

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de la Zona Maya

ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN ÁRBOLES DISPERSOS EN POTREROS EN LA SIERRA SUR DE TABASCO, MÉXICO

**Reporte de Residencia Profesional que presenta la
C.**

CAROL ESTRELLA UU ESPENS

N° DE CONTROL 12870074

Ingeniería Forestal

Asesor Interno: Dr. Fernando Casanova Lugo

Juan Sarabia, Quinta Roo, Diciembre 2016



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA

El Comité de revisión para Residencia Profesional del estudiante de la carrera de INGENIERÍA FORESTAL, **Carol Estrella Uu Espens**; aprobado por la Academia del Instituto Tecnológico de la Zona Maya integrado por el asesor interno, **Dr. Fernando Casanova Lugo y Dr. Iván Oros Ortega** habiéndose reunido a fin de evaluar el trabajo titulado: Estimación de biomasa aérea en árboles dispersos en potreros en la sierra sur de Tabasco, México, que presenta como requisito parcial para acreditar la asignatura de Residencia Profesional de acuerdo al Lineamiento vigente para este plan de estudios, dan fe de la acreditación satisfactoria del mismo y firman de conformidad.

ATENTAMENTE

Asesor Interno



Dr. Fernando Casanova Lugo

Asesor Externo



Dr. Iván Oros Ortega

Juan Sarabia, Quintana Roo, Diciembre, 2016.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO	4
IV. OBJETIVOS.....	5
4.1. Objetivo general.....	5
4.2. Objetivos específicos	5
V. MARCO TEÓRICO	6
5.1. Definición de REDD+	6
5.2. El aporte de la deforestación al cambio climático	6
5.3. Deforestación en tabasco	7
5.4. Importancia de los sistemas silvopastoriles (SSP).....	8
5.5. Diseños de sistemas silvopastoriles	9
5.6. Aportaciones de los SSP para la captura de carbono.....	10
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
5.1. Sitios de estudio.....	11
5.2. Clima.....	12
5.3. Suelo.....	12
5.4. Criterios de selección de sitios.....	13
5.6. Inventario florístico.....	14
5.7. Ecuaciones alométricas	15
5.8. Análisis de datos.....	15
VII. RESULTADOS	17
VIII. PROBLEMAS RESUELTOS Y LIMITANTES	23
IX. COMPETENCIAS APLICADAS O DESARROLLADAS	24
X. RECOMENDACIONES.....	25
XI. CONCLUSIONES	26
XII. REFERENCIAS	27
XIII. ANEXOS.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características generales de los informantes que fueron entrevistados en la región montañosa de Tabasco, México.....	13
Cuadro 2. Características generales de los sistemas silvopastoriles tradicionales con árboles dispersos en potreros en el sur de la Sierra de Tabasco, México.....	14
Cuadro 3. Listado florístico de los árboles dispersos en los pastos de montaña de Tacotalpa y Tenosique en Tabasco, México.....	17
Cuadro 4. Número de ecuaciones aplicables a las especies dentro de la mayor parte familias de plantas comunes en México.....	19
Cuadro 5. Número de ecuaciones aplicables por especie.....	20
Cuadro 6. Número de ecuaciones según la forma de vida e independiente de variables utilizadas en la ecuación.....	21
Cuadro 7. Número de ecuaciones alométricas reportadas en la literatura científica según su tipo.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Compartimientos de almacenamiento de carbono en ecosistemas terrestres.....	7
Figura 2. Sitios de estudio en la Sierra Sur de Tabasco, México.....	11
Figura 3. Densidad específica de la madera de los árboles dispersos en potreros en la Sierra Sur de Tabasco, México.....	22

I. INTRODUCCIÓN

La deforestación y la degradación de los bosques tropicales representan entre el 15-35 % de las emisiones de carbono que se consideran causantes del cambio climático (Houghton, 2005). Actualmente, y dentro del marco de las negociaciones internacionales de cambio climático, se plantean nuevas opciones para contribuir a la reducción de emisiones por deforestación y degradación en países en desarrollo (denominadas REDD), que a la vez pueden generar importantes beneficios para la conservación de los bosques de los países en desarrollo (Ortega *et al.*, 2010).

Los estudios más recientes se han centrado en las repercusiones de esos procesos en el cambio climático global y los resultados expuestos sugieren, aunque a veces en forma contrapuesta que, en el caso de México, si se reducen las tasas de deforestación y degradación forestal a la mitad de las reportadas por FAO (2010) en los próximos 10 años se podría evitar la emisión de 117 millones de toneladas de carbono a la atmósfera por no cambiar el uso del suelo en las áreas forestales (CABAL, 2010).

México ocupa el tercer lugar respecto a las zonas en donde ocurren las mayores tasas de deforestación (Hernández, 2001). Los datos actuales indican que México alberga solo 0.5 ha de cubierta forestal per cápita comparado con el 0.7 que es la media mundial (Velásquez, 2002). Por esta razón, la situación es ligeramente grave, ya que las políticas de desarrollo rural han fomentado la sustitución de la cobertura vegetal (primaria) por otro tipo de coberturas de mayor producción a corto plazo (cultivos y pastizales inducidos), pero de bajo rendimