árboles y líneas
F2 S2	<i>C. cajan</i> en siembra compacta entre árboles y líneas
F3 S2	<i>C. longirostrata</i> en siembra compacta entre árboles y líneas
F4	Testigo (sin asociación)

El arreglo de los tratamientos en el área experimental fue bajo un diseño factorial, con arreglo en parcelas divididas. El área experimental se dividió en dos parcelas grandes, cada parcela grande se subdividió en cuatro parcelas chicas, en los cuales se distribuyeron los niveles del factor especies de fabáceas (Figura 2).

Cada tratamiento o nivel de los factores evaluados estuvo compuesto por cuatro repeticiones, se conformaron 32 unidades experimentales, es importante señalar que un árbol representa una unidad experimental. En el establecimiento de las fabáceas para *Crotalaria spp* fue un marco de siembra de 40 cm entre surcos sin espacio entre plantas (chorito) y para *Cajanus cajan* 60 entre surcos por 40 cm entre plantas.



Distancia *Mangifera caesia* Jack ex wall

Siembra; junio 2007



Distancia de siembra *C. spectabilis*

Siembra; julio 2013



Distancia de siembra *C. cajan*

Siembra; agosto 2013

Testigo (sin asociación)



Distancia de siembra *C. longirostrata*

Siembra; julio 2013

Diseño factorial en parcelas divididas

Figura 2. Distribución y descripción de los tratamientos en el área experimental

VARIABLES MEDIDAS

Humedad y Temperatura del Suelo

Con una Sonda Diviner® se realizó el registro diario de la humedad del suelo en centibares (Cuadro 2) en un punto del área de goteo de los árboles de mango, esto se realizó a 15, 20 y 30 cm de profundidad, durante el periodo de floración y fructificación del huerto en el periodo diciembre 2013 a marzo de 2014.

Cuadro 2. Interpretación de las lecturas de humedad del suelo (en centibares, cb)

Rango (cb)	Interpretación
0 a 10	Suelo está saturado de humedad.
10 a 20	El agua contenida como humedad en el suelo está disponible a la planta con un esfuerzo mínimo. Se procura mantener las lecturas dentro de esta gama.
30 a 60	Está asegurada una buena oxigenación de las raíces. En zonas cálidas y cuando se trate de regar tierras muy arenosas, es recomendable iniciar los riegos con lecturas de 40 a 45 cb. En las zonas frescas o en las tierras con un gran poder de retención, se iniciarán con lecturas de 45 a 60 cb
70 o superiores	La planta padece estrés y se acerca al punto de marchitamiento, ya que le resulta muy difícil extraer la humedad.

Manejo del Experimento

El manejo agronómico de los sistemas asociados con mango se basó en la implementación de técnicas de conservación de suelos. Por tal razón el paquete tecnológico incluye prácticas convencionales que realizan los productores (Cuadro 3).

Cuadro 3. Manejo del estudio

Cultivo	Manejo de las especies asociadas
<i>Crotalaria longirostrata</i> (Chipilín comestible)	1. Siembra de fabáceas: julio-agosto
	2. Densidad de <i>C. longirostrata</i> 40 cm entre surcos, Se depositó las semillas en el surco sin espacios entre plantas
<i>Crotalaria spectabilis</i> (Chipilín forrajero)	3. Distancia de siembra de <i>Cajanus cajan</i> : 50 cm entre surcos, se depositó las semillas en el surco sin espacio entre plantas
<i>Cajanus cajan</i> (Frijol de árbol)	4. Preparación de terreno: Rayado del suelo para la siembra y aplicación de "Pos-Emergente Gramocil" Aplicación 5 DAS Paraquat (20%) + Diuron (10%), Dosis de aplicación 18%, aproximado. 2 L/ha (180 ml/20 L H ₂ O.
	5. Control de arvenses: mecánico con machete a 30, 60, DDS

Cultivo	Manejo de las especies asociadas
Sin leguminosas (Mango monocultivo)	Control de arvenses: 2 controles manuales, una aplicación de Gramocil 1 L/200 L H ₂ O, 3 aplicaciones con Paraquat (20%) + Diuron (10%), Dosis de aplicación 18%, aproximado. 2 L/ha (180 ml/20 L H ₂ O).
Notas: DAS=Días Antes de la Siembra. DDS: Días Después de la Siembra	

RESULTADOS

Humedad y Temperatura del Suelo

En la variable humedad de suelo se indica la condición de ésta, expresada en centibares (cb) y las lecturas de baja tensión indican condiciones húmedas con agua disponible y de fácil extracción para las plantas. A medida que el suelo se seca el agua está retenida con más fuerza; es por esto que las tensiones suben debido a que es más crítica la disponibilidad de agua. En el periodo de floración y fructificación del cultivo a una profundidad de 15 cm, la humedad del suelo se comportó de formas diferentes, registrando para el testigo un valor 100 cb indicando que por arriba de los 70 cb se padece estrés y se acerca al punto de marchitamiento (Figura 3); asimismo, muestra una pérdida mucho más rápida de humedad al final de la segunda quincena y en mayor cantidad durante fructificación.

Sin embargo, para *C. spectabilis* fue mucho más lenta la pérdida de humedad, mostrando de 60 a 80 cb hasta la primera quincena de marzo, esto indica una buena oxigenación de las raíces y una resistencia de humedad que indica que se debe iniciar un riego en el periodo de fructificación. Las condiciones de humedad en el tratamiento con *C. spectabilis* se atribuyen al efecto de los tres ciclos de incorporación de las fabáceas al finalizar la cosecha, coincidiendo con Haynes (1983) quien afirma que la cobertura no solo protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, sino que previene la pérdida de agua por evaporación.

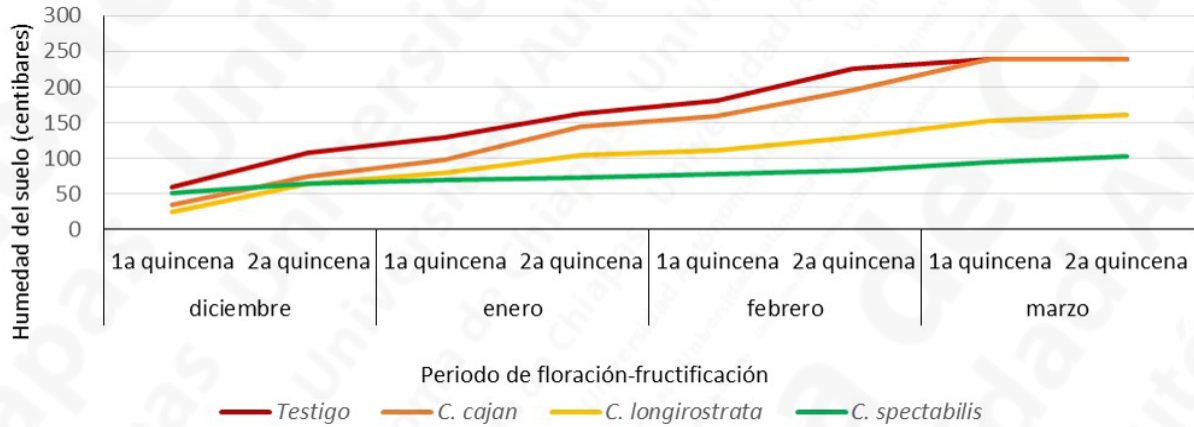


Figura 3. Pérdida de humedad del suelo a 15 cm de profundidad en diferentes tratamientos, durante el periodo de floración- fructificación (diciembre-marzo)

Asimismo, durante en el periodo de floración-fructificación, el comportamiento de la humedad a una profundidad 20 cm reflejó que en donde no se instalaron fabáceas se pierde con mayor rapidez la humedad del suelo (Figura 4), ya que a partir de la primera quincena de enero, se registra un tensión por arriba de 100 cb indicando estrés y acercando al punto de marchitamiento; sin embargo, en los tratamientos donde se instalaron las fabáceas arbustivas, el tratamiento *C. cajan* conservó mayor humedad hasta la primera quincena de marzo. No obstante, *C. spectabilis* presenta condiciones de mejor retención de humedad, ya que durante el periodo de fructificación alcanzó alrededor de 80 cb, lo cual indica buena oxigenación de raíces a esta profundidad, sin embargo, aconseja el inicio de riego, cabe recalcar que es importante la humedad en las primeras tres semanas en la retención de frutos (Galán 1999).

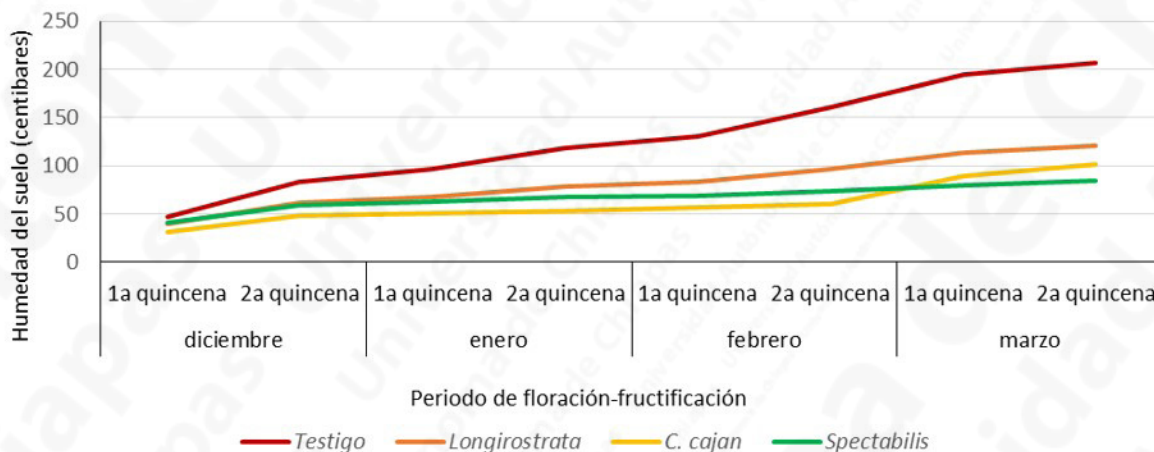


Figura 4. Influencia de la cobertura en la humedad del suelo a 20 cm de profundidad, durante el periodo de floración-fructificación

Durante la segunda quincena de enero, en la profundidad de 30 cm del suelo en el testigo se registró un valor superior de 100 cb; comparando este resultado con los que obtuvieron en donde se instalaron las fabáceas arbustivas, se tiene que hay mayor retención de humedad (Figura 5), siendo la especie de *C. spectabilis* la que presenta las mejores condiciones de humedad, atribuyendo este efecto a la mayor cantidad de materia orgánica acumulada en los ciclos con la integración de fabáceas.

La pérdida de humedad para el tratamiento con *C. spectabilis* es más lenta, ya que mantiene 40 cb, indicando un esfuerzo mínimo para la extracción de agua. La humedad se mantiene hasta la segunda quincena de marzo (Figura 5), esto indica mayor disponibilidad de agua para mejorar las condiciones del proceso de floración y retención de frutos durante la etapa del desarrollo de los mismos. Aunque se menciona que el mango es resistente a condiciones de sequía y que además puede ser beneficiosa en algunos momentos de su ciclo fenológico.

No obstante, en el momento del cuajado y crecimiento del fruto, la sequía es muy perjudicial afectando la retención, así como el tamaño de los frutos (Galán 1999).

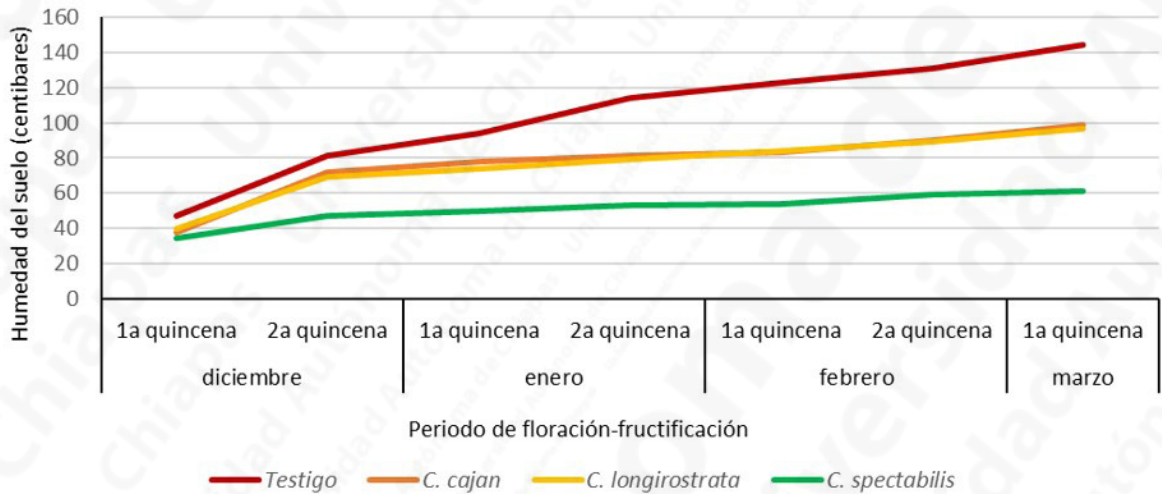


Figura 5. Efecto de la cobertura de la fabácea en la humedad del suelo a 30 cm de profundidad, durante el periodo de floración-fructificación del mango

Respecto a la temperatura del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, durante los meses de diciembre hasta marzo, el tratamiento testigo presentó la temperatura más alta con un rango de 21 a 24°C, le sigue el tratamiento *C. longirostrata* y *C. cajan* que se comportaron de forma similar con un rango de 20 a 22°C, a diferencia para el tratamiento de *C. spectabilis* que presentó las temperaturas más bajas de las especies utilizadas para esta investigación y los valores que presenta van de 19 a 21°C, es importante resaltar que existe una diferencia de 2°C al compararse con el testigo (Figura 6), esto indica que se regula la temperatura y sugiere mejores condiciones para la biota del suelo expresando mayor diversidad y mayor número de macroartrópodos.

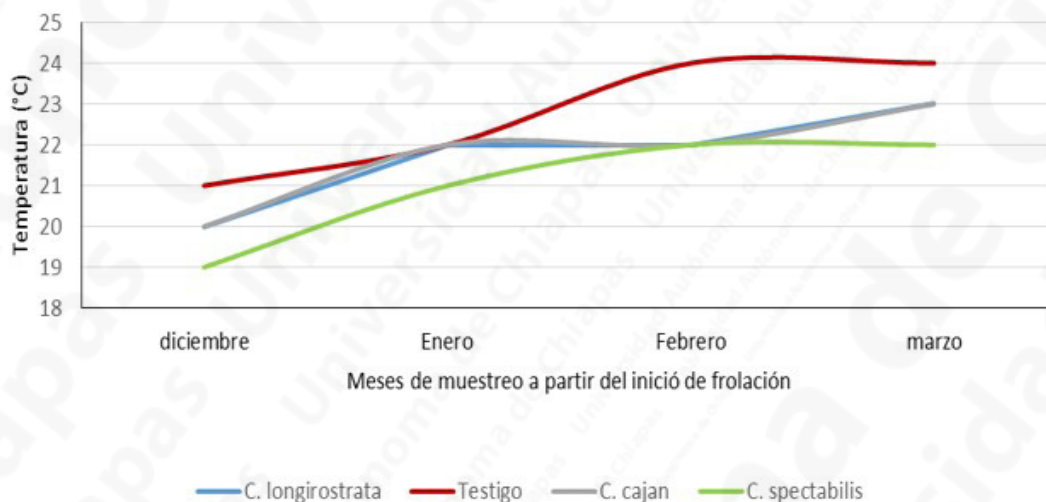


Figura 6. Temperatura del suelo para los diferentes tratamientos a partir del inicio de la floración

CONCLUSIONES

Al integrar las especies de fabáceas en el huerto de mango ataulfo, la humedad del suelo disponible para la planta se ve favorecida ya que puede prolongarse más tiempo que en el testigo, por lo menos en una de las especies utilizadas, reduciendo así el estrés hídrico en los primeros 30 centímetros del suelo. Con lo que respecta a la temperatura del suelo se puede concluir que existe un efecto en la regulación de la temperatura, lo cual puede sugiere mejores condiciones para activar la vida de micro y macro-organismos del suelo. Adicionalmente, se sugiere que los cultivos mixtos con la integración de leguminosas u otras especies de plantas anuales bajo huertas de frutales pueden contribuir en el control biológico de plagas.

LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A. y Nicholls C. I. (2004). *Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el Trópico*. Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 73 p.8-20, Pdf
- Altieri, M. A. y Rosset P. Thrupp L. A. (1998). *El Potencial de la Agroecología para Combatir el Hambre en el Mundo en Desarrollo*. Disponible en <http://www.ifpri.org/spanish/2020/briefs/br55sp.htm>
- Ferrari, A. E. Y Wall L. G. (2004). *Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados*. Revista de la Facultad de Agronomía, 105 (2).
- Galán S. V. (2009). *El cultivo de mango*. Madrid: Ediciones Mundi-prensa.
- Gliessman, S. R. (1998). *Agroecology: ecological process in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press.
- Granados, H. V. (2013). *Diversidad de arvenses*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Chiapas, México.
- Haynes, R.J. (1983). *Soil acidification induced by leguminous crops*. Grass For. Sci. 42: 217-221.
- Hernández A. J. Pastor J. (2005). *La restauración ecológica de ecosistemas degradados: Marcos conceptuales y metodologías para la acción. Contaminación de suelos y tecnologías para su recuperación*. Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas. Madrid, España.
- Werner, G, Bravo M, Espino J, Etchevers J. D, Flores G, Gonzales M. L, Hidalgo C, Petri M, Prat C, Vidal L, Zapata E, Alonso L, Báez A, Covalada S, Ginanni M, Gonzales M, Gutiérrez B. M, Haulon M, Medina L, Padilla J, Padilla M. J, Pajares S, Risalti R, Vera A. (2006). *Rehabilitación de suelos volcánicos de Chile y México; presentación de resultados de un proyecto Internacional e Interdisciplinario*. (REVOLSO, Programa Europeo inco-vfp).

EVALUACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN SUBCUENCAS DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA LA FRAILESCANA

Verenice Escamilla Rivera, Sergio Cortina Villar, John Duncan Golicher,
Raúl Vaca y José Luis Arellano Monterrosas

RESUMEN

Los servicios ambientales hidrológicos han estado en riesgo por deforestación, la cual a su vez ocasiona aumento de escorrentía, erosión del suelo, e inundaciones. Tales cambios pueden afectar el comportamiento hidrológico mediante la alteración de tasas de interceptación vegetal, infiltración, evapotranspiración, flujos hídricos base y recargas de acuíferos. Las subcuencas del Área Natural Protegida “La Frailescana” ha sido objeto de políticas para prevenir o reducir los problemas que se generan; una de las medidas es pagar a los dueños de los bosques por fomentar los servicios ecosistémicos que prestan las cuencas a través del esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH); sin embargo, se requiere mayor conocimiento

sobre la relación entre la cobertura vegetal y la producción de agua, ya que se asume que una mayor superficie boscosa es igual a más recarga de acuíferos. Este trabajo propone evaluar los servicios ambientales hidrológicos en subcuencas de La Frailesca. Los resultados previos señalan que: i) La relación entre la cobertura vegetal y el flujo hídrico superficial está determinada por la dinámica lluvia-escurrimiento, en donde la pendiente, y la condición de humedad antecedente del suelo son factores que intervienen también de manera directa; y ii) Los parámetros locales como el tipo de suelo, la morfología y la cobertura boscosa modifican la respuesta hidrológica de los servicios ambientales en cuencas.

INTRODUCCIÓN

Los servicios ambientales hidrológicos son los beneficios derivados de la regulación de los flujos hídricos superficiales por los ecosistemas de bosque, como los altos rendimientos hídricos, el mantenimiento de la calidad de agua y la recarga de acuíferos (Brauman *et al.*, 2007); sin embargo, estos han sido perturbados por la deforestación. En México, se efectúan programas como el pago por servicio ambiental (PSAH) para lograr la conservación forestal y a su vez la regulación de los flujos hídricos superficiales en los bosques de áreas naturales protegidas (ANP) y en cuencas.

Los cambios en el flujo hídrico superficial provocados por la deforestación, cuando se combina con malas prácticas de manejo tales como sobrepastoreo y establecimiento de cultivos extensivos en laderas, ocasionan el aumento de la escorrentía, la erosión del suelo (Arellano, 2012), el incremento de la temperatura del suelo, la mayor duración de las sequías, la mayor variación espacial y temporal en el flujo hídrico, y si la capacidad de infiltración del suelo permanece intacta, la eliminación de los bosques puede provocar un aumento de los flujos hídricos base (Bruijnzeel, 2004; Ausseil *et al.*, 2013).

Las prácticas de conservación de los bosques, determinadas por políticas públicas y el uso del suelo, mejoran las condiciones de infiltración (Arellano, 2012; Locatelli y Vignola, 2009), de forma tal que el agua de lluvia que llega al suelo se filtra e incrementa gradualmente el caudal por la vía sub-superficial, produciendo un flujo de agua más limpio y regular, con rangos de caudales anuales extremos más pequeños. Asimismo, la evapotranspiración permitirá crear nuevos espacios disponibles en el suelo para almacenar agua (Llerena et al., 2003, Carvalho-Santos et al., 2014). Además, debido a la intervención de las copas de los árboles y el sistema radicular, la escorrentía superficial se reduce, manteniendo la estabilidad y humedad del suelo y mejora de la calidad del agua en términos de sedimentos de carga. Existe evidencia de que los bosques contribuyen a moderar los riesgos relacionados con el agua, como inundaciones y deslizamientos de tierra, y aumentan la percolación al acuífero (Bredemeier, 2011; Calder y Aylward, 2006). Por otro lado, los bosques pueden reducir el rendimiento anual de agua porque causan una mayor pérdida por evapotranspiración, que consecuentemente limita la cantidad de agua disponible en el suelo y la reducción de la recarga de acuíferos (van Dijk y Keenan, 2007).

En México, las cuencas del estado de Chiapas, y en particular las de la depresión central, son privilegiadas en cuanto a la disponibilidad de agua, ya que alimentan cuatro presas hidroeléctricas que generan el 30% de la energía eléctrica de todo el país (CONAGUA, 2014). En el período 2002-2007, Chiapas se ubicó en el segundo lugar nacional en la tasa anual de pérdidas de bosques con un 0.82% (SEMARNAT, 2012); es importante señalar que diversas áreas del Estado, particularmente la Sierra Madre de Chiapas (SMC), han comenzado a presentar signos de recuperación de su cubierta forestal. El Área Natural Protegida (ANP) "La Frailescana" forma parte de la SMC, se localiza sobre la región de la cuenca Grijalva-Usumacinta e Itzmo-Costa (CONAGUA, 2014), cuyas partes altas de las cuencas, casi en su totalidad, están

protegidas por el ANP. “La Frailescana”, después de las Reservas de la Biósfera “La sepultura”, “El Triunfo” y el “Volcán Tacaná” en la SMC, ha tenido prioridad en la aplicación de los PSAH, que fomentan la conservación de los bosques.

Muchos estudios han puesto de manifiesto los efectos positivos de las prácticas de conservación de bosques en los flujos hídricos superficiales (Locatelli y Vignola, 2009; Andréassian, 2004; Baker y Miller 2013; Carvalho et al., 2014; Awan y Ismaeel, 2014), pero es preciso evaluar este efecto a diferentes niveles de cuenca (subcuenca y microcuenca) ya que constituye una unidad hidrológica y medio colector-almacenador-integrador de los procesos naturales y antrópicos que en ella ocurren (Paré y Gerez et al., 2012; Andréassian, 2004) y además sirve para guiar los programas de conservación forestal (Locatelli y Vignola, 2009; Andréassian, 2004; Paré y Gerez, 2012). La producción de agua superficial y la recarga de acuíferos son los servicios ambientales hidrológicos que, a primera instancia, tienen un impacto a corto y a largo plazo en la relación cobertura vegetal y producción de agua en cuencas (Carvalho et al., 2014; Villón, 2011). Por lo tanto, este trabajo analiza la relación entre los diferentes tipos de usos de suelo y vegetación y el flujo hídrico superficial; y cómo la conservación a través del PSAH impacta en el flujo hídrico superficial y recarga de acuíferos.

La evaluación de los servicios ambientales hidrológicos requiere de una estimación correcta del balance hidrológico debido a que éste está detrás de todo lo que sucede en las cuencas; es decir, comprende el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre la evapotranspiración, la escorrentía y la infiltración. Diversos autores que trabajan modelos hidrológicos reconocen que, en general, los modelos permiten comprender mejor la dinámica hídrica en las cuencas y hacer predicciones del comportamiento del sistema que se estudia (Vargas et al., 2015). La ecuación de balance hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por

la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003).

La influencia de los bosques en el ciclo hidrológico también ha sido estudiada a través de la comparación de cuencas pareadas con diferentes cubiertas forestales (Andreassian, 2004) a partir de la relación lluvia-escorrentamiento. Las hipótesis que subyacen de este diseño experimental son: A) Las dos cuencas tienen que estar geográficamente cerca, para asegurar que se someten a las mismas variaciones climáticas. Esta condición permite reducir la interferencia climática, morfológica y geológica. B) Los procesos de escorrentía de las cuencas son invariantes en el tiempo. Por otra parte, las posibles incertidumbres en las formas de evaluar servicios hidrológicos basados en las influencias de escalas deben ser entendidas ya que los efectos simulados o medidos conducen a decisiones financieras y políticas.

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar los servicios ambientales hidrológicos en subcuencas del ANP “La Frailescana”. El desarrollo de esta evaluación es de utilidad para el entendimiento de la relación cubierta boscosa y producción de agua; asimismo, la evaluación es esencial para un uso más eficiente de las prácticas de manejo de la tierra como herramienta para mejorar la regulación de los flujos hídricos superficiales.

DESCRIPCIÓN DEL SITIO Y VISIÓN DE CONJUNTO

La subcuenca del río San Pedro está ubicada en la Sierra Madre de Chiapas, entre los paralelos $15^{\circ}51'14.90''$ y $16^{\circ}01'51.41''$ Norte y los meridianos $93^{\circ}07'43.37''$ y $93^{\circ}18'21.47''$ Oeste, dentro del área natural protegida (ANP) “La Frailescana” (Figura 1). Se determinó que el río San Pedro tiene una longitud de 20.36 km, drena un área de 256.44 km² y se origina en la parte alta de la Sierra aproximadamente a 2,483 msnm. El factor de forma de la subcuenca

es de 0.62, y tiene un tiempo de concentración de 130 min., lo que indica una forma moderadamente achatada y, por lo tanto, una tardía respuesta hídrica.

El clima se caracteriza por un patrón bimodal de precipitación con lluvias ocurridas entre los meses de mayo-agosto y septiembre-noviembre. La precipitación promedio anual es de 1,395 mm y las temperaturas mínima y máxima promedio son 36°C y 14°C, respectivamente, con una temperatura promedio anual de 30.9°C (CFRS, 2014).

Con base en los datos de campo analizados, las cubiertas vegetales de la subcuenca son bosques de encino, bosque mesófilo de montaña, bosques de pino-encino y vegetación secundaria arbórea y arbustiva, que representan 77% de la superficie.

“La Fraileskana” fue colonizada desde los años 70; la gente que se instaló y que no tenía tierra recibió títulos de propiedad llamada ejido, otorgado por el gobierno. Los ejidos tendieron a localizarse en terrenos pobres ya que los grandes propietarios mantenían la mayor parte de las mejores tierras, ubicadas en las elevaciones medias de la SMC. A medida que pasaba el tiempo, la población local creció en número, y más ejidos fueron creados. Otros inmigrantes llegaron de forma espontánea y adquirieron tierras como propietarios privados donde fundaron granjas individuales. La población presentó una tasa de crecimiento anual de 4.5% de 1980 a 1990 y de 2% de 1990 al año 2010 (INEGI 2011). La pérdida de cubierta boscosa en esta región es de -0.3% del 2003 al 2007 (Cortina *et al.*, 2012), esto se atribuyó a conflictos por la tierra, desigualdades económicas entre agricultores, cambio de uso de suelo incentivados por subsidios gubernamentales (PROCAMPO, PROGRAM, OPORTUNIDADES, entre otros) y a la dispersión de los asentamientos humanos; sin embargo, “La Fraileskana” ha comenzado a presentar signos de recuperación de su cubierta forestal.

Del año 2005 al 2012, 42 km² fueron contratados para recibir fondos de los Pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) en la subcuenca, este programa cubre el 16.38%

de las áreas de los bosques. La ubicación espacial del PSAH en la subcuenca está estrechamente relacionada con la del ANP “La Frailescana”, lo que confirma el uso del programa para reforzar la conservación en ANP montañosas. A cambio de recibir los PSAH, los ejidos se comprometen a abrir brechas corta fuego, construir presas filtradoras de sedimentos, y a no talar los bosques (Cortina *et al.*, 2012).

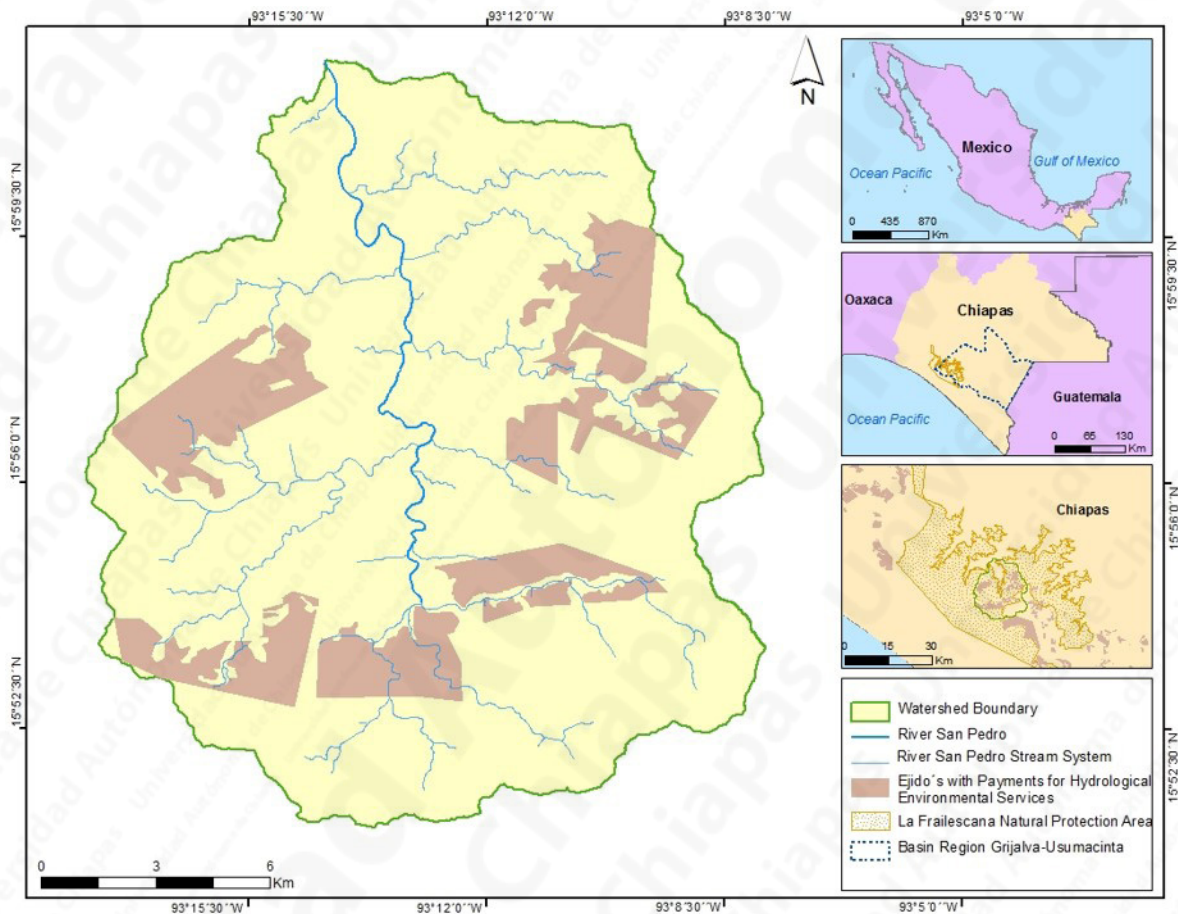


Figura 1. Ubicación de la Subcuenca del Río San Pedro y ejidos con PSAH en el ANP La Frailescana

MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron tres métodos de análisis:

1. Determinación del comportamiento hidrológico (producción y almacenamiento de agua) con base en parámetros locales de una subcuenca de estudio de "La Frailescana"

El modelo SWAT® fue utilizado para simular la respuesta hidrológica de la subcuenca del río San Pedro durante un periodo de 25 años y se ha utilizado para simular el impacto relativo del manejo de la tierra, cambios de uso de suelo, clima y vegetación en diferentes clases de cuencas (Arnold y Allen, 1999). El modelo es determinista, cada ejecución sucesiva que utilice los mismos parámetros, producirá las mismas salidas, y es no estacionario, ya que es capaz de dar cuenta de la variación de parámetros a través del tiempo (Awoke et al., 2016). ArcSWAT® versión 2015 y la Evaluación Automatizada de Cuencas Geoespacial (AGWA®) son las dos interfaces de entrada de gráficos basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) que pueden utilizarse para configurar un modelo SWAT. Se siguió una serie de pasos desde la recopilación de la información hasta la calibración y validación del modelo (Figura 2) con el uso del algoritmo SUFI-2 del software Swat-Cup y se evaluó el rendimiento del modelo con el estadístico Nash-Sutcliffe (NSE)®.

Uno de los resultados importantes de SWAT es la estimación de la producción de flujo hídrico superficial y la recarga de agua subterránea (poco profunda) en acuíferos libres (Arnold et al., 2012). En el modelo, la producción de flujo hídrico superficial se determinó por la relación de lluvia-escurrimiento, y la recarga del acuífero superficial libre por percolación.

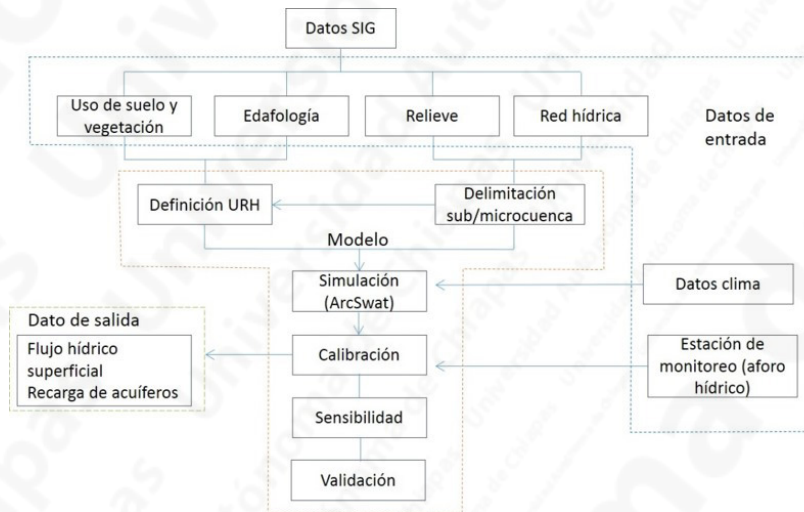


Figura 2. Diagrama de flujo metodológico del modelo SWAT

2. Determinación de las relaciones entre los diferentes tipos de usos de suelo y vegetación, y la escorrentía

El análisis se realizó a través de la comparación de nanocuenas pareadas utilizando el método de curva numérica de escurrimiento (NC) del Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Se seleccionaron cuatro nanocuenas (Cuadro 1) bajo los criterios de: 1) Accesibilidad al cauce de la nanocuenca, 2) Tipo de vegetación y uso de suelo, 3) Aprobación de la instalación de los equipos (pluviógrafos, aforadores y limnógrafos) por parte de las comunidades, 4) Anchura del cauce (menor a dos metros) y superficie total de la nanocuenca (entre dos a 14 Ha.) y 5) Vigilancia de los equipos (prevención del maltrato a los equipos).

El método establecido por el SCS utiliza una tabla de valores NC generados experimentalmente en cuencas de Estados Unidos y tiene, principalmente, cuatro criterios de selección (USDA-SCS 1972): grupo hidrológico de suelo, uso de suelo, práctica de suelo en el caso de

las zonas agrícolas y condición hidrológica; el criterio de condición hidrológica solo está definido para bosque, selva y pastos. Se basó en la metodología publicada por Alonso *et al.*, (2014), para que el NC seleccionado sea corregido por humedad antecedente y por pendiente.

Cuadro 1. Características físicas de las nanocuenca experimentales

Ejido/ No. de Nanocuenca	Cauce		Área (m ²)	Elevación (msnm)	Pendiente cauce (%)	Textura del suelo	Uso del suelo
	Latitud (° ' ")	Longitud (° ' ")					
Ocotal Maravillas/ 1	16° 0'54"	93° 13'27"	1.5	736	25	Franco	70% pastizales y 30% selva media
Ocotal Maravillas/ 2	16° 0'55"	93° 13'25"	4.6	745	25	Franco	80% Selva media y 20% pastizales
Plan de Ayala/ 1	15°54'4"	93°13'1"	3.34	892	50	Franco arcilloso- arenoso	Bosque de encino-pino
Plan de Ayala/ 2	15°54'8"	93°12'39"	8.8	878	47	Franco arcilloso- arenoso	Pastizales

3. Evaluación de los servicios ambientales hidrológicos para conocer si el PSAH tiene un impacto en el flujo hídrico superficial de la subcuenca

Se elaboraron cuatro escenarios comparativos para análisis: el primero es el escenario actual con la información de los usos de suelo obtenido durante el trabajo en campo, el segundo considera como usos de suelo a la vegetación primaria, el tercero toma en cuenta el manejo de áreas críticas y el cuarto representa un mayor nivel de uso de la tierra.

Para establecer los efectos de los cambios de uso del suelo en los caudales, los cuatro escenarios mantienen las variables de clima, edafología y geomorfología actuales. Para estos escenarios de cambio de uso de suelo se utiliza el mapa de uso de suelo actual, elaborado a partir de la imagen landsat OLI/TIRS 2015, así como los mapas de uso de suelo y vegetación de las series II, III y IV del INEGI a escala 1:250,000.

Escenario de conservación de zonas críticas

Se eligieron las microcuencas con mayor producción de caudales y se propuso la implementación de obras de conservación como los cultivos en contorno y en terrazas. Dada la importancia del bosque mesófilo de montaña, bosque de pino y bosque de encino, se propone que estos ecosistemas se mantengan conservados a través del PSAH. El mapa de la serie IV del INEGI se tomó como base debido a que fue realizado con imágenes landsat del año 2006 al 2009, periodo donde se dio inicio a las prácticas de conservación y el decreto de La Fraileskana como ANP en el 2007.

Escenario con mayor nivel de uso

Para este escenario se considera que los pastizales se extienden hacia las zonas que no se encuentra dentro del ANP. Se han reportado cambios en los usos de suelos actuales en la SMC (Imbach, 2014), lo que significa que su categoría de conservación no ha detenido la frontera agrícola. Se utilizó como base el mapa de usos de suelo y vegetación de la serie III elaborada con imágenes landsat del año 2002 al 2005, periodo donde se denotó el máximo de la deforestación de “La Fraileskana” y se obtuvieron altas escorrentías y crecientes deslaves provocados por el “Huracán Stan” en el 2005.

Con el objetivo de conocer el cambio en el uso de la tierra y los factores que lo ocasionaron, entre ellos el PSAH, se retomaron las entrevistas realizadas en el proyecto PESMIX¹, las cuales se agruparon en: i) Composición y características del hogar, ii) usos de la tierra, iii) agricultura y ganadería, iv) políticas de apoyo económico y v) perspectivas del uso de suelo.

¹ Payments for Environmental Services: New panacea or useful auxiliaries for managing landscapes? Proyecto en el cual compara los esquemas de PSA en los países de México y Madagascar. PESMIX inició en el 2012 y se encuentra en proceso. Instituciones asociadas: ECOSUR, INE y CIRAD; instituciones vinculadas: ESSA y SSD de Madagascar, EMBRAPA- Brazil.

RESULTADOS PREVIOS

El primer producto obtenido en la modelación fue la subdivisión de la subcuenca en 25 microcuenclas a fin de obtener los escenarios de las Figura 6 y Figura 8. El uso del suelo y vegetación así como las propiedades edafológicas influyen directamente en el comportamiento de las variables hidrológicas que caracterizan la deforestación. Por esta razón se puso énfasis en la correlación de tipos de vegetación y usos de suelo y tipos de suelos presentes, para que sean reclasificados a un nivel de detalle adecuado en SWAT.

Configuración del modelo inicial y descripción de la subcuenca

Para la subcuenca del río San Pedro se realizó una clasificación supervisada con base en la imagen Landsat OLI/TIRS enero 2015. Se obtuvieron un total de 10 clases de usos de suelo y vegetación, con una precisión del 84% a partir de la matriz de error calculada. Se eligió la categoría del maíz como especie representativa de los sistemas agrícolas, ya que este cultivo es el que mayormente se siembra. Para bosque mesófilo de montaña se unió con bosque mixto de pino-encino y bosque de encino, y se eligió el uso de suelo “bosque mixto” que usa valores del *Quercus* y es uno de los géneros más comunes en este tipo de bosque (CONAFOR, 2009). Entre el bosque mesófilo y selva perennifolia existe una transición que está dominada por los géneros *Pinus* y *Quercus* (Amoroso 2010; Imbach, 2014), por lo que la sección de selva perennifolia y pino se clasificó como “bosque siempre verde” que se basa en la información de *Pinus*. Se definieron los pastizales cultivados como pastura con base en la especie *Cynodon dactylon*. Para el acahual se eligió “bosque caducifolio” debido a que se basa en el género de *Quercus* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Reclasificación de usos de suelo y vegetación con categorías de SWAT

Vegetación y uso de suelo actual	Reclasificación SWAT	Valores de SWAT
Achual	FRSD	Bosque caducifolio
Agricultura de maíz	AGRR	Maíz
Encino- Mesófilo- Mixto	FRST	Bosque mixto
Perennifolio- Pino	FRSE	Bosque siempre verde
Pastizal	PAST	Pasturas
Suelo desnudo	BARR	Suelo desnudo
Carretera	URBN	Urbano
Asentamiento humano	URLD	Residencial de baja densidad
Cuerpos de agua	WATR	Agua

El uso de suelo dominante es el bosque mixto seguido de los acahuales, como se indica en la Figura 3.

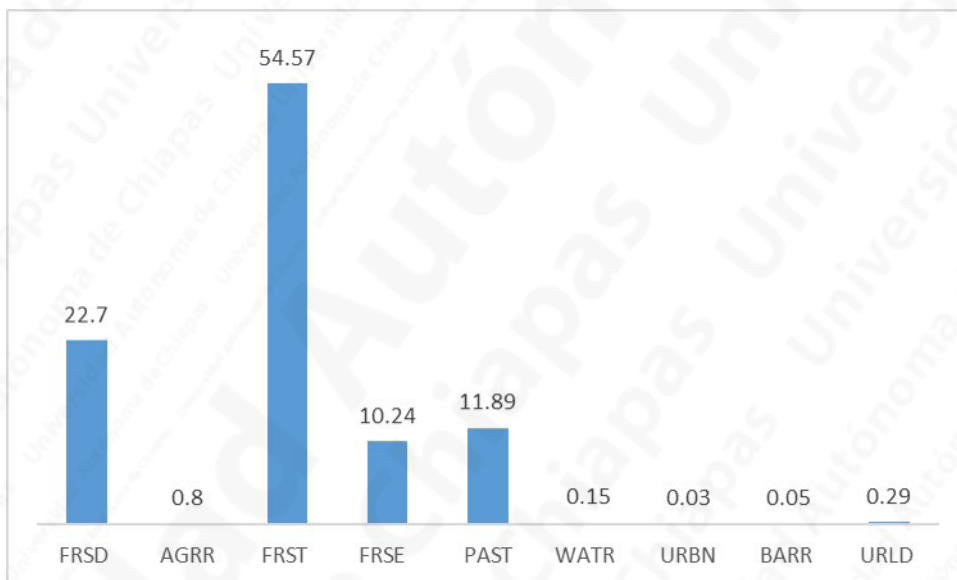


Figura 3. Porcentaje que abarcan los usos de suelo y vegetación modelados en la subcuenca del río San Pedro

Las variaciones de las pendientes son importantes ya que determinan las características topográficas que influyen en los patrones de precipitación, escurrimiento superficial, recarga de acuíferos, dinámica de sedimentos, presencia de los principales dominios ecológicos y usos de la tierra (De la Fuente *et al.*, 2008). En la subcuenca el 54.27% de su área tiene porcentajes de pendientes superiores de $>45\%$ y el 22% del área total de la subcuenca tiene porcentajes de pendiente que varían entre 30 y 45%.

En la Figura 4 se muestran las áreas de las microcuencas bajo distintos porcentajes de pendiente, la numeración inicia en la zona baja de la subcuenca y termina en la parte de alta pendiente. Las microcuencas con pendiente alta tienen baja escorrentía hasta que llegan a las microcuencas 9 y 12, donde se juntan varios cauces que generan un caudal mayor. La microcuenca 9 se ha juntado con varios cauces de la zona alta que suman caudales promedio de $10.21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Desde esta microcuenca que aún se encuentra en la zona alta y que tiene una gran área con pendientes mayores a 45%, se van acumulando caudales en el cauce principal que se presentan como picos en el gráfico de la Figura 4.

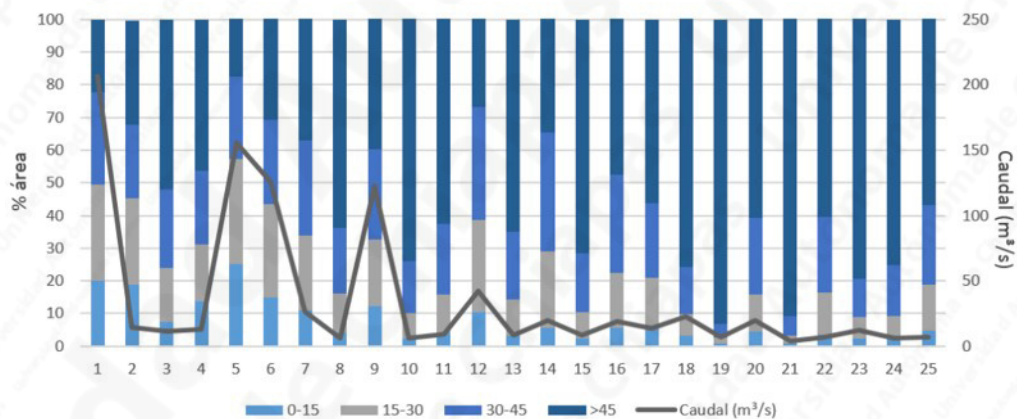


Figura 4. Porcentaje de área de las subcuencas bajo distintos porcentajes de pendiente comparado con los caudales de salida de cada microcuenca

Al estudiar los factores formadores del suelo se habla, a veces, de posición en el paisaje, de topografía, de relieve o de geomorfología, como sinónimos (Heathcote, 2009). Porta et al., (2003) señala que la geomorfología combina el relieve, la geología y el clima, ya que la posición que ocupa el suelo en el paisaje condiciona su uso, la vegetación de una región, la situación de la capa freática y, por consiguiente, las condiciones de drenaje del suelo y los rasgos morfológicos asociados a ellas. Bajo este criterio se realizó un mapa de unidades paisajísticas para obtener la información de las propiedades físicas y químicas del suelo (Cuadro 3). Estas unidades se delimitaron al vincular el mapa climático realizado por García (2005) a escala 1:250,000, el mapa de geomorfología de la subcuenca elaborado con base a la metodología de Bocco y Priego (2008) y el mapa de geología del Sistema Geológico Mexicano (2005) a escala 1:250,000. En la subcuenca se realizaron 30 calicatas con un total de 72 muestras. Cabe señalar que no se realizó un muestreo en la unidad montaña fuertemente diseccionada debido a que, por su alta pendiente, fue imposible llegar a ella.

El análisis de la textura de suelos permitió definir los grupos hidrológicos, obteniendo que la mayoría de los suelos de la subcuenca son del grupo hidrológico C y solo los de la parte alta son del grupo hidrológico B y por lo tanto generan alta escorrentía. La principal unidad geomorfológica es montaña medianamente diseccionada (144 km²), que pertenece a un grupo hidrológico tipo C y por lo tanto tienen alta capacidad de infiltración.

Dado que la precipitación es un factor determinante en el comportamiento de la cuenca en cuanto a sus caudales, se utilizó la base climática CFRS (2014) para el análisis de registros diarios toda vez que la estación climática más cercana a la subcuenca está ubicada a 18 km y con una altura de 668 msnm por lo cual los registros climáticos no son representativos de la subcuenca de estudio.

Cuadro 3. Distribución de las unidades paisajísticas modelados de la subcuenca del río San Pedro

Clima	Geomorfología	Geología	% área de la subcuenca
Semicálido	Montaña ligeramente diseccionada	Metagranito-metagranodiorita	7.62
Cálido		Limolita-arenisca	9.5
		Complejo metamórfico	10.98
		Metagranito-metagranodiorita	15.37
Semicálido	Montaña medianamente diseccionada	Limolita-Arenisca	21.72
Cálido		Metagranito-metagranodiorita	15.11
		Limolita-Arenisca	15
		Metagranito-metagranodiorita	4.48
Cálido	Valle	Metagranito-metagranodiorita	0.33

A partir del año 2010 se presentaron altos niveles de precipitaciones (Figura 5). Se evidenció que las precipitaciones ocurridas en el 2005, durante el “Huracán Stan”, se manifestaron en el volumen de lluvia constante en cada mes. Este dato confirma el factor de forma y el tiempo de concentración de la subcuenca.

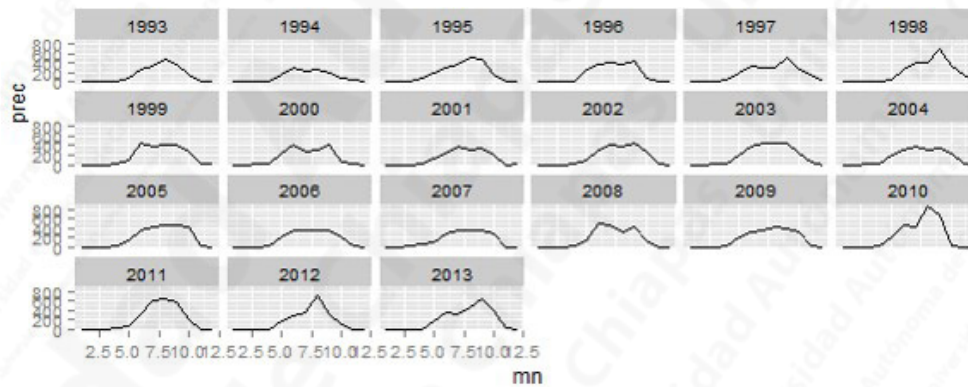


Figura 5. Variabilidad de las intensidades de lluvia en la subcuenca del río San Pedro

Análisis de las variables de interés para la evaluación de servicios ambientales hidrológicos

En las microcuencas donde predominan los bosques mixtos (54.57%) se presentaron grandes rendimientos de agua durante los años de 1995 y 1998 (Figura 6). Los volúmenes del rendimiento de agua demostraron un aumento a partir del año 2010. Las microcuencas que tienen acahuales y bosque mixto presentan el mayor rendimiento de agua en el año 2013, alcanzando valores entre 614 y 790 mm mes^{-1} . Las microcuencas también presentaron niveles altos de precipitaciones en cada año mencionado y predominan las pendientes superiores a 45%.

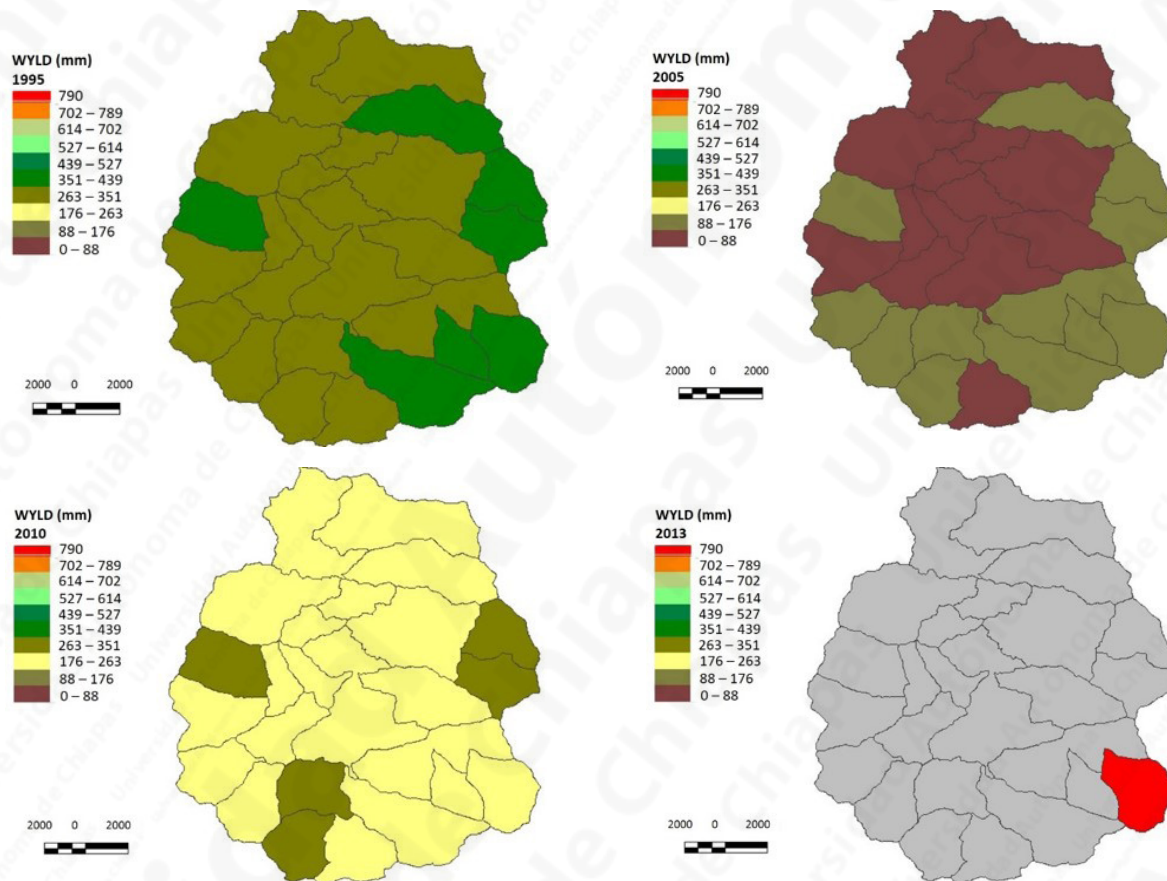


Figura 6. Rendimiento de agua por microcuenca en los meses de julio y agosto de 1995, 2005, 2010 y 2013 bajo modelación sin calibrar

En la comparación de estos mapas se puede ver que la mayoría de las microcuencas con pendientes mayores del 45% tienen un mayor aporte en el rendimiento del agua. Si bien la mayor parte de la subcuenca muestra un aumento de la escorrentía superficial que se interpreta como un régimen de flujo de rápida conversión de las lluvias a la escorrentía. Este patrón es consistente con la evidencia obtenida de varias entrevistas a los ejidatarios donde se reportó que el calendario del flujo del río principal y sus tributarios había cambiado.

Se evidenció que la dinámica hídrica de la subcuenca ha estado determinada por: 1) La reducción del flujo superficial entre los años de 1998 al 2004 y el aumento de la misma en los años de 2010 al 2014 fue provocado por el cambio en el manejo de la tierra, en la cual el máximo de la deforestación se alcanzó entre los años 1999 y 2005 y, después la vegetación secundaria, ha ganado terreno; 2) no hubo cambio perceptible en la evapotranspiración, lo que indicaría que una mayor proporción de la lluvia se está convirtiendo en escorrentía; sin embargo, la percolación muestra que a mayor proporción de lluvia aumenta la infiltración del agua en el suelo y la recarga del acuífero (Figura 7).

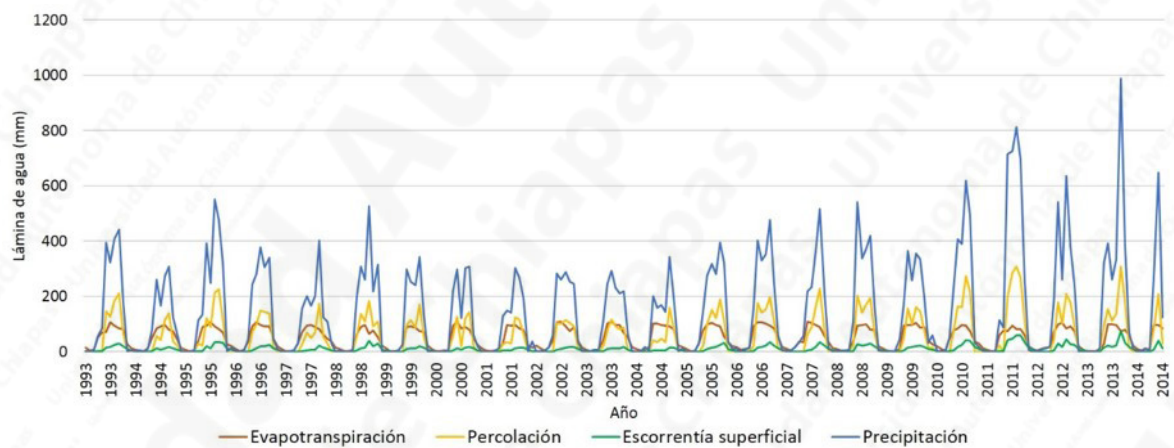


Figura 7. Comparación de la cantidad de agua precipitada que aporta a la lámina de agua evapotranspirada, escorrentía superficial, percolación y evapotranspiración

La escorrentía superficial de las microcuencas se analiza para cada periodo que presentó cambios en el manejo de la tierra (Figura 8). Algunas intercuenas que son el espacio de encuentro de varias microcuencas, acumulan gran cantidad de escorrentía superficial aunque tengan un área pequeña (subcuencas 5 y 6). Otras microcuencas presentan escorrentías importantes que aportan al río San Pedro (subcuencas 9 y 7).

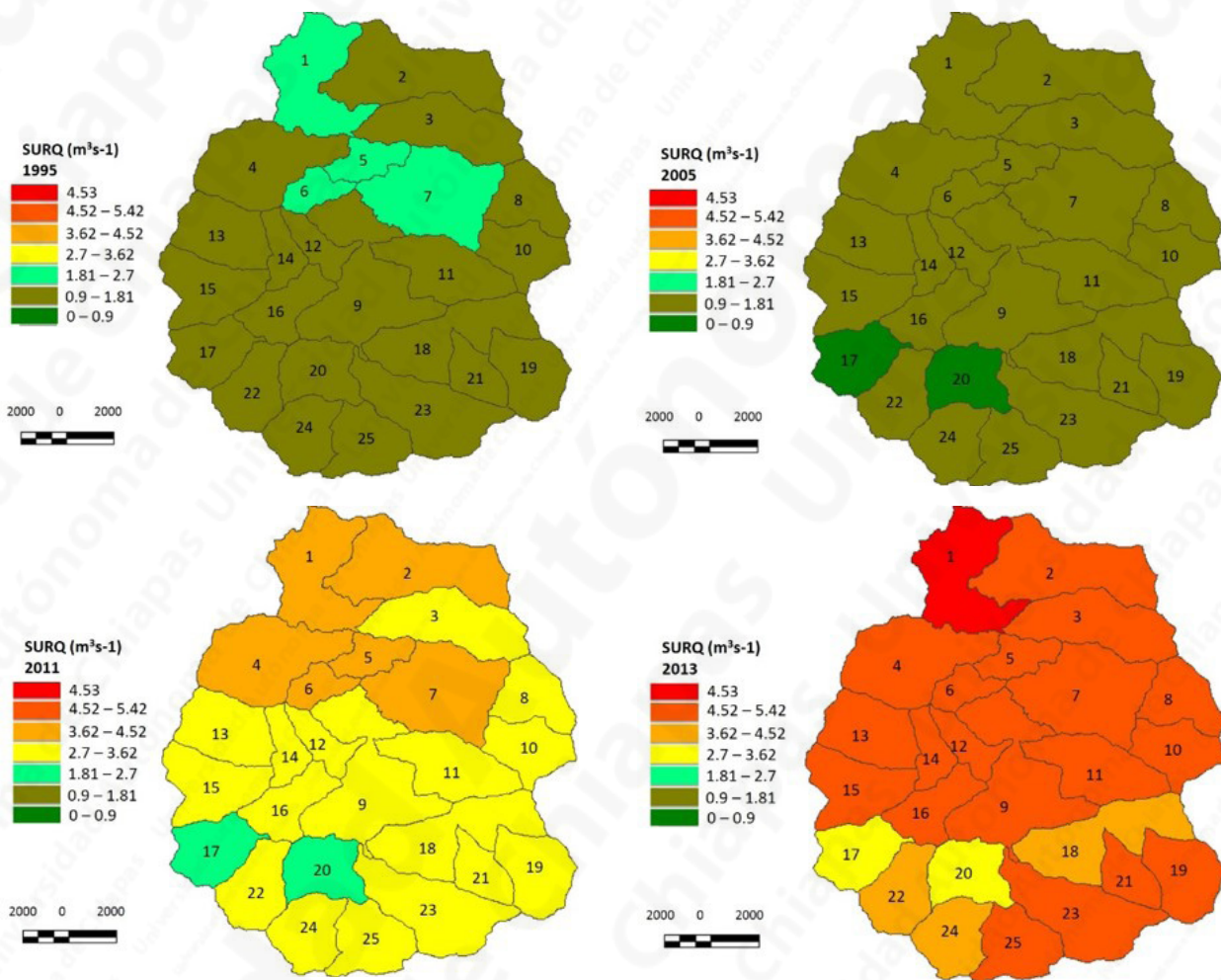


Figura 8. Escorrentía superficial promedio ($m^3 s^{-1}$) en julio y agosto de 1995, 2005, 2011 y 2013 bajo modelación sin calibrar

En las microcuencas 17 y 20 se registra un aumento tardío de la escorrentía, alcanzando caudales promedio de $1.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. En años anteriores al 2000 la escorrentía superficial se mantenía en dichas microcuencas. Se evidencia que las microcuencas de la parte baja de la subcuenca acumulan gran cantidad de agua que proviene de las microcuencas de la zona media y alta, teniendo que la suma de todos los aportes menores a $2.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ son los que generan grandes caudales en la parte baja. A partir de la microcuenca 7, se tiene una gran acumulación de caudales promedio de $6.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

CONCLUSIONES

Al comparar las pendientes con los caudales de salida de la cuenca se demuestra que existen varias microcuencas de la zona alta que aportan pequeños caudales al cauce principal a pesar de su alto porcentaje de pendiente. Los cambios de inclinación hacen que una gran cantidad de agua se acumule en la zona baja en un solo cauce principal que tiene pendientes menores de 30%. Esta situación determina que la configuración de la red de drenaje y las altas pendientes tiendan naturalmente a la acumulación de agua en la zona baja, situación que es independiente de la presencia de ciertos ecosistemas.

Los tipos de suelos presentes en la subcuenca influyen en el proceso de infiltración y en las dinámicas del acuífero con los cauces. La mayoría de los tipos de suelos presentes, tienen buena capacidad de infiltración según su grupo hidrológico, pero se puede mantener y mejorar esta capacidad con el manejo de la vegetación.

Con base a la dinámica hídrica de la subcuenca en los años de 2011 y 2013, las microcuencas han aumentado su caudal de salida. La subcuenca tiene el 54.27% de su área en pendientes superiores a 45%, predomina el bosque mixto y los acahuals, y los suelos tienen alto potencial de infiltración. Con un aumento en la precipitación de 810 mm en julio de 2011,

las microcuencas 17 y 20 tuvieron un menor aporte al caudal. Las microcuencas 18, 22 y 24 empezaron a tener un menor aporte al caudal al igual que las microcuencas 17 y 20, con una precipitación de 970 mm en agosto 2013.

Los principales usos de suelo y vegetación en dichas microcuencas son acahuales, pastizales y bosque mixto; asimismo, en ellas se localizan los ejidos con PSAH, por lo que el rol de la conservación de los bosques es visto en la retención y/o pérdida de agua por la vegetación durante lluvias de alta intensidad.

Estudios que relacionan la influencia del cambio de uso de suelo (restauración) y la variabilidad climática, definen que la combinación de ambos aspectos puede explicar de mejor manera los cambios en el escurrimiento superficial (Feng et al., 2012). Ante ello, se requiere plantear el análisis de la relación lluvia-escurrimiento y los escenarios de cambio de uso de suelo para verificar el rol de los bosques presentes en la subcuenca con usos de suelo de pastizales y agrícolas.

LITERATURA CITADA

- Amoroso, A. (2010). *Desarrollo y validación de una metodología para la planificación participativa de una microcuenca en el Estado de Chiapas, México*. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Alonso H., Ibáñez L., Arteaga R. y Vázquez M. (2014). *Identificación de curva de escurrimiento en tres microcuencas del Río Coatán, Chiapas, México*. Tecnología y Ciencias del Agua., 5(4), 153-161.
- Arellano J. (2012). *Vulnerabilidad y gestión de riesgos por deslizamientos e inundaciones en la cuenca superior del río Huehuetán, Chiapas*. Tesis de Doctorado, IMTA, Jiutepec, Morelos.
- Arnold, JG; Moriasi, DN; Gassman, PW; Abbaspour, KC; White, MJ; Srinivasan, R; Snthi, C; Harmel, RD; van Griensven, A; Van Liew, MW; Kannan, N; Jha, MK. (2012). *SWAT: Model Use, Calibration, and Validation*. American Society of Agricultural and Biological Engineers 55(4): 1491-1508.
- Arnold J.G, Allen R.M. (1999). *Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records*. JAWRA J Am Water Resour Assoc. 35, 411-424

- Ausseil A., Dymond J.R., Kirschbaum M.U.F., Andrew R.M, y Parfitt R.L. (2014). *Assessment of multiple ecosystem services in New Zealand at the catchment scale*. Environmental Modelling & Software. 43, 37-48.
- Andréassian V. (2004). *Water and forests: from historical controversy to scientific debate*. Journal of Hydrology. 291, 1-27.
- Awan e Ismaeel. (2014). *A new technique to map groundwater recharge in irrigated areas using a SWAT model under changing climate*. Journal of Hydrology. 519, 1368-1382.
- Awoke D., Gassman P., Secchi S., Schoof J. y Misgna G. (2016). *Modelin Agricultural Watersheds with the Soil and Water Assessment Tool (SWAT): Calibration and Validation with a Novel Procedure for Spatially Explicit HRUs*. Environmental Management. 57, 894-911.
- Baker T. y Miller S. (2013). *Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed*. Journal of Hydrology. 486, 100-111.
- Brauman, K.A., Daily, G.C., Duarte, T.K., Mooney, H.A. (2007). *The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services*. Annu. Rev. Environ. Resour. 32, 67-98.
- Bruijnzeel, L.A. (2004). *Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees*. Agric. Ecosyst. Environ. 104 (1), 185-228.
- Bredemeier, M. (2011). *Forest: climate and water issues in Europe*. Ecohydrology. 4, 159-167.
- Bocco G. y Priego A. (2008). *Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes, Fundamentos y Métodos*. INE, SEMANRNAT, UNAM. México, D.F.
- Carvalho-Santos C., Pradinho J. y Hein L. (2014). *Hydrological services and the role of forest: Conceptualization and indicator-based analysis with an illustration at a regional scale*. Ecological Complexity. 20, 69-80.
- Calder, I.R., Aylward, B. (2006). *Forest and floods*. Water Int. 31, 87-99.
- CONAFOR. (2009). *Restauración de ecosistemas forestales: Guía básica para comunicadores*. Jalisco, MX. 69 p.
- CONAGUA. (2014). *Base de datos geográfica de ríos y cuerpos de agua de Chiapas*. Comisión Nacional del Agua. México.
- Cortina, S., Plascencia, H., Vaca, R., Schroth, G., Zepeda, Y., Soto, L. y Nahed, J. (2012). *Resolving the conflict between ecosystem protection and land use in protected areas of the Sierra Madre de Chiapas, Mexico*. Environmental Management. 49, 649-662.
- CFRS. (2014). *Climate Forecast System*. National Centers for Environmental Information. National Oceanic and Atmospheric Administration. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/climate-forecast-system-version2-cfsv2>
- De la Fuente, J; Lisle, T; McKean, J. (2008). *Deslizamientos de tierra, erosión de canales y sedimentación en la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas, México, durante el Huracán Stan en 2005: Reseña de campo con recomendaciones Informe Final*. The Nature Conservancy. Chiapas, MX. 53 p.

- Feng, XM; Sun, G; Fu, BJ; Su, CH; Lui, Y; Lamparski, H. (2012). *Regional effects of vegetation restoration on water yield across the Loess Plateau, China*. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss 9: 4161-4191.
- García. (2005). *Mapa climático del estado de Chiapas, escala 1:250,000*. LAIGE, El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Heathcote I. (2009). *Integrated watershed management*. University of Guelph. Wiley, Hoboken, New Jersey.
- Imbach A. (2014). *Análisis comparativo de escenarios hidrológicos y de sedimentación de tres cuencas de la Sierra Madre de Chiapas- Pijijiapan, Coapa y Cuxtepec*. Aplicación del modelo SWAT para escenarios. CATIE, TNC. Costa Rica.
- INEGI. (2011). *Data on population censuses and population counts for Mexico*. URL: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>.
- Locatelli B. y Vignola R. (2009). *Managing watershed services of tropical forest and plantations: Can meta-analyses help?* Forest Ecology and Management. 258, 1864-1870.
- Llorens P. (2003). *La evaluación y modelización del balance hidrológico a escala de cuenca*. Ecosistemas. URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/opinion1.htm>.
- Llerena, C. (2003). *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*. FAO Presentado en el Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa, Perú, 9-12 junio 2003, Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- Paré y Gerez. (2012). *Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Porta J., López M. y Roquero C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. México, D.F: Limusa.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. Compendio de estadísticas ambientales, Indicadores clave y de Desempeño Ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- USDA-SCS (1972). *SCS Natural Engineering Handbook, section 4, Hydrology. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. 1-24 pp.
- Van Dijk, A.I.J.M. & Keenan, R. (2007). *Planted forests and water in perspective*. *Forest Ecology and Management*. 251(1-2): 1-9.
- Vargas G., Ibañez L. y Arteaga R. (2015). *Development, classification and trends in rainfall-runoff modeling*. *Ingeniería agrícola y Biosistemas*. 7(1), 5-21.
- Villón M. (2011). *Hidrología*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

CAPÍTULO 3 LOS SUELOS Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

REFORESTACIÓN EN LA CUENCA DEL VALLE DE JOVEL, CHIAPAS

Nidia Yesenia Hernández Méndez y Rafael Pale Pérez

RESUMEN

El suelo es básico para la producción agropecuaria y forestal; actualmente debido a la escasez de agua y deforestación por el uso irracional de los recursos naturales y el crecimiento urbano en la zona de los Altos de Chiapas, PRONATURA SUR A.C., en conjunto con el Comité de Cuenca del Valle de Jovel, han impulsado actividades de reforestación en la micro cuenca del Valle de Jovel, localizada en la Región Hidrológica -Administrativa XI-Frontera Sur, y la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta de la CONAGUA. Esta cuenca es recorrida por los ríos Fogótico y Amarillo, los arroyos Chamula y la Calzada, y las corrientes intermitentes de los arroyos San Felipe, San Antonio y Huitepec; cuenta con 11 manantiales, de los cuales 10 se aprovechaban para el suministro de agua de la ciudad. La finalidad de las actividades implementadas es que las comunidades, principalmente las rurales, adopten tecnologías endógenas y estrategias que lleven a un desarrollo sustentable. En 2015 se logró establecer 176,269

plantas; 510 más de las solicitadas por los agentes municipales, directores escolares, agentes rurales y ciudadanos en general; estas plantas se encuentran distribuidas en 31 comunidades pertenecientes a los municipios de Chamula, San Cristóbal de Las Casas y Zinacantán; las especies que fueron utilizadas para la reforestación son: *Quercus rugosa*, *Quercus crispipilis*, *Pinus montezumae*, *Cupressus spp.* Para precisar el establecimiento de las plantas, se tomaron coordenadas de referencia en cada una de las comunidades.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de las montañas del sur de México han sido fragmentados y alterados en su estructura y composición florística, básicamente la agricultura tradicional asociada al crecimiento poblacional es una de las causas más comunes de la fragmentación de estos ecosistemas. La reforestación es necesaria en muchas áreas de Chiapas, además es una opción viable para recuperar servicios y productos que en adelante pueden utilizarse de manera sustentable. La reforestación de los bosques debe partir del entendimiento de los procesos ecológicos básicos, para luego diseñar las medidas técnicas pertinentes e incorporar elementos económicos y sociales que guíen un enfoque adaptativo de los programas de acción. Al cabo de más de una década, las experiencias de investigación, desarrollo tecnológico y vinculación social permiten proponer modelos que abarcan algunos de los aspectos ecológicos, técnicos y sociales implicados en la recuperación, conservación y aprovechamiento racional de los recursos forestales.

Las montañas del sur de México albergan una gran variedad de formaciones forestales con una elevada riqueza de especies (Miranda, 1952). En décadas recientes su extensión ha sido drásticamente reducida por la ampliación de la agricultura tradicional, asociada al crecimiento poblacional, la globalización y la aspiración de mejores niveles de vida (Villafuerte-Solís, 2004). De manera similar a lo observado en otras regiones del mundo con alta riqueza biológica

(Mace y Pagel, 1995; Moore *et al.*, 2002), en Chiapas la biodiversidad se corresponde con el acervo cultural (Berlin *et al.*, 1974; Perales *et al.*, 2005).

La distribución de los bosques coincide a menudo con los límites territoriales de comunidades indígenas de varias etnias (zoques, tzotziles, tzeltales, tojolabales, choles y lacandonos) y la apropiación de sus territorios con frecuencia ha promovido la fragmentación de los bosques (Ixtacuy-López *et al.*, 2006). A pesar del predominio de las áreas de vegetación secundaria y de agricultura, notablemente más pobres que los bosques originales en su estructura y diversidad (Quintana-Ascencio *et al.*, 1996; Montes-Avelar, 2001), las comunidades indígenas obtienen de los fragmentos forestales una considerable variedad de recursos (Levy-Tacher *et al.*, 2002).

Es importante mantener la diversificación de los bosques, ya que la diversidad que albergan estos ecosistemas favorecen la estabilidad productiva y económica, a diferencia de los monocultivos, que por lo común son de especies exóticas, que pueden provocar impactos ambientales indeseables.

La restauración de rodales con alta diversidad puede ofrecer un potencial de beneficios a la conservación de la biodiversidad local, incluso si los fragmentos iniciales son relativamente pequeños (Sayer *et al.*, 2004).

Ante esta situación, Pronatura Sur A.C., en conjunto con el Comité de Cuenca del Valle de Jovel han impulsado actividades de reforestación, por lo que se plantearon el objetivo de incrementar la cobertura arbórea en la Cuenca del Valle Jovel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades de reforestación se llevaron a cabo en la Cuenca del Valle de Jovel, la cual está integrada por los municipios de San Cristóbal de Las Casas, Chamula, Tenejapa, Huixtán y Zinacantán, los cuales a su vez están conformados por 86 localidades. La Micro cuenca del Valle

de Jovel pertenece a la Región Hidrológica -administrativa XI, Frontera Sur, y la región Hidrológica Grijalva-Usumacinta de la CONAGUA; está recorrida por los Ríos Fogótico y Amarillo, los Arroyos Chamula y la Calzada, y las corrientes intermitentes de los arroyos San Felipe, San Antonio y Huitepec y Humedales María Eugenia, Peje de Oro, La Hormiga, La Kisst, La Almolonga, Almolanguilla, Navajuelos, Real del Monte y Campanario.

Para dar inicio a las actividades de reforestación, se entregaron plantas a las comunidades que con antelación hicieron solicitud ante Pronatura Sur A.C. Durante la plantación, se obtuvieron los vértices de las poligonales objetos de las actividades de reforestación, para ello fue utilizado el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) *garmin e-trex*® 2007. En el establecimiento de plantas, durante la campaña de reforestación en la Cuenca, se contó con la participación de mujeres, niños, e instituciones gubernamentales.

Paralelamente a las actividades de reforestación en las diferentes comunidades, el equipo de Pronatura Sur A.C., impartió una serie de talleres que tuvieron el objetivo de concientizar a los participantes de cada proceso, esto se logró a partir del conocimiento de la importancia de los recursos naturales, el papel que juega la diversidad de los ecosistemas sanos y equilibrados, además se fomentó la actitud sustentable en cada una de las actividades.

RESULTADOS

Se logró obtener un mapa, el cual representa los sitios reforestados en la Cuenca del Valle de Jovel, este mapa fue elaborado con el software Arc gis 10.1®. Además se obtuvo el punto de georeferenciación de cada una de las comunidades reforestadas. La Figura 1 muestra la cantidad de plantas solicitadas en los parajes.

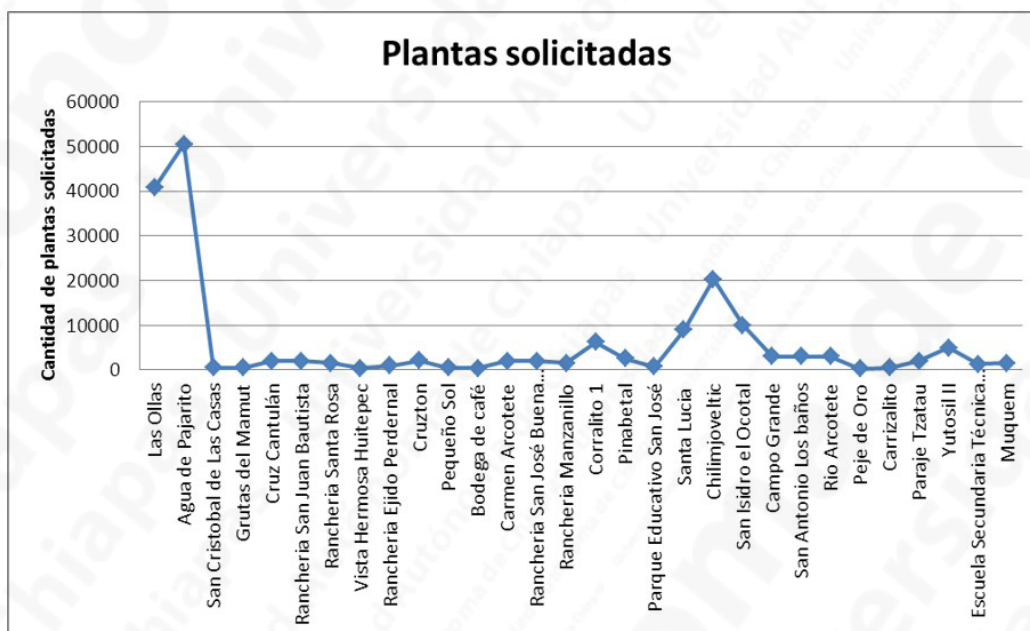


Figura 1. Cantidad de plantas solicitadas y donadas para la reforestación en Valle de Jovel, Chiapas

Después de analizar la demanda de las especies de interés para cada una de las comunidades participantes, la Comisión Nacional Forestal donó el 91% de las plantas empleadas para esta actividad, Pronatura Sur A.C donó el 3% y un participante voluntario, Sr. Alejandro Ruíz, el 6% del total empleado para la reforestación de la Cuenca del Valle del Jovel. Entre las especies que se plantaron están: *Quercus rugosa*, *Quercus crispipilis*, *Pinus montezumae* y *Cupressus*.

COMENTARIOS FINALES

La restauración no se limita al ámbito científico, y muchos de los resultados actuales se deben a proyectos que, aunque no incluyan la rehabilitación como concepto o parte del título, tienen objetivos afines. Tal es el caso de actividades de reforestación o reintroducción de especies, como lo planteado en este trabajo.

Se considera que el objetivo está parcialmente cumplido, pero se debe continuar trabajando con las comunidades participantes, para que otorguen un manejo sustentable a los recursos naturales que poseen.

Para lograr la restauración de ecosistemas y conseguir la funcionalidad de los sistemas ecológicos, se deben emprender una serie de acciones que coadyuven a este gran objetivo. Es importante que se considere la diversidad cultural que poseen estas comunidades, para poder obtener una mayor sinergia.

LITERATURA

- Berlin B., Breedlove D.E. y Raven P.H. (1974). *Principles of Tzeltal Plant Classification: An Introduction to the Botanical Ethnography of a Mayan-Speaking People of the Highlands of Chiapas*. Academic Press, Nueva York.
- Ixtacuy-López O., Estrada-Lugo E. y Parra-Vázquez M.R. (2006). *Organización social en la apropiación del territorio: Santa Marta Chenalhó, Chiapas*. *Relaciones* 27:183-219.
- Levy-Tacher S.I., Aguirre-Rivera J.R., Martínez-Romero M.M. y Durán-Fernández A. (2002). *Caracterización del uso tradicional de la flora espontánea en la comunidad lacandona de Lacanhá, Chiapas, México*. *Interciencia* 27:512-520.
- Miranda F. (1952). *La Vegetación de Chiapas*. Vol. I. Tuxtla Gutiérrez: Ediciones del Gobierno del Estado.
- Sayer J., Chokkalingam U. y Poulsen J. (2004). *The restoration of forest biodiversity and ecological values*. *Forest Ecology and Management* 201:3-11.
- Villafuerte-Solís D. (2004). *La Frontera Sur de México: del TLC México-Centroamérica al Plan Puebla - Panamá*. Plaza y Valdés, Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

SUSTRATOS ALTERNATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS FORESTALES DE INTERÉS COMERCIAL

Jorge Reyes Reyes, Dorian de Jesús Pimienta de la Torre,
Romeo de Jesús Barrios Calderón y Saúl Posada Cruz

RESUMEN

Los subproductos de la industria maderera (aserrín) y agroindustriales (bagazo de caña de azúcar) como sustratos alternativos para producir plantas en vivero, son cada vez más utilizados. En este trabajo se evaluaron las principales características morfológicas de las plántulas de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y Guachipilín (*Diphysa robinoides* Benth). La producción de Melina se realizó utilizando tres combinaciones de mezclas de sustratos: T1 60% de Peat moss® más 30% Agrolita más 10% vermiculita, T2 50% Peat moss® más 50% bagazo de caña y T3 50% Peat moss® más 50% aserrín. La producción de plantas de Guachipilín se evaluó en dos factores: Factor A sustrato con tres niveles: 70% aserrín + 30% tierra de monte, 50% aserrín

+ 50% tierra de monte y 100% tierra de monte; y el Factor B compuesto por 1%, 2%, 3% y 4% de dosis del biofertilizante Preterra®. Para ambas especies se evaluaron las variables diámetro, altura, biomasa total. Con estos valores se calculó la relación parte aérea/raíz, el índice de esbeltez, el índice de lignificación y el índice de Calidad de Dickson. Para la producción de plantas de Melina, el tratamiento a base de 60% Peat moss® más 30% de Agrolita más 10% de vermiculita, generó los valores más altos para las variables diámetro (4.40 mm), altura (25.83 cm), biomasa total (4.83 g), índice de esbeltez (6.09), relación parte aérea/raíz (4.25), Índice de lignificación (19.67%) e índice de calidad de Dickson (0.67). Para la producción de plantas de Guachipilín, se encontró que las plántulas que se desarrollaron en el sustrato compuesto de tierra de monte 100% más 4% de dosis del biofertilizante y 100% tierra de monte con 3% de dosis del biofertilizante de manera general, generaron los valores más altos para las variables crecimiento en diámetro, altura, biomasa total, relación parte aérea-raíz, índice de esbeltez, índice de lignificación e índice de calidad de Dickson.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país se deforestan cerca de 400,000 hectáreas anuales (FAO, 2010) y pese a los esfuerzos realizados por revertir ese problema y lograr el equilibrio, se estima que es necesario reforestar una superficie anual equivalente a la que se deforesta, con lo que se lograría recobrar las áreas perdidas y al mismo tiempo se incrementaría el potencial productivo en productos maderables, con los subsecuentes beneficios ambientales colaterales. Por lo anterior, la actividad forestal en México tiene en la actualidad dos retos: 1) Detener el avance de la deforestación de bosques y selvas, y 2) Aumentar la producción de bienes y servicios derivados del bosque.

La reproducción o propagación de especies forestales se realiza cuando el bosque es incapaz de regenerarse por sí solo; también cuando se requiere aumentar la productividad del

mismo, a través del cambio de la especie, o bien, cuando se requiere restaurar áreas erosionadas (Espinoza, 2013). En nuestro país, en los últimos años, los bosques y selvas han sufrido graves procesos en su estructura, como consecuencias de la deforestación provocada principalmente por el cambio de uso del suelo, debido al aumento de superficies para la agricultura y la ganadería. Estos actos son derivados del crecimiento poblacional que lleva consigo a la demanda de bienes y servicios, por lo que ocasiona grandes pérdidas de recursos genéticos forestales. Por lo anterior, es necesario que los programas de reforestación contribuyan a la restauración de la cobertura forestal impactada por las actividades antropogénicas.

Para lograr que los programas de reforestación prosperen, es necesario desarrollar, en forma apropiada, las actividades de la producción de plantas en vivero, con la finalidad que tenga los atributos morfológicos y fisiológicos, que le garanticen la calidad necesaria para su establecimiento y crecimiento adecuado en los sitios de plantación (Prieto et al., 2009). La escases de prácticas adecuadas de producción de plántulas conlleva a bajas tasas de sobrevivencia y crecimiento en campo (Mexal et al., 2002).

La producción de plántulas de calidad, garantizan en cierto grado un mayor éxito; para conseguirlo, resulta prioritario realizar un control adecuado para su producción en el vivero, la utilización de un buen sustrato, así como el uso apropiado de los fertilizantes, vitales para incrementar la calidad de planta (Reyes et al., 2005). Para un buen desarrollo de las plántulas forestales en los viveros, se requieren aplicaciones de fertilizantes líquidos y sólidos de origen químico, cuyos precios son muy elevados e incrementan el costo de producción, además de que causan daño al medio ambiente, por lo que se requiere del uso de la nutrición orgánica.

La especie *Gmelina arborea* Roxb (en nuestro país se le conoce como Melina), pertenece a la familia Verbenacea y es originaria de las regiones tropicales húmedas de Asia (Cruz y de la Garza, 2003); en los últimos años, esta especie ha cobrado gran importancia en nuestro

país para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, debido a la versatilidad de usos que presenta actualmente su madera (Patiño y Marín, 1993), en especial si consideramos su acelerada tasa de crecimiento y productividad (Domínguez, 2014).

En la región del Soconusco, Chiapas, predomina una especie nativa forrajera que en los últimos años ha disminuido sus poblaciones naturales, por lo cual es necesario propagarla. El árbol de Guachipilín (*Diphysa robinoides* Benth) crece a alturas de 6 a 22 m, diámetros entre 30 a 50 cm y es una de las especies nativas de más amplia distribución natural que abarca desde México hasta Panamá. Por lo cual al propagar esta especie se lograría recobrar áreas perdidas, con los subsecuentes beneficios ambientales colaterales (Torres y Magaña, 2001).

En la actualidad, el concepto de calidad de planta se basa principalmente en las características morfológicas y fisiológicas (Prieto *et al.*, 2009), las cuales permiten determinar su condición real, de tal manera, que estos criterios permiten definir las características que tiene la planta, la cual genera una supervivencia y crecimiento inicial adecuado en función de las características del sitio específico donde se vaya a realizar la plantación. Por lo anterior, se realizó el trabajo de investigación con el objetivo de evaluar sustratos alternativos para la producción de plantas de especies forestales de interés comercial.

Producción de plantas de *Gmelina arborea* Roxb.

El trabajo de investigación se realizó en el Vivero Forestal que se ubica en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV de la Universidad Autónoma de Chiapas, el cual se localiza en el municipio de Huehuetán Chiapas, en las coordenadas 94° 30" y 95° 00" de longitud oeste del meridiano de Greenwich y paralelos 15° 00" y 15° 30" de latitud norte. Limita al norte con el municipio de Tuzantán, al sur con el municipio de Mazatán, al este con el municipio de Tapachula y al oeste con el municipio Huixtla; tiene una altitud media de 44 msnm.

Para la producción de las plántulas, se utilizaron semillas de *Gmelina arborea* Roxb., colectadas de árboles de rodales naturales que presentaban una altura promedio de 24 m y un diámetro de altura al pecho (DAP) de 40 cm, en el Ejido Nueva Victoria municipio de Huehuetán, Chiapas. Como tratamiento pregerminativo las semillas fueron sumergidas en agua por 24 horas y posteriormente sembradas directamente en el contenedor, colocando dos semillas por cono.

Mezcla de sustratos y envases

Se utilizaron tres mezclas de sustratos, que se describen en el Cuadro 1. La producción de plantas se realizó en charolas de 24 conos de 150 cm³ con una profundidad de 19.5 cm y un diámetro de 4 cm en la parte superior. Las charolas antes de ser utilizadas fueron desinfectadas con cloro de uso doméstico al 1%.

Se utilizó un diseño completamente al azar en donde se estudiaron tres mezclas de sustratos (Cuadro 1) con ocho repeticiones y 24 plántulas por unidad experimental. En las proporciones de la mezcla de sustrato se consideró obtener una mezcla utilizando la menor cantidad posible de Peat moss®, ya que al ser éste un producto importado, su precio es elevado.

Cuadro 1. Mezcla de sustratos utilizados en la producción de plántulas de *Gmelina arborea* Roxb., en vivero

Número	Mezcla
1	60 % Peat moss® + 30 % Agrolita + 10 % vermiculita
2	50 % Peat moss® + 50 % bagazo de caña
3	50 % Peat moss® + 50 % aserrín

Producción de plantas de Guachipilín (*Diphysa robinoides* Benth)

El experimento se desarrolló en el Rancho “Dos Hermanos” de Cantón el Escobo, municipio de Villa Comaltitlán, Chiapas; poblado que se localiza entre los paralelos 15° 07' 50.38" de

latitud norte y $92^{\circ} 40' 08.68''$ de longitud oeste con 13 metros sobre el nivel del mar. El clima de esta región es del tipo Am (f), cálido húmedo con lluvias abundantes en verano, la precipitación media va desde los 1,700 hasta más de 3,000 mm.

Para desarrollar el experimento se utilizó un arreglo bifactorial, distribuido en un diseño completamente al azar (DCA). Se estudiaron dos factores: el Factor A fue el sustrato, con tres niveles: el primero 70% aserrín + 30% tierra de monte, el segundo 50% aserrín + 50% tierra de monte y el tercero 100% tierra de monte. El Factor B estuvo compuesto por cuatro niveles de nutrición orgánica; 1%, 2%, 3% y 4% (Cuadro 2).

Para la nutrición orgánica se utilizó el biofertilizante Preterra®, el cual se adquirió en una casa comercial. Se estudiaron 12 tratamientos con cinco repeticiones y 10 plántulas por unidad experimental de las cuales se tomaron doce para realizar las respectivas mediciones (Cuadro 2). Se utilizó el sistema de producción tradicional.

Cuadro 2. Diseño de los tratamientos de acuerdo al diseño bifactorial para evaluar el crecimiento inicial de plántulas de Guachipilín (*Dphysa Robinoides* Benth)

Factor A	Factor B	Descripción de los tratamientos	Tratamientos
	B ₀	70% aserrín más 30% tierra de monte más 1% de nutrición orgánica	T ₁
	B ₁	70% aserrín más 30% tierra de monte más 2% de nutrición orgánica	T ₂
A ₀	B ₂	70% aserrín más 30% tierra de monte más 3% de nutrición orgánica	T ₃
	B ₃	70% aserrín más 30% tierra de monte más 4% de nutrición orgánica	T ₄
	B ₀	50% aserrín más 50% tierra de monte más 1% de nutrición orgánica	T ₅
	B ₁	50% aserrín más 50% tierra de monte más 2% de nutrición orgánica	T ₆
A ₁	B ₂	50% aserrín más 50% tierra de monte más 3% de nutrición orgánica	T ₇

Factor A	Factor B	Descripción de los tratamientos	Tratamientos
	B ₃	50% aserrín más 50% tierra de monte más 4% de nutrición orgánica	T ₈
	B ₀	100% tierra de monte más 1% de nutrición orgánica	T ₉
	B ₁	100% tierra de monte más 2% de nutrición orgánica	T ₁₀
A ₂	B ₂	100% tierra de monte más 3% de nutrición orgánica	T ₁₁
	B ₃	100% tierra de monte más 4% de nutrición orgánica	T ₁₂
Testigo		100% tierra de monte sin nutrición	T ₁₃

Variables evaluadas

El **diámetro del tallo** se midió con un vernier digital en la base de la planta. Las mediciones se realizaron cada 15 días a partir de la aplicación de las dosis de nutrición.

La **altura total** se midió con una regla graduada en centímetros, desde la base del tallo de la plántula hasta la yema apical. Las mediciones se realizaron cada 15 días a partir de la aplicación respectiva de las dosis de nutrición.

La **biomasa total** se determinó al final del experimento en donde se tomaron dos plantas por cada tratamiento por repetición, a cada una se le cortó la parte aérea y la radical, a esta última se le retiró el sustrato adherido y se lavó de manera cuidadosa; después se pesó en una báscula analítica para saber el peso húmedo correspondiente; posteriormente, se depositó en bolsas de papel con su respectiva identificación y se colocó en estufa a una temperatura de 75°C por 72 horas hasta que se obtuvo el peso seco constante. Después se pesó en una báscula analítica para obtener el peso seco, se realizó la resta del peso húmedo menos peso seco y así se obtuvo la biomasa en base seca.

La **relación parte aérea/raíz** se estimó como el cociente entre el peso seco aéreo (g) y el peso seco radical (g).

$$\text{Relación Parte aérea/raíz} = \frac{\text{Peso seco aéreo en (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}} \quad (1)$$

El índice de esbeltez se calculó mediante el cociente de la altura entre el diámetro del tallo. Este índice es otra forma de referirse al cociente de robustez, llamado así porque a menores valores del índice son más robustas ((Thompson, 1985).

$$\text{Índice de esbeltez} = \frac{\text{altura en (cm)}}{\text{diámetro en (cm)}} \quad (2)$$

El índice de lignificación consistió en determinar el porcentaje de peso seco, con relación al contenido de agua en las plantas, lo cual expresa el pre-acondicionamiento de las plantas (Prieto, 2004).

$$\text{Índice de lignificación} = \frac{\text{Peso total seco en (g)}}{\text{Peso total húmedo en (g)}} \times 100 \quad (3)$$

El índice de calidad de Dickson (*ICD*) resultó de integrar los valores de biomasa total, el índice de esbeltez y la relación parte área/raíz, donde los valores del índice indican si las plantas son de mejor calidad (Dickson *et al.*, 1960).

$$\text{ICD} = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (cm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}} \quad (4)$$

Los resultados de ambas investigaciones se analizaron mediante el programa estadístico SAS® versión 9.0, con base al diseño propuesto en el estudio siendo éste un arreglo bifactorial mixto, distribuido en un diseño completamente al azar (DCA); posteriormente, se realizaron comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de plantas de *Gmelina arborea* Roxb

En el Cuadro 3, se pueden observar los resultados del análisis de varianza, en donde el tratamiento base de 60% Peat moss® más 30% de Agrolita más 10% de vermiculita, generó los valores mayores para las variables diámetro (4.40 mm), altura (25.83 cm), biomasa total (4.83 g), índice de esbeltez (6.09), relación parte área/raíz (4.25), Índice de lignificación (19.67%) e índice de calidad de Dickson (0.67).

Cuadro 3. Efecto de la mezcla de sustratos en las variables Diámetro (DIAM), altura (ALT), Biomasa total (BIOT), relación parte aérea/raíz (RPA/R), índice de esbeltez (IESB), índice de lignificación (IL) e índice de calidad de Dickson (ICD)

Mezcla †	DIAM (mm)	ALT (cm)	BIOT (g)	RPA/R	IESB	IL	ICD
1	4.4088 a	25.838 a	4.8375 a	1.559 a	6.0925 a	19.673 a	0.6788 a
2	3.1025 b	17.063 b	3.3500 b	1.653 a	5.9200 a	17.895 a	0.4538 ab
3	2.7750 b	16.288 b	2.0838 c	4.251 a	5.7288 a	17.496 a	0.2688 b

† Valores promedio en una misma columna seguida de la misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí ($p < 0.05$).

Plantas con diámetro mayor a 5 mm soportan mejor los daños causados por animales e insectos y están mejor aisladas del calor en comparación con las de diámetro menor (Johnson y Cline, 1991), son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva, aunque esto varía de acuerdo con la especie (Mexal y Landís, 1990) y es un indicador

de calidad de la planta (Rodríguez, 2008). Las mejores plantas producidas en este experimento presentaron un diámetro promedio de 4.40 mm, por lo que según Prieto y Sáenz (2011) nos permiten decir que las plántulas de la especie Melina se consideran de alta calidad considerando su diámetro.

Las mejores plantas producidas en este experimento presentaron un promedio de 25.83 cm de altura, por lo que según los valores determinados para calificar la calidad de planta con crecimiento normal de especies forestales elaborado por Prieto y Sáenz (2011), nos permiten decir que las plantas de Melina, presentan calidad alta, aunque este indicador por si solo es un valor limitado, pero combinado con otras variables como el diámetro, influye de manera importante; para establecer la altura adecuada de la planta es necesario analizar las condiciones de calidad del sitio de plantación (Birchler *et al.*, 1998), aunque ésta puede ser fácilmente manejable en el vivero con prácticas como la fertilización, la disponibilidad de luz y la densidad (Cuevas, 1995).

Con relación a la producción de la biomasa total, la producción de plantas se consideró de alta calidad, Vera (1995) y Prieto *et al.*, (2003), señalan que la biomasa de las plantas, tiene una gran correlación con la supervivencia en campo, y sugieren que para una mayor consistencia en los resultados se deben de emplear los valores del peso seco, debido a que el peso en húmedo presentan mayor variabilidad en los tejidos dentro de una misma especie, lo cual se corroboró en el presente trabajo. El peso seco también es un indicador efectivo cuando se relaciona la parte aérea con el sistema radicular (Prieto *et al.*, 2003).

Prieto y Sáenz (2011), indican que una buena relación debe fluctuar entre 1.5 y 2.5, relaciones mayores a 2.5 indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente para proveer de energía a la parte aérea de la planta. Bajo estos criterios, la calidad de planta producida en nuestro experimento, utilizando la mezcla base de Peat moss®, presentan el promedio más bajo de 1.5, por lo cual es considerada de alta calidad, lo que significa que esta

planta puede ser establecida en campo, aunque los suelos presenten poca humedad; sin embargo, las que tengan una relación mayor de 2.5 deberían establecerse preferentemente en sitios que tengan condiciones ambientales favorables o donde exista la posibilidad de aplicar riegos durante la fase de establecimiento (Reyes et al., 2005).

Los valores de índice de esbeltez obtenidos en este trabajo, presentan un promedio de 5.7 mm, por lo que según los valores determinados para calificar la calidad de planta de especies forestales elaborado por Prieto y Sáenz (2011) nos permiten decir que las plántulas de Melina, presentan calidad alta en cuanto a este índice.

El valor más alto de índice nos indica que la planta es de mejor calidad. Con los valores obtenidos y de acuerdo a la metodología de Sáenz et al., (2010) las plantas producidas de Melina, presentan valores de calidad media y alta. Las plantas de buena calidad son capaces de sobrevivir y crecer vigorosamente al corto tiempo de establecidas en el terreno, y por el contrario, una planta de mala calidad muestra una respuesta deficiente en crecimiento y disminuye su supervivencia (Rueda et al., 2010).

Producción de plantas de Guachipilín (*Diphysa robinoides* Benth)

En el Cuadro 4 se pueden observar los resultados del análisis de varianza, en donde se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), las plántulas que se desarrollaron en el sustrato compuesto de tierra de monte 100% + 4% de dosis del biofertilizante Preterra® y 100% tierra de monte con 3% de dosis del biofertilizante, de manera general, generaron los valores mayores para las variables crecimiento en diámetro, altura, peso seco de raíz, peso seco de la parte aérea, relación parte aérea-raíz, índice de esbeltez, índice de lignificación e índice de calidad de Dickson.

Cuadro 4. Efecto de la mezcla de sustratos en las variables Diámetro (DIAM) y altura (ALT), relación parte aérea/raíz (RPA/R), índice de esbeltez (IESB), índice de lignificación (IL) e índice de calidad de Dickson (ICD)

Mezcla †	DIAM (mm)	ALT (cm)	RPA/R	IESB	IL	ICD
1	1.74 d	11.19 d	2.03 d	6.41 bc	42.85 ab	0.01 e
2	1.63 d	10.73 d	2.56 bcd	6.46 bc	40.52 ab	0.02 de
3	1.85 cd	11.59 d	2.37 cd	6.14 c	36.55 b	0.02 de
4	1.85 cd	15.29 cd	3.34 abcd	8.60 abc	42.80 ab	0.02 de
5	2.65 bc	22.34 bc	3.40 abcd	8.84 ab	43.19 ab	0.05 de
6	2.88 bc	25.68 b	3.31 abcd	9.08 a	40.50 ab	0.06 cde
7	2.87 b	25.48 b	3.10 abcd	9.12 a	48.87 a	0.07 cd
8	2.69 bc	22.04 cd	3.52 abc	8.39 abc	36.14 b	0.05 de
9	4.52 a	37.33 a	3.10 abcd	8.32 abc	39.97 ab	0.19 a
10	4.00 a	38.50 a	3.35 abcd	9.69 a	38.50 ab	0.14 ab
11	4.66 a	39.92 a	3.61 abc	8.64 abc	36.65 b	0.15 ab
12	4.37 a	41.42 a	3.80 ab	9.56 a	37.83 b	0.15 ab
13	3.97 a	37.75 a	4.07 a	9.65 a	34.03 b	0.12 b

† Valores promedio en una misma columna seguida de la misma letra no son estadísticamente diferentes entre si ($p < 0.05$).

De los resultados obtenidos es importante destacar que las plantas con diámetros mayores a 5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran los daños por plagas y fauna nociva (herbivoría), indicador que puede variar de acuerdo con la especie (Mexal y Landis, 1990); no obstante, la supervivencia de las mismas en campo es influenciado por el ambiente, tal como puntualiza Rodríguez, (2008). Por lo anterior, las plantas de Guachipilín producidas en este experimento cumplen con las medidas mínimas del diámetro para ser consideradas como plantas de calidad y llevadas al sitio definitivo de la plantación; así, para definir el diámetro “ideal” de cada especie, deben considerarse sus características morfológicas de crecimiento.

Cabe hacer mención que aunque la altura de la planta se utiliza para su calificación, diversos estudios indican que la altura inicial no se correlaciona con la supervivencia; es decir, por si sola es de valor limitado, pero combinada con otras variables como el diámetro, influye de manera importante (Prieto y Sáenz, 2011). Rodríguez (2008), menciona que una plántula muy alta representa mayor dificultad para ser plantada y más susceptible de sufrir daños mecánicos, pero también menciona que una muy pequeña es más susceptible de ser afectada por el pisoteo, competencia y otros factores; para evitar lo antes mencionado, es preferible que la planta seleccionada en vivero tenga una altura que le permita competir y desarrollarse en campo (Prieto *et al.* 2003). Para establecer la altura adecuada, es necesario analizar las condiciones del sitio de la plantación.

El tratamiento donde se utilizó el sustrato de 70% aserrín más 30% tierra de monte más 1% de nutrición orgánica, presentaron los valores menores de la relación parte aérea/raíz. De forma general la producción de biomasa producida por la parte aérea supera a la producción por la parte radical; se considera que en sitios con precipitación escasa, dicha relación no debe ser mayor a 2.5 (Prieto *et al.*, 2003). Santiago *et al.* (2007), recomienda que mientras menor valor se obtenga en las relaciones altura/diámetro para especies tropicales, existirá mayor vigor en la planta; aquellas con una relación mayor de 2.5 deberían establecerse preferentemente en sitios que tengan condiciones ambientales favorables o donde exista la posibilidad de aplicar riego durante la fase de establecimiento, lo que sería ideal para las plántulas producidas en este experimento, ya que en la región, en temporada de lluvias es cuando se realiza, por lo general, el establecimiento de la plantación en el campo.

El tratamiento donde se utilizó como sustrato 100% tierra de monte más 1% de nutrición orgánica, presentaron los valores más altos del índice de calidad de Dickson con un promedio de 0.19; el mayor índice indica que la planta es de mejor calidad. Con los resultados obtenidos en este trabajo, consideramos que las plantas cumplen con los estándares de calidad para

ser plantadas en campo y, de acuerdo a Birchler et.al (1998), ser evaluadas durante al menos cinco años; la medición del primer año da una idea de la supervivencia y el crecimiento inicial; el segundo año permite conocer la necesidad de reponer las plántulas que de una manera no lograron sobrevivir; si todo ha ido bien, la medición del quinto año da una información excelente de cómo la nueva masa se está desarrollando.

CONCLUSIONES

En la mayoría de los viveros forestales del país, que producen en contenedores, se ha utilizado como sustrato la mezcla de turba de musgo, perlita y vermiculita (conocida como mezcla base), que permite producir plántulas de buena calidad; sin embargo, este sustrato tiene algunas desventajas como un alto costo y la presencia de algunas plagas y enfermedades, por lo cual se recomienda seguir analizando y comparando mezclas de sustratos alternativos que disminuyan el costo de producción de plantas de calidad y que permita a los pequeños productores establecer su vivero comunitario.

El sustrato compuesto de tierra de monte mezclado con aserrín es una mezcla que se puede utilizar satisfactoriamente como medio de crecimiento en la producción de especies forestales tropicales sin efectos tóxicos, de fácil manejo y barato, por lo que su utilización representa un material alternativo para el viverista forestal utilizando el sistema de producción tradicional.

LITERATURA CITADA

- Birchler, T., R. W. Rose., A. Royo y M. Pardos. (1998). *La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica*. Oregon State University, Oregon. USA y Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado el 9 de junio de 2005, de: <http://www.inia.es/gcontrec/pub/11>.
- Cruz, F. M y J. A. de la Garza N. (2003). *La Melina, Establecimiento y Aprovechamiento en la Huasteca Potosina*. San Luis Potosí: México. INIFAP-CIRNE, Campo Experimental Huichihuayán. Folleto para productores Núm. 5.

- Cuevas R., R. (1995). *Viveros Forestales. Calidad de planta*. México: Distrito Federal. CENID-COMEF. INIFAP. Pub. Esp. Núm. 3.
- Dickson, A., L. Leaf A. and F. Hosner J. (1960). *Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries*. For. Chron., 1(36), 10-13.
- Domínguez, G. J. (2014). *Crecimiento inicial de Gmelina arborea Roxb., en una plantación forestal comercial, Tapachula, Chiapas*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas. Huehuetán, Chiapas, México.
- Espinoza R., A. (2013). *Análisis del desarrollo en plántulas de Primavera (Roseodendron donell-smithii Rose), Roble (Tabebuia rosea Bertol) y Tamehue (Tabebuia chrysantha Jacq.)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, Universidad Autónoma de Chiapas. Huehuetán, Chiapas, México.
- FAO. (2010). *Global Forest Resources Assessment 2000*. Main Report. Forestry paper. Recuperado el 24 de agosto de 2011, de: <http://www.fao.org/forestry/fo/fra/main/index.jsp>.
- Johnson, J. D. and M. L. Cline. (1991). *Seedling quality of southern pines*. In: Duryea M. L. and P. M. Dourherty (eds.). *Forest Regeneration Manual*. (pp: 159-175) Kluwer: Academic Publishers.
- Mexal, J. G. and T. D. Landis. (1990). *Target seedling concepts: Height and diameter*. In Rose R., S. J. Campbell and T. D. Landis (eds) *Target seedling symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations*. GTR RM-200. (pp: 17-36). Oregon: USA: USDA Forest Service.
- Mexal J. G., R Rangel y N. C. P. Lezama. (2002). *Los hogos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas*. *Interciencia*. 36 (8), 564-569.
- Patiño, V. F. y Marín, C. H. J. (1993). *Viveros Forestales: Planeación, establecimiento y producción de planta*. Mérida: Yucatán, México. INIFAP-SARH, CIR- SURESTE, Serie Libro Técnico.
- Prieto R. J. A. (2004). *Factores que influyen en la producción de planta de Pinus spp. en vivero y en su establecimiento en campo*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L.
- Prieto, J. y J. T. Sáenz Reyes. (2011). *Indicadores de calidad de planta en viveros forestales de la sierra madre occidental*. Durango: Durango, México. INIFAP, Campo Experimental Valle del Guadiana, Libro Técnico Núm. 3.
- Prieto R., J. A., G. Vera C., y E. Merlín B. (2003). *Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero*. Durango: Durango, México. INIFAP, Campo Experimental Valle del Guadiana, Libro Técnico Núm. 12.
- Prieto R., J.A., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A., y J. L. Aguilar V. (2009). *Producción de planta del Género Pinus en vivero en clima templado frío*. Durango: Durango, México. INIFAP, Campo Experimental Valle del Guadiana. Publicación Especial Núm. 28.
- Reyes J., A. A., V. M. Cetina A., y J. López U. (2005). *Producción de Plántulas de Pinus pseudostrobus var. Apulcensis en sustratos a base de aserrín*. *Revista Chapingo*. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 11(2), 105-110.
- Rodríguez T., D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. México: D. F. Mundi-Prensa.

- Rueda S., A., J. D. Benavides S., J. A. Prieto R., J. T. Sáenz R., y G. Orozco G. (2010). *Calidad de planta en los viveros forestales de Jalisco y Nayarit*. Guadalajara: Jalisco, México. INIFAP, CIRPAC, Campo experimental Centro Altos de Jalisco, Libro técnico Núm. 2.
- Sáenz R. J. T., Muñoz F. H. J., Villaseñor R. F., S. J. A. y Rueda S. A. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. Uruapan: Michoacán, México. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Uruapan, Folleto Técnico.
- Santiago O., T., V. Sánchez M., R. Monroy C., y G. García S. (2007). *Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor*. Veracruz: México. INIFAP, Campo Experimental El Palmar, Folleto Técnico Núm. 44.
- Thompson, B.E. (1985). *Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking*. Duryea, M. L. (ed.). Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of major test. Oregon State University, Corvallis. (pp: 59-71). Oregon: USA: USDA Forest Service.
- Torres R., J. M., y O. Magaña T. (2001). *Evaluación de plantaciones forestales*. México, D. F. Limusa.
- Vera, C, J. A.G. (1995). *The influence of antidesiccants on field performance and physiology of 2+0 ponderosa pine (Pinus ponderosa Dougl.) seedlings*. Ph.D. Thesis. Oregon State University.

PERCEPCIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO EN PRODUCTORES DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL MUNICIPIO DE PIJIJAPAN, CHIAPAS

Orquidia Guadalupe Rodríguez Moreno y Andrea Venegas Sandoval

RESUMEN

Para realizar un manejo sostenible del suelo es necesario tener una concepción sólida de las características y la calidad de este componente de la naturaleza. Los productores agrícolas y ganaderos, tienen conocimiento empírico sobre las particularidades y condiciones del suelo. La pregunta de investigación del presente proyecto es ¿Cuál es la percepción que tienen los productores de sistemas silvopastoriles sobre diferentes tipos de calidad de suelo?; para responderla se elaboró una entrevista semiestructurada con preguntas diseñadas para identificar el conocimiento que tienen los productores sobre el suelo, ésta fue aplicada a 14 productores silvopastoriles y siete tradicionales. Además, se calculó el Índice de calidad de suelo en 39 parcelas. Se utilizó una metodología en campo consistente en determinar las siguientes

características: color, permeabilidad, consistencia, compactación, materia orgánica y grado de erosión hídrica. En las parcelas evaluadas se lleva a cabo un manejo propio del sistema silvo-pastoril y se localizan en la parte alta, media y baja de la cuenca Coapa, en Pijijiapan. Se obtuvo como resultado que 26 de 39 parcelas cuentan con un índice de calidad de suelo bueno y el resto moderado, y en cuanto a la percepciones por parte de los productores se detectó que la mayoría de ellos están conscientes de la importancia del suelo así como de las medidas que pueden realizar para conservar y restaurar, afirmando en su totalidad que las prácticas silvo-pastoriles han sido de gran beneficio, ya que se propicia el aumento de materia orgánica al haber más vegetación, la compactación se disminuye sustancialmente al reducir las áreas de ganadería y la erosión es menor, al mantener áreas destinadas totalmente a la conservación.

INTRODUCCIÓN

En el 2002 el 44.9% del suelo del territorio nacional mostraba señales de presentar algún proceso de degradación, ocupando el primer lugar la química con 34.04 millones de hectáreas, las cuales corresponden al 17.8% del suelo del país, esto trae como consecuencia una disminución de la fertilidad (SEMARNAT, 2014). En Chiapas, en el año 2002 se reportaron un total de 2.39 millones de hectáreas que presentan degradación química (SEMARNAT, 2014); lo cual es causado principalmente por el mal manejo del cual son víctimas los suelos, lo que ocasiona el detrimento de la calidad, la cual abarca componentes físicos, químicos-biológicos y sus interacciones, aspecto que debe ser considerado en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas productivos (García, 2012; USDA, 1999).

Ante este escenario que se presenta en el país y en el estado, es importante conocer como se encuentra la percepción sobre el suelo por parte de los productores que implementan prácticas ganaderas amigables con el ambiente, como los sistemas silvopastoriles. Así

mismo, resulta relevante identificar cuáles son los criterios utilizados por los productores, para determinar la calidad del suelo, por lo que el presente estudio busca presentar una recopilación sistemática de los conocimientos empíricos de productores silvopastoriles sobre el suelo y su calidad, y contrastarlos con la percepción que poseen los productores que practican la ganadería tradicional. Con lo anterior, se pretende aportar información sobre la relación existente entre el manejo del suelo y la apreciación que tienen los productores silvopastoriles; se ha documentado que el manejo del ambiente está relacionado directamente con la percepción de las personas que habitan en él (Gerritsen, 2010), resultando necesario conocer cómo el campesino percibe el suelo y qué factores influyen en su manejo para entender mejor el rol que tienen en el sistema que permite mantener la calidad del suelo (Mowo *et al.*, 2006).

Diversos estudios han reportado que los campesinos cuentan con amplio y complejo conocimiento en relación a la calidad, clasificación y características de las tierras, el cual es útil y se debe entablar un diálogo de saberes entre el conocimiento tradicional y científico para la búsqueda de un manejo del suelo más sustentable (Maldonado *et al.*, 2014; Rushemuka *et al.*, 2014; Rodríguez & Ramos, 2010; Trolle *et al.*, 2002; Ortiz y Gutiérrez, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolla en la parte media, alta y baja de la cuenca Coapa del Municipio de Pijijiapan, Chiapas, se trabajó con productores silvopastoriles de las localidades de Nueva Flor, Paraíso, Coapa Echegaray (Figura 1) y con productores de diferentes comunidades, que practican la ganadería tradicional.

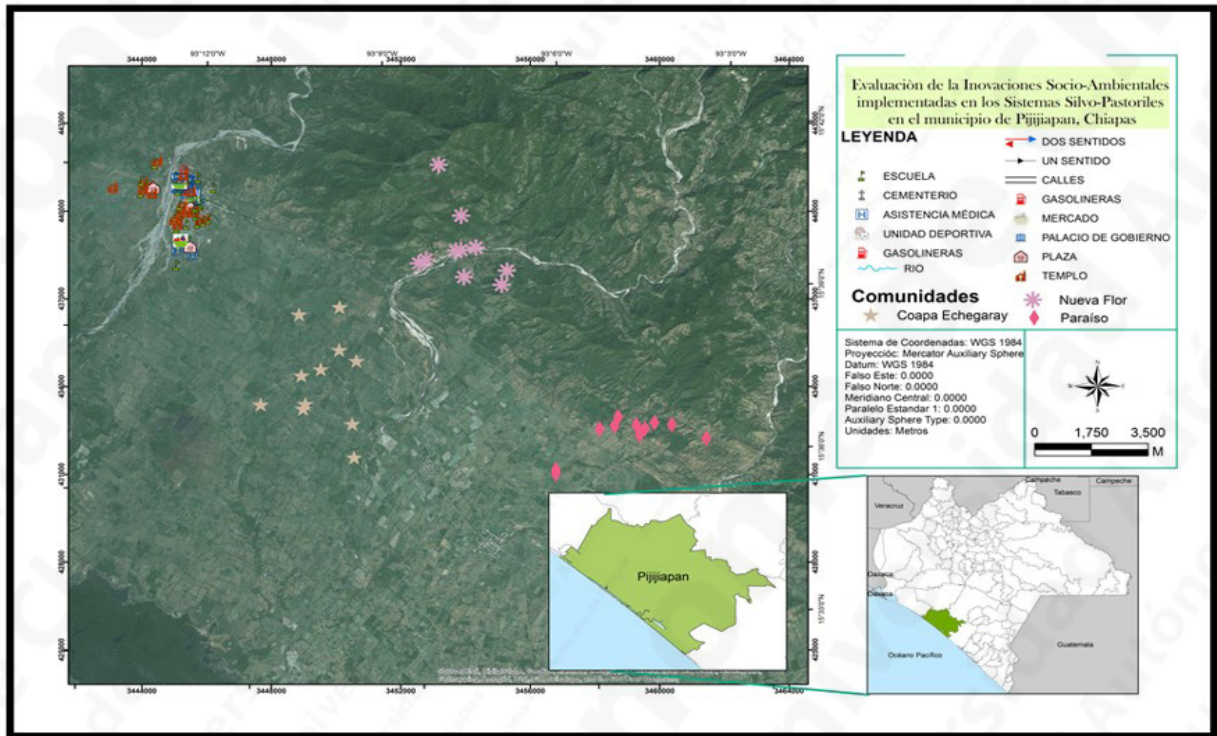


Figura 1. Puntos de muestreo de suelo realizado en los grupos de trabajo

Los productores silvopastoriles son aquellos que llevan a cabo prácticas como cercos vivos, bancos de proteína, árboles dispersos en el terreno, manejo de acahuales y rotación del ganado, en contraste con productores que trabajan con la ganadería tradicional extensiva, donde el ganado se alimenta de los pastos naturales o inducidos en una amplia extensión de terreno.

La percepción de calidad de suelo en catorce productores silvopastoriles y siete ganaderos tradicionales se determinó mediante la aplicación de una entrevista semiestructurada; todos contestaron en su totalidad las preguntas mostradas en la Figura 2; cabe señalar que también se realizó observación participante, asistiendo a diferentes reuniones de los diferentes grupos de trabajo.

**PREGUNTAS CONSIDERADAS DENTRO DE LA ENTREVISTA
SEMIESTRUCTURADA APLICADA**

- ¿Qué elementos de la ganadería que usted maneja (tradicional extensiva o intensiva) considera que son los más importantes?
- ¿Identifica diferentes tipos de suelo o tierra en su terreno?
- ¿Qué nombres utiliza para denominar el suelo?
- ¿Qué tan importante considera usted el suelo?
- ¿Considera que las prácticas silvopastoriles ayudan a la regeneración o conservación del suelo?
- ¿Lleva acabo prácticas de conservación o restauración de suelo?

- De acuerdo a su opinión e importancia para usted, enumere del 1 al 3 los siguientes componentes dentro de su terreno:
ganado: _____, vegetación: _____, suelo: _____
- ¿Cuáles son las funciones del suelo?

Figura 2. Preguntas de la entrevista semiestructurada

Para establecer el estado del suelo se obtuvo el Índice de Calidad de Suelo (ICS) de 39 parcelas de productores silvopastoriles distribuido en tres comunidades diferentes como se observa en la Figura 1. El análisis se fundamentó en el Manual de Juárez *et al.* (2013), "Técnicas de Monitoreo y Evaluación de servicios Ecosistémicos para la zona Sierra-Costa de Chiapas, México". Los indicadores que se tomaron en cuenta en la evaluación fueron la textura del suelo, estructura, porosidad, compactación, color, materia orgánica, número y color de moteados erosión hídrica del suelo.

RESULTADOS

El cómo definen y conciben al suelo los productores está íntimamente relacionado con el hecho de que dependen de él en gran medida. En términos generales los productores silvopastoriles

y los que practican la ganadería tradicional, concuerdan al definir suelo como fuente y medio que les permite abastecer sus necesidades mediante la producción ya sea de algún cultivo o el forraje para mantener sus animales, considerándolo un elemento esencial para su supervivencia.

Se observó también afinidad entre los dos tipos de productores estudiados (silvopastoriles y tradicionales) al preguntar sobre la función del suelo, en donde mencionaron que es servir de base y proveer el soporte de las diferentes actividades productivas que llevan a cabo; así mismo, comentaron que es parte de diferentes ciclos y cumple cierto papel en cada uno de ellos. Lo cual demuestra que se posee conocimiento empírico de las interrelaciones que hay en el sistema productivo.

Los productores que implementan los sistemas silvopastoriles en su terreno, afirman que las prácticas que conlleva el silvopastoreo ayudan en la regeneración y conservación del suelo, observando beneficios al dar un mejor manejo a sus tierras. Dentro de los beneficios que observan está que el suelo sufre menos compactación, mantiene mayor humedad, lo que se ve reflejado en mayor presencia de vegetación y forraje en temporada de estiaje, así como en la producción de leche y carne en el ganado, lo que se deriva en impactos positivos en la economía del productor.

En relación a la importancia del suelo en el sistema productivo, al preguntarles a los productores silvopastoriles sobre los tres elementos que consideran más importantes del sistema silvopastoril, de la lista de 17 diferentes elementos, el más mencionado es árboles forrajeros y en segundo lugar ganado. En cuanto a los ganaderos tradicionales mencionaron 12 diferentes elementos, siendo pasto el componente más nombrado, y en segundo lugar el ganado. Cabe señalar que solo un productor que practica los sistemas silvopastoriles, mencionó al suelo como uno de los elementos más importantes de su sistema productivo.

Al analizar como ordenan los componentes: suelo, vegetación y ganado, de acuerdo al grado de importancia para los productores se obtuvo lo siguiente:

- El 86% de los productores silvopastoriles señalaron al suelo como el elemento en el primer lugar de importancia.
- El 67% de los productores que practican ganadería tradicional mencionaron al suelo como elemento en el primer lugar.
- En la definición de calidad del suelo, se logró identificar tres grupos de características que los productores silvopastoriles utilizan para identificar una “buena tierra” las cuales se muestran en el Cuadro I.

Cuadro I. Características que los productores silvopastoriles utilizan para identificar una “buena tierra”

Grupos de características	Definición de características	Número de veces mencionada como características de buena tierra
Características físicas observables	De color negro	6
	Humedad adecuada	4
	Rastros de lombrices	1
	Contenido abundante de humus	1
Productividad	Que sea fértil	3
	Que todo germine	1
	Producción a lo largo del año	3
En función de su capacidad de soporte de diversidad	Presenta pasto y diferentes tipos de árboles (maderables y forrajeros)	1

Nota: Las respuestas corresponden a las dadas por los 14 productores silvopastoriles entrevistados; cinco de ellos mencionaron más de una característica para definir una buena calidad de suelo.

Los nombres que utilizan los productores tanto silvopastoriles como tradicionales para denominar el suelo se observan en el Cuadro 2; destacando principalmente seis, siendo “tierra negra” el más mencionado.

Cuadro 2. Nombre locales que utilizan los productores para denominar el suelo

Nombres del suelo	Definición
<i>Yucuela</i>	Suelo poco compacto (suelta), húmeda y suave, fértil
<i>Salitre</i>	Suelo poco fértil con altos índices de sodio
<i>Arcilloso , Barrial o Barro</i>	Suelo poco fértil, compacto, poco filtrante
<i>Arenoso, Arenilla</i>	Suelo infértil, no utilizado para siembras
<i>Pedregoso</i>	Suelo poco fértil, con presencia de material rocoso
<i>Tierra Negra</i>	Suelo fértil, rico en materia orgánica, húmeda y no compacta

Al preguntarles sobre los problemas relacionados al suelo que presentan sus parcelas, cinco de los 14 productores silvopastoriles entrevistados mencionan que no presentan ninguno, los nueve restantes señalan los siguientes problemas: erosión, deslizamientos, falta de fertilidad, falta de humedad adecuada y plagas; siendo el más mencionado la erosión. Sin embargo, al preguntarles sobre qué opinan de la calidad de su tierra, seis productores silvopastoriles mencionan que su tierra es buena y siete señalan que es regular, que hay zonas que presentan mayores aptitudes que otras. El 100% de los productores silvopastoriles lleva a cabo prácticas de restauración de suelos tales como reforestación, barrera vivas o de costales y muros filtrantes.

En el Cuadro 3 se presenta el valor del Índice de calidad del suelo (ICS) por grupo de trabajo, donde se observa que los suelos de los grupos de Nueva Flor, Coapa Echegaray y Paraíso tienen buena calidad, mientras que Unión Pijijiapan presenta una calidad moderada.

La buena calidad de los suelos de las tres comunidades se debe, a que en los puntos de muestreo no se detectó condición de erosión hídrica relevante; por el contrario, en la mayoría de las muestras se observó una buena condición en la materia orgánica, color, textura promedio y bajos índices de compactación.

En tanto que la moderada calidad de los suelos de Unión Pijijapan obedece principalmente a que son pobres en cuanto a textura y materia orgánica, son suelos moderadamente compactos, además presentan erosión hídrica.

Cuadro 3. Valor promedio del ICS (Índice de Calidad de Suelo) de productores que integran los grupos de trabajo estudiados en el municipio de Pijijapan, Chiapas

Grupo de trabajo	Promedio de ICS	Calidad de suelo
Nueva Flor	34.64	buena
Coapa Echegaray	34.00	buena
Paraíso	31.61	buena
Unión Pijijapan	23.40	moderada

Los valores de ICS se basaron en los siguientes rangos: Pobre (< 15), moderada (15-30) y buena (> 30)

DISCUSIÓN

Como mencionan Trolle et al. (2002), las principales características utilizadas por los campesinos para la identificación de los diferentes tipos de suelos son principalmente propiedades físicas: color, textura y pedregosidad; sin embargo, también es importante la fertilidad; lo cual coincide con lo identificado en el presente estudio, ya que los productores señalaron la textura y el color como criterios para denominar los tipos de suelo (Arcilloso, Arenoso, Tierra negra), y utilizan las condiciones de fertilidad para clasificar el suelo en tipos.

La importancia que dan los productores al suelo principalmente como sustento y medio de producción, concuerda con lo analizado por Alcalá y colaboradores (2007) al observar que

la importancia que le dan al suelo como elemento del sistema productivo es alta, muestra de ello es que el 86% de los productores silvopastoriles señalaron al suelo como el elemento en el primer lugar de importancia.

Al relacionar los resultados obtenidos de las entrevistas con los del muestreo y el análisis del ICS, se observa que aunque los productores entrevistados pertenecen a los grupos de trabajo: Nueva Flor, Coapa Echegaray y Paraíso, los cuales durante el muestreo obtuvieron en promedio una condición del suelo bueno, contrarresta a la respuesta de los productores entrevistados quienes la mayoría dicen que la calidad del suelo de su parcela es regular, o que en fragmentos es adecuada y en otros no. Lo cual se puede deber a que los productores tienen un conocimiento más detallado de las características de su parcela, lo que demuestra que es importante considerar los saberes tradicionales para realizar un diagnóstico de las condiciones actuales de los elementos de la naturaleza, como en este caso es el suelo en el sistema productivo. Así mismo, es relevante realizar este tipo de estudios en productores, ya que el conocimiento que tienen sobre el suelo regirá las medidas o acciones que conlleven al fortalecimiento de los diferentes sistemas de producción (Solís et al., 2010). Se comprueba lo que señalan Rodríguez y Ramos (2010), al afirmar que el campesino da mayor relevancia a la capa arable pero también identifica las características presentes en horizontes del suelo más profundos. El campesino monitorea constantemente la naturaleza y el estado de la calidad del suelo a través de una observación continua y por medio de la práctica constante del cultivo de la tierra.

CONSIDERACIONES FINALES

- Mediante este estudio se identificaron los principales atributos que son percibidos para reconocer la calidad del suelo por parte de productores de sistemas silvopastoriles, los cuales son: textura, color y fertilidad.

- Los productores identifican seis diferentes tipos de suelos.
- Los productores silvopastoriles y los productores tradicionales comparten un mismo concepto de lo que es y representa el suelo para ello marcándose la diferencia en el manejo que le dan.
- Los productores silvopastoriles afirman que las prácticas silvopastoriles han sido de gran beneficio, para mantener la calidad del suelo de su parcela.
- Son pocos los estudios realizados sobre la percepción del suelo por parte de productores silvopastoriles, la mayoría de los que han realizados son sobre la percepción del suelo de productores agrícolas.
- Es importante considerar el conocimiento campesino sobre la calidad del suelo al momento de hacer evaluación de tierras, ya que los productores poseen conocimiento empírico detallado de su parcela.

LITERATURA CITADA

- Alcalá J., Soto R., Lebgue T & Sosa M. (2007). *Percepción comunitaria de la flora y fauna urbana en la ciudad de Chihuahua*, México. 3(1) 58-64.
- García, Y.; Ramírez, Wendy; Sánchez, Saray (2012). *Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso*. Pastos y Forrajes, 35 (2) 125-137.
- Gerritsen P. (2010). *Perspectivas campesinas sobre el manejo de los recursos naturales*. México, D.F.: Mundi- Prensa.
- Juárez, Calderón, Espinoza & Rodríguez (2013). *Técnicas de Monitoreo y Evaluación de servicios Ecosistémicos para la Zona Sierra-Costa de Chiapas*, México. ECOSECHAS.
- Maldonado López R. E., Alcalá De Jesús M., González Cortés J. C., Ayala Gómez J. M. (2014). *Caracterización de tierras campesinas en la microcuenca El Calabozo*. Biológicas 6(2): 27 – 30.
- Mowo J, Janssen B, Oenema O, German L, Mtrema J, Shemdoe R. (2006). *Soil fertility evaluation and management by small-holder farmer communities in northern Tanzania*. Agriculture, Ecosystems and Environment 116:47–59.
- Parr, J.F. B. Hornick, and R. I. Papendick. (1992). *Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture*. American J. of Alternative Agriculture, 7:5

- Ortiz Solorio C. A., Gutiérrez Castorena M. C. (1999). *Evaluación taxonómica de sistemas locales de clasificación de tierras*. Terra Latinoamericana, 17 (4): 277-286.
- Rodríguez T. S y Ramos M. M. (2010). *Descripción del suelo: conocimiento campesino contra conocimiento científico*. Temas de Ciencia y Tecnología, septiembre – diciembre.
- Rushemuka, N.P. Bizozab R.A., Mowo J.G., Bock L. (2014). *Farmers' soil knowledge for effective participatory integrated watershed management in Rwanda: Toward soil-specific fertility management and farmers' judgmental fertilizer use*. Agriculture, Ecosystems and Environment 183: 145–159.
- SEMARNAT. (2014). *El Medio Ambiente en México 2013-2014*. Consultado en mayo 2015. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/00_mensajes/03_suelos.html
- Solís J., Ruíz R., Vargas H., Martínez N., (2010). *Clasificación, uso y manejo de tierra en la cuenca alta del Grijalva: una mirada desde el conocimiento local*.
- Trolle A, Rosas A, Martínez H, López M, Pascual F. (2002). *Etnoedafología tradicional: La clasificación de los suelos por los Nahuas y Zoque-popolucas*. Sociedades Rurales, producción y medio ambiente. 3(1):75-84.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica -USDA. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA). Washington.

ZONIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS DE INTERVENCIÓN EN CUENCAS DE LAS REGIONES SIERRA MADRE Y COSTA DE CHIAPAS

Jaime López Martínez, Bernardo Villar Sánchez, Walter López Báez, Robertony Camas Gómez, José Luis Arellano Monterrosas y David Olvera

RESUMEN

El manejo de cuencas permite entender las interacciones que ocurren entre los factores ambientales y sociales que determinan el uso y conservación de los recursos naturales. En Chiapas, la deforestación se ha incrementado debido al cambio de uso del suelo. Las actividades agropecuarias avanzan en territorios de selvas y bosques, deterioran la vegetación e incrementan la erosión. En el marco del proyecto Ecoschas (integración de esfuerzos para la conservación de los servicios ecosistémicos y biodiversidad en subcuencas de Chiapas, México), desarrollado por CI-México e INIFAP, se realizó un estudio con el objetivo de delimitar áreas de restauración y conservación. Se analizaron factores edafoclimáticos, uso del suelo y sobre la

gestión y operación de programas ambientales. El análisis espacial se realizó con SIG/ArcView 3.2 e incluyó información de SEMARNAT, INEGI, ECOSECHAS, CONANP y CONAFOR. Con base en criterios técnicos y ambientales, se parametrizaron las variables de cada factor, asignando valores del 1 a $1+n$ a las de menor a mayor prioridad. Mediante sobreposición de las capas digitales, se generaron áreas homogéneas donde prevalecen condiciones degradadas y entornos sociales adecuados para implementar proyectos de restauración. Las zonas de prioridad alta y media se ubican al oriente y centro del área de estudio (11 subcuencas de la Costa y Sierra). En las subcuencas de los ríos de la Costa se delimitaron zonas con las categorías media y alta de 417,807 y 82,227 ha, respectivamente. De alta prioridad, 32,869 ha se ubican en la subcuenca del río Coapa y 24,296 en la del río Huehuetán.

INTRODUCCIÓN

El manejo de cuencas puede contribuir a mitigar y controlar estos problemas si se parte de un entendimiento realista de las principales interacciones que ocurren entre los factores ambientales y las relaciones sociales que intervienen y determinan el uso y conservación de los recursos naturales. Los alcances del manejo de cuencas han evolucionado desde una orientación relacionada sólo con la captación y manejo del agua, a otros más complejos como los de protección de recursos naturales, mitigación del efecto de fenómenos naturales, control de la erosión y conservación de suelos, recuperación de zonas degradadas, dando paso a los de mejoramiento de la producción. (Dourojeanni *et al.*, 2002, Faustino, 2005).

El presente estudio de regionalización, se realizó con la finalidad de priorizar áreas de restauración y conservación. Se basó en el análisis de factores que son eminentemente ambientales y de otros elementos o parámetros relacionados con la gestión, operación y posibles propuestas de proyectos conservacionistas y de restauración. La idea de regionalizar un

espacio que fuera común y donde pudieran integrarse de forma estandarizada varios factores, surgió bajo la premisa de que es posible y necesario definir un territorio donde sea factible implementar proyectos de restauración con la participación de los diversos actores que intervienen en las subcuencas y áreas naturales. Con este enfoque territorial se definieron zonas homogéneas donde prevalecen, en primera instancia, condiciones ambientales degradadas, así como circunstancias sociales y políticas adecuadas para implementar y fortalecer los proyectos en curso. También aporta elementos que pueden ser de utilidad para gestionar y/o diseñar proyectos de restauración y conservación en el mediano y largo plazos. Así, el objetivo particular de este trabajo fue realizar la zonificación mediante la generación e integración de material cartográfico generando así el análisis de factibilidad geográfica de áreas susceptibles de intervención con proyectos de conservación y restauración.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el procedimiento metodológico se utilizó la información cartográfica digital generada por SEMARNAT (ordenamiento ecológico territorial del estado de Chiapas), del INEGI (elevación digital, población, vías de comunicación, hidrología), de ECOSECHAS (subcuencas, y otra), de la CONANP (áreas naturales protegidas) y de CONAFOR (polígonos prioritarios de programas). Se incorporó información geográfica que consideró el estatus de los proyectos que han gestionado o están operando los Comités de Cuencas (Gerencias), otras instituciones y organizaciones sociales de usuarios; así como las microcuencas donde se ubicarán los módulos piloto con prácticas y acciones de conservación, restauración y producción sustentable. La extensión y la ubicación geográfica fueron parámetros imprescindibles en el análisis espacial y la definición de las zonas consideradas como de mayor prioridad a intervenir; éstas fueron representadas geográficamente a escala 1:50,000 considerando en el análisis todo el espacio de

la Costa y Sierra. Los resultados finales del proceso de zonificación se presentan en el espacio de las Subcuencas y ANP. Una vez que se identificaron las zonas prioritarias en las subcuencas, se abrió una ventana para tener un mejor acercamiento territorial, con el propósito de definir las áreas prioritarias a nivel de microcuenca y poder efectuar un ordenamiento espacial de las prácticas conservacionistas, de revegetación y de aprovechamiento sustentable; en este reporte de avances, el procedimiento se realizó en una microcuenca de la cuenca del río Lagartero.

La definición de los límites del área de estudio, se realizó con base en la similitud espacial que presenta el área de influencia del proyecto ECOSECHAS con la del Corredor Biológico Mesoamericano y específicamente con el área del Corredor biológico de la Sierra Madre del Sur. También se consideraron las zonas de interés de los conectores biológicos verticales y horizontales que existen entre las ANP y el territorio de las subcuencas prioritarias del proyecto ECOSECHAS (Conservación Internacional, 2013)

Se utilizaron bases de datos tabulares, cartográfica y digital de diversas fuentes. Posteriormente se hizo una depuración de la información e hicieron transformaciones con el fin de tener datos estandarizados con un formato adecuado y poder hacer su manejo en un SIG.

En general, las fuentes y tipos de factores considerados se anotan a continuación:

- 1.- Subcuencas ECOSECHAS 2013.
- 2.- Políticas ambientales del Ordenamiento Ecológico del Estado de Chiapas SEMARNAT 2011.
- 3.- Áreas prioritarias susceptibles de apoyo de la CONAFOR 2013.
- 4.- Proyectos aprobados con asignación de recursos por municipio de la CONAFOR 2013.
- 5.- Áreas Naturales Protegidas.
- 6.- Proyectos prioritarios derivados de los talleres de SEYBA.
- 7.- Propuesta de módulos piloto por subcuenca concertados con actores clave.

- 8.- Ecosistemas generados del análisis de imagen satelital Spot color, escala 5x5 del 24 de febrero del 2012).
- 9.- Daños ocasionados por el huracán Bárbara, CONANP 2013.
- 10.- Cuencas intervenidas con el proyecto MAPS, CONAGUA-INIFAP.
- 11.- Información de climas del INEGI.

Para el manejo de la información se utilizó el programa Arc View 3.2[®]. Con base en criterios técnicos y ambientales se realizó la valoración y priorización de las variables de cada factor, las cuales fueron enumeradas del 1 a la *n*; asignando valores de 1 para variables de menor prioridad y *n* para variables de mayor prioridad. La fase de sobreposición (álgebra de mapas) de las coberturas digitales de los factores con sus clases respectivas, se realizaron al menos tres ensayos (procesos de manejo algebraico de coberturas digitales) con la finalidad de ver los productos de la sobreposición de factores y de esta manera mejorar el proceso hasta tener mapas producto más lógicos (Grobet, 2003; Aliaga *et al*, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta el mapa resultante con la delimitación de las áreas por categoría de prioridad. El mapa generado parece ser congruente con la realidad, de acuerdo con la combinación espacial de los factores y las variables analizados. Cabe señalar que los valores originales que resultaron del álgebra de coberturas digitales fueron reclasificados para generar cuatro categorías. Como se observa en la figura, las zonas de prioridad alta y media tienden a ubicarse hacia el oriente y porción centro del área de estudio. En las subcuencas de los ríos Coapa, Huehuetán, Cahoacán y Coatán se ubican zonas de gran extensión con las categorías de alta y media prioridad de restauración.

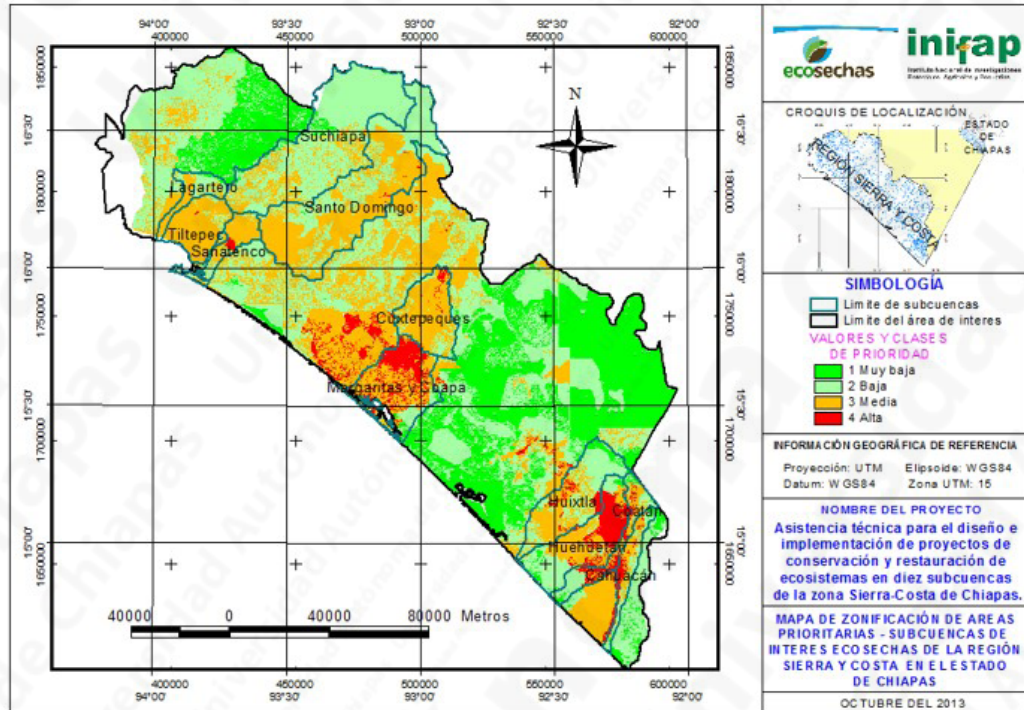


Figura 1. Zonificación de áreas prioritarias en las subcuencas del proyecto Ecosechas

De 883,793 hectáreas que cubren las subcuencas de interés, 23,416 ha resultaron con prioridad muy baja, 360,343 de prioridad baja, 417,807.48 ha de prioridad media y 82,227 corresponden a la categoría de prioridad alta; esta superficie equivale al 9.3 % del territorio total de las 11 subcuencas.

De 82,227 ha con categoría de prioridad alta, 32,869 se encuentran en la Subcuenca Margaritas Coapa, 24,296 ha en la cuenca del río Huehuetán. Superficies de 5,034, 6,296 y 8,617 ha se encuentran en la subcuencas Coatán, Huixtla y Cahoacán, respectivamente. Coberturas menores de 2,626 ha se encuentran en las subcuencas Cuxtepeques, Zanatenco, Santo Domingo y Tiltepec (Cuadro 1).

Cuadro I. Superficie (ha) por prioridad en las Subcuencas de la Sierra y Costa de Chiapas

Subcuenca/prioridad	Muy baja	Baja	Media	Alta
LAGARTERO	923	10,093	12,044	0
SUCHIAPA	6,419	152,027	44,932	0
STO. DOMINGO	166	83,746	12,0745	662
TILTEPEC	0	3,320	42,889	164
ZANATENCO	5	6,367	20,205	1,662
CUXTEPEQUES	257	9,248	48,612	2,626
MARGARITAS COAPA	3,608	9,820	40,709	32,869
HUIXTLA	4,712	36,971	34,033	6,296
HUEHUETÁN	3,625	24,705	30,545	24,296
COATÁN	2,148	1,375	12,235	8,617
CAHOACÁN	1,552	1,029	10,858	5,034
TOTAL	23,416	360,342	417,807	82,227

Tomando en consideración las microcuencas piloto y sus clases de prioridad de restauración, se realizó un proceso de acercamiento territorial en algunas de ellas. La microcuenca Monte Bonito, se ubica dentro de la cuenca del río Lagartero y también abarca la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera “La Sepultura”. La vegetación y el suelo de Monte Bonito fueron afectados de manera severa por el huracán Bárbara; el estudio de evaluación de daños que se realizó a nivel de cuenca señaló que en gran parte de esta microcuenca, la degradación del suelo por erosión hídrica se intensificó por efecto de la pérdida de cobertura arbórea.

La microcuenca Monte Bonito tiene una superficie de 1,342 hectáreas, de las cuales el 89 %, que equivale a 1,196 ha se encuentran en categoría de prioridad media y un 10.85% corresponden a la categoría de prioridad baja (Figura 2 y Cuadro 2).

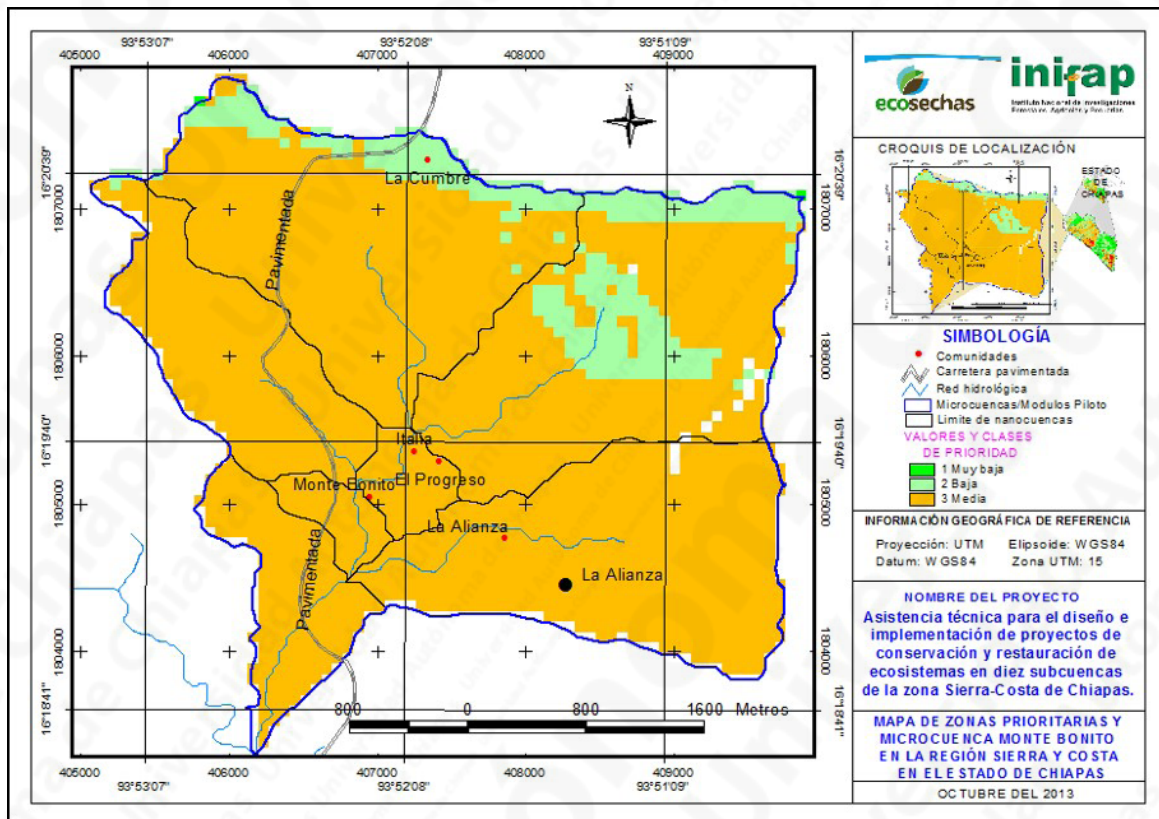


Figura 2. Acercamiento de la microcuenca Monte Bonito

Cuadro 2. Superficie por clase de prioridad en la microcuenca Monte Bonito

CATEGORÍA DE PRIORIDAD	SUPERFICIE (ha)	SUPERFICIE (%)
1 Muy baja	1.02	0.08
2 Baja	145.61	10.85
3 Media	1,195.06	89.07
Superficie total microcuenca Monte Bonito	1,341.69	100.00

En la Figura 3, se observa la ubicación espacial de los tipos de uso del suelo en la micro-cuenca Monte Bonito. Esta cobertura digital es importante pues permitió estimar las superficies de cada ecosistema y cruzarlas con las que se generaron en el proceso de zonificación de áreas prioritarias.

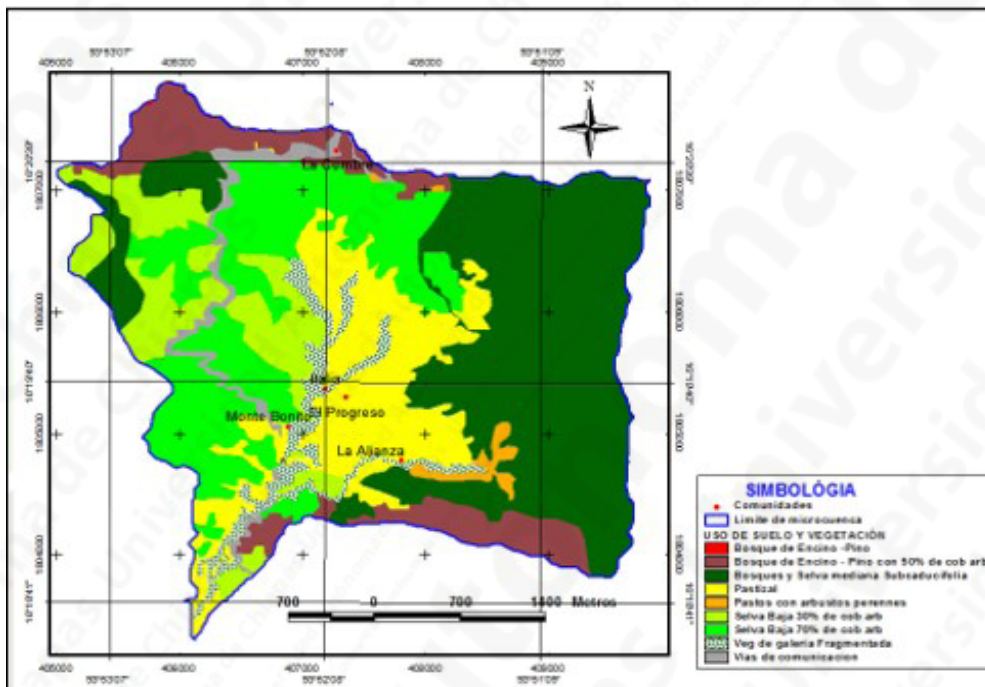


Figura 3. Tipos de uso del suelo en la microcuenca Monte Bonito

En el cuadro 3 se presentan las estrategias y procesos de conservación – producción agrupadas según su prioridad (baja o media), destacando además la superficie de atención en la microcuenca de trabajo.

Si bien en el análisis espacial se manejaron todos los factores y variables, es lógico que los resultados de la priorización pudieran cambiar en función de la inclusión u omisión de un

determinado factor y la ponderación de sus clases. De acuerdo con el conocimiento que se tiene de los factores y de la certidumbre de información de cada uno de ellos, se considera que los resultados generados, con la salvedad del caso, son adecuados al propósito primordial: zonificar las áreas prioritarias factibles de restauración de ecosistemas.

Cuadro 3. Estrategias y procesos de restauración, conservación y producción sostenida en la microcuenca Monte Bonito

Uso de suelo y Vegetación	Superficie por prioridad (ha)		Estrategias y procesos de conservación y producción (ha)							
	Baja	Media	SSP	RESEC	UMAS	SAF	Refores tación	CONSA laderas	CONSA cárcavas	Áreas de exclusión
Bosque Encino-Pino (50% cobertura arbórea)	39	89					89			39
Selva mediana Subcaducifolia	74	405								479
Pastizal	7	204	211					211	211	
Pastos con arbustos perennes		13		13				13	13	
Selva Baja con 30% de cobertura arbórea		136		136			136			
Selva Baja (70% cobertura arbórea)	15	265			15	265				
Vegetación de galería fragmentada		56					56	56	56	
Vías de comunicación	7	29						36	36	
Total	142	1,197								

Nota: SSP: sistemas silvopastoriles; RESEC: restauración ecológica; UMAS: unidades de manejo ambiental; SAF: sistemas agroforestales; CONSA: conservación de suelos

Indudablemente, la información cartográfica focalizó zonas que pudieran servir como base territorial para implementar proyectos o acciones de restauración. Las superficies cuantificadas por prioridad pueden servir para tener un acercamiento territorial y poder establecer metas de proyectos de restauración y conservación, sobre todo a nivel de microcuencas. Con esta información y otros elementos relacionados con los efectos por la intervención de prácticas de conservación, restauración y de producción sustentable, es posible cuantificar *a priori*

metas de valoración de los servicios ecosistémicos que se generen con la implementación de proyectos a nivel de microcuencas y subcuencas.

CONCLUSIONES

El análisis y el manejo geoespacial de los factores y sus variables permitió generar coberturas digitales (mapas) de una primera zonificación de áreas prioritarias factibles de restauración ecológica y de conservación sustentable del suelo.

La información cartográfica focalizó zonas que pudieran servir como base territorial para implementar proyectos o acciones de restauración y conservación. Las superficies cuantificadas por prioridad pueden servir para tener un acercamiento territorial y poder establecer metas de proyectos de restauración y conservación, a nivel de cuenca y microcuenca.

Con la información generada y otros elementos relacionados con los efectos por la intervención de prácticas de conservación, restauración y de producción sustentable, es posible cuantificar a priori metas de valoración de los servicios ecosistémicos que se generen con la implementación de proyectos a nivel de cuencas. Es recomendable hacer una validación de esta información cartográfica con la participación de todos los actores con el propósito de reunir más elementos o evidencias (de campo, de comparación con otros estudios, de experiencias regionales y locales, etc.) que permitan dar certidumbre a los resultados.

LITERATURA CITADA

- Aliaga, C. R., Espinosa, L.E., Jamanpa, Q. M., Blas, S. R., Bazán, T. R., Rodríguez, S. G. y Villagómez, C. V. (2007). *Fundamentos técnicos de zonificación para el cultivo de maca en la Meseta del Bombón Jumín y Pasco*. Documento de Trabajo. PDRG-GTZ. Lima, Perú.
- Dourojeanni, A., Jourravlev, G. Chávez. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile.

- Comisión Nacional del Agua – Universidad Autónoma Chapingo. (2006). *Evaluación de los efectos del cambio de cobertura y uso del suelo en la erosión hídrica y las relaciones precipitación escurrimiento en las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, del estado de Chiapas*. Informe Técnico Final. Chapingo, México: CONAGUA-UACH.
- CONAGUA e INIFAP-Campo Experimental Centro De Chiapas. (2008). *Transferencia de tecnología para la ejecución de prácticas de conservación del suelo y agua en microcuencas de la cuenca media del río Huehuetán, Chiapas*. Informe Final 2008. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.
- Conservación Internacional. (2013). Proyecto de cooperación internacional “Integración de Esfuerzos para la Conservación de los Servicios Ecosistémicos y Biodiversidad a Escala Subcuenca en Chiapas, México” (ECOSECHAS). Componente 2: Restauración y conservación de ecosistemas. Hoja Informativa. Tapachula, Chiapas: CI.
- Faustino, M J. (2005). *Del manejo a la cogestión de cuencas hidrográficas*. Taller Nacional de Cogestión de cuencas hidrográficas. CATIE. Honduras.
- Grobet, G. (2003). *Manual de Métodos de Análisis de Decisión Multicriterio Multiobjetivo para el Ordenamiento Ecológico* (Informe Final). Dirección General de Planeación y política ambiental. SEMARNAT. México
- Instituto de Historia Natural y Ecología, Dirección de Protección Ambiental. Depto de Planeación Ambiental. (2005). *Modelo de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca del Río Lagartero, Arriaga, Chiapas, México*.
- Masera, O.; Aster, M. y López-Ridaura, S. (2000). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales*. El marco de evaluación MES-MIS. GIRA. Instituto de Ecología de la UNAM. Mundi-Prensa. México, D. F. 109 pp.
- SEDESOL. SEMARNAT. SEMAVIHN. (2008). *Reglamento interno del comité para la instrumentación del programa de ordenamiento ecológico del territorio del estado de Chiapas*. Comité del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Chiapas. 15 pp
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT. (2003). *Diario Oficial de la Federación: Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

EVALUACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRADO PARA LA CUENCA VILLAHIDALGO

Bernardo Villar Sánchez, Jaime López Martínez y José Luis Arellano Monterrosas

RESUMEN

Actualmente, en el estado de Chiapas, y en general en la región tropical del país, la riqueza de sus recursos naturales se encuentra amenazada por la degradación, como resultado de las actividades productivas mal planeadas y sin prácticas de conservación. La cuenca Villahidalgo presenta diferentes grados de degradación que tiene efectos en el sitio y fuera del mismo, por lo que el INIFAP, en coordinación con la CONAGUA, iniciaron en el año 2000 el proyecto “Manejo del Agua y Preservación de Suelos” (MAPS) cuyo objetivo fue conservar el suelo y agua bajo el enfoque conservacionista. La metodología usada en el desarrollo del proyecto incluyó las etapas de diagnóstico, planeación, ejecución y evaluación por un periodo de 10 años; en este proceso, se tuvo la participación activa de los productores. Los resultados obtenidos indicaron que a nivel de una microcuenca bajo el sistema tradicional la erosión va en aumento desde $80 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el primer año hasta $170 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a los 15 años, mientras que con

un sistema de manejo propuesto esta va de 8 a 14 t ha⁻¹ año⁻¹ a los 15 años y los rendimientos de maíz con el manejo tradicional pasan de 4.8 t ha⁻¹ en el primer año a 3.9 t ha⁻¹, 15 años después, mientras que con un sistema de manejo propuesto este va de 6.9 a 6.6 t ha⁻¹ 15 años después, por lo que se demuestra que con un manejo apropiado de la cuenca, es posible lograr un aprovechamiento rentable y sostenido. En general, se concluye que la metodología usada fue apropiada para diseñar, aplicar y actualizar anualmente un plan de manejo integrado de cuencas que tuvo efectos en la disminución de la erosión y escurrimiento, así como en la producción rentable y sostenida.

INTRODUCCIÓN

El estado de Chiapas cuenta con una gran riqueza en sus recursos naturales; sin embargo, en su aprovechamiento con fines agropecuarios, dado el reducido uso de prácticas de conservación, las condiciones ambientales tropicales y las circunstancias socioeconómicas desfavorables existentes en las áreas dedicadas a las actividades agropecuarias y forestales, se ha originado la degradación del agua y suelo, por lo que a nivel de cuencas hidrológicas las tasas de entrega de sedimentos y de pérdida del agua por escurrimiento han estado aumentando, resultando en una degradación acelerada del suelo, principalmente por erosión hídrica.

El manejo de las cuencas hidrográficas es uno de los instrumentos más viables en la planificación, gestión de los recursos naturales y de otros recursos producidos por el ser humano; bajo el concepto de un desarrollo sostenible para la protección del medio ambiente (Villar y López. 2003; Lopez, *et al.*, 2007); constituyen un marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos suelo, agua y vegetación (Natenzon, 1999).

Actualmente, la clasificación de los estudios de erosión en cuencas comprende las escalas microcuenca (de parcela), subcuenca y cuenca (Ciessolka y Rose, 1998; Bricquet y Claude, 1998; Lopez y Magdaleno, 2009). La escala a nivel de microcuenca está basada en prácticas agrícolas locales, mientras que la investigación a nivel de cuenca puede involucrar cientos de hectáreas dándose énfasis a la calidad del agua que a la pérdida de suelo *per se*. Consecuentemente, como la escala de investigación varía de parcela a cuenca, los objetivos de los estudios cambian de problemas de sitio a problemas fuera de sitio, respectivamente (Miller *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 1991).

Generalmente los estudios a nivel de sitio se enfocan a evaluar el efecto de diferentes alternativas de manejo locales y nuevas sobre la pérdida de suelo (López y Anaya, 1994; Villar *et al.*, 1998; Uribe *et al.*, 1998; Uribe *et al.*, 2001). A este nivel, el propósito es investigar cómo se modifican los procesos hidrológicos y de erosión del suelo por efecto de las opciones de manejo definidas por la investigación (Ciessolka y Rose, 1998; Bravo y Ruiz, 2002; Villar *et al.*, 2000; Dabney *et al.*, 1993). Los estudios de erosión de suelos a nivel de parcela, tradicionalmente se han basado en la parcela unitaria de 22 m de longitud, de acuerdo a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) (McCool *et al.*, 1987; Romkens, 1985; Wischmeier y Smith, 1965; Wischmeier y Smith, 1978; Navarro *et al.*, 1996); sin embargo, algunos trabajos realizados a este nivel de detalle, están basados en microcuencas de menos de una hectárea (Villar *et al.*, 2013).

A escala de subcuenca, tanto la hidrología como el transporte de sedimentos son afectados por la variabilidad espacial de factores como manejo y tipo de suelo, características de infiltración y cobertura (Edwards, 1987; Villar *et al.*, 2000; Flores-Lopez *et al.*, 2003; Tiscareño-Lopez *et al.*, 1999; Villar y Lopez, 2003). Por esta razón, en los estudios a nivel de subcuenca se debe verificar la validez de extrapolación a partir de estudios hechos a nivel de sitio. En la

subcuenca la complejidad es mayor debido a un aumento en la variabilidad del paisaje, en donde se pueden encontrar corrientes de primer orden cuyas características están asociadas con una sustancial depositación neta (Alonso, *et al.*, 1981; Bosch y Hewlett, 1982; Walling, 1988; Mass *et al.*, 1988; Ciessolka y Rose, 1998). La medición del flujo base en un sitio permite medir la cantidad y calidad del agua considerando que ésta puede ser para consumo humano.

A escala de cuenca, los objetivos del estudio están focalizados al valor económico de la cantidad y calidad del agua; en el primer caso por el riesgo de inundaciones o escasez de agua y en el segundo, por la disponibilidad para diferentes usos como recreación y pesca (Harcharik y Kuncle, 1978; Ataroff y Monasterio, 1997; Bowling y Lettenmaier, 1997; Walling, 1998; Baumann, 2000; Edwards, 1987).

Por otra parte, la perspectiva de valorar económicamente los servicios que otorgan las cuencas puede convertirse en una tarea muy complicada, y nunca completa; por ello, generalmente la valoración económica suele expresarse considerando uno o algunos de sus beneficios. Bajo esta premisa, en México se ha avanzado en la expresión económica de los manglares asociándolos al valor de las pesquerías (Ezcurra *et al.* 2009); el valor recreativo de los parques, el daño a ecosistemas por obras o la valoración para fijar compensaciones (Sanjurjo e Islas 2007). Sin duda, la valoración económica de servicios ambientales se ha convertido hoy en día en una herramienta poderosa para guiar la toma de decisiones.

Las metodologías económicas convencionales para evaluar los costos asociados a la pérdida de suelos por actividad agrícola presentan una amplia complejidad en su implementación, debido principalmente a tres elementos clave: el primero es la temporalidad: la tasa de erosión del suelo agrícola es un fenómeno temporal que afecta negativamente las condiciones futuras de producción; el segundo elemento es espacial: los impactos de la erosión se manifiestan tanto *in situ* como *off situ*, y pueden ser difícilmente observables; el tercero es institucional:

aun suponiendo que es posible identificar y evaluar económicamente los costos de la erosión y de las medidas de conservación, la ausencia de esquemas institucionales que establezcan incentivos adecuados para balancearlos puede generar que la tasa de erosión óptima privada sea superior a la tasa óptima social (Cotler *et al*, 2011). Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando los productores agrícolas toman en cuenta el total de los impactos *in situ*, pero ignoran los impactos *off situ*. La investigación empírica existente en la literatura difícilmente abarca la complejidad del fenómeno, y más bien los estudios se dividen dependiendo si estiman los costos *in situ* u *off situ* con datos observables (Cotler *et al*, 2011); para este trabajo interesan los métodos y aplicaciones para la estimación de los primeros.

Uno de los mecanismos utilizados para llamar la atención sobre la importancia de los servicios ambientales proporcionados por los suelos ha sido evaluar los costos generados por su erosión (Barbier 1996; Cohen *et al* 2006; Martínez-Casasnovas y Pimentel *et al*. 1995); en este contexto, se fertilidad y pérdida también han sido sujetas a valoraciones económicas, a través del impacto de la erosión en la productividad, pero aún este valor sigue estando sobrepresentado en los datos de investigación disponibles (Stroosnijder, 2005).

Para atender esta problemática, en el año 2000 el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) inició un convenio de colaboración con la Comisión Nacional del Agua (CNA), cuyas acciones han estado enfocadas a la transferencia de tecnología de conservación de los recursos suelo y agua en la cuenca Villahidalgo, municipio de Villaflores, aplicando tecnología conservacionista existente, generada por las instituciones de investigación con la cooperación de organizaciones sociales e instituciones del sector agropecuario. El convenio mencionado tuvo una continuidad de 10 años en los que se generó una importante experiencia en el diseño y operación de planes de manejo a nivel de cuenca; sin embargo, para evaluar el efecto de diferentes sistemas integrados de producción y conservación sobre la erosión, escurrimiento y rendimiento, este trabajo se realizó a nivel de una microcuenca representativa.

MATERIALES Y METODOS

Selección del área de estudio

Aunque los trabajos de transferencia de obras y prácticas se realizaron en la cuenca Villahidalgo, para evaluar el impacto de un esquema de manejo integrado se seleccionó la microcuenca “El Nacional”, la cual tiene una extensión de 1.6 hectáreas, representativa del área de estudio, con los tres usos de suelo más comunes en la región (agrícola, forestal y pastizal), y que presenta las siguientes características: predominan suelos con textura franco arcilloso-arenosa en más del 50% del área; el contenido de materia orgánica presenta valores mayores al 3% y valores de pH por arriba de 5.5; el contenido de arena presenta valores entre 43 a 50% y la densidad aparente, con valores menores de 1.3 g cm⁻³.

Tratamientos de manejo de la microcuenca

Se compararon tres escenarios de manejo; éstos son: tratamiento 1 (testigo); representa el manejo tradicional del productor; tratamiento 2 (Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF)); considerado como alternativo de nivel intermedio, que consiste en la siembra de frutales en hileras en curvas a nivel y siembra de maíz (*Zea mays* L.) y/o frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de temporal entre las hileras de frutales; tratamiento 3 (milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF) con prácticas de conservación).

Identificación de costos y beneficios

La metodología utilizada para la evaluación económica consideró la información generada de costos y beneficios de cada tratamiento, por lo que primeramente se generaron datos sobre los costos de cada uno; éstos son los correspondientes al establecimiento de las obras y prácticas de conservación de suelos (barreras de muro vivo, presas para el control de azolves en cárcavas, establecimiento del sistema MIAF y el establecimiento de maíz (*Zea mays* L.)), además

de los costos de mantenimiento para los años posteriores al establecimiento. Asimismo, como beneficios fueron considerados: la cantidad de suelo y agua que se deja de perder (en relación al testigo) y el rendimiento logrado por la aplicación del sistema de obras y prácticas de conservación del suelo y agua y producción agrícola.

Para determinar los beneficios, y dada la falta de datos de campo, se utilizó el modelo de simulación EPIC (Erosion Prediction Impact Calculator) que es un modelo de productividad diseñado para evaluar el impacto de la erosión en la producción de cultivos (Williams *et al*, 1990).

Evaluación

La evaluación se realizó al comparar los tres tratamientos en su desempeño físico y económico.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimientos estimados

Los resultados obtenidos para las variables de interés de tres tratamientos de manejo con el modelo EPIC se presentan en el Cuadro 1. Para el caso de la erosión se observa que el tratamiento testigo presenta los mayores valores (un promedio de $74 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), mientras que con los tratamientos 2 y 3 los valores de esta variable son menores (un promedio de $16 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el tratamiento 2 y $9 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el tratamiento 3); esto significa que con el cambio de manejo de la microcuenca se puede reducir la erosión de 74 a 16 o $9 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; lo cual equivale a dejar de perder 58 o $65 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de suelo con los tratamientos 2 y 3 respectivamente.

En este trabajo, para asignar un valor económico a la cantidad de suelo que se deja de perder por efecto del tratamiento, se consideró el costo que significaría regresar manualmente (mediante el uso de camiones materialistas) ese suelo a su lugar de origen; por ejemplo, en el

año 0 y de acuerdo al Cuadro 1, el tratamiento 2 deja de perder 59 t ha⁻¹ año⁻¹ en relación al testigo, por lo que para regresar esa cantidad de suelo a su lugar de origen se requerirían 9.8 viajes de un camión materialista y con un costo de \$850.00 por viaje, por lo que el costo total sería de \$8,330.00; por lo tanto, el beneficio de dejar de perder 59 t ha⁻¹ año⁻¹ de suelo por la aplicación del manejo del escenario 2 es de \$8,330.00.

Cuadro 1. Valores de erosión, escurrimiento y rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) para tres tratamientos de la microcuenca de estudio

Año	Precip. (mm)	Erosión (t ha ⁻¹ año ⁻¹)			Escurrimiento (mm)			Rendimiento de maíz (t ha ⁻¹)		
		Tratamientos								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	898	80	21	8	146	95	63	4.8	5.7	6.9
1	1102	69	16	10	311	286	190	5.0	5.5	6.7
2	1090	74	17	10	300	268	177	3.2	4.0	5.0
3	999	60	13	8	247	209	139	5.3	5.6	6.9
4	1241	106	23	14	385	339	225	3.4	4.4	5.4
5	1214	79	16	10	347	290	192	4.7	5.3	6.4
6	822	50	11	6	200	170	112	4.7	5.5	6.7
7	1185	80	16	10	326	260	172	4.9	5.0	6.3
8	1319	108	23	14	441	382	253	4.2	4.7	5.8
9	1029	79	17	10	322	275	182	3.8	4.8	6.0
10	862	41	6	4	174	107	71	4.4	4.9	6.1
11	673	23	3	2	93	51	33	4.9	5.7	7.0
12	969	62	11	7	239	177	117	3.0	4.2	5.2
13	1221	128	32	19	514	523	347	5.0	5.6	6.9
14	978	62	10	6	256	173	114	3.9	5.0	6.2
15	1131	107	24	14	403	356	236	4.5	5.3	6.6
Prom.	1116	81	17	10	314	264	175	4.6	5.4	6.7

Para el caso del escurrimiento, en el mismo Cuadro 1 se presentan los datos estimados para cada tratamiento y para el período estudiado de 15 años; en términos generales, se observa un incremento con el tiempo en los tres tratamientos, con valores más altos en el testigo (un promedio de entre 287 mm) y menores para los tratamientos 2 y 3 (un promedio de entre 240 mm para el escenario 2 y 159 mm para el escenario 3); es decir, que con el cambio de manejo se puede reducir el escurrimiento de 287 a 240 y 159 mm en promedio, con los escenarios 2 y 3 respectivamente; lo cual equivale a dejar de perder 47 y 128 mm de agua anualmente.

En términos económicos, el beneficio es la cantidad de agua que se deja de perder y cuyo valor económico fue cuantificado con base en lo que tendría que invertirse para llevar manualmente la cantidad de agua necesaria a la parcela mediante el uso de yuntas o camiones. Por ejemplo, en el año cero y de acuerdo al Cuadro 1, el tratamiento 2 deja de perder 51 m³ de agua en relación al testigo, por lo que para regresar esa cantidad de agua a su lugar de origen y considerando un costo de acarreo de \$55.00 por m³, el costo total sería de \$2,805.00; por lo tanto, el beneficio de dejar de perder 51 m³ de agua por la aplicación del manejo del tratamiento 2 es de \$2,805.00. De esta forma se consideró el beneficio anual para este parámetro en el análisis económico.

Para el caso del rendimiento de maíz (*Zea mays* L.), en el Cuadro 1 se presentan los valores estimados de cada tratamiento en el período estudiado de 15 años; se observa una tendencia a disminuir con el tiempo, correspondiendo los menores rendimientos al testigo (un promedio de 4.3 t ha⁻¹) y mayores al tratamiento 2 (un promedio de 5.1 t ha⁻¹) y al tratamiento 3 (un rendimiento de 6.2 t ha⁻¹); es decir que con el cambio de manejo, el rendimiento aumenta de 4.3 t ha⁻¹ obtenido con el testigo a 5.1 y 6.0 t ha⁻¹ con los tratamientos 2 y 3, respectivamente.

Para el caso del rendimiento de fruta del sistema MIAF, se consideró que éste inicia a partir del año cuatro con un rendimiento bajo y hasta el año 5 el rendimiento se estabilizó en un nivel comercial de $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con un costo de \$400.00 la caja de limón de 18 kg.

Programa de inversiones por año

Con base en la información antes descrita se elaboró el programa de inversiones para cada año, mismo que se muestra en el Cuadro 2. Se observa que las inversiones principales se hacen al inicio del proyecto, y para el resto de los años se consideran solo los costos de mantenimiento de las obras y prácticas.

Considerando que el flujo de fondos es un instrumento básico del análisis financiero resultado de confrontar ingresos y costos de una actividad, en un período determinado de tiempo, que indica la posición de liquidez, para la toma de decisiones, se discute dicho parámetro para los tres escenarios.

Se obtuvo que el tratamiento 1 (testigo) se mantiene con ganancias netas durante el período de estudio ya que en este escenario no se realizan inversiones adicionales sobre nuevas obras prácticas de producción y conservación; sin embargo, es necesario destacar que, si bien en el período mencionado no se observan disminuciones significativas del rendimiento, éstas pueden ser drásticas después del mencionado periodo. Asimismo, los tratamientos 2 y 3, en los 3 primeros años presentan valores negativos debido a la alta inversión que implica su establecimiento. En proyectos de inversión, esta situación resulta crítica, ya que las instituciones de crédito ponen mucha atención en este período de tiempo para aprobar un financiamiento; sin embargo, a partir del año 4 los beneficios netos se presentan de manera atractiva dado el ingreso producido por el frutal del MIAF.

Cuadro 2. Programa de inversiones por año

Años	Tratamiento 1. Testigo			Tratamiento 2. MIAF			Tratamiento 3. MIAF + PC		
	C	I	FF	C	I	FF	C	I	FF
0	7,540	17,760	10,220	29,174	21,090	-8,084	70,208	25,6040	-44,604
1	7,540	18,500	10,960	29,174	20,350	-8,824	66,847	24,716	-42,131
2	7,540	11,840	4,300	13,840	14,800	960	19,590	18,500	-1,090
3	7,540	19,610	12,070	13,840	20,720	6,880	16,590	25,604	9,014
4	7,540	12,580	5,040	13,840	194,058	180,218	16,590	197,610	181,020
5	7,540	17,390	9,850	13,840	241,832	227,992	16,590	246,050	229,460
6	7,540	17,390	98,50	13,840	242,572	228,732	16,590	246,938	230,348
7	7,540	18,130	10,590	13,840	240,722	226,882	16,590	245,606	229,016
8	7,540	15,540	8,000	13,840	239,612	225,772	16,590	243,830	227,240
9	7,540	14,060	6,520	13,840	239,982	226,142	16,590	244,274	227,684
10	7,540	16,280	8,740	13,840	240,352	226,512	16,590	244,718	228,128
11	7,540	18,130	10,590	13,840	243,312	229,472	16,590	248,270	231,680
12	7,540	11,100	3,560	13,840	237,762	223,922	16,590	241,610	225,020
13	7,540	18,500	10,960	13,840	242,942	229,102	16,590	247,826	231,236
14	7,540	14,430	6,890	13,840	240,722	226,882	16,590	245,162	228,572
15	7,540	16,465	8,925	13,840	240,944	227,104	16,590	245,310	228,720
Act.	58,894	127,398		137,127.00	1,098,768			230,464	1,132,574

MIAF=Milpa intercalada en árboles frutales; SPC=Sin prácticas de conservación; PC=Prácticas de conservación
C=Costos; I=Ingresos; FF=Flujo de fondos
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de los indicadores de rentabilidad

Para el caso del presente trabajo, en el Cuadro 3 se presentan algunos indicadores de rentabilidad para los tres tratamientos en estudio.

Cuadro 3. Indicadores de rentabilidad obtenidos para los tres escenarios de estudio en la microcuenca "El Nacional"

Indicador	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
VAN	\$68,504.26	\$961,641.19	\$902,110.14
TIR	-	136 %	66 %
B/C	2.16	8.01	4.91
Tasa	12.00%		

El VAN que se observa en el Cuadro , al presentar valores positivos mayores que cero usando una tasa de interés del 12%, indica que los tres escenarios son rentables. Asimismo, se observa que el escenario más rentable es del tratamiento 2; sin embargo, al no incluir prácticas de conservación, el riesgo de erosión y escurrimiento es mayor.

Los valores de la TIR del Cuadro 3 indican que el tratamiento 2 presenta la mayor TIR con 136% y el tratamiento 3 de 66%, ambos valores están muy por encima del valor de la tasa de actualización seleccionada; por lo tanto, se puede concluir que los tratamientos 2 y 3 son inversiones que deben aceptarse.

El análisis costo-beneficio del Cuadro 3 indica que los tres tratamientos presentan relaciones B/C mayores que 1; sin embargo, el mejor es el tratamiento 2 con valor de 8.0.

En conclusión y tomando en cuenta los valores de los indicadores de rentabilidad mencionados, los tres escenarios en estudio resultan rentables en el análisis realizado para un período de 15 años; sin embargo, dados los objetivos del proyecto de aplicación de obras y prácticas de conservación y producción, es importante considerar las tendencias a futuro en el largo plazo de las tres variables en consideración (erosión, escurrimiento y rendimiento) claves para la producción de la empresa cuenca.

CONCLUSIÓN

En general, se concluye que un plan de manejo integrado de cuencas, compuesto por un sistema integrado de obras y prácticas de producción y conservación, causa efectos positivos sobre la disminución de la erosión y escurrimiento, así como en la producción rentable y sostenida.

LITERATURA CITADA

- Alonso, C.V., Neibling, W.R., y Foster C.R. (1981). *Estimating sediment transport capacity in Watershed modeling*. Transaction of the ASAE, Vol. 24 No. 5 pp. 1211-1220.
- Ataroff, M. and M. Monasterio. (1997). *Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuelan Andes*. Soil Technol. 11:95-108.
- Barbier, E. (1996). *The economics of soil erosion: theory, methodology and examples*. EEPSEA Special Paper. Economy and Environment Program for Southeast Asia, International Development Research Centre, Singapore.
- Baumann, J. (2000). *Plan de conservación de suelos y agua para la costa de Chiapas*. México, D.F.: CNA-CIM.
- Bowling, L.C. and Lettenmaier, D.P. (1997). *Evaluation of the effects of forest roads on streamflow in hard and ware creeks, Washington*. University of Washington, Seattle, WA. USA. Water resources Series Technical report, No. 155.
- Bosch, J.M. and Hewlett, J.D. (1982). *A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration*. Journal of hydrology, 55:3-23.
- Bravo, E.M. y J. Ruiz, V. (2002). *Evaluación de barreras biofísicas y sistemas de labranza en la agricultura de ladera en la cuenca del lago de Zirauen, Michoacán*. Publicación técnica No. 2. CENAPROS-INIFAP. Morelia, Michoacán. 20 p.
- Bricquet, J.P., y J. Claude. (1998). *Latest Developments in the Design of Hydrological Studies of Watersheds*. In Penning de Vries, F.A. and J. Kerr (eds.). *Soil erosion at Multiple Scales*. IBSRAM and CABI Publishing. pp. 175-191
- Ciessiolka, C.A.A., y C.W. Rose. (1998). *The measurement of soil erosion*. Penning de Vries, F.A. and J. Kerr (eds.). *Soil erosion at Multiple Scales*. IBSRAM and CABI Publishing. pp. 287-301
- Cohen M, Brown M, Sheperd K. (2006). *Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using synthesis*. Agriculture, Ecosystems and Environment 114: 249-269.
- Cotler, H., López C.A. y Martínez-Trinidad S. (2011). *¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México*. Investigación ambiental. 3 (2): 31-43
- Dabney, S.M., K.C. McGregor, L.D. Meyer, E.H. Grissinger and G.R. Foster. (1993). *Vegetative barriers for runoff and sediment control*. In: Mitchell, J.K. (Ed.): *Integrated resources management and landscape modification for environment protection*. ASAE, ST. Joseph, Mich., pp. 60-70.

- Edwards, K.A. (1987). *Cultural practice and changes in catchment hydrology: a review of hydrological research techniques as aids to development planning in the humid tropics*. Greenland and Lal (Editors). Soil Conservation and Management in the humid tropics. 34-49.
- Ezcurra E., Aburto O., Rosenzweig L. (2009). *Los riñones del mundo: ¿por qué debemos proteger los manglares de México?* Investigación Ambiental 1(2): 202-206.
- Figuroa, S. B.; Amante, O. A.; Cortés, T. H. G.; Pimentel, L. J.; Osuna, C. E. S.; Rodríguez, J. M. y Morales, J. F. (1991). *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. Colegio de Postgraduados-SARH, Chapingo, México.
- Flores-Lopez H.E., H. Ramirez V., K.F. Byerly-Murphy, J.A. Martinez-Sifuentes, P. Diaz-Mederos y V. Aleman-Martinez. (2003). *Estimación de escurrimiento superficial en la cuenca el Juite, Mexico*. Terra 21(3):389-400.
- Harcharik, D. and Kuncle, S. (1978). *Plantaciones forestales para la rehabilitación de tierras erosionadas*. FAO. Roma, Italia. Guía de conservación No. 4. Pp. 87-97.
- López, B.W.; Villar, S.B.; López, M.J. y Faustino M.J. (2007). *El manejo de cuencas hidrográficas en el estado de Chiapas: diagnóstico y propuesta de un modelo alternativo de gestión*. Publicación especial No.3. Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. 63 p.
- López, B.W. y Magdaleno, G.R. (2009). *La cuenca hidrográfica. Un concepto nuevo con historia. Análisis y reflexiones para orientar su utilización*. Libro Técnico No.3. Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. 134 p.
- López, M.J. y Anaya, G.M. (1994). *Efecto de tres prácticas agronómicas sobre la conservación y productividad de suelos de ladera de la Frailesca, Chiapas*. Agric. Téc. Mex. 20 (2): 113-132.
- Martínez-Casasnovia J A, Ramos M. C. (2006). *The costs of soil erosion in vineyard fields in the Penedes-Anoia Region (NE Spain)*. Catena 68:194-199.
- Martínez, M.M.R., R. López M. y E. Hernández F. (2001) *Relación sedimentos – erosión en la cuenca alta del Papaloapan*. Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación. Guanajuato, Guanajuato, México. 8 p.
- Mass, J.M., C.F. Jordan and J. Sarukan. (1988). *Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystem under various management techniques*. J. Applied Ecology. 25:595-607.
- McCool D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler y L.D. Meyer. (1987). *Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation*. Transaction of the ASAE 30(5):1387-1396.
- Miller, R., P. Heilman y D. Guertin. (2004). *Information Technology in Watershed Management Decision Making*. Journal of the American Water Resources Association 40:22, 347-357.
- Natenzon, C. E. (1999). *Cuencas hidrográficas y gestión pública en Argentina*. Revista Geográfica 125:61-75.

- Navarro, J., Jonte, M.A. y Castro, E. (1996). *Emission de sedimentos en taludes de carreteras. Impactos sobre las aguas*. En libro de actas del I congreso Regional del Agua. Junta de Castilla y León. Confederación Hidrográfica del Duero, Iberdrola. Valladolid. 291-306.
- Pimentel D., C. Harvey, P. Resosudarmo (1995). *Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits*. Science 267 (5201):1117-1123
- Sanjurjo E., Islas I. (2007). *Las experiencias del Instituto Nacional de Ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones*. Gaceta Ecológica 84-85: 93-105.
- Stroosnijder L. 2005. *Measurement of erosion: is it possible?* Catena 64 (2-3): 162-173.
- Tiscareño-Lopez, M., A.D. Baez-Gonzalez, M. Velázquez-Valle, N. Potter, K.; J. Stone, J., M- Tapia-Vargas, and R. Claverán-Alonso. (1999). *Agricultural research for Watershed restoration in central Mexico*. J. Soil and Water Cons.: 54 (4) :686-692.
- Uribe, G.S., A. Turrent, F., F. Nicolás, N. y R. Camacho, C. (1998). *Productividad y estabilidad del rendimiento del maíz en terrazas de muro vivo en el trópico subhúmedo de México*. Agrociencia Vol. 32 (4). Colegio de Postgraduados, México.
- Uribe, G.S., N. Francisco N., A. Turrent F. (2001). *Pérdida de suelo y fuga de nutrimentos en un Entisol con diferente manejo en los Tuxtlas, Veracruz*. Claverán
- A.R. y F.O. Rulfo V. (Eds.) *Productividad y conservación: Agua y Suelo: Avances de investigación en agricultura de conservación II. Morelia, Michoacán, México*. SAGARPA-CENAPROS. Pp. 125-134.
- Villar, S.B; B. Figueroa S.; J.L. Oropeza M.; L. Landois P. y V. Volke H. (1998). *Erosionabilidad de suelos y su impacto en la productividad del maíz en el trópico mexicano*. Agrociencia. 32: 199-207.
- Villar, S.B.; J. Lopez M., J. Perez N., R. Contreras H. y R. Camas G. (2000). *Conservación de suelos. Una alternativa para una agricultura sostenible en el trópico mexicano*. Folleto técnico No. 9. INIFAP-CIRPS-CECECH. Ocozocoautla, Chiapas, México. 30 p.
- Villar, S.B. y López, M.J. (2003). *Sistema integrado de manejo para la conservación del suelo y agua a nivel de cuenca hidrológica en el trópico mexicano*. Folleto Técnico No. 1. INIFAP-CIRPS-CECECH. Ocozocoautla, Chiapas, México. 35 p.
- Villar-Sánchez, B.; J. López-Martínez, W. Lopez-Báez, A. Lopez-Ovando, R. Camas-Gómez y J.L. Arellano-Monterrosas. (2013). *Aplicación de tecnología de conservación y producción en la cuenca Villahidalgo. Impactos y perspectivas de sostenibilidad*. Libro técnico No. 11. Campo Experimental Centro de Chiapas. INIFAP. Ocozocoautla, Chiapas, Mexico. 146 p.
- Walling, D.E. (1988). *Measuring sediment yield from river basins*. Lal R. (Editor). Soil and water conservation Society. Pp. 39-73.
- Williams, J. R.; Dyke, P.T.; Fuchs, W.W.; Benson, O.V.W.; Rice, W. and Taylor, E. D. (1990). *EPIC-Erosion Productivity impact Calculator: 2. User Manual*. Technical Bulletin 1768. US Department of Agriculture. Washington, DC, USA.
- Wischmeier, W.H., y D.D. Smith. (1965). *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of Rocky Mountains—guide for selection of practices for soil and water conservation*. U.S. Department of agriculture. Agriculture handbook No. 282. 47 p.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion—a guide to conservation planning*. USDA Agri. Handb. No. 537. US. Government Printing Office, Washington D.C. 58 p.

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

RESUMEN CURRICULAR DE EDITORES

JOSÉ LUIS L. ARELLANO MONTERROSAS

Ingeniero Agrónomo Especialista en Irrigación y Maestro en Ciencias en Desarrollo Rural Regional por la Universidad Autónoma Chapingo. Doctor en Ciencias y Tecnologías del Agua con mención honorífica por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Ha escrito libros y numerosos artículos sobre hidrología e hidráulica, ingeniería de riego y drenaje, erosión hídrica y conservación del suelo y agua, manejo integral de cuencas, restauración hidrológica ambiental de cuencas. Fue editor de las memorias de los tres seminarios anteriores sobre manejo y conservación de suelos en Chiapas. Actualmente se desempeña como Jefe de Proyecto de Operación y Conservación en el Organismo de Cuenca Frontera Sur de CONAGUA. Ha sido profesor en la facultad de Ingeniería de la UNACH.

- Líneas de investigación:

Gestión integral de recursos hídricos, gestión integral de riesgos, evaluación de servicios ecosistémicos hidrológicos y; vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.

Correo: aremonterrosas@hotmail.com ; jose.arellanoa@conagua.gob.mx

JUAN ALBERTO RODRÍGUEZ MORALES

Ingeniero Agrónomo Tropical por la Universidad Autónoma de Chiapas. Maestro en Ciencias en Recursos Hídricos (Hidrología agroforestal) por la Leuphana Universität Lüneburg (Alemania) con beca del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD). Cuenta con Diplomado en Desarrollo de Zonas Cafetaleras; Restauración Ecológica y Servicios Ambientales.

Durante doce años laboró en proyectos de monitorización de procesos hidrológicos erosivos y restauración hidrológico-ambiental en las cuencas de los ríos Huehuetán, Huixtla y Coatán, Chiapas, con financiamiento de Comisión Nacional del Agua. Actualmente es Profesor Titular de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma de Chiapas, adscrito a la Facultad de Ciencias Agrícolas, campus IV, Huehuetán. Imparte los cursos de Hidrología Forestal, Manejo y Conservación de suelos, Manejo de Cuencas. Ha dirigido 18 tesis de licenciatura y asesorado 26 tesis en los Programas Educativos de Ingeniero Forestal e Ingeniero Agrónomo Tropical y asesor en dos tesis de nivel maestría. Ha sido instructor en cuatro seminarios de titulación y ha organizado diversos cursos, seminarios y jornadas técnicas en temáticas de recursos forestales, agua, suelo y cuencas.

Participa como integrante del Grupo de Investigación en Recursos Forestales de la facultad donde labora.

- Líneas de investigación:

Hidrología agroforestal, restauración hidrológico-forestal y conservación de microcuencas tropicales de montaña.

Correo: cuencas.tropicales@gmail.com, alberto.rodriguez@unach.mx

JAIME LÓPEZ MARTÍNEZ

Ingeniero Agrónomo especialista en suelos por la Universidad Autónoma Chapingo. Maestro en Ciencias en Edafología por el Colegio de Postgraduados.

Actualmente dirige proyectos de investigación y transferencia de tecnología sobre conservación de suelos en laderas, manejo de recursos naturales en microcuencas de montaña y potencial productivo en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Coordinador técnico de proyectos desarrollados en el marco de convenios de colaboración con la CONAGUA, la SEMARNAT y la CFE, sobre manejo del agua y preservación de suelos en microcuencas y rehabilitación hidrológico-ambiental de cuencas y restauración de ecosistemas en cuencas hidrográficas. En los últimos años coordinador del proyecto “Asistencia técnica para el diseño e implementación de proyectos de conservación y restauración de ecosistemas en diez subcuencas de la zona Sierra-Costa de Chiapas”, operado bajo convenio de colaboración con la ONG “Conservación Internacional-México”. Es autor y coautor en alrededor de 30 publicaciones, entre artículos, libros técnicos y folletos técnicos. Ponente en más de 20 congresos, simposios y seminarios nacionales e internacionales. Ha impartido más de 40 cursos y talleres a productores, técnicos y profesionistas. Director y Asesor de 11 tesis de licenciatura y de maestría en ciencias.

- Líneas de investigación:

Agroecología y sustentabilidad.

Correo: jlopez34@hotmail.com

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH

SUELOS DE CHIAPAS: MANEJO, CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

Edición digital:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

Dirección General de Investigación y Posgrado

Área de Diseño y Edición

Coordinación General de Universidad Virtual

Dirección de Innovación Tecnológica para la Educación

UNIVERSITÄT



AUTO

UNACH



AUTONOMA

RECTORÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



Facultad de Ciencias Agrícolas
Huehuetán, Chiapas

Dirección General de Investigación y Posgrado - Unidad de Divulgación Científica

Universidad Autónoma de Chiapas, en el marco del Proyecto Académico 2010-2011, se convocó a la **Textos Universitarios** en el marco de la convocatoria **Libro Digital Universitario** del Programa General de Investigación y Posgrado. La Colección de Textos Universitarios de Investigación y Posgrado de la UNACH es un proyecto tecnológico enunciado en el Proyecto Académico 2010-2011 con doble propósito editorial porque reúne la producción, publicación y distribución; además de crear escenarios para el desarrollo académico y científico que se considerarse como una estrategia representativa.

Los contenidos presentes en el **Libro Digital Universitario** de investigación de los estudiosos activos en el campo de la publicación, al mismo tiempo que dan a conocer a las Instituciones Educativas, que perciben los libros digitales nos permiten cruzar las fronteras en cualquier parte del mundo.

La Colección de Textos Universitarios quehacer universitario dentro del Programa de Investigación contribuirá a lograr los objetivos de docencia e investigación de los programas educativos.

Hoy más que nunca, la sociedad necesita profesionales capaces de mentes de capacidad crítica, que realicen investigaciones y sus propias respuestas; asimismo, que genere soluciones para contribuir al desarrollo social, económico y cultural. Es tiempo de brindar a los lectores las herramientas reflexivo, puedan transformarse a sí mismos.

“Por la conciencia”

Carlos Eugenio
Rector de la Universidad

ISBN: 978-607-8459-59-9