



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS TABASCO**

POSTGRADO EN SISTEMAS SUSTENTABLES DE  
PRODUCCIÓN EN EL TRÓPICO

**APTITUD EDÁFICA DE *Eucalyptus urophylla*  
S.T BLAKE EN LA TERRAZA DE HUIMANGUILLO,  
TABASCO**

**JUAN RAMÓN AGUILAR RODRÍGUEZ**

TESINA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA**

**H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO**

**2015**

La presente tesina, titulada: “Aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake en la terraza de Huimanguillo, Tabasco”, realizada por el alumno Juan Ramón Aguilar Rodríguez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



---

Dr. Joel Zavala Cruz

ASESOR



---

Dr. José Francisco Juárez López

H. Cárdenas, Tabasco. 24 de Junio de 2015

## RESUMEN

México es un país importador de productos forestales como papel y madera aserrada, por lo que se requiere fomentar las plantaciones forestales manejadas con criterios sustentables, para contribuir a abastecer el mercado. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake a nivel semidetallado en la región terraza de Huimanguillo, Tabasco, en una superficie de 158,406 ha. Los requerimientos edáficos se definieron mediante revisión de literatura. La información del área de estudio consistió en un mapa semidetallado de suelos, datos físicos y químicos de perfiles agrológicos, y variables de clima y topografía. La aptitud edáfica se evaluó con base en la metodología de zonificación agroecológica establecida por FAO, comparando los requerimientos edáficos de la especie y la información de suelos de la terraza. El mapa de aptitud edáfica se elaboró con un SIG a escala semidetallada. En la terraza de Huimanguillo, Tabasco, prevalecen los grupos de suelos Acrisol (AC), Cambisol (CM) y Gleysol (GL), con 84.9, 10.1 y 3.6%, respectivamente. Las zonas de aptitud media para *E. urophylla* corresponden al 82.5% de la terraza, sobresaliendo los AC por sus características favorables como profundidad mayor a 100 cm, textura migajón arenosa a migajón arcillo arenosa en la capa de 0 a 45 cm de profundidad, buen drenaje interno en los primeros 74 cm de profundidad, y salinidad muy baja; todas las unidades están demeritadas por pH muy ácido y fertilidad baja, y AC Úmbrico Gléyico por drenaje imperfecto. Los suelos con aptitud nula corresponden a CM y GL por presentar drenaje pobre en la capa de 0 a 50 cm de profundidad, y pequeñas superficies de AC con pendientes mayores a 25% que los exponen a erosión hídrica. Se recomienda implementar prácticas de manejo sustentable en AC para mitigar el efecto por pH y fertilidad, y evitar la erosión hídrica en pendientes de 6 a 25%.

Palabras clave: *Eucalyptus urophylla*, aptitud edáfica, Acrisol, terraza.

## ABSTRACT

Mexico is an importer of forest products such as paper and sawn timber, by this reason is required to encourage forest plantations managed with sustainable criteria, to help supply the market. The study aimed to assess the soil suitability of *Eucalyptus urophylla* Blake S.T level semi-detailed on the terrace of Huimanguillo, Tabasco, on a surface of 158,406 ha. The soil requirements were defined by literature review. The data of the study area consisted of a semi-detailed soil map, physical and chemical of agrological profiles, and variables of climate and topography. The soil suitability was evaluated based on the methodology of agro-ecological zoning established by FAO, comparing soil requirements of the species and the terrace soils information. The soil suitability map was developed with a system of geographic information at semi-detailed level. On the terrace of Huimanguillo, Tabasco, prevalent groups of soils Acrisol (AC), Cambisol (CM) and Gleysol (GL), with 84.9, 10.1, and 3.6%, respectively. Areas of medium fitness for *E. urophylla* correspond to the 82.5% of the terrace, overhanging the AC with favorable characteristics as depth greater than 100 cm, sandy loam to silty clay loam layer from 0 to 45 cm deep, good internal drainage in the first 74 cm of depth, and very low salinity; all units are decreased by very acid pH and low fertility, and AC Umbric Gleyic by imperfect drainage. Without fitness soils correspond to CM and GL for presenting poor drainage in the 0 to 50 cm deep layer, and small AC surfaces with slopes higher than 25% which are exposed to erosion. We recommend implementing practices of sustainable management in AC to mitigate the effect by pH and fertility, and prevent erosion on slopes of 6-25%.

Key words: *Eucalyptus urophylla*, soil suitability, Acrisol, terrace.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por haberme dado la oportunidad de la vida y haberme colmado de tantas bendiciones.

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, por haberme dado nicho en su seno y formarme en este campo del conocimiento.

A la empresa FOMEX SA de CV y Proteak SAB SA de CV por haberme otorgado su valioso apoyo y el tiempo necesario para poder asistir a mis estudios de maestría.

Al Dr. Joel Zavala Cruz, por su comprensión, consejos y apoyo, siempre incondicional en el desarrollo de la presente tesina, y por haberme dado la oportunidad de concluir mis estudios.

Muchas gracias Doctor.

A los Dres. José Francisco Juárez López y Jesús David Palma López por sus consejos y apoyos durante la elaboración de esta tesina.

A la Dra. Eustolia García López por su amistad y apoyo incondicional durante mi proceso de formación.

A todos mis maestros por su conocimiento y apoyo durante mi formación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Sr. Enrique Aguilar Rodríguez (†) y Sra. Teresa Rodríguez Zapata por su amor, apoyo y guía, durante mi vida.

A mi esposa Odra Karina Obregón Torres por su amor, cariño y paciencia, ya que durante este tiempo de formación siempre estuvo apoyándome incondicionalmente.

A mis hijos Luis Eduardo, José Ramón y mi pequeño Emiliano por el tiempo que siempre me han regalado para que pudiera concluir con este proyecto de maestría tecnológica.

## Contenido

Consejo particular.....	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	iv
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
3.1 <i>Eucalyptus urophylla</i> .....	4
3.2 Centro de origen.....	5
3.3 Ecología, silvicultura y botánica.....	6
3.4 Zonificación agroecológica (ZAE).....	7
3.5 Zonificación agroecológica utilizando SIG.....	11
3.6 Elementos de una zona agroecológica.....	13
3.7 Cartografía de suelos.....	14
3.8 Inventario de tierras.....	15
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
4.1 Área de estudio.....	15
4.2 Recopilación de información.....	16
4.3. Requerimientos edáficos de <i>Eucalyptus urophylla</i> .....	17
4.4 Base de datos y mapa semidetallado de suelos de la terraza de Huimanguillo.....	18
4.5 Zonas de aptitud edáfica de <i>Eucalyptus urophylla</i> .....	18
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>19</b>
5.1 Requerimientos edáficos, climáticos y topográficos de <i>Eucalyptus urophylla</i> en zonas tropicales.....	19
5.2 Características físicas y químicas de suelos de la terraza de Huimanguillo.....	20
5.3 Características climáticas y topográficas de la terraza de Huimanguillo.....	23

5.4 Aptitud edáfica de <i>Eucalyptus urophylla</i> en la terraza de Huimanguillo .....	23
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	30
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	31
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA</b> .....	31

Anexo 1. Base de datos de suelo, clima, topografía y productividad de *Eucalyptus urophylla* en la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización mundial de plantaciones de eucalipto	5
Figura 2. Marco conceptual de la metodología ZAE	13
Figura 3. Localización de la terraza de Huimanguillo, Tabasco	17
Figura 4. Suelos de la terraza de Huimanguillo, Tabasco	22
Figura 5. Pendientes de la terraza de Huimanguillo, Tabasco	25
Figura 6. Aptitud edáfica de <i>Eucalyptus urophylla</i> en la terraza de Huimanguillo, Tabasco	27

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Aptitud de tierras para cultivos según IMTA	10
Cuadro 2. Requerimientos agroecológicos y aptitud de <i>Eucalyptus urophylla</i> en zonas tropicales	20
Cuadro 3. Unidades de suelos de la terraza de Huimanguillo, Tabasco	21
Cuadro 4. Aptitud edáfica de <i>Eucalyptus urophylla</i> en la terraza de Huimanguillo, Tabasco	26
Cuadro 5. Aptitud por clima y topografía de <i>Eucalyptus urophylla</i> en la terraza de Huimanguillo, Tabasco.	29

## I. INTRODUCCIÓN

El mercado nacional e internacional exige cada vez más cantidad y calidad de productos forestales primarios, de ahí la necesidad de complementar el esquema actual de aprovechamiento con plantaciones forestales comerciales manejadas con criterios sostenibles. Esta forma de producción permitirá abastecer de materias primas provenientes de los suelos con mayor aptitud a la agroindustria forestal, disminuyendo la presión sobre los bosques naturales que decrecen y se deterioran (Bustillos-Herrera, 2007).

México ha sido un país importador de productos forestales como papel y madera aserrada, y en el periodo 1998 a 2004 observó un incremento en las importaciones de madera aserrada a una tasa anual de 16.1%, debido a que el precio de la madera producida en el país no es competitivo con el precio internacional (Flores-Velázquez, 2007). En cuanto al flujo comercial de madera aserrada, México se ubica en el lugar 15 de exportadores e importadores, muy por debajo de países como Japón, Suecia, China y Alemania, lo que pone de manifiesto su escasa relevancia (Flores-Velázquez, 2007).

En México, el déficit del sector forestal ocurre en todos los productos celulósicos. En el contexto internacional de precios, la tendencia actual es hacia la producción de papeles de mediana y baja calidad a partir de fibras secundarias e importar papeles de mejor calidad por lo que se considera al país como un importador neto de celulosa (Chapela, 2012).

Contradictoriamente, en México los recursos de la vegetación primaria se transforman a otros usos del suelo, tan solo entre 2000 y 2005 se perdieron 200,000 ha de bosque, en respuesta al rápido crecimiento de la población, entre otros factores, la cual presiona los bosques y selvas tropicales, transformándolos en sistemas de producción insostenibles (Sepúlveda *et al.*, 2009).

Ante el déficit de madera y energía a nivel mundial, la producción forestal es un objetivo prioritario, y el género *Eucalyptus* sobresale como uno de los recursos forestales más

utilizados industrialmente en el mundo (Martínez-Ruíz *et al.*, 2006). *Eucalyptus* conforma una amplia diversidad biológica con 513 a 700 especies, y varias se plantan en diferentes partes del mundo (Juárez-Palacios *et al.*, 2013), convirtiéndose en la materia prima por excelencia de la actividad forestal en áreas tropicales, debido a su rápido crecimiento, bajo costo de explotación, madera relativamente homogénea, alta adaptabilidad y calidad de las fibras de celulosa (Ceccon *et al.*, 2000).

Las zonas tropicales de México se consideran de gran potencial para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en un área de 11 millones de ha (Martínez Ruiz *et al.*, 2006). En el sureste del país, en la región Sabana de Huimanguillo, Tabasco, la empresa FOMEX SA de CV, figura entre las pocas agroindustrias dedicada a la producción de madera con base en plantaciones forestales comerciales de rápido crecimiento, contribuyendo a la reconversión productiva de terrenos de uso agropecuario a terrenos forestales productivos. Es pionera en el establecimiento y cosecha de eucalipto en el país, con una superficie plantada de 8514 ha (Proteak, 2013).

Además de los beneficios económicos para la población que cultiva plantaciones de eucalipto, estas son una alternativa para disminuir la tasa de deforestación de las selvas naturales y preservar la biodiversidad (Martínez Ruiz *et al.*, 2006), y contribuyen a la producción de leña, protección y recuperación de tierras degradadas, fortalecimiento de prácticas agroforestales y a contrarrestar el efecto invernadero, toda vez que captan CO<sub>2</sub> (por su rápido crecimiento) y alivian la presión sobre los bosques naturales preservándolos como depósitos de carbono (Ramírez, 2012).

El efecto hidrológico más importante causado por las plantaciones forestales es la interceptación de la lluvia, ésta fracción del agua retorna a la atmosfera sin alcanzar el manto freático, siendo equivalente a la de otros tipos de bosques nativos. En Brasil se encontró que la variación anual

del agua en el suelo fue similar en plantaciones de eucalipto y pino de cinco años de edad y una sabana nativa. En términos de producción de madera, los eucaliptos utilizaron el agua más eficientemente que la vegetación de sabana (Ceccon *et al.*, 2000).

No existe prueba de que algún árbol introducido o nativo degrade por sí mismo al ambiente, ya que esto depende más del manejo que se da a las plantaciones (Martínez-Ruiz, 2006). En Brasil se reporta que microcuencas cubiertas con eucalipto mostraron un balance de nutrimentos y calidad de agua semejantes a cuencas cubiertas por bosques nativos en otras partes del mundo, y son relativamente mejores que los sistemas agrícolas. Además, las plantaciones de eucalipto mejoran la fertilidad del suelo a largo plazo, y no presentan efectos alelopáticos sobre la germinación y desarrollo de cultivos agrícolas. La forestación ha sido una de las formas más efectivas de recuperar suelos marginales, erosionados o que han sido sujetos a explotación minera (Ceccon *et al.*, 2000).

Con base en estos antecedentes, el estudio de zonificación edáfica de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake en la terraza de Huimanguillo, Tabasco, tiene como propósito zonificar los suelos con mayor potencial para el desarrollo de plantaciones comerciales de la especie, evitando el uso de suelos no aptos y su degradación. Los resultados del estudio coadyuvarán a la empresa FOMEX SA de CV y otras agroindustrias forestales, con información útil para orientar la selección de sitios adecuados para propagar material genético de la especie.

## **II. OBJETIVO**

Evaluar la aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake a nivel semidetallado en la región terraza de Huimanguillo, Tabasco.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 *Eucalyptus urophylla*

El género *Eucalyptus* sobresale a nivel mundial con una superficie reforestada de 19,507,670 ha (Iglesias-Trabado *et al.*, 2008) y la mayor superficie se localiza en la franja tropical (Figura 1). *Eucalyptus urophylla* es una de las especies más plantadas en el mundo debido a que tiene un mayor potencial de crecimiento en términos de área plantada, en función de la tolerancia al hongo causante del cancro de eucalipto (*Cryphonectria cubensis*), así como buena productividad y potencial de utilización para diversos fines (fabricación de celulosa y papel, chapas duras, aserrío y producción de carbón) (Pongitorny y Moura, 2004). Es una de las diez especies valorada como excelente para plantaciones comerciales en Brasil y El Congo; en México es la más utilizada para la obtención de material celulósico en los estados de Oaxaca, Sinaloa, Tabasco y Veracruz (Fuentes, 2009). Tiene la mayor capacidad para aprovechar los nutrimentos y se adapta a suelos poco fértiles (Rodríguez-Juárez *et al.*, 2014). Posee dos variedades, siendo una de cáscara fibrosa, hojas lanceoladas, con una punta bastante pronunciada; procede de la isla de Timor, de altitudes elevadas (arriba de 1000 msnm), esta fue la variedad utilizada por Blake para describir y clasificar la especie. La otra variedad es de cáscara lisa en diferentes proporciones de fuste y hojas con forma y tamaño variables (Scanavaca, 2002).

En función de las presiones ecológicas y de la cercanía al mercado consumidor de maderas nativas, los eucaliptos se presentan como una de las mejores opciones para satisfacer la demanda del mercado en México y el mundo (Scanavaca, 2002).

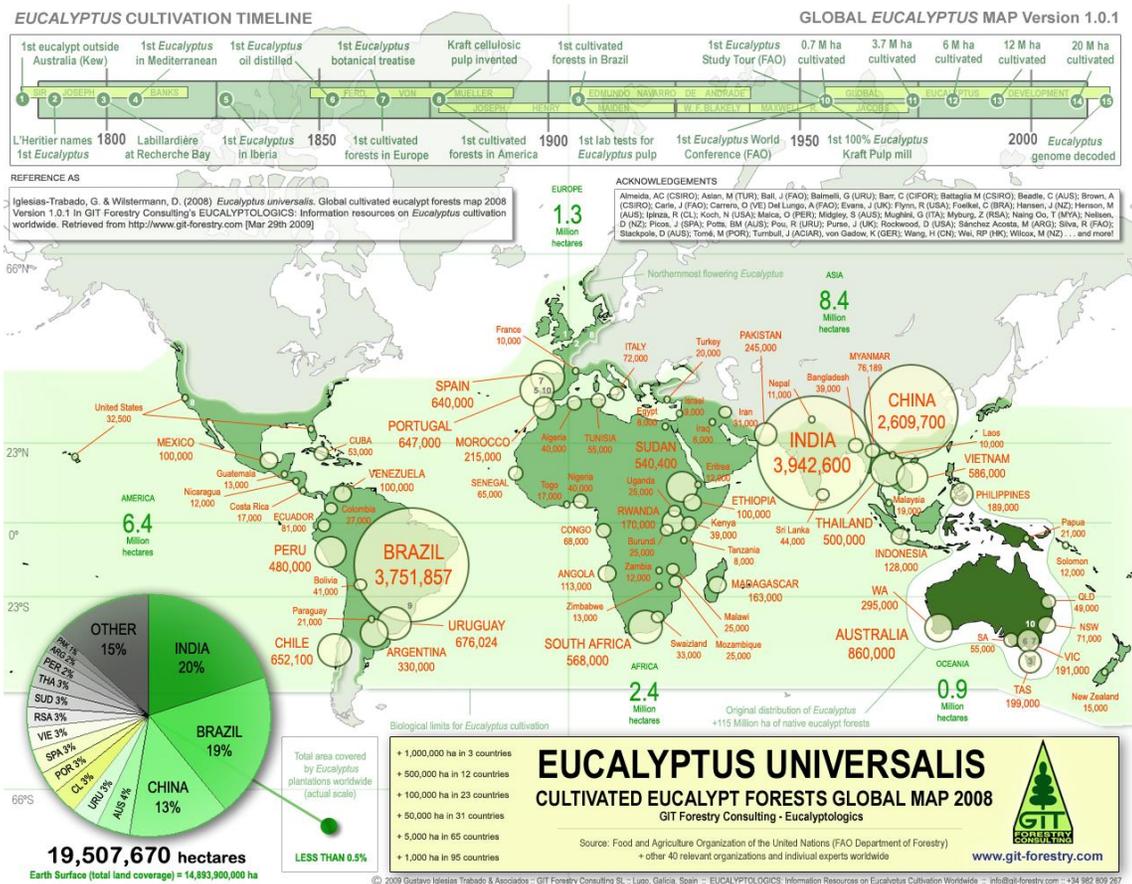


Figura 1. Localización mundial de plantaciones de eucalipto. Fuente: Iglesias-Trabado *et al.* (2008).

### 3.2 Centro de origen

*E. urophylla* es de las pocas especies de eucaliptos que se originó naturalmente fuera de Australia, en el archipiélago Sonda, y que se ubican en latitudes inferiores a 10° Sur. La zona de origen se sitúa entre 7° 30' y 10° de latitud Sur, y entre 122 y 127° de longitud Este. Las altitudes varían desde el nivel del mar hasta 2960 metros sobre el nivel del mar (msnm). Abarca una franja de 500 km (Scanavaca, 2002), y las poblaciones más productivas se localizan entre 500 y 2200 msnm (Payn, 2008). Las temperaturas fluctúan de 24.2°C a 420 msnm, hasta 20°C a 1449 msnm. En esta región la precipitación influenciada por los vientos

de monzón y por la cadena montañosa de Timor, varía de 600 a 2500 mm, siendo la media anual de 1300 mm (Scanavaca, 2002).

Ignacio (2004) menciona que es una de las especies con mayor uso, su distribución natural va de 0 a 2100 msnm y niveles de precipitación anual de 600 a 3500 mm, con periodos de sequía prolongada de hasta siete meses. Delgado *et al.* (2010) mencionan que *E. Urophylla* es prometedora en áreas húmedas o subhúmedas tropicales con intervalo de precipitación media anual de 1300 a 2500 mm y una estación seca de 1 a 5 meses en la época más fría del año, y su crecimiento es regular a máximo cuando las precipitaciones medias oscilan de 700 a 4000 mm. La temperatura media anual óptima varía de 24° a 35°C, la media óptima del más frío es de 10°, sin bajar de 5°, y las del mes más caliente fluctúan de 32 a 35°C.

### **3.3 Ecología, silvicultura y botánica**

*E. urophylla* es un árbol de copa abierta, con corteza lisa o fibrosa, tiene una densidad básica de alrededor de 0.5 g/cm<sup>3</sup> y ligno tubérculo que es el responsable de la buena brotación (Scanavaca, 2002). Los árboles tienen altura de 25 a 45 m y hasta 2.5 m de diámetro. Presenta variación en el tamaño del fruto y el color y textura de la corteza, por lo que resulta ser la especie más variable de los eucaliptos. Una de las características más notable de *E. urophylla* es ser la única especie de eucalipto que ocupa una amplia gama altitudinal y diversos micro hábitats a lo largo del archipiélago de las islas donde se originó. Se encuentra desde casi a nivel del mar, hasta las altas montañas volcánicas, con mayor desarrollo en la franja situada entre 500 y 2200 msnm (Payn, 2008).

Responde al espaciamiento y a la fertilización, presenta buen desenvolvimiento en la segunda rotación, por su resistencia al déficit hídrico, es una especie con buenas características para el mejoramiento genético. Es de gran interés para las zonas tropicales húmedas ya que las

procedencias más productivas son tropicales. Scanavaca (2002) menciona que en 1997, Ferreira y Souza estudiaron varias características de material juvenil y adulto de 20 clones de origen hibridogena, y los agruparon en tres grupos: a) *E. urophylla* (cáscara rugosa/fibrosa), b) *E. urophylla* var. *Platyphylla* (cáscara lisa) y c) un híbrido entre *E. grandis* X *E. urophylla*.

### **3.4 Zonificación agroecológica (ZAE)**

La zonificación es un proceso de sectorización de un territorio en unidades espaciales relativamente homogéneas. Los criterios de zonificación varían de acuerdo a los propósitos, y generalmente están relacionados a factores biofísicos, sociales, económicos, culturales, políticos y administrativos. Se han hecho intentos de definir zonas homogéneas desde el punto de vista potencial de los recursos y de las necesidades del hombre, con la finalidad de facilitar la planificación del desarrollo regional y el uso racional de los recursos (Comisión Nacional Permanente Peruana de Cooperación Amazónica, 1998).

La FAO (1997) ha desarrollado procedimientos para inventariar, evaluar y planificar los recursos de la tierra, tanto a nivel global, como en regiones y países a través de sus programas de campo. En los años 70 el programa canadiense de inventario de tierras desarrolló un sistema de inventario ecológico de tierras, basado en la recolección de información de todos los componentes del ambiente y su evaluación conjunta para algunos fines. El sistema se ha utilizado para generar mapas de capacidad para diversos usos, incluyendo el ordenamiento territorial, manejo de recursos y estudios de impacto ambiental (Comisión Nacional Permanente Peruana de Cooperación Amazónica, 1998). La UNESCO a través de la FAO, impulsó la creación de zonas agroclimáticas, apoyando trabajos de investigación en África subtropical, cuando se presentó una grave sequía que provocó severos daños a la agricultura, la población y la economía (FAO 1997).

Actualmente la zonificación agroecológica (ZAE) presenta una versión alternativa que enfatiza los factores físicos y de producción de cultivos, incluyendo aspectos socio-económicos y un amplio intervalo de usos de tierras en la definición de zonas, llamada Zonificación ecológica-económica (ZEE). Los estudios de ZEE tratan no solo de tierras, sino también de personas y sus organizaciones sociales. Estas personas o usuarios reales o potenciales, pueden ser individuos, comunidades o gobiernos que tienen un derecho tradicional, actual y futuro para decidir sobre las tierras. Un elemento esencial de la ZEE es su carácter dinámico, pudiendo ser ajustada en relación con los cambios socio-económicos de la región de estudio y su área de influencia, incluyendo las tendencias de mercado mundial (FAO, 1997).

En las dos últimas décadas la FAO ha desarrollado y utilizado con éxito la metodología ZAE en la búsqueda de soluciones acertadas a diferentes problemas de evaluación de recursos naturales como base para una agricultura sostenible en diferentes niveles. Los problemas de utilización de territorio se han relacionado con la producción y autoabastecimiento de alimentos, explotación de cultivos, limitaciones de fertilidad de suelos, riesgo de erosión y degradación de tierras.

Los trabajos de zonificación revisten gran importancia cuando se trata de hacer una planificación de los sectores productivos donde el ambiente juega un rol decisivo y donde la ZAE es una herramienta que coadyuva a disminuir los riesgos a los que está sometida la agricultura (Suárez *et al.*, 2014).

El proyecto ZAE (FAO, 1997) fue un primer ejercicio en la aplicación de tierras a escala continental. La metodología fue innovadora en caracterizar extensiones de tierra por medio de información cuantificada de clima, suelo y otros factores físicos, que se utilizan para predecir la productividad potencial para varios cultivos de acuerdo a sus necesidades específicas de

entorno y manejo. El objetivo consiste en diferenciar zonas agroecológicas que se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola.

Según FAO el esquema de evaluación del territorio fue desarrollado para disponer de un método sistemático, que permitiera estudiar y predecir resultados de usos alternativos de una determinada parte del territorio; el esquema propone valorar la aptitud de las tierras para usos específicos alternativos, con carácter sostenible, en un contexto dado. Al establecer una clasificación para los diferentes usos de terreno, distingue como categoría máxima la clase principal de uso del terreno y como categoría para trabajos más detallados, los tipos de utilización (Porta *et al.*, 2005).

El resultado de la ZAE en unidades más pequeñas, es la identificación de los tipos de uso de la tierra que son más acordes con la capacidad productiva de los recursos naturales, procurando a la vez el equilibrio y la conservación de los agroecosistemas (Suárez *et al.*, 2014).

Se debe considerar que el uso de suelos forestales difiere de los suelos agrícolas y pecuarios, específicamente en el periodo de tiempo entre el establecimiento de la masa forestal y su cosecha; esto significa que las decisiones en el manejo forestal son difíciles de cambiar y que la producción sostenida debe tomar en cuenta el largo plazo; por lo tanto la definición de la aptitud de la tierra debe realizarse con mayor cuidado para minimizar el riesgo de tomar decisiones equivocadas (Bustillos-Herrera *et al.*, 2007).

El IMTA (1989), menciona que el conocimiento de los requerimientos de un cultivo específico, permite determinar la aptitud de las tierras (Cuadro 1), la cual a su vez indica el potencial de un suelo para producir dicho cultivo. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las

recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o la degradación de los recursos (FAO, 1997).

En síntesis, las clases de aptitud son: a) Aptitud alta (A), suelos donde se espera que la producción sostenida de los cultivos comunes, mediante prácticas de manejo definidas, produzcan beneficios que justifiquen los insumos recurrentes y necesarios; b) Aptitud media (B), el desarrollo de los cultivos se ve afectado por que los suelos presentan factores que reducen su productividad, y c) Aptitud nula (C), son suelos cuyas características no permiten un buen desarrollo de cultivos (Cuadro 1) (IMTA, 1989).

Cuadro 1. Aptitud de tierras para cultivos según IMTA (1989).

A.- Aptitud alta	A1.- Muy apta	A2.- Apta
B.- Aptitud media	B1.- Medianamente apta	B2.- Ligeramente apta
C.- Aptitud nula	C1.- Actualmente no apto	C2.- Permanentemente no apto

Porta *at al.* (2005), mencionan que en el proceso de evaluación deben identificarse los tipos de utilización del terreno (LUT) relevantes por su importancia para el área a evaluar, disponer de información acerca de sus exigencias y respuestas y representar un amplio intervalo de exigencias. Los atributos clave para describir un LUT hace referencia a aspectos técnicos, económicos y sociológicos. En cada evaluación se seleccionarán los que sean de interés. Para poder determinar la aptitud de una unidad de suelo, habrá que contrastar los requerimientos de cada tipo de uso seleccionado, con las cualidades de cada unidad.

### **3.5 Zonificación agroecológica utilizando SIG**

Los sistemas de información geográfica (SIG) han surgido como poderosas herramientas para la manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos, estadísticos, espaciales y temporales, que son necesarios para generar, de una forma flexible, versátil e integrada, productos de información, ya sean mapas o informes, para la toma de decisiones sobre el uso de tierras; además, permiten presentar resultados de tal forma que hacen relaciones, tendencias, cambios y propuestas de soluciones fáciles de entender (FAO, 1997). Es una herramienta ampliamente usada en la generación de mapas de potencial productivo, ya que su capacidad para procesar y presentar datos geográficos los posiciona como el software ideal para la interpretación y análisis de un entorno espacial (Díaz *et al.*, 2008). Han venido a cubrir necesidades en cuanto al manejo de información georreferenciada, es decir, toda la información relacionada con aspectos de territorio, ya sea en espacios diferenciados de manera natural o por división político administrativa; antes se recurría a métodos manuales complejos y con mucha inversión de tiempo, estos problemas se superaron con la tecnología computarizada. Un SIG se puede entender como una serie de aplicaciones específicamente diseñadas para funcionar en una computadora (Negrete, 2000).

Los SIG son de gran utilidad en proyectos agrícolas, ya que permiten delimitar y cuantificar áreas en función de los requerimientos agroecológicos, para obtener mayor éxito en la producción. En un SIG, los componentes de un mapa son de dos tipos (Díaz *et al.*, 2008):

- Vectoriales: que implican mayor precisión de información geográfica y están representados por puntos, líneas y polígonos.
- Raster: con los que se pueden representar los mapas de suelos, temperaturas, altitudes, precipitación pluvial, pendientes, etc., y están formados por una matriz de píxeles generada a partir de procesos de interpolación.

En un dato geográfico se pueden diferenciar dos aspectos conceptuales: el espacial (geometría más topología) y el temático. Un SIG debe ser capaz de representar digitalmente a ambos.

El análisis de ZAE implica la combinación de capas de información espacial para definir zonas, tarea que se facilita mediante la aplicación de SIG. Las investigaciones más avanzadas de ZAE incorporan bases de datos enlazadas a un SIG, relacionadas con modelos computarizados, y tienen múltiples aplicaciones potenciales en el manejo de los recursos naturales y la planificación del uso de las tierras (FAO, 1997).

La zonificación agroecológica constituye una herramienta más para darle respuesta al problema generalizado de realizar cambios en el uso de la tierra sin considerar la aptitud agroecológica de la misma, así como para evitar problemas de subuso y sobreuso de la tierra (Suárez *et al.*, 2014).

La metodología ZAE consiste en un conjunto de aplicaciones básicas que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras, y en un conjunto de aplicaciones avanzadas o periféricas, que se pueden construir sobre los resultados de los estudios de ZAE (Figura 2).

La metodología y las variables de entrada ZAE son independientes de la escala. Sin embargo, el nivel de detalle con que están definidos los factores suelo, clima y los tipos de uso de tierras, varían de acuerdo con la escala de los mapas y el objetivo de los estudios (FAO, 1997). El nivel de detalle en el que se define una zona depende de la escala del estudio y en ocasiones de la capacidad de los equipos para el procesamiento de los datos. El estudio de ZAE distingue celdas agroecológicas (AECs), que son las unidades básicas de evaluación y de procesamiento de datos, de zonas agroecológicas, que son las unidades espaciales trazadas sobre un mapa de suelos.

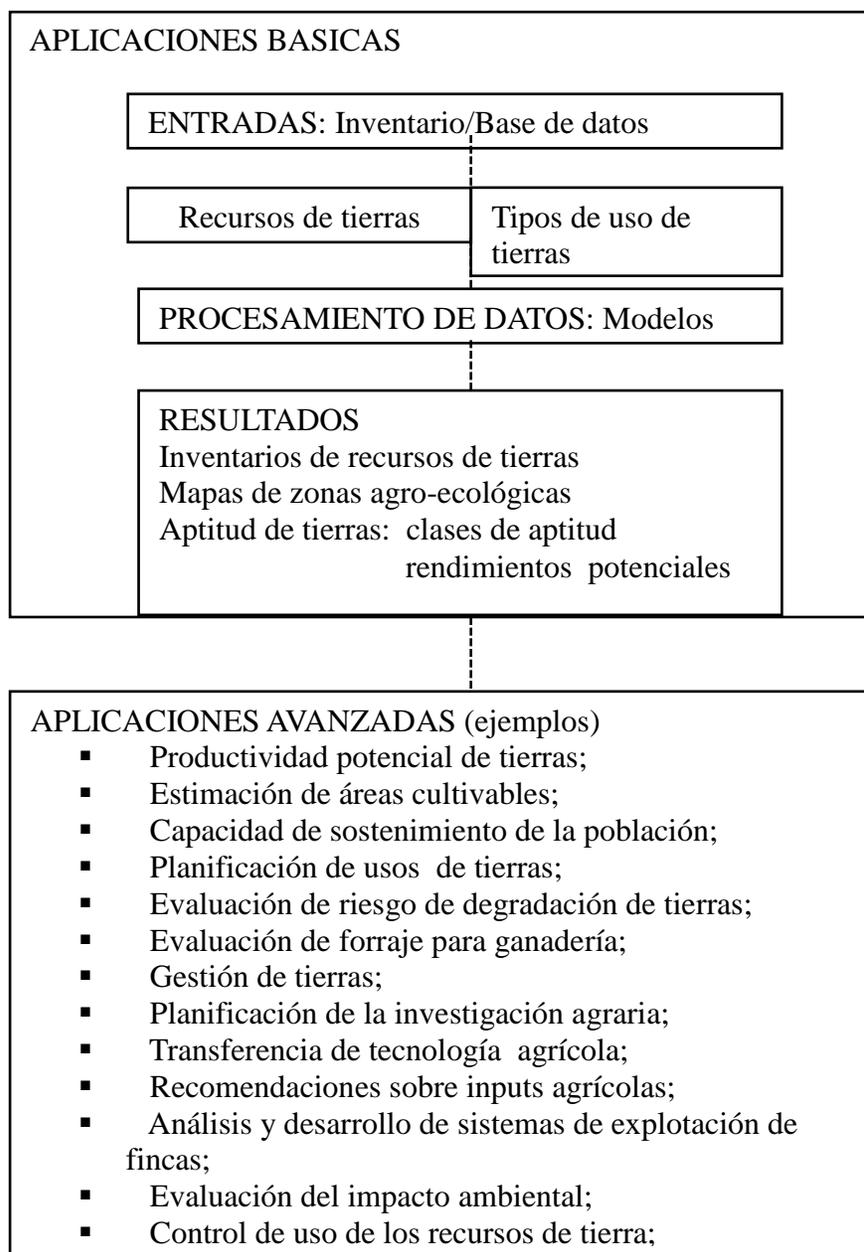


Figura 2. Marco conceptual de la metodología ZAE (FAO 1997).

### 3.6 Elementos de una zona agroecológica

Los elementos esenciales que definen una zona (o celda) agroecológica son (FAO, 1997):

- a) Periodo de crecimiento. Época del año en la que las condiciones de humedad y temperatura son idóneas para la producción del cultivo. Proporciona un marco ideal

para resumir en el tiempo, elementos variables del clima que se pueden comparar con los requerimientos y las respuestas estimadas de las plantas.

- b) Balance de humedad. La estimación del periodo de crecimiento se basa en el modelo de balance hídrico que relaciona la lluvia (P) con la evapotranspiración (ETp). Si el periodo de crecimiento no está limitado por la temperatura, la relación P/ETp determina el comienzo, el fin y el tipo de periodo de crecimiento.
- c) Régimen térmico. Se refiere a la cantidad de calor disponible para el crecimiento y desarrollo de la planta durante el periodo de crecimiento; normalmente se define por medio de la temperatura diaria.

### **3.7 Cartografía de suelos**

La cartografía de suelos es la información espacial básica, los mapas de pequeña escala (menor a 1,000,000) rara vez comprenden suelos individuales, normalmente son combinaciones de un suelo dominante y suelos asociados. Cada tipo de suelo representa una unidad cartográfica que se establece en términos de sus características y cualidades, que hacen referencia a los requisitos edáficos de las plantas o de los usos de tierra para su manejo y conservación (FAO, 1997).

En el estado de Tabasco se han realizado zonificaciones agroecológicas a nivel de reconocimiento (escala 1: 250,000) en estudios para determinar zonas de alta potencialidad para yuca (*Manihot sculenta* Crantz) y chile habanero (*Capsicum chinensis*), con base en un mapa estatal de suelos, obteniéndose resultados favorables (Palma-López *et al.*, 2007; Rivera *et al.*, 2012). Pero, Zavala *et al.* (2014) mencionan que para recomendar programas de desarrollo forestal se requieren estudios semidetallados de suelos (escala 1:50,000) en regiones con posibilidades, los cuales demandan más tiempo y presupuesto para su ejecución; por

consiguiente, la mayor superficie de Tabasco carece de estos estudios. La región Sabana de Huimanguillo es una excepción, cuenta con un mapa semidetallado de suelos enfocado a recomendar dosis de fertilización para cultivos de cítricos y piña (Salgado *et al.*, 2010), y junto con la base de datos físicos y químicos puede ser útil en los estudios de ZAE para cultivos y plantaciones forestales.

### **3.8 Inventario de tierras**

El inventario de tierras consiste en la superposición de información de suelo y clima. Las unidades resultantes son las zonas agroecológicas, que tienen una combinación única, o un rango específico de unidades cartográficas, regímenes de periodos de crecimiento y regímenes térmicos; mientras que las celdas agroecológicas representan una combinación única de periodos de crecimiento, regímenes térmicos y tipo de suelo. Las características de tierra relevantes de cada celda agroecológica (AEC) se relacionan con sus limitantes climáticas y edáficas (FAO 1997).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Área de estudio**

La región terraza de Huimanguillo, también conocida como Sabana de Huimanguillo, se localiza en el municipio de Huimanguillo al suroeste del estado de Tabasco, tiene una superficie de 158,406 ha (Castillo-Acosta *et al.*, 2014). Se ubica entre las coordenadas geográficas  $17^{\circ} 35' 30.86''$  y  $17^{\circ} 56' 24.47''$  de latitud Norte y entre  $93^{\circ} 30' 47.17''$  y  $93^{\circ} 53' 24.47''$  de longitud Oeste (Figura 3). Forma parte de una antigua planicie costera de rocas sedimentaria detríticas de tipo arenisca-conglomerado polimíctico de edad Terciario Neógeno Plioceno en la mayor superficie, y arena-limo del Cuaternario Pleistoceno en una porción

menor situada al noreste; forma un paisaje de lomeríos monoclinales a ondulados, de 8 a 70 msnm (Ortíz-Pérez *et al.*, 2005; Castillo-Acosta *et al.*, 2014). El clima es cálido húmedo Af(m) con lluvias todo el año en el norte y noroeste, y Am(f) cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, en el centro, sur y sureste. La precipitación anual es de 2290.3 mm, siendo el mes de septiembre el más lluvioso y el de abril el más seco (Palma-López *et al.*, 2007; Salgado *et al.*, 2010). Los suelos de tipo Acrisol (AC), Cambisol (CM) y Gleysol (GL) cubren el 86.8, 8.2 y 3.6% de la terraza. Los Acrisoles se ubican en lomeríos, son ácidos, pobres en nutrimentos, tienen alto contenido de arcilla tipo 1:1 en el horizonte árgico y lento drenaje interno. Los Cambisoles se desarrollan en valles aluviales, tienen drenaje interno deficiente y pueden sufrir desbordamientos de ríos y arroyos; y los Gleysoles se asocian a planicies lagunares y depresiones que se inundan varios meses en la época de lluvias (Palma-López *et al.*, 2007; Salgado *et al.*, 2010; Zavala-Cruz *et al.*, 2014; Castillo-Acosta *et al.*, 2014). El uso del suelo dominante es de pastizales para la ganadería bovina, y además existen áreas cultivadas con maíz, cítricos, piña y plantaciones forestales de eucalipto (*Eucalyptus* spp) y hule (*Hevea brasiliensis*) (Ortíz-Pérez *et al.*, 2005; Salgado *et al.*, 2007; Salgado *et al.*, 2010). Aún existen relictos de vegetación de sabana, formada por pastos nativos alternados con árboles de tachicón, nanche, encinos y palma tasiste (Palma-López *et al.*, 2007).

#### **4.2 Recopilación de información**

Esta etapa consistió en la revisión de literatura sobre requerimientos edáficos y ambientales de *E. Urophylla*. Se recopiló información cartográfica de suelos, clima y topografía, así como datos físicos y químicos de suelos de la zona de estudio (Salgado *et al.*, 2010; Castillo-Acosta *et al.*, 2014).



Figura 3. Localización de la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

#### 4.3. Requerimientos edáficos de *Eucalyptus urophylla*

La información sobre requerimientos edáficos de *E. urophylla*, se analizó y sintetizó en óptima y absoluta (Ecocrop, 2007) para definir los niveles de aptitud edáfica con base en la metodología ZAE (FAO, 1997). Las variables edáficas más importantes para el cultivo fueron: pH, profundidad, textura, fertilidad utilizando como indicador a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), salinidad a través de la conductividad eléctrica (CE) y drenaje del perfil (Cuanalo, 1990; Mercado, 2000; Diario Oficial de la Federación, 2002; Nieto *et al.*, 2003; Ecocrop, 2007; Delgado *et al.*, 2010; Pérez, 2010; Chaw *et al.*, 2011). Se complementó con información sobre tipo de clima y variables de temperatura y precipitación (Nieto *et al.*, 2003; Ecocrop, 2007; Delgado *et al.*, 2010; Pérez, 2010), altitud y pendiente asociada al relieve (Mercado, 2000; Nieto *et al.*, 2003; Ecocrop, 2007; Payn, 2008; Fuentes, 2009; Delgado *et al.*, 2010; Pérez, 2010; Chaw *et al.*, 2011).

#### **4.4 Base de datos y mapa semidetallado de suelos de la terraza de Huimanguillo**

La base de datos de la terraza de Huimanguillo consistió en variables físicas y químicas de suelos (Salgado *et al.*, 2010), un mapa semidetallado de suelos a escala 1:50,000 (Salgado *et al.*, 2010, modificado por Castillo-Acosta *et al.*, 2014), y valores de productividad de *E. urophylla* procedentes de cinco fincas seleccionadas al azar por unidad de suelo, proporcionados por la empresa FOMEX SA de CV, filial de la empresa PROTEAK. Esta información ayudó a definir los límites de aptitud de pH y CIC para los suelos de la terraza de Huimanguillo, en razón que no se encontraron reportes suficientes sobre estas variables.

#### **4.5 Zonas de aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla***

Las zonas de aptitud edáfica de *E. urophylla* se generaron con base en la guía general de zonificación agroecológica de la FAO (1997) para determinar la aptitud de las tierras. Primero se comparó la información de los requerimientos edáficos de *E. urophylla* obtenida en la revisión de literatura, con la base de datos de clima, suelos y topografía de la terraza de Huimanguillo (Salgado *et al.*, 2010); la evaluación de la aptitud por pendiente se basó en el mapa elaborado por Castillo-Acosta *et al.* (2014). Posteriormente, mediante el software ARC GIS 9.2 (ESRI, 2004), las unidades cartográficas del mapa de suelos (Salgado *et al.*, 2010; Castillo-Acosta *et al.*, 2014) se etiquetaron y transformaron en el mapa preliminar de zonas de aptitud; a este mapa se restaron las zonas no aptas por pendiente, mediante álgebra de mapas. El mapa final de aptitud edáfica de *E. urophylla* se diseñó a escala semidetallada 1:50,000.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Requerimientos edáficos, climáticos y topográficos de *Eucalyptus urophylla* en zonas tropicales

Los niveles de aptitud de *Eucalyptus urophylla* se definieron con base en el intervalo de las variables edáficas, climáticas y topográficas reportadas en la literatura como óptimas y absolutas, y se diferenciaron en tres clases de aptitud: a) apta, corresponde a los valores de las variables que se encuentran en el intervalo óptimo; b) media, agrupa los valores de las variables que se sitúan en el intervalo de aptitud absoluta; y c) nula, está definida por variables que tienen valores inferiores a los reportados como mínimos absolutos (Cuadro 2) (IMTA, 1989). Respecto a los requerimientos edáficos por pH y CIC, los valores mínimos absolutos se definieron con información de productividad de madera de *E. urophylla* en suelos de la terraza de Huimanguillo, la cual varía de 94 a 148 m<sup>3</sup>/ha con semilla a la edad de 7 años (Anexo 1 y Cuadro 2); estos valores son bajos o regulares comparados con la productividad de la especie en Brasil con un volumen de 464 m<sup>3</sup>/ha a los 7 años de edad (Delgado *et al.*, 2009); no obstante, la productividad de *E. urophylla* en el área de estudio es rentable económicamente. Así mismo, la información de productividad de la especie en la terraza confirmó la altura sobre el nivel del mar (asnm) en la que se puede desarrollar, variando de 10 a 80 m, en concordancia con el intervalo de altura de 0 a 3000 msnm que se reporta para otras regiones (Scanavaca, 2002; Ignacio, 2004; Payn, 2008; Pérez, 2010). La inclusión de información sobre más requerimientos del cultivo es recomendable para mejorar la evaluación de las áreas de aptitud para las especies en estudio (Delgado *et al.*, 2010).

Cuadro 2. Requerimientos agroecológicos y aptitud de *Eucalyptus urophylla* en zonas tropicales.

Factor	Variable	Óptima		Absoluta		Aptitud		
		Min	Max	Min	Max	Apta	Media	Nula
Clima	Tipo: Tropical y Subtropical <sup>1,2,4,5</sup>	X	X			X	X	
	Temperatura (°C) <sup>1</sup>	18	28	8	34	18-28	8-18 y 28-34	< 8 y > 34
	Precipitación (mm) <sup>1,2</sup>	1300	2500	700	3500	1300-2500	700-1300 2500-3500	< 700 y > 3500
Suelo	pH <sup>1,2,5,6,10</sup>	5	6.5	4.0	7.5	5 – 6.5	4.0 - 7.5	< 4.0 y > 7.5
	Profundidad (m) <sup>1,2,5,6</sup>	1.5	> 1.5	0.5	1.5	> 1.5	0.5–1.5	< 0.5
	Textura <sup>1,2,5,6,8,11</sup>	Franco		Ligero, Medio, Pesado, Arenoso		Franco	Ligero, Medio, Pesado, Arenoso	
	Fertilidad CIC <sup>9,10</sup>	15	> 24	3.9	> 24	> 15	3.9-15	< 3.9
	Salinidad CE (dS/m) <sup>9</sup>	< 4				< 4	< 4	> 4
	Drenaje <sup>1,2,4,5,6,7,12,13</sup>	Bueno		Bueno a Imperfecto		Bueno	Imperfecto	Pobre
Topografía	Altitud (msnm) <sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup>	200	2200	0	3000	200 - 2200	0-200 y 2000–3000	> 3000
	Pendiente (%) <sup>2,5,6</sup>	0	8	0	30	0-8	8–30	> 30

Fuentes: <sup>1</sup>Ecocrop, 2007; <sup>2</sup>Delgado *et al.*, 2010; <sup>3</sup>Payn, 2008; <sup>4</sup>Nieto *et al.*, 2003; <sup>5</sup>Pérez, 2010; <sup>6</sup>Mercado, 2000; <sup>7</sup>Fuentes, 2009; <sup>8</sup>Chaw *et al.*, 2011; <sup>9</sup>Diario Oficial, 2002; <sup>10</sup>Elaboración propia con datos de productividad de la empresa FOMEX SA de CV; <sup>11</sup>IMTA, 1989; <sup>12</sup>Cuanalo, 1990; <sup>13</sup>IUSS *et al.*, 2007.

Nota: La evaluación de las variables del suelo considera todo el perfil, excepto: 1) pH en la capa de 0-50 cm de profundidad, y 2) CIC en la capa de 0 a 30 cm de profundidad. El drenaje se clasifica en: Bueno (Gley > 100 cm de profundidad; Imperfecto (Gley de 50 a 100 cm de profundidad); Pobre (Gley < a 50 cm de profundidad (Cuanalo, 1990; IUSS *et al.*, 2007)). Los intervalos de pH y CIC se adaptaron de la NOM 021-RECNAT-2000 (Diario Oficial, 2002) y los límites inferiores se determinaron con base en datos de productividad de *E. urophylla* en suelos de la terraza de Huimanguillo.

## 5.2 Características físicas y químicas de suelos de la terraza de Huimanguillo

En la terraza de Huimanguillo prevalecen los grupos de suelos Acrisol, Cambisol y Gleysol, con 84.9, 10.1 y 3.6%, respectivamente. Las unidades de suelos con calificadores de primer orden son Acrisol Úmbrico Cutánico (60.4%), Acrisol Úmbrico Gléyico (12.9%), Acrisol

Cutánico (11.6%), Cambisol Flúvico Endoglético y Endoglético (10.1%), y Gleysol Álico (3.6%) (Cuadro 3). En la Figura 4 se presenta la distribución geográfica y en el Anexo 1 los datos físicos y químicos de las unidades de suelos.

Cuadro 3. Unidades de suelos de la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

Unidad de suelo	Clave	ha	%
Acrisol Cutánico (Crómico, Férrico)	ACct(crfr)	1135.0	0.7
Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Férrico)	ACct(ncefr)	4423.9	2.8
Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Férrico)	ACct(ncehdf)	12830.4	8.1
Acrisol Úmbrico Cutánico (Hiperdístico, Húmico)	ACumct(hdhu)	17188.1	10.9
Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico, Hiperdístico)	ACumct(ncehd)	14148.2	8.9
Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Férrico)	ACumct(ncehdf)	64324.2	40.6
Acrisol Úmbrico Glético (Hiperdístico, Férrico)	ACumgl(hdfr)	20462.0	12.9
Cambisol Flúvico Endoglético (Dístico)	CMfvng(dy)	12015.3	7.6
Cambisol Endoglético (Arcílico, Éutrico)	CMng(ceeu)	3944.8	2.5
Gleysol Álico (Endoarcílico, Hiperdístico, Húmico)	GLal(ncehdyce)	5677.3	3.6
Cuerpo de agua	CA	2257.3	1.4
TOTAL		158406.5	100.00

Fuente: Salgado *et al.* (2010), modificado por Castillo-Acosta *et al.* (2014).

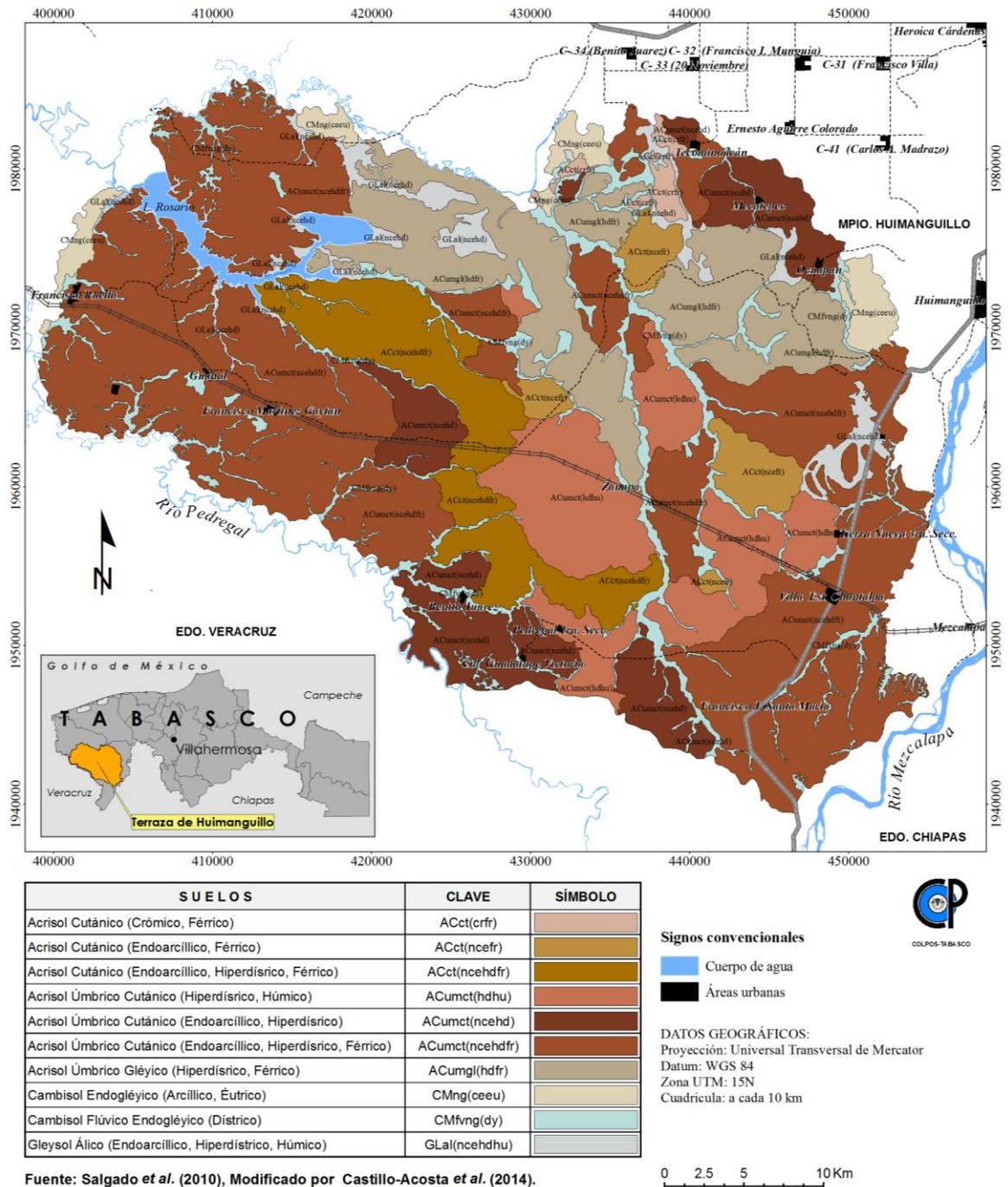


Figura 4. Suelos de la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

Los tres grupos se caracterizan por ser profundos, de textura migajón arcillo arenoso a migajón arenoso en el horizonte A, y arcilloso a arcillo arenoso en el horizonte B; el drenaje

de los Acrisoles varía de bueno a imperfecto en los primeros 100 cm de profundidad, no así el de los Cambisoles y Gleysoles que tienen drenaje pobre en el horizonte A; el pH se clasifica como fuertemente a moderadamente ácido (3.9 a 5.6); no presenta problemas de salinidad ( $< 0.07 \text{ dS m}^{-1}$ ), son ricos a muy pobres en MO (16.9 a 0.2%), los contenidos de nutrimentos son muy bajos en N ( $< 0.29\%$ ), altos a bajos en P (14.4 a  $0.1 \text{ mg kg}^{-1}$ ), pobres en bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na) y medios a bajos en CIC ( $27 \text{ a } 2 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ), estas variables indican fertilidad baja (Anexo 1) (Diario Oficial de la Federación, 2002; Salgado *et al.*, 2010; Palma-López *et al.*, 2007; Zavala *et al.*, 2014).

### **5.3 Características climáticas y topográficas de la terraza de Huimanguillo**

Dominan los climas Am(f) y Af(m), el primero en el norte y noroeste, y el segundo en el centro, este y sur de la terraza; las temperaturas medias varían de 24 a 28°C, y la precipitación media anual oscila de 2000 mm en el norte a 3000 mm en el sur. La altura va de 6 msnm en la zona noroeste a 80 msnm en la porción sureste. En cuanto a la pendiente, el 72.7% de la superficie tiene inclinación menor a 6%, coincidiendo con relieves planos a ligeramente inclinados; el 24.8% tiene inclinación entre 6 y 25%, en relieves de lomeríos ondulados y valles erosivos; y el 2.4% presenta inclinación mayor a 25% en lomeríos accidentados ubicados al sur y sureste de la región (Figura 5 y Anexo 1) (Castillo-Acosta *et al.*, 2014).

### **5.4 Aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* en la terraza de Huimanguillo**

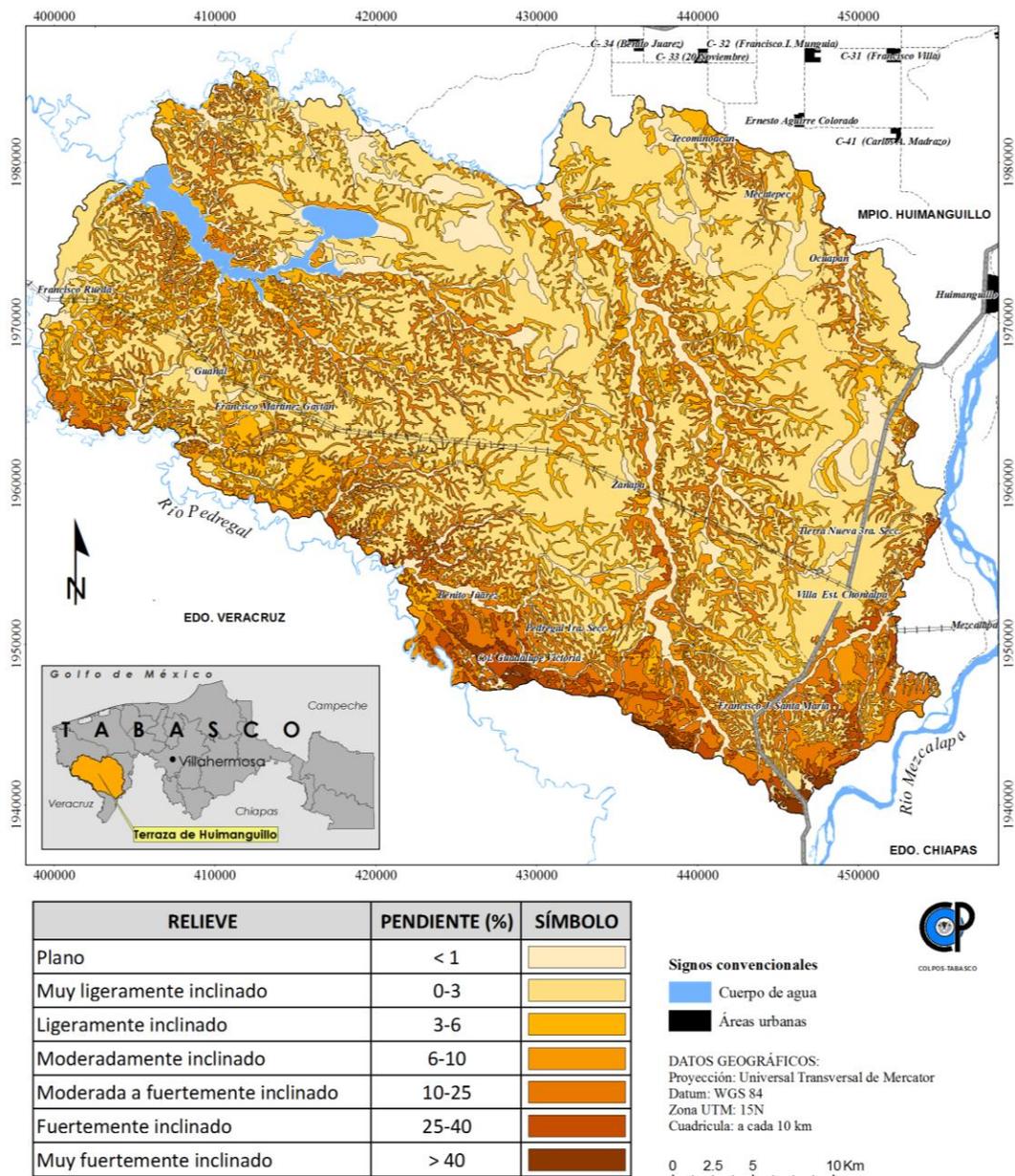
Con base en la información de requerimientos edáficos (Cuadro 2) y datos de suelos, clima y topografía de la terraza de Huimanguillo (Anexo 1), se evaluó la aptitud edáfica de *E. urophylla* (Cuadro 4 y Figura 6). Los Acrisoles tienen aptitud media para la especie y corresponden a unidades de Acrisoles Cutánicos, Úmbricos Cutánicos y Úmbricos Gléyicos; en conjunto representan el 84.9% de la terraza; presentan características edáficas favorables

como profundidad mayor a 100 cm, textura migajón arenosa a migajón arcillo arenosa en la capa de 0 a 45 cm de profundidad, buen drenaje interno en los primeros 74 cm de profundidad, y sin problemas de salinidad (Anexo 1 y Cuadro 2); estos datos concuerdan con las de suelos reportados como aptos para el desarrollo de la especie (Henri, 2001; Acosta *et al.*, 2005; Ecocrop, 2007; Delgado *et al.*, 2009; Pérez, 2010).

Por textura, los suelos de la terraza son comparables a los Ultisoles de otras regiones donde se han obtenido volúmenes favorables de la especie, variando de 76 m<sup>3</sup>/ha sin fertilización a 133.1 m<sup>3</sup>/ha cuando se fertiliza (González *et al.*, 2005). Las unidades Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico Hiperdístico) y Acrisol Úmbrico Gléyico (Hiperdístico Férrico) tienen textura migajón arenosa en los primeros 40 cm de profundidad y presentan la mayor productividad (139 a 148 m<sup>3</sup> de madera/ha al turno de 7 años), y en los Acrisoles de textura más fina los rendimientos disminuyen (94 a 125 m<sup>3</sup> de madera/ha) (Anexo 1). Sobre esta variable, Delgado *et al.* (2009) mencionan que los contenidos de arena en el intervalo de 24 a 28% en la capa de 0 a 30 cm de profundidad, tienen efecto positivo en el crecimiento de *E. urophylla*, y las texturas muy arcillosas o muy arenosas determinan crecimientos inferiores del árbol.

Las variables edáficas que asignan aptitud media a los Acrisoles de la terraza de Huimanguillo son pH ácido y baja fertilidad, y drenaje en el Acrisol Úmbrico Gléyico (Anexo 1 y Cuadro 2). El pH tiene valores ponderados de 4 a 4.7 en la capa de 0 a 50 cm de profundidad. En cuanto a la fertilidad, los valores ponderados de CIC varían de 3.9 a 11.7 cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup> en la capa de 0 a 30 cm de profundidad (Anexo 1), indicando que son pobres en nutrientes. No obstante, *E. urophylla* es una especie que desarrolla adecuadamente en suelos ácidos, con bajos contenidos de CIC y bases intercambiables (González *et al.*, 2005; Acosta *et al.*, 2005; Rodríguez-Juárez *et al.*, 2014), e incluso puede mejorar la fertilidad del suelo a largo plazo (Ceccon *et al.*, 2000),

o mantenerla de manera similar a los Acrisoles con vegetación de acahual (Palma-López *et al.*, 2015). Para darle seguimiento al proceso de recuperación del suelo por efecto de las plantaciones de la especie, es necesario realizar estudios de contenidos nutrimentales en el horizonte A con evaluaciones desde la etapa inicial hasta el final de turno.



Fuente: Castillo-Acosta *et al.* (2014).

Figura 5. Pendientes de la terraza de Huimanguillo, Tabasco (Castillo-Acosta *et al.*, 2014).

Cuadro 4. Aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* en la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

Unidad de suelo	Aptitud	Superficie	
		ha	%
Acrisol Cutánico (Crómico Férrico)	Media	134511.7	84.9
Acrisol Cutánico (Endoarcílico Férrico)	Media		
Acrisol Cutánico (Endoarcílico, Hiperdístico, Férrico)	Media		
Acrisol Úmbrico Cutánico (Hiperdístico Húmico)	Media		
Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico Hiperdístico)	Media		
Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico Hiperdístico, Férrico)	Media		
Acrisol Úmbrico Gléyico (Hiperdístico, Férrico)	Media		
Cambisol Flúvico Endogléyico (Dístico)	Nula	21637.4	13.7
Cambisol Endogléyico (Arcílico, Étrico)	Nula		
Gleysol Álico (Endoarcílico, Hiperdístico, Húmico)	Nula		

El drenaje imperfecto en el Acrisol Úmbrico Gléyico se presenta en la capa de 74 a 145 cm de profundidad, y se asocia a la formación de horizontes Btg y Cg de color gris, indicadores de mal drenaje interno (Anexo 1). Esta característica física se relaciona con la posición topográfica baja de la unidad, situada entre 12 y 45 msnm, en pendientes planas de 0 a 2% (Anexo 1, y Figuras 4 y 5), cuya función es receptora del drenaje superficial de las terrazas altas (Zavala-Cruz., 2014). Al respecto, Acota *et al.* (2005) mencionan que suelos con drenaje imperfecto asociado a hidromorfismo con moteados entre difusos y claros en alguna parte del perfil, abajo del horizonte A, disminuyen 14% la altura de las plantaciones de eucaliptos a los 5 años de edad. Para mitigar esta limitante e incrementar la productividad de las plantaciones

de *E. urophylla* en este suelo, se requiere buscar alternativas sustentables de manejo o ensayar con otras especies que se adapten mejor.

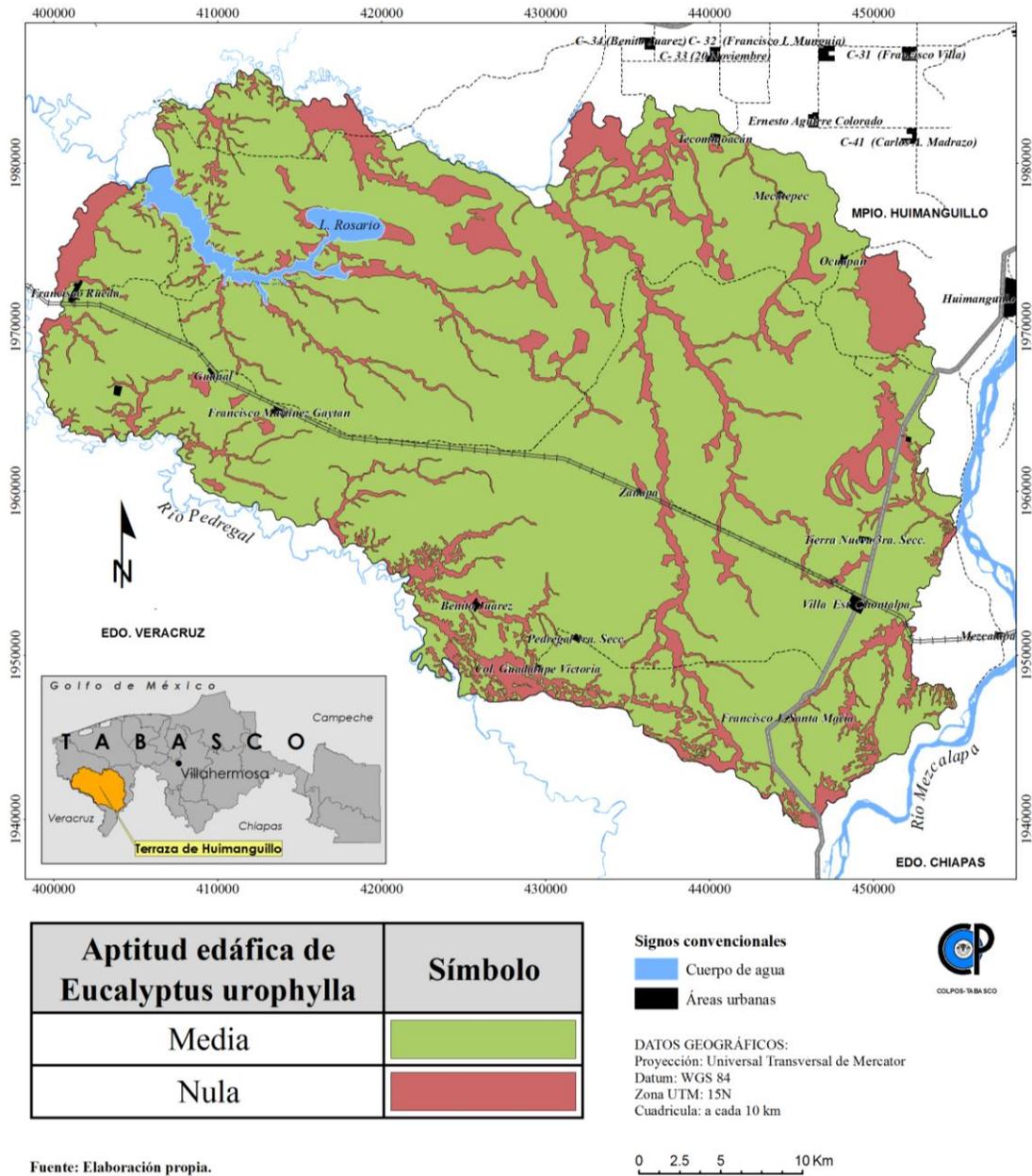


Figura 6. Aptitud edáfica de *Eucalyptus urophylla* en la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

Los suelos con aptitud nula se asocian a las unidades de los grupos Cambisol y Gleysol en el 13.7% de la terraza, debido a que presentan drenaje pobre en la capa de 0 a 50 cm de profundidad, como resultado del manto freático elevado en la época de lluvias; esta limitante se deduce de la presencia de horizontes Ag de color gris y motas marcadas y comunes de color gris oscuro y ocre que se forman por procesos de óxido reducción en condiciones alternadas de saturación de agua (Marín, 2006; Palma-López *et al.*, 2007; Zavala-Cruz *et al.*, 2014). Estos suelos también presentan inundaciones en la época de lluvias, durante varios meses en los Gleysoles e intermitentes en los Cambisoles, al desarrollarse en zonas bajas de la terraza sobre relieves de depresión, planicie de inundación lagunar, valle acumulativo y zonas planas de transición con planicies fluviales, cuya función es receptora del caudal aportado por las corrientes fluviales de los lomeríos altos (Marín, 2006; Zavala-Cruz *et al.*, 2014; Castillo-Acosta *et al.*, 2014). El drenaje pobre de la capa superficial concuerda con el de suelos ubicados en posiciones de topografía baja, caracterizados por un horizonte A de color gris o muchas motas grises, indicando pobre aereación; esta variable limita la productividad de *E. urophylla* (Acosta *et al.*, 2005; Delgado *et al.*, 2009), los árboles crecen 18% menos rápido en comparación con suelos bien drenados (Henri, 2001) y merma 28% la altura de los árboles de plantaciones con otras especies de eucalipto a los cinco años de edad (Acosta *et al.*, 2005). Aunque los Cambisoles del área no se recomiendan para establecer plantaciones comerciales de la especie, Chaw *et al.* (2011) mencionan que se puede utilizar en programas de reforestación de áreas expuestas a inundación.

En relación a los factores clima y topografía, la terraza de Huimanguillo presenta condiciones favorables para *E. urophylla*. El clima es apto al ubicarse dentro de la zona intertropical, con intervalos de temperatura de 24 a 28 °C y precipitación de 2000 a 3000 mm al año. Por altitud tiene aptitud media al situarse a menos de 80 msnm, y por pendiente, el 97.5% se localiza en

el intervalo de 0 a 25%, valorándose como aptitud apta a media (Cuadro 5 y Anexo 1). Algunos Acrisoles situados al sur y sureste de la terraza tienen pendientes mayores al 25%, por lo que se clasificaron como de aptitud nula, en total representan el 2.4% del área (Figura 6); en caso de ser utilizados para plantaciones de la especie, estos suelos estarían expuestos a erosión hídrica debido a la fuerte inclinación del relieve de lomeríos, la textura gruesa superficial y la poca agregación de los suelos (Mercado, 2000; Palma-López *et al.*, 2008). Asimismo, en pendientes de 6 a 25% aunque se han obtenido rendimientos favorables de madera, se requiere implementar prácticas de manejo sustentables para evitar la degradación de los suelos por erosión hídrica; y las pendientes mayores a 25% no se recomiendan para plantaciones de *E. urophylla*, a fin de evitar la degradación del suelo.

Cuadro 5. Aptitud por clima y topografía de *Eucalyptus urophylla* en la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

Factor	Variable		Aptitud
Clima	Tropical y subtropical		Apta
	Temperatura (°C)		Apta
	Precipitación (mm)		Apta
Topografía	Altitud (msnm)		Media
	Pendiente (%)	< 6	Apta
		6-25	Media
		25-40	Nula

Los datos de producción de *E. urophylla* con base en el rendimiento promedio de las fincas de la empresa Fomex SA de CV, varían de 94 a 148.2 m<sup>3</sup> de madera/ha al turno de 7 años (Anexo 1), e indican productividad regular a media para plantaciones comerciales de la especie, en comparación con los rendimientos de 210 a 434 m<sup>3</sup>/ha de madera al turno de 7 años en plantaciones de otras regiones; además, en el trópico mexicano se reportan incrementos de 81 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, similar a sitios muy productivos de Brasil (Delgado *et al.*, 2009). Los suelos que tienen mayor potencial en base a la productividad por hectárea son Acrisol Cutánico (Endoarcílico Hiperdistrico Férrico), Acrisol Úmbrico Cutánico (Endoarcílico Hiperdistrico) y Acrisol Úmbrico Gléyico (Hiperdistrico Férrico), sobresalen por su textura migajón arenosa y buen drenaje en el horizonte A, en el 24.6% de la región; junto con las demás unidades de Acrisoles se pueden mejorar llevando a cabo prácticas sustentables de silvicultura y mejoramiento genético de la especie para incrementar los volúmenes de producción (Anexo 1).

## VI. CONCLUSIONES

La región terraza de Huimanguillo presentó suelos Acrisoles con aptitud medía para el establecimiento de *Eucalytus urophylla*, en el 84.9% del área. Las principales limitantes edáficas para la especie son pH muy ácido, baja fertilidad y drenaje imperfecto.

La aptitud por clima para *E. urophylla* en la terraza de Huimanguillo es alta, al ubicarse en una zona tropical húmeda con intervalos de temperatura y precipitación óptimos.

Las variables topográficas de la terraza de Huimanguillo indican que *E. urophylla* presenta aptitud alta a media, al ubicarse en alturas menores a 200 msnm y pendientes inferiores a 25%, excepto en el 2.4% del área sin aptitud al situarse en relieves con inclinación mayor a 25%.

## VII. RECOMENDACIONES

Considerando las limitaciones de suelo por pH y fertilidad y debido a que la especie de *Eucalyptus urophylla*, presenta adaptabilidad a suelos pobres en nutrimentos, es necesario el uso de material genético seleccionado de plantaciones de semilla para la obtención de árboles plus adaptados a las diferentes unidades de Acrisoles, así como el establecimiento de huertos de hibridación para generar cruza entre especies que produzcan individuos con mayor potencial y desarrollo para la zona.

Se recomienda evaluar material clonal de alto rendimiento de otros países y seleccionar los más productivos que se adapten a los Acrisoles de la terraza de Huimanguillo.

En suelos con pendiente de 6 a 25% se recomienda implementar prácticas de manejo sustentable en plantaciones de *E. urophylla*, como plantaciones en franjas en contorno acorde a las curvas de nivel, para evitar la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Realizar investigaciones sobre el uso de especies leguminosas o de cobertera en plantaciones de la especie, que aporten abonos verdes y protejan al suelo contra la erosión hídrica.

Mejorar la fertilidad nativa de los suelos mediante prácticas de encalado (cal dolomítica y cal agrícola) y abonos orgánicos, como compostas elaboradas a partir de los residuos de cosecha.

Se propone realizar un estudio de sistema integrado para recomendar dosis de fertilización sustentables para plantaciones de la especie, a fin de mejorar la producción de madera.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Acosta B., O. Márquez, E. Mora, V. García y R. Hernández (2005), "Uso del método de análisis de componentes principales para la evaluación de la relación suelo productividad en

Eucalyptus Spp. Estado Portuguesa-Venezuela”, *Rev. Forestal Latinoamericana*, núm. 37, Instituto Forestal Latinoamericano, Venezuela, pp. 17–44.

Bustillos-Herrera J. A, J. R. Valdez-Lazalde, A. Alderete y M. de J. González-Guillen (2007), “Aptitud de terrenos para plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): definición mediante el proceso de análisis jerarquizado y SIG”, *Agrociencia*, Vol. 41 núm. 7, Colegio de Postgraduados, México, pp.787-796.

Castillo-Acosta, O., J. Zavala-Cruz, E. Shirma-Tórrez (2014), *Distribución geográfica de encinares en el estado de Tabasco*, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Colegio de Postgraduados, Villahermosa, Tabasco, México.

Ceccon, E. y M. Martínez Ramos (2000), *Aspectos ambientales referentes al establecimiento de las plantaciones forestales comerciales en larga escala para revisión de la norma forestal*, Universidad Autónoma de México, Instituto de Ecología, SNIB-CONABIO, Informe final proyecto núm. K009, México D. F., México.

Comision Nacional Permanente Peruana del Tratado de Cooperación Amazónica (1998), “*Manual de zonificación ecológica económica para la Amazonia Peruana*”, Ministerio de Relaciones Exteriores, Lima, Perú.

Cuanalo de la Cerda, H. (1990), *Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo*, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, México.

Chapela, G. (2012), “*Problemas y oportunidades en el mercado para las empresas sociales forestales en México*”, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A. C., Universidad Autónoma Chapingo, México. (En proceso editorial).

Sein, Chaw Chaw, S. and R. Mitlohner (2011), *Eucalyptus urophylla ST Blake ecology and silviculture in Vietnan*”, Center for International Forestry Research, Indonesia.

Delgado Caballero, C. E., J. R. Valdez Lazalde, A. M. Fierros González, H. M. De los Santos Posadas, A. Gómez Guerrero (2010), “Aptitud de áreas para plantaciones de eucalipto en Oaxaca y Veracruz: Proceso de análisis jerarquizado VS álgebra Booleana”, *Rev. Mex. Cien. For.*, vol. 1, núm. 1, INIFAP, México, pp. 123-133.

Delgado Caballero, C. E., A. Gómez Guerrero, J. R. Valdez Lazalde, H. M. De los Santos Posadas, A. M. Fierros González, R.W. Horwath (2009), “Índice de sitio y propiedades del suelo en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en el sureste de México”, *Agrociencia*, núm. 43, Colegio de Postgraduados, México, pp. 61-72.

Diario Oficial de la Federación (2002), Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 31 de diciembre de 2002. [[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002): 27 de abril de 2015].

Díaz Padilla, G., G. Medina García, J. A. Ruíz Corral, V. Serrano Altamirano (2008), *Potencial productivo del cultivo de canola (*Brassica napus* L.) en México ciclo primavera-verano delimitación en sistemas de información geográfica*, Publicación Técnica N° 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Veracruz, México.

Ecocrop (2007), *The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Version 1.0. Agls. Rome, Italy. [<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>: 12 de Noviembre de 2014].

Esri (2004), *Arcgis 9 getting started with Arcgis Sistema de información*, Environmental System Research Institute, Redland, USA.

FAO (1997), *Zonificación agroecológica guía general*, Boletín de Suelos de la FAO, núm. 73, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.

Flores Velázquez, R., E. Serrano Gálvez, V. H Palacio Muñoz y G. Chapela (2007), “Análisis de la industria de la madera aserrada en México”, *Madera y Bosques*, vol. 13, núm. 1, Instituto de Ecología A. C., México, pp. 47-59.

Fuentes Amaro, S. L. (2009), *Calidad germinativa de semilla de Eucalyptus urophylla S.T. Blake de árboles selectos en plantaciones comerciales*, Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

González, R., J. Stock, M. Jerez, O. Carrero Gamaz, M. Plonczak y F. Shutte (2005), “Análisis biológico y financiero de un ensayo de fertilización en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* establecidas en suelos arenosos del Oriente de Venezuela”, *Revista forestal Venezolana*, vol. 49 núm. 2, Universidad de Los Andes, Venezuela, pp. 175-181

Henri, C. J. (2001), “Soil-site productivity of *Gmelina arborea*, *Eucalyptus urophylla*, and *Eucalyptus grandis* forest plantations in western Venezuela”, *Forest Ecology and Management*, núm. 144, ELSEVIER, pp. 255-264.

Iglesias Trabado, G. y D. Wilstermann (2008), *Eucalyptus universalis global cultivated eucalypt forests map 2008, Version 1.0.1*, in GIT Forestry Consulting's EUCALYPTOLOGICS. [<http://www.git-forestry.com>: 29 de marzo de 2009].

Ignacio Sánchez, E. (2004), *Parámetros genéticos y selección temprana en características de crecimiento y densidad de la madera en clones de Eucalyptus urophylla S.T. Blake*, Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2001), *Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco y anexo cartográfico*, Aguascalientes, México.

IMTA (1989), *Manual de clasificación, cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de taxonomía de suelos*, Comisión Nacional del Agua, México.

IUSS, ISRIC y FAO (2007), *Base referencial mundial del recurso suelo primera actualización 2007*, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos núm. 103, FAO, Roma.

Juárez-Palacios, J. C., J. A. Honorato-Salazar, L. Vázquez-Silva y J. F. Conrado Parraguirre-Lezama (2013), “Patogenicidad de *Chrysosporthe cubensis* en clones de *Eucalyptus grandis* y *E. Urophylla* en el Sureste de México”, *Madera y Bosques*, vol. 19, núm. 1, Instituto de Ecología A. C., México, pp. 17-36.

Marín Aguilar, A. (2006), *Caracterización, clasificación y cartografía de suelos citrícolas en Tabasco*, Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas, México.

Martínez Ruíz, R., H. S. Azpíroz Rivero, J. L. Rodríguez de la O., V. M. Cetina Alcalá, M. A. Gutiérrez Espinoza (2006), “Importancia de las Plantaciones de *Eucalyptus*”, *Ra Ximhai*, vol. 2, núm. 3, Universidad Autónoma Indígena de México, México, pp. 815-846.

Mercado Zapata, F. J. (2000), *Calidad y aptitud de los Ultisoles de la sabana tropical mexicana para la producción de madera con *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) y *Eucalyptus urophylla* (S.T Blake)*, Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, México.

Negrete Fernández, G. J. (2000), *Los sistemas de información geográfica para la caracterización y diagnóstico de los recursos naturales en el ordenamiento ecológico*, Instituto Nacional de Ecología, México D. F., México.

Nieto, M. V., y J. Rodríguez (2003), “*Descripción de especies: Eucalyptus urophylla ST Blake*”, Corporación Nacional de Investigación Forestal, Santafé de Bogotá, Colombia.

Ortíz-Pérez, M. A., C. Siebe y S. Cram (2005), Diferenciación ecogeográfica de Tabasco, en: Bueno, J., F. Álvarez y S. Santiago (eds.), *Biodiversidad del Estado de Tabasco*, Instituto de Biología, UNAM y CONABIO, México, pp. 305-322.

Palma-López D. J., C. J. Vázquez Navarrete, A. E. Mata Zayas, A. López Castañeda, M. A. Morales Garduza, P. R. Chablé, H. J. Contreras y D. Y. Palma-Cancino (2011), “*Zonificación de Ecosistemas y Agroecosistemas susceptibles de recibir pagos por servicios ambientales en la Chontalpa, Tabasco*”, Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Villahermosa, México.

Palma-López D. J., J. Cisneros-Domínguez, E. Moreno-Cáliz y J. A. Rincón-Ramírez (2007), *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*, Colegio de Postgraduados, ISPROTAB, FUPROTAB, Villahermosa, México.

Palma-López D. J., S. Salgado García, G. Martínez Sebastián, J. Zavala Cruz, L. del C. Lagunes Espinoza (2015), “Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de Tabasco, México”, *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 2, núm. 5, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México, pp. 163-172.

Payn, K. G. (2008), *Molecular genetic diversity and population genetic structure of the commercially important tropical forest tree species Eucalyptus urophylla*, Faculty of North Carolina State University, Raleigh, United States of America.

Pérez Sandoval, R. (2010), *Características edafológicas y potencial productivo de Eucalyptus urophylla y E. grandis en Huimanguillo, Tabasco*, Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Pongitory, V. y G. Moura (2004). *O Germoplasma de Eucalyptus urophylla S.T. Blake No Brasil*, Comunicado Técnico 111, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Brasil. [<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CENARGEN/28288/1/cot111.pdf>. 25 de mayo de 2015].

