



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Campus Tuxpan

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN E IMPACTO AMBIENTAL

“ESTIMACIÓN DE CARBONO EN UN PROYECTO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR CAMBIO DE USO DE SUELO EN CHICONTEPEC, VERACRUZ”

TESIS

Que para obtener el título de:

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN E IMPACTO
AMBIENTAL

P R E S E N T A:

Mireya Sosa Jiménez

Director:

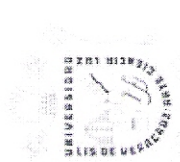
M.C. Joaquín Becerra Zavaleta

Co-Director:

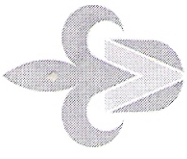
Dr. Juan Manuel Pech Canché

Tuxpan, Veracruz




Abril de 2013



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Especialización en Gestión E Impacto Ambiental



Revisión del trabajo Recepcional del Alumno: Mireya Sosa Jiménez

Nombre	Fecha	Fecha	Dictamen	Firma
<u>Eduardo Alfredo Zayas Meza</u>	<u>14/01/13</u>	<u>14/01/13</u>	<u>Aprobado</u>	
<u>Maribel Ortiz Daguez</u>	<u>14/1/2013</u>	<u>14/1/2013</u>	<u>Aprobado</u>	
<u>Blanca Esther Raygada</u>	<u>14/1/13</u>	<u>14/1/13</u>	<u>Aprobado</u>	

En la presente revisión se acordó que el trabajo recepcional denominado: Estimación de carbono en un proyecto de compensación ambiental por cambio de uso de suelo en Chicontepec, Veracruz., que presenta el sustentante para obtener el Título de Especialista, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

La presente Tesis titulada: "**Estimación de carbono en un proyecto de compensación ambiental por cambio de uso de suelo en Chicontepec, Veracruz**", realizada por la C. Mireya Sosa Jiménez, bajo la dirección del M. en C. JOAQUÍN BECERRA ZAVALAETA y asesoría del consejo particular del Dr. JUAN MANUEL PECH CANCHÉ, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

ESPECIALISTA EN GESTIÓN E IMPACTO AMBIENTAL



M. en C. JOAQUÍN BECERRA ZAVALAETA
DIRECTOR



DR. JUAN MANUEL PECH CANCHÉ
CO-DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por cuidar mi camino y darme fuerzas para lograr mis objetivos.

A mi familia

Por sus muestras de amor y cariño, pero principalmente por su apoyo incondicional.

A mi Alma Mater La universidad Veracruzana

Porque me brindó la oportunidad de obtener conocimientos para desarrollarme como profesionista.

A la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Por formar parte de mi vida profesional primero en la licenciatura y ahora nuevamente en la especialidad.

Al M.C. Joaquín Becerra Zavaleta

Director de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de la misma.

Al Dr. Juan Manuel Pech Canché

Co-director de tesis, por su apoyo y asesoramiento en la realización de la misma.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

Hay muchas personas especiales a las que me gustaría dedicar el presente trabajo, por su amistad, apoyo, compañía y que quiero a la vez agradecer por formar parte de mi vida, por todo lo que me han dado y principalmente su cariño.

GRACIAS

A Dios

Por permitirme llegar hasta este momento de mi vida, por haberme dado salud, fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado, el valor para lograr mis objetivos y por su infinito amor.

A mis padres

Mireya y Juan, que han sabido formarme, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles, a mi madre la guerrera invencible y mi padre por su amor y confianza, pero sobre todo por su apoyo incondicional.

A mis hermanos

María Esther, Yoseline, Ximena, Jesús, Juan y Manuel, que siempre han estado junto a mí, compartiendo los buenos y malos momentos, y brindándome siempre su apoyo.

A mis sobrinos

Erasmus, Jessica, Aylin, Yesenia, Chuchin, Josie, Poncho, Yeremi y los que están por llegar, por alegrar mi vida y porque siempre lo sigan haciendo, pero sobre todo por su apoyo incondicional que me han brindado.

A Viky y Gastón

Gracias por su apoyo y cariño que siempre me han brindado.

A Don Erasmo Meza Azuara

Que me permitió llevar a cabo este trabajo en su rancho, por su apoyo pero principalmente por confiar en mí.

A mis amigos

Es Celeste, Mely, Edén, Rosario, Raúl, Fernando, Dagoberto, por haber compartido conmigo momentos inolvidables en mi formación profesional, pero sin duda por su apoyo y cariño.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. OBJETIVOS	8
3.1. Objetivo general	8
3.2. Objetivos específicos.....	8
IV. ÁREA DE ESTUDIO	9
4.1. Descripción de la zona de estudio.....	10
4.2. Localización del área de estudio	11
V. METODOLOGÍA.....	15
5.1. Revisión bibliográfica.....	15
5.2. Trabajo de campo.....	16
5.2.1. Medición del DAP	17
5.2.2. Medición de altura	18
5.2.3. Determinación del área basal (AB).....	19
5.2.4. Determinación del volumen.....	20
5.2.5. Estimación de la biomasa	21
5.2.6. Estimación del carbono	21
5.3. Trabajo de gabinete.....	22

5.3.1. Base de datos y análisis estadísticos.....	22
5.3.2. Gráficas.....	23
5.3.3. Cartografía	23
VI. RESULTADOS	24
VII. DISCUSIÓN.....	26
VIII. CONCLUSIONES	29
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	30
X. ANEXOS.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Plantaciones establecidas en superficie y edad	15
Cuadro 2. Valores promedio de las variables analizadas en las tres especies de plantas	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del municipio de Chicontepec, Veracruz.....	10
Figura 2. Localización geográfica La Pastoría, Chicontepec, Veracruz.....	13
Figura 3. Plantaciones del Rancho Escuadrón 201.....	14
Figura 4. Diagrama de flujo para la realización de la presente investigación.....	16
Figura 5. Medición del DAP.....	18
Figura 6. Medición de altura.....	19
Figura 7. Volumen de C almacenado por especie y expresado en ton/ha.....	26

RESUMEN

Una de las principales causas atribuibles al calentamiento global son las emisiones de CO₂ a la atmósfera, impacto que pudiera disminuir mediante el secuestro de carbono por los ecosistemas forestales. Esta estrategia está siendo fuertemente impulsada en los programas de compensación ambiental por cambio de uso del suelo en terrenos forestales (CAXCUSTF), que permiten recuperar los servicios ambientales de los ecosistemas afectados. Con el objetivo evaluar la captura de carbono en un proyecto de compensación ambiental por el cambio de uso de suelo, en el Rancho Escuadrón 201, municipio de Chicontepec, Veracruz, se usó el método del IPCC para estimar las cantidades capturadas por las especies de Cedro rojo (*Cedrela odorata*), Caoba (*Swietenia macrophylla*) y Palo de rosa (*Tabebuia rosea*) en ejemplares de cinco años de edad. Los análisis estadísticos muestran que el carbono promedio estimado para Cedro rojo (12.34 ton/ha) fue significativamente mayor que el encontrado para la Caoba (9.84 ton/ha) pero no para el Palo de rosa (11.94 ton/ha). Estas diferencias están más asociadas a la mayor talla del Cedro rojo que de la Caoba, en términos de altura, volumen y biomasa, lo que le permite incrementar la cantidad promedio de carbono que puede capturar, y que contrasta con la idea inicial de que la Caoba tendría un mayor almacenamiento de carbono debido a que por su biología mantiene sus hojas durante todo el año. Aunque los resultados son consistentes con lo reportado para estas especies en otras regiones, hay que reconocer que pueden existir estimaciones más precisas empleando técnicas de medición de carbono más finas. Por lo anterior, se concluye que la cantidad de carbono capturado depende de la especie, aunque pueden existir otros factores que influyan, como la edad de los árboles, la procedencia del germoplasma y las características propias de cada sitio.

Palabras clave: Compensación ambiental, Captura de carbono, Biomasa, Cedro Rojo, Caoba, Palo de Rosa.

I. INTRODUCCIÓN

México es uno de los 12 países megadiversos que ostenta una gran riqueza forestal, debido a la multiplicidad de climas y relieve montañoso en buena parte del territorio nacional. La amplia variedad en sus recursos forestales coloca a México entre los diez primeros países del mundo por su biodiversidad; aun así, nuestro país enfrenta procesos crecientes de deforestación, pérdida y degradación de los ecosistemas (CONAFOR, 2011).

A través de los años, una vertiginosa transformación de ecosistemas se ha llevado a cabo debido a la demanda de terrenos para agricultura, ganadería, desarrollos urbanos y turísticos, los cuales han destruido o degradado totalmente grandes superficies forestales, hoy convertidas en inmersos problemas ecológicos (Del Amo Rodríguez *et al.*, 1999).

En las últimas décadas el cambio del uso del suelo en terrenos preferentemente forestales, se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, alterando procesos y ciclos. Lo anterior se vuelve trascendental si se considera que es a través de estos cambios donde se materializa la relación entre el hombre y el ambiente (Lambin *et al.*, 1999).

En este contexto, los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997). Estos procesos han sido usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal, los cuales se asocian a impactos ecológicos importantes en casi todas las escalas (Bocco *et al.*, 2001).

Se ha comprobado que la destrucción de la biodiversidad y los bosques puede perturbar el clima global y poner en riesgo una fuente importante de captura de carbono, la cual es cada vez es evidente en la transformación que sufre el territorio. Paradójicamente, los cambios del uso del suelo ya sean legales o ilegales son cada día más frecuentes; el avance de la frontera agrícola hacia superficies forestales ha traído como consecuencia la aparición de una superficie de labor frágil y con alta susceptibilidad a los procesos erosivos y, por ende, con baja productividad (Orozco *et al.*, 2004).

Los factores explicativos que inducen esta degradación son diversos. Algunos autores consideran que la modificación de la cobertura y uso del suelo se debe fundamentalmente a la interacción de factores económicos, políticos y ecológicos (Meyer y Turner, 1992; Walter *et al.*, 1997; Geist y Lambin, 2001).

Actualmente, la transformación de ecosistemas en tierras agrícolas ha comenzado a frenarse poco a poco. La expansión hacia nuevas tierras de cultivo está

disminuyendo, a tal grado, que en algunas regiones se está logrado la reconversión forestal. Como caso específico está el Rancho Escuadrón 201, del municipio de Chicontepec, Veracruz, que de ser netamente ganadero pasó a un proceso de reconversión a forestal hasta convertirse en un sistema silvopastoril.

La presente investigación ha tenido por objeto estimar la cantidad de Carbono (C) capturado en términos de biomasa, en una plantación silvopastoril de 45 hectáreas y una edad de cinco años, ubicada en el referido rancho. Los resultados permitirán reconocer los beneficios ambientales que se obtienen al realizar el cambio de uso de suelo y así poder replicarlo como modelo dentro del sector ganadero.

II. ANTECEDENTES

A nivel mundial se discuten estrategias que permitan la mitigación del calentamiento global, del cual las emisiones de CO₂ son responsables del 60% del efecto invernadero. Dentro de estas estrategias, México tienen planteadas varias acciones, que son: la búsqueda de energías alternativas, la repoblación de sitios deforestados (reforestación) y el establecimiento de plantaciones con varios fines comerciales, ya que mediante éstas dos últimas se pueden convertir las áreas forestales en sumideros de carbono que reduzcan la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera (Acosta *et al.*, 2001; Alba-Landa *et al.*, 2007).

En este sentido, la Compensación Ambiental por Cambio de Usos del Suelo en Terrenos Forestales (CACUSTF), es un programa que opera la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el cual se instauró en septiembre de 2003 para realizar acciones de restauración y/o resarcimiento de daños ambientales, pero es hasta el 2006 que se inician con los proyectos de compensación (CONABIO, 2009).

Para esto se define como Compensación, a la posibilidad de regular las pérdidas en los medios (capacidades o recursos), diseñando alternativas centradas en formas de superar dichas pérdidas sin necesidad de cambiar las metas (Baltes *et al.*, 1998).

En consecuencia, la Compensación Ambiental por Cambio de Uso del Suelo en Terrenos Forestales, tiene como propósito llevar a cabo acciones de restauración de suelos, reforestación y mantenimiento de los ecosistemas forestales deteriorados, para que una vez lograda su restauración, se compensen los servicios ambientales que prestaban los ecosistemas que fueron afectados por el cambio de uso del suelo, entre ellos podemos mencionar el control de la erosión del suelo, la captura de carbono, la recuperación paulatina de la biodiversidad y la producción de oxígeno, entre otros (CONABIO, 2009).

De acuerdo con García y Rodríguez (2009), se han implementado proyectos de Compensación Ambiental por Cambio de Uso de Suelo en diferentes ecosistemas vegetales que van desde los matorrales hasta los pastizales, y con ello se han logrado importantes beneficios para la fauna silvestre. Esta reconversión y rehabilitación ha ofrecido una nueva alternativa para criar ganado bajo esquemas de manejo que no propician la degradación del terreno. También se han realizado proyectos de compensación con especies de mangle rojo (zona de manglares) y árboles de mezquite (mezquiales).

Actualmente, la evaluación de la captura de carbono que pueden realizar diferentes especies de plantas es un tema que ha empezado a desarrollarse en diversas regiones y bajo diferentes perspectivas.

Por ejemplo, Acosta y colaboradores (2001), al realizar la medición del carbono almacenado en sistemas con vegetación natural o inducida realizado en tres regiones de Oaxaca, México, determinaron que el bosque de liquidámbar de la región Mazateca, de 40 años de edad, obtuvo una mayor cantidad de carbono (con casi 100 Mg ha^{-1}) comparado con los otros sistemas analizados (bosques de encino, praderas y acahuales de diferentes edades), mencionando que uno de los factores que influyó considerablemente en dichos resultados fue la edad de las plantas.

Alba-Landa *et al.* (2007), analizando la captura de carbono de una plantación de *Pinus greggii* Engelm., en Naolinco, Veracruz, compuesta de plantas procedentes de tres localidades: Madroño (Querétaro), Laguna Azteca (Hidalgo) y Las Placetas (Nuevo León), todas con edad de 13 años, demostraron que se puede alcanzar una captura promedio de carbono de 90.95 kg, registrada en la última de las localidades previamente mencionadas, lo que demuestra que la utilización de la progenie de las plantas de esta localidad puede representar un aumento en la captura de carbono en futuras plantaciones establecidas para este fin.

De acuerdo a Mendizábal-Hernández *et al.* (2011), quienes evaluaron la captura de carbono por *Cedrela odorata* L., en una prueba genética de procedencias en tres municipios del Estado de Veracruz, analizando la altura y el DAP en ejemplares de 8 años de edad, estimaron que el carbono total fue de 3,111.07 kg, encontrando diferencias significativas entre la variación de los árboles, lo que

implica que las condiciones propias de cada sitio influyen en la cantidad de carbono que las plantas pueden almacenar.

Lo anterior demuestra que la compensación ambiental es una alternativa excelente para restituir los servicios degradados por las malas prácticas de manejo. Con ello no solo se busca la construcción de obras de restauración de suelos y reforestación, sino que propicia la persistencia y evolución de los ecosistemas, generando beneficios ambientales como la retención de humedad, infiltración de agua, incremento de la cobertura vegetal, y en consecuencia, la captura de carbono.

En el caso de ciertas especies forestales maderables como el caso del Cedro rojo (*Cedrela odorata*), Caoba (*Swietenia macrophylla*) y Palo de rosa (*Tabebuia rosea*), existe poca información sobre el impacto que se tenido, al ser incorporadas a un programa de compensación ambiental por el cambio de uso de suelo.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Estimar la cantidad de Carbono (C) capturado en términos de biomasa en plantaciones forestales de cinco años, en un proyecto de compensación ambiental por cambio de uso del suelo (CACUS) implementado en el Rancho Escuadrón 201, municipio de Chicontepec, Veracruz.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar el área basal (AB) para cada una de las especies forestales establecidas de Cedro rojo (*Cedrela odorata*), Caoba (*Swietenia macrophylla*) y Palo de rosa (*Tabebuia rosea*), en el Rancho Escuadrón 201, municipio de Chicontepec, Veracruz.
- Demostrar la cantidad de biomasa incorporada al suelo por la implementación del proyecto de cambio de uso de suelo en el Rancho Escuadrón 201, municipio de Chicontepec, Veracruz.
- Interpretar los beneficios ambientales alcanzados del programa de Compensación Ambiental implementado en el referido rancho.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

El Municipio de Chicontepec de Tejada, se encuentra ubicado a los 20° 58' latitud Norte y 98° 10' longitud Oeste a una altitud de 520 msnm, pertenece a la huasteca baja, colinda al Norte con los municipios de Tantoyuca, Ixcatepec y Tepetzintla; al Este con los municipios de Tepetzintla y Álamo de Tempache; al Sur con los municipios de Álamo de Tempache, Ixhuatlán de Madero y Benito Juárez; al Oeste con el municipio de Benito Juárez, el estado de Hidalgo y el municipio de Tantoyuca (Figura 1).

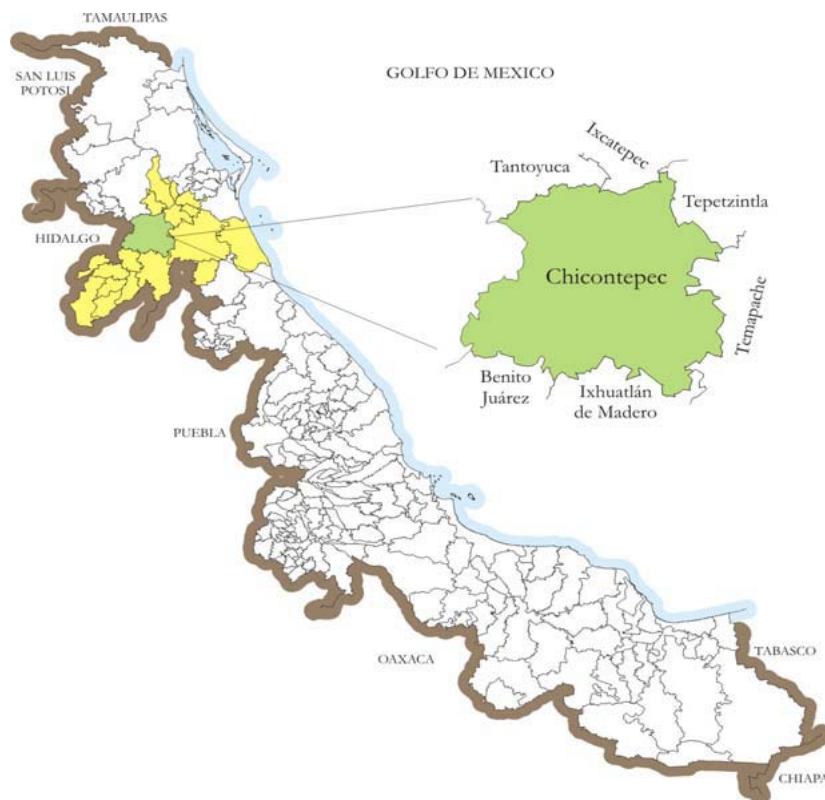


Figura 1. Localización geográfica del municipio de Chicontepec, Veracruz. Fuente: Gobierno del estado de Veracruz (2012).

4.1. Descripción de la zona de estudio

El municipio de Chicontepec de Tejeda, pertenece a la huasteca baja del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, México. El clima es del tipo Am (f) cálido-húmedo con lluvia todo el año y se distribuye en casi toda el área. La temperatura media anual es de 25° C, con una precipitación anual entre los 2300 y 2800 mm (García, 2004). La vegetación presente en este municipio corresponde a selva mediana subperenifolia. Esta selva varía de 15 a 30 m. de altura y del 25 al 50% de las especies que la constituyen pierden sus hojas en la época seca del año. Las principales especies que se encuentran son: Chicozapote (*Achras zapota*), Zapote prieto (*Diospyros digyna*), Mulato (*Bursera simaruba*), Barbasco (*Discorea mexicana*), Rama tinaja (*Trichilia havanensis*), Musgo (*Selaginella martensi*), Papaya cimarrona (*Jacaritia dolichaula*), Capulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.), Chalahuite (*Inga vera* Willd), Calabaza (*Cucurbita pepo* L.), Chayote (*Sechium edule* Jacq) y Chiles (*Capsicum spp.*), entre otras.

La fauna silvestre presente en el municipio es principalmente: Ranita de hojarasca (*Eleutherodactylus* sp.), Lagartija arborícola (*Abronia spp.*), Nauyaca (*Bothrops asper*), Víbora voladora (*Spilotes pullatus*), Gavilán gris (*Buteo nitidus*), Chachalaca (*Ortalis vetula*), Tucán (*Ramphastos sulfuratus*), Tucán collarejo (*Pteroglossus torquatus*), Cucarachero (*Campylorhynchus zonatus*), Tejón (*Nasua narica*), Tigrillo (*Felis wiedii*), Venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y otras más.

La mayor parte de la geología de Chicontepec es sedimentaria, seguida por las rocas Ígneas intrusivas e Ígnea extrusiva. El suelo dominante en la región del proyecto es el Vertisol (Ve), conocido por su alto contenido de arcilla. La región hidrológica de la región de Chicontepec está formada por los ríos Pánuco y Tuxpan.

4.2. Localización del área de estudio

La localidad de La Pastoría se localiza en el Municipio Chicontepec, Veracruz, el clima Am (f) cálido-húmedo, el uso del suelo y vegetación es selva baja caducifolia, la cual está constituida por un gran número de especies de árboles, sin que ninguno de ellos muestre un predominio definitivo sobre los demás.

El presente trabajo se llevó a cabo en el Rancho Escuadrón 201, dicha propiedad está comprendida entre las coordenadas 21° 06' 18.7" de latitud Norte y 98° 10' 00.2" de longitud Oeste, a 84 msnm., que se encuentra ubicado en la localidad La Pastoría perteneciente al municipio de Chicontepec de Tejeda, Veracruz (Figura 2).

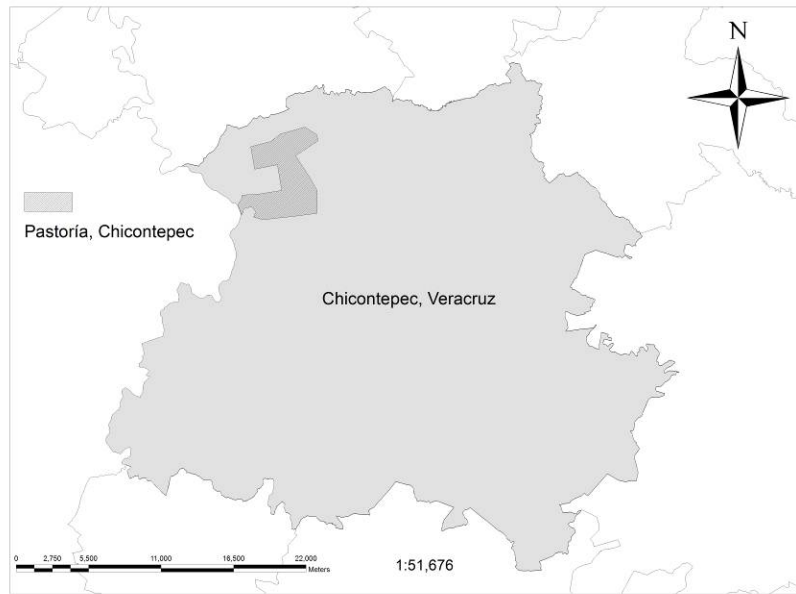


Figura 2. Localización geográfica de la localidad La Pastoría, dentro del municipio de Chicontepec, Veracruz.

El rancho, propiedad del Sr. Erasmo Meza Azuara, inicialmente se dedicaba a la cría de ganado bovino de raza holstein con una superficie total de 120 hectáreas. En el año 2004 inicia con proyectos de plantación de árboles maderables de la región, como cedro rojo y palo de rosa o roble (Figura 3), esto debido al interés por la conservación de los recursos forestales.



Figura 3. Aspectos de las plantaciones del Rancho Escuadrón 201, en donde se llevó a cabo la investigación.

Actualmente se encuentra dividida en diferentes actividades agropecuarias-silvícolas, como cultivo de maíz, pasto para ganado, ganadería, plantaciones forestales y reforestaciones. Dichas plantaciones se encuentran a densidades de siembra de 1,111 y 625 plantas por hectárea, a una distancia de 3X3 y 4X4, quedando distribuidas en 42 hectáreas, y en edades de 9, 8, 7 y 5 años (ver Cuadro 1).

Para el presente trabajo se determinó trabajar con edades de 5 años debido a que es la edad estandarizada en las 3 especies.

Cuadro 1. Relación de plantaciones establecidas en superficie y edad.

Especie	Superficie (ha)	Edad (años)
Cedro rojo	10	8
<i>Cedrela odorata</i>	5	7
	10	5
Caoba	5	5
<i>Swietenia macrophylla</i>		
	2	8
Palo de rosa	1	7
<i>Tabebuia rosea</i>	2	5

V. METODOLOGÍA

Para la realización del presente trabajo de investigación se llevó a cabo la siguiente metodología (Figura 4):

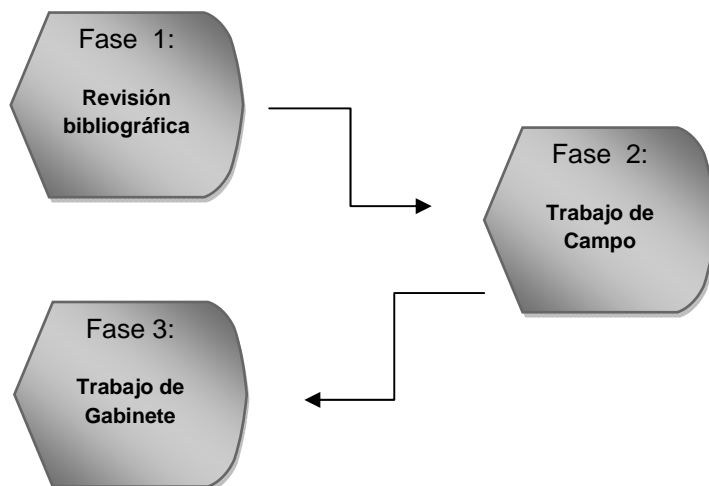


Figura 4. Diagrama de flujo empleado para la realización de la presente investigación.

5.1. Revisión bibliográfica

Para la revisión bibliográfica se consultó la biblioteca de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana (campus Tuxpan), así como la Unidad de Servicios Bibliotecarios y de Información (USBI) (Poza Rica), con el fin de obtener datos sobre el área de estudio y trabajos afines. Además se obtuvo información en la Internet de las páginas oficiales de instituciones como CONAFOR, SEMARNAT y SEDEMA entre otras.

5.2. Trabajo de campo

Inicialmente se realizaron 3 recorridos en el rancho con ayuda del Sr. Erasmo Meza Azuara a fin de observar y localizar las especies establecidas en el año 5 y así determinar la ubicación de las parcelas.

En el reconocimiento en campo, se observó que el Rancho Escuadrón 201 cuenta con plantaciones correspondientes a las especies de Cedro rojo (*Cedrela odorata*), Caoba (*Swietenia macrophylla*) y Palo de rosa (*Tabebuia rosea*) (ver fichas técnicas en Anexos), que han sido plantadas a través de programas PRODEPLAN (Plantaciones Forestales Comerciales) durante los años 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011.

Posteriormente se trazaron 6 parcelas de 5x10 árboles, con una densidad de siembra de 4x4 metros, para obtener un número de muestra de 50 árboles por parcela para tener un número significativo de individuos y poder realizar los muestreos.

La selección del área de muestreo se realizó en áreas con especies de Cedro rojo (*Cedrela odorata*), Caoba (*Swietenia macrophylla*) y Palo de Rosa (*Tabebuia rosea*), determinando 2 parcelas por cada especie, para las cuales se nombraron de la siguiente manera: para el caso del Cedro rojo (CR), Caoba (CA) y Palo de Rosa (PR) esto para el manejo de los datos y la factibilidad de los resultados.

5.2.1. Medición del DAP

El diámetro del tronco de un árbol es uno de los parámetros de mayor uso para estudios de ecología vegetal. El diámetro consiste en determinar la longitud de la recta que pasa por el centro del círculo y termina en los puntos en que toca toda la circunferencia (Román de la Vega *et al.*, 1994).

Esta medida sirve, a su vez, para medir el área basal y el volumen del tronco de los árboles. También, mediante el diámetro es posible medir el crecimiento de las plantas, haciendo medidas repetidas cada determinado tiempo. El diámetro de los árboles se mide a una altura de 1.3 m de la superficie del suelo (DAP=diámetro a la altura del pecho) utilizando una cinta métrica (Figura 5).



Figura 5. Medición y toma de datos del DAP, en las plantaciones del Rancho Escuadrón 201.

Cuando se mide la circunferencia del árbol, el cálculo para transformar a diámetro es el siguiente:

$$D = c/\pi$$

Donde:

D = diámetro

C = Circunferencia

$\pi = 3.14159226$

5.2.2. Medición de altura

La altura es uno de los principales parámetros que se miden en una vegetación o una especie. La altura se mide de acuerdo al interés que se tenga y puede ser de forma cualitativa o cuantitativa, para la medición de la altura en este trabajo se utilizaron varas graduadas (Figura 6).



Figura 6. Medición de altura de las especies forestales dentro del Rancho Escuadrón 201.

5.2.3. Determinación del área basal (AB)

El área basal es una medida que sirve para estimar el volumen de especies arbóreas o arbustivas. Por definición, el área basal es la superficie de una sección transversal del tallo o tronco de un árbol a una determinada altura del suelo (Matteucci y Colma, 1982).

En árboles, este parámetro se mide obteniendo el diámetro o el perímetro a la altura del pecho (DAP a una altura de 1.3 m). Cuando se tiene el DAP, el área basal (AB) para un individuo se obtiene de la siguiente manera:

$$AB = p (D^2/4)$$

Donde:

$$p = 3.141592$$

D = diámetro a la altura del pecho

Para facilitar el cálculo del área basal, utilizando el diámetro, ésta es equivalente a $0.7854 \cdot D^2$. Cuando se conoce la circunferencia (C) de un tronco, el área basal se puede calcular de la siguiente forma: $AB = C^2/p/4$.

5.2.4. Determinación del volumen

Este parámetro es muy utilizado por los profesionales forestales para determinar la cantidad de madera, de una o varias especies existente en un determinado lugar. El volumen de la madera cosechable se obtiene a partir del AB y la altura comercial o total del tronco de un árbol.

El tronco o fuste generalmente tiene forma cónica y, por lo tanto, es necesario tomar en cuenta esto para lograr mayor exactitud en su cálculo. De forma general, el volumen se calcula de la siguiente

Formula:

$$Vol = AB * h$$

Donde:

Vol = Volumen del tronco

AB = Área basal del tronco

h = Altura total del tronco

5.2.5. Estimación de la biomasa

La estimación de biomasa se llevó cabo a través de métodos no destructivos o conocido como método indirecto, el cual es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre los datos colectados en campo, los modelos de estimación de la biomasa incluyen variables de DAP y la altura total (HT) de los árboles y la densidad de la plantación (número de árboles por hectárea) (Brown *et al.*, 1989).

Cabe mencionar que en este trabajo no se considero la biomasa en raíces.

5.2.6. Estimación del carbono

Para la estimación del almacenamiento de carbono se utilizó el método propuesto por el panel intergubernamental del cambio climático (IPCC, 1994).

Se estimó la concentración de carbono en la biomasa de los árboles, utilizando el método propuesto. La estimación de carbono (C) almacenado en la biomasa resulta de la multiplicación en la biomasa total (BT) por el factor 0.5. (Brown y Lugo, 1992).

$$CBT=BT \times 0.5$$

Donde:

CBT: Carbono almacenado (ton/ha)

BT: Biomasa total (ton/ha)

Esto permitió determinar las existencias de carbono en la vegetación presente en nuestra área de estudio.

5.3. Trabajo de gabinete

5.3.1. Base de datos y análisis estadísticos

Para iniciar con esta fase, se realizó primero una base de datos en office Excel, ingresando los números de árboles y variables como DAP, altura total, de la copa de los árboles de las especies de Cedro rojo, Caoba y Palo de rosa. Una vez realizada la base de datos se llevó a cabo las ecuaciones antes mencionadas, para obtener el volumen de madera en m^3/ha , el Área Basal (AB) en m^2/ha , Biomasa y Carbono almacenado ton/ha., sacando la cantidad promedio de cada dato e ingresando todos los resultados en una base general, ordenando cada uno por especie y parcela.

Posteriormente se realizó el análisis de varianza a la cantidad promedio de carbono estimada para cada especie para probar si existen diferencias en el volumen de carbono contenido en las tres especies de plantas empleadas en el presente estudio, para esto se utilizó el paquete estadístico "R" en el cual también se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (Zar, 2010).

Para probar si existen diferencias entre las diversas características estructurales de las tres especies de árboles analizados en el presente estudio, se realizó un análisis de varianza con cada una de ellas, identificando de manera particular las especies que difieren entre sí mediante una prueba de comparaciones múltiples de Tukey (Zar, 2010).

5.3.2. Gráficas

Las graficas se generaron en Excel con base en el análisis estadístico y de acuerdo a los datos obtenidos.

5.3.3. Cartografía

La cartografía se realizó a través del programa ArcGis 10.0, y e imágenes ERSI. Las imágenes de localización se obtuvieron de INEGI.

VI. RESULTADOS

En todas las variables analizadas se encontraron diferencias significativas en las tres especies, tanto en altura ($F= 7.762$; $p= < 0.001$), diámetro ($F= 6.186$; $p= 0.002$), área basal ($F=5.685$; $p= 0.003$), volumen ($F= 3.65$; $p= 0.027$), biomasa ($F= 3.649$; $p= 0.028$); en el Cuadro 2 se muestran los valores promedio de las variables para todas las especies.

Cuadro 2. Valores promedio de las variables analizadas en las tres especies de plantas. Los superíndices denotan las especies con diferencias significativas por variable analizada con base en la prueba de Tukey.

Variable	CA	CR	PR
Altura (m)	7.95 ^{ab}	8.45 ^b	7.61 ^a
Diámetro (cm)	13.62 ^a	15.11 ^b	15.18 ^b
Área basal (m ² /ha)	9.52 ^a	11.43 ^b	11.89 ^b
Volumen (m ³ /ha)	39.34 ^a	49.37 ^b	47.76 ^{ab}
Biomasa (ton/ha)	19.67 ^a	24.69 ^b	23.88 ^{ab}
Carbono (ton/ha)	9.84 ^a	12.34 ^b	11.94 ^{ab}

En particular, se encontraron diferencias en el volumen promedio de C capturado entre las tres especies ($F = 3.649$, $p = 0.028$), de manera específica se encontró que el volumen promedio de C capturado por CR (12.34 ton/ha) fue significativamente mayor ($dif = 2.5$, $p = 0.02$) que el capturado en CA (9.84 ton/ha.) (Figura 7).

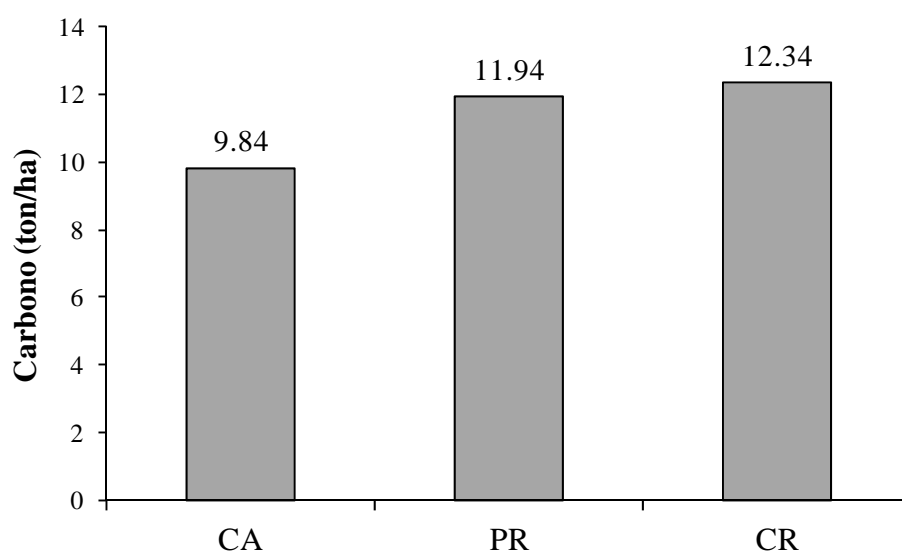


Figura 7. Volumen de C almacenado por especie y expresado en ton/ha.

VII. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que existen diferencias en el volumen promedio de carbono almacenado entre las diferentes especies de plantas analizadas, teniendo el cedro rojo (CR) un mayor volumen promedio de carbono almacenado que la caoba (CA). A pesar de que inicialmente se pensó que el volumen de carbono tendría una tendencia inversa entre esas especies (mayor volumen en la caoba que en el cedro rojo), debido a que la caoba es una especie perennifolia y el cedro rojo es una especie caducifolia. Entonces, ésta característica no sería determinante en el volumen de carbono que los árboles pueden contener, ya que nuestros resultados más bien podrían deberse a la mayor talla, tanto en DAP, área basal y biomasa promedio, que los árboles de cedro presentan con relación a las demás especies de árboles analizados en el presente estudio.

Nuestros resultados son consistentes con lo reportado por Jiménez (2012), quien analizó la captura de carbono del Cedro rojo (*Cedrela odorata*) y la Caoba (*Swietenia macrophylla*) en cafetales en Honduras, ya que nuestro trabajo muestra similitud en los resultados sobre la captura de carbono de las especies antes mencionadas, proyectada a las edades de las plantaciones, lo que implica que el cedro rojo puede almacenar más carbono que la caoba en diferentes regiones,

bajo diferentes sistemas agroecológicos y empleando diferentes aproximaciones para la medición del volumen de carbono almacenado.

Sin embargo, es importante mencionar los resultados de este trabajo pueden ser diferentes a lo reportado en trabajos que empleen técnicas de medición de carbono más finas, como es el caso del cedro rojo, ya que Mendizábal-Hernández y colaboradores (2011), al calcular la cantidad de carbono capturado por esta especie empleando una prueba genética, encontraron una concentración menor a lo reportada en este trabajo, por lo que habría que reconocer la posible sobreestimación de los resultados de este trabajo como producto de la inferencia de los volúmenes de carbono empleando aproximaciones matemáticas y no estimaciones físicas en laboratorio.

De la misma forma, los resultados de este trabajo son similares a los reportados para otras especies de plantas en otras regiones, como el caso de *Tabebuia rosea* en Centroamérica (Salgado, 2010), ya que los volúmenes de carbono que se encontraron en esta especie en Costa Rica no presenta diferencias significativas con el presente trabajo, esto de acuerdo a la proyección a las edades de las plantaciones.

Sin embargo, aún dentro de una misma especie se pueden presentar variaciones en la captura de carbono en diferentes localidades, tal como lo reporta Alba-Landa *et al.* (2007) para el caso de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. en Veracruz,

ya que el hecho de encontrar variación en la cantidad de carbono almacenado en las tres localidades analizadas, no sólo puede deberse a un mayor vigor de las plantas de esa región y por consiguiente de su progenie, sino también a que las condiciones propias de ese lugar (tipo de suelo, clima, temperatura, humedad, entre otras) también pueden ser un factor importante para determinar el grado de éxito de las plantaciones como sumideros de carbono al favorecer su establecimiento, crecimiento y desarrollo.

Otro factor importante en la determinación de los volúmenes de carbono almacenados por las plantaciones es la edad de las mismas y el tipo de plantas utilizadas, ya que los árboles con mayor edad tienen una talla mayor que les permite incrementar la captura de carbono que almacenan, y aunque se ha reportado que los mejores resultados para la remoción de carbono pueden ser logrados con especies introducidas, como *Acacia mangium* y *Eucalipto pellita*, a largo plazo se obtienen mejores rendimientos con especies nativas ya que las especies introducidas se tienen que eliminar después de de 10 o 15 años debido a que a esta edad comienzan a disminuir su eficiencia, patrón que es opuesto con las especies nativas.

VIII. CONCLUSIONES

Por todo lo anterior, se puede concluir que la cantidad de carbono capturado en las plantaciones está relacionado con las especies, ya que depende de la longevidad foliar, debido a que las plantas caducifolias suelen crecer más rápidamente que las perennifolias, además de las características estructurales de las plantas (ej. DAP, altura), factores que son importantes para determinar el volumen de carbono que puede capturar cada especie.

Para mejorar la calidad y los alcances de este trabajo, se recomienda analizar los volúmenes de carbono almacenados en plantaciones forestales de estas mismas plantas pero con diferentes edades, así como en otras plantaciones o agroforestales y en diversos ecosistemas naturales, ya que esto permitirá contextualizar la importancia relativa como sumidero de carbono de las plantaciones analizadas en el presente trabajo, además de evaluar la utilidad que pueden tener las plantaciones muestreadas para la conservación de otros servicios ambientales, como es el caso del Rancho Escuadrón 201, el cual se ha transformado generando servicios ambientales, desde microclimas, biodiversidad, retención de humedad y cambio de paisaje, el cual es para otros productores ganaderos ejemplo para la implementación de sistemas silvopastoriles.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Acosta M., Quednow K., Etchevers J. y Monreal C. 2001. Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de laderas en México. INIFAP, Colegio de Posgraduados, México. 11 pp.

Alba-Landa J., Mendizábal-Hernández L.C. y Méndez-Méndez, C. 2007. Potencialidad diferencial de captura de carbono de una plantación de *Pinus greggii* Engelm, en Naolinco, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 9(2): 57-60.

Baltes, P.B., Lindenberger, U. y Staudinger, U.M. 1998. Life-span theory in developmental psychology. pp. 1029-1143. *En: Handbook of child psychology: Vol. 1. Theoretical models of human development.* Damon, W. y R.M. Lerner (ed.). New York, US.

Bocco, G., Mendoza, M. y Maserá, O. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, 18-38 pp.

Brown S., Gillespie, A.J.R. y Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*. 4 (35): 881- 902.

Brown, S. y Lugo, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*. 17 (1): 8-18.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. El manual básico de Prácticas de Reforestación. Gerencia de Reforestación de la Coordinación General de Conservación y Restauración. México. 66 pp.

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Restauración y compensación ambiental. México.

Del Amo-Rodríguez, S. 1999. Reforestación y plantaciones. Manejo y enriquecimiento de acahuales. Serie Cuadernos por la tierra. Programa de Acción Forestal Tropical, A. C., Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y SEMARNAP. México.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Base de datos climatológicos 1921- 1995. Programa para la clasificación del clima. Versión Digital. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

García, J. y Rodríguez, F. 2009. Compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales una opción para la conservación y restauración de pastizales. México.

Geist, H.J. y Lambin, E.F. 2001. What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on sub-national case study evidence, Louvain-la-Neuve, LUCG International Project Office: 116, Belgium. 135 pp.

Gobierno del Estado de Veracruz. 2012. Chicontepec, Información General (<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/page/GobVerSFP/sfpPDifusion/sfpOtrasPublicaciones/sfpCuadernillosMunicipales/sfpFichasMunicipales/chicontepec1.pdf>). Revisado Junio 2012.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1994. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge., UK. 339 pp.

Jiménez-Nehring, N.G. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis de Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Lambin, E.F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change process in tropical regions. *Progress in Physical Geography*. 21 (3): 375-393.

Lambin, E.F. 1997. Modelling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observations by satellites, European Commission Joint Research Centre– Institute for Remote Sensing Applications–European Space Agency, Luxembourg, TREE Series B., Research Report No. 1.

Lambin, E.F., Baulies, X., Bockstael, N., Fischer, G., Krug, T., Leemans, R., Moran, E.F. Rindfuss, R.R., Sato, Y., Skole, D., Turner II, B.L. y Vogel, C. 1999. Land use and land cover change implementation strategy. IGBP report 48 IHDP report 10. Estocolmo, Suecia.

Matteucci, D.S. y Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C. 168 pp.