Porta Casanellas, J. y M. López-Acevedo R. (2005), “*Agenda de campo de suelos información de suelos para la agricultura y el medio ambiente*”, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.

Proteak (2013), *Informe anual 2013 Renewable Forestry*, Comisión Nacional Bancaria y de Valores. [<http://www.proteak.com/index.php/es/inversionistas/informacion-financiera/informes-anales>: 7 de febrero de 2015].

Ramírez López, J. L. (2012), *Secuestro de carbono en plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus Labill)-Cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha, como una alternativa al desarrollo sustentable*, Tesis profesional, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Rivera Hernández, B., L. A. Acerves Navarro, J. F. Juárez López, D. J. Palma López, R. González Mancillas y V. González Jiménez (2012), “Zonificación agroecológica y estimación de rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México”, *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 16, núm. 1, Universidad de Colima, México, pp. 29-47.

Rodríguez-Juárez, M. I., A. Velázquez-Martínez, A. Gómez-Guerrero, A. Alderete, M. Domínguez-Domínguez (2014), “Fertilización con boro en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S.T Black en Tabasco”, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 203-2013.

Salgado García, S., D. J. Palma-López, J. Zavala Cruz, L. del C. Lagunes Espinoza, M. Castelán Estrada, C. F. Ortiz García, U. F. Ventura, A. Aguilar Marín, E. Moreno Cáliz, J. A. Rincón Ramírez (2007), *Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en las plantaciones de cítricos de Tabasco, México*, Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas, México.

Salgado-García S., D. J. Palma-López, J. Zavala-Cruz, C. F. Ortiz García, M. Castelán-Estrada, L. del C. Lagunes-Espinoza, A. Guerrero-Peña, A. I. Ortiz-Ceballos y S. Córdova-Sánchez (2010), *Sistema Integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF): en la zona piñera de Huimanguillo, Tabasco*, Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas, México.

Scanavaca Junior, L. (2002), Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de seu potencial para utilização em serraria, Dissertações de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Vila Independencia, Brasil.

Sepúlveda Claudia e I. Muhammad (2009). Políticas y Sistemas de Incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas, como una medida de adaptación al Cambio Climático en América central. Informe Técnico No. 377. 292 p. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Suárez Venero, G. M. (2014), “Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos. Particularidades en Cuba”, *Cultivos Tropicales*”, vol. 35, núm. 4, pp. 36-44.

Zavala Cruz, J., S. Salgado García, A. Marin Aguilar, D. J. Palma-López, M. Castelan Estrada, R. Ramos Reyes (2014), “Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco”, *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 1, núm. 2, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México, pp. 123-137.

ANEXO 1

Anexo 1. Base de datos de suelo, clima, topografía y productividad de *Eucalyptus urophylla* en la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

Unidad de suelo	Perfil	Coord. Geogr.		Horizonte	Suelo <sup>1</sup>													Dre- naje	Clima <sup>2</sup>			Topografía <sup>3</sup>		Productividad <sup>4</sup>				
		Lat. N	Long. W		pH (H2O) rel 1:2	CE dS m <sup>-1</sup>	MO %	N %	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo		Arena	Textura	Tipo	Temp. °C	Precip. mm	Altitud msnm	Pendiente (%) Domi- nante	Secun- daria	No. Fincas	Volúmen m3/ha
Acrisol Cutáneo (Crómico, Férrico)	10	432854	1979740	Ap (0-16)	4.2	0.03	6.6	0.3	9.1	0.11	0.45	0.77	0.07	9	16	22	11	67	Migajón Arcillo-arenoso	B	Am (f)	26-28	2000-2500	19-29	0-3	3-6		
				AB (16-42)	4.3	0.02	2.1	0.1	1.9	0.04	0.22	0.46	0.07	3	26	7	67	Migajón Arcillo-arenoso										
				Bt1 (42-72)	4.2	0.03	1.3	0	1.5	0.10	0.30	0.94	0.06	3	47	36	15	49	Arcillo Arenoso									
				Bt2 (72-98)	4.6	0.02	0.5	0	0.7	0.12	0.67	1.81	0.06	6	44	42	13	45	Arcillo Arenoso									
				Cs (98-239)	4.3	0.03	0.3	NSD	NSD	0.11	0.41	4.35	0.05	11	45	42	9	49	Arcillo Arenoso									
Acrisol Cutáneo (Endoarcilloso, Férrico)	7	441430	1954191	Ap (0-10)	5.6	0.07	5.9		14.3	0.88	1.38	0.42	0.06	13.3	20	27	23	50	Migajón Arcillo-arenoso	B	Af (m)	24-26	2000-2500	30-50	0-3	3 a 25	3	132
				A2 (10-31)	4.6	0.12	2.0		NSD	0.10	1.86	0.08	0.09	4.9	43	27	29	43	Migajón Arcilloso									
				Bt1 (31-60)	4.6	0.04	0.9		NSD	0.03	1.05	0.06	0.02	5.2	22	43	20	37	Arcilla									
				Bt2 (60-104)	4.5	0.03	0.6		1.7	0.03	0.65	0.11	0.04	3.9	21	43	14	43	Arcilla									
				C (104-150)	4.6	0.02	0.3		0.8	0.02	0.33	0.04	0.03	5.4	8	43	10	47	Arcillo Arenoso									
Acrisol Cutáneo (Endoarcilloso Hiperdistrico Férrico)	11	432147	1980668	Ap (0-20)	4.2	0.03	3.6	0.2	6.3	0.06	0.73	0.14	0.01	5	19	18	19	63	Migajón-arenoso	B	Am(f), Am(f)	24-28	2000-3000	12-65	0-3	3 a 25	5	144.4
				A2 (20-36)	4.4	0.02	1.0	0	3.6	0.04	0.43	0.09	NSD	2	28	18	17	65	Migajón-arenoso									
				Bt1 (36-65)	4.2	0.04	0.7	0	1.3	0.04	0.61	0.33	0.07	6	17	46	13	41	Arcilla									
				Bt2 (65-112)	4.1	0.02	0.4	0	0.1	0.04	0.25	0.04	0.04	8	5	50	15	35	Arcilla									
				Cs (112-155)	4.0	0.02	0.3	0	NSD	0.03	0.14	0.38	0.04	10	6	48	17	35	Arcilla									
Acrisol Úmbrico Cutáneo (Endoarcilloso, Hiperdistrico)	9	432587	1978287	Ap (0-27)	4.0	0.02	3.1	0.2	7.1	0.07	0.40	0.11	0.08	4	16	20	13	67	Migajón-arenoso	B	Af(m), Am(f)	24-28	2000-3000	22-75	0-3	3 a 40	4	148.2
				Bt1 (27-62)	4.2	0.04	0.9	0	0.6	0.03	1.02	0.20	0.05	5	26	44	9	47	Arcillo Arenoso									
				Bt2 (62-100)	4.3	0.03	0.5	0	0.6	0.02	0.86	3.37	0.09	9	48	50	13	37	Arcilla									
Acrisol Úmbrico Cutáneo (Endoarcilloso Hiperdistrico Férrico)	2	401788	1974275	Ap (0-12)	3.9	0.03	7.3	0.3	5.0	0.05	0.06	0.02	0.07	12	2	24	19	57	Migajón Arcillo-arenoso	B	Af(m), Am(f)	24-28	2000-3000	10-80	0-3	3 a 40	5	125
				A2 (12-32)	4.2	0.02	1.9	0.1	3.0	0.03	0.06	0.04	NDS	6	2	36	15	49	Arcillo Arenoso									
				Bt1 (32-53)	3.9	0.02	0.7	0	1.3	0.03	0.09	0.06	0.42	5	12	42	17	41	Arcilla									
				C1 (53-125)	4.2	0.02	0.3	0	1.5	0.03	0.10	0.09	0.09	7	4	42	13	45	Arcillo Arenoso									
Acrisol Úmbrico Cutáneo (Hiperdistrico Húmico)	8	432307	1950679	Ap (0-69)	4.5	0.02	16.9	0.3	0.4	0.01	0.06	0.01	0.05	27	0	22	23	55	Migajón Arcillo-arenoso	B	Af(m)	24-26	2000-3000	23-75	0-3	3 a 40	5	94
				Bt1 (69-111)	4.5	0.02	9.5	0.2	0.3	0.03	0.09	0.03	0.11	18	1	32	19	49	Migajón Arcillo-arenoso									
				Bt2 (111-140)	4.2	0.02	3.8	0.1	NSD	0.01	0.09	0.03	0.08	10	2	58	11	31	Arcilla									
Acrisol Úmbrico Gléyico (Hiperdistrico Férrico)	11	442955	1973458	Ap (0-23)	4.8	0.07	5.6		14.3	0.04	1.68	0.39	0.05	6.9	31	9	20	71	Migajón-arenoso	I	Af(m), Am(f)	24-28	2000-2500	12-45	0-3	3 a 25	5	139
				Bt1 (23-40)	4.6	0.06	2.2		0.6	0.04	0.27	0.06	0.02	2.5	15	17	18	65	Migajón-arenoso									
				Bt2 (40-74)	4.7	0.05	0.9		0.3	0.07	0.34	0.12	0.01	2	28	25	16	59	Migajón Arcillo-arenoso									
				Bt3g (74-113)	4.8	0.02	0.7		1.9	0.06	0.22	0.09	0.02	2	19	27	13	60	Migajón Arcillo-arenoso									
				Cg (113-145)	4.6	0.02	0.4		1.4	0.04	0.27	0.08	0.02	3	14	31	16	53	Migajón Arcillo-arenoso									
Cambisol Flúvico Endogléyico (Districo)	18	438595	1974665	Ap (0-11)	5.2	0.03	3.27		14.5	0.24	2.88	0.47	0.13	9.1	41	38	7	55	Arcillo Arenoso	P	Af(m)	26-28	2000-2500	14-20	0-3			
				AB (11-41)	5.2	0.01	0.39		NSD	0.07	0.66	0.10	0.12	3.4	28	41	7	52	Arcillo Arenoso									
				Bw1g (41-65)	5.2	0.01	1.59		NSD	0.11	0.62	0.14	0.12	4.8	21	42	4	54	Arcillo Arenoso									
				w 2gt1 (28-7)	5.1	0.00	0.32		NSD	0.05	0.16	0.13	0.22	5.3	11	46	4	50	Arcillo Arenoso									
				Bt2 (77-155)	5.1	0.01	0.25		NSD	0.07	0.26	0.11	0.10	3.8	14	48	6	46	Arcillo Arenoso									
Cambisol Endogléyico (Arcilloso, Éutrico) 4				A1g (0-43)	6		4.9		26	0.77	28.30	9.50	0.51	39.3		40.2	16	43.8	Arcilla	P	Am(f)	26-28	2000-2500	jun-20	<1			
				Bwg (43-76)	5.6		2.3		24	0.73	28.10	10.60	0.41	40.2		45.3	14	40.7	Arcilla									
				Cg (76-145)	6.4		1.7		27.6	0.52	31.31	9.47	0.36	40.0		28.2	26	45.8	Franco-arcillo-arenoso									
Gleysol Álico (Endoarcilloso Districo Húmico)	7	411088	1967170	Ag1 (0-10)	5.3	0.05	5.8	0.3	5.7	0.10	5.19	0.54	0.17	10	60	20	13	67	Migajón-arenoso	P	Am(f), Af(m)	24-26	2000-2500	8-40	<1			
				Ag2 (10-4)	5.1	0.01	2.3	0	1.9	0.03	0.52	0.09	0.03	3	22	16	7	77	Migajón-arenoso									
				Bgt (34-45)	4.7	0.03	7.4	0.2	5.0	0.09	1.82	0.50	0.13	15	17	44	31	25	Arcilla									

Fuente: <sup>1</sup> Salgado *et al.*, 2010; <sup>2</sup> INEGI, 2001; <sup>3</sup> Castillo-Acosta *et al.*, 2014; <sup>4</sup> Fomex SA de CV.

Drenaje:  
B Bueno  
I Imperfecto  
P Pobre

NSD: No se detectó