Mendizábal-Hernández, L.C., Alba-Landa, J., Márquez-Ramírez, J., Cruz-Jiménez, H. y Ramírez-García, E.O. 2011. Captura de carbono por *Cedrela odorata* L. en una prueba genética conocido. *Foresta Veracruzana*. 11 (1): 13-18.

Meyer, W.B. y Turner, B.L. 1992. Human population growth and global land–use/cover change. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 23: 39-61.

Orozco, H.E., Peña, V., Franco, R. y Pineda, N. 2004. Atlas Agrario Ejidal del Estado de México. Cuadernos de Investigación. Núm, 34. UAEM, Toluca, México. 133 pp.

Román de la Vega, C.F., Ramírez M. y Treviño, J.L. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. México, 353 pp.

Salgado, V.J.L. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis de Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Sistema de información para la reforestación (SIRE). (2003). Fichas Técnicas. México.

Walter, B., W. Steffen, J. Canadell y J.S.I. Ingram. 1997. "The terrestrial biosphere and global change: implications for natural and managed ecosystems", A synthesis of GCTE and related research, IGBP Science 1, Int. Geosph.–Bios–ph. Program, Stockholm. 450 pp.

Zar, J.H. 2010. Biostatistical Analysis. 5a ed. Pearson Prentice-Hall. U.S. 960 pp.

X. ANEXOS

Se anexa fichas técnicas de las especies empleadas en el presente trabajo, la cual incluye desde nombre científico, comunes, distribución, descripción y usos. Cabe mencionar que los datos sobre diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura que se mencionan en la ficha corresponden a datos generales de las especies que fueron obtenidos de la literatura y no a la información de los muestreos en campo.

FICHA TÉCNICA PARA CEDRO ROJO

Nombre científico: *Cedrela odorata*

Nombre común: Cedro Rojo, Cedro, Cedro colorado, Cedro oloroso - México; Acuy (Lengua zoque) - Chiapas; Calicedra - Puebla; Cedro rojo - Oaxaca; Culché, Kulché, K'ul-ché (Lengua maya) - Yucatán; Chujté -Chiapas; Kuché - Yucatán; Mo-ni (Lengua chinanteca) - Oaxaca; Pucsnum-qui-ui (Lengua mixe) - Oaxaca; Icte (Lengua huasteca) - S.L.P.



Distribución geográfica: En México se encuentra en la vertiente del Golfo de México, desde el sur de Tamaulipas y Sureste de San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán y en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta Guerrero y en la Depresión Central y la Costa de Chiapas.

Descripción: Árbol caducifolio, de 20 a 35 m (hasta 45 m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 1.7 m. Se han encontrado individuos de más 60 m de altura.

Usos: Es utilizada para la construcción en general, material de artesanías, artículos torneados y esculturales. La madera es blanda y fácil de trabajar, es preferida para hacer muebles finos, puertas y ventanas. Gabinetes, decoración de interior, carpintería en general, cajas de puros, cubiertas, y forros de embarcaciones, lambrín, parquet, triplay, chapa, ebanistería en general, postes, embalajes, aparatos de precisión. La infusión de las hojas es usada como medicinal para dolor de muelas y oídos, disentería. El Tallo es antipirético, abortivo (acelera el parto). El látex es empleado como expectorante contra la bronquitis. La infusión de la corteza es usada como febrífugo, caídas o golpes. La corteza de la raíz es usada para la epilepsia.

FICHA TÉCNICA PARA CAOBA

Nombre científico: *Swietenia macrophylla*.

Nombre común: Caoba, Caobo, Cóbano (Tab.); Kanak-ché, Punab (l. maya, Yuc.); Rosadillo, Tsulsul, Tutzul (l. tzeltal, Chis.); Tzopilocuáhuatl (l. náhuatl); Tzulzul (Chis.); Zopílotl, Macchochucquiui (l. totonaca, Ver.).

Distribución geográfica: Se distribuye únicamente en la vertiente del Golfo, desde el norte de Puebla y Veracruz hasta el sur de la Península de Yucatán.



Descripción: Árbol exótico, perennifolio o caducifolio, de 35 a 50 m (hasta 70 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de 1 a 1.8 m (hasta 3.5 m).

Usos: Especie maderable de importancia artesanal, artículos torneados, esculpidos e Instrumentos musicales, fruto seco con potencial artesanal: las valvas dehiscentes del fruto seco con la base forman flores y se obtienen hermosos arreglos, construcción en general, preparación de cosméticos, Madera preciosa. Especie maderable con posibilidades comerciales, madera es dura, vetada, de color moreno rojizo o claro cuando está recién cortada. Se utiliza para embarcaciones, partes de molinos, moldes y pontones, instrumentos científicos, acabados de interiores para baños sauna, fabricación de muebles de lujo, gabinetes, paneles, chapa, triplay, duela, lambrín, decoración de interiores,

ebanistería fina. Tiene gran aceptación en el mercado. Es la base de las industrias forestales de las zonas tropicales del país.

FICHA TÉCNICA PARA PALO DE ROSA

Nombre científico: *Tabebuia rosea*

Nombre (s) común: Amapola, Maculís, Palo de rosa, Rosa morada (Rep. Mex.); Maculís, macuilis (Tab., Chis.); Cul (l. huasteca, S.L.P.); Macuelis de bajo (Lacandona, Chis.); Hok'ab, Kok'ab (l. maya, Yuc.); Li-ma-ña (L. chinanteca, Oax.); Yaxté (l. tojolabal, Chis.); Roble, Roble blanco (Oax., Gro., S.L.P.); Amapa rosa (Nay.); Amapola (Sin.); Rosa morada (Camp., Qroo.); Maculishuate, Palo blanco,



Tural (Chis.); Nocoque, Cacahua, Icotl (S.L.P.); Palo yugo, Primavera (Sin.); Roble prieto (Oax.); Satanicua (Gro.)

Distribución geográfica: Se encuentra en la vertiente del Golfo desde el sur de Tamaulipas y el norte de Puebla y Veracruz hasta el norte de Chiapas y sur de Campeche; en la vertiente del Pacífico desde Nayarit hasta Chiapas.

Descripción: Árbol caducifolio, de 15 a 25 m (hasta 30 m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 1 m.

Usos: Se emplea en la elaboración de instrumentos musicales, para leña y carbón, construcción general, madera de excelente calidad, se usa para fabricar muebles y gabinetes, postes, decoración de interiores, remos, chapa para madera terciada, lambrín, triplay, parquet, culatas para armas de fuego, ebanistería.

Fuente: SIRE (2003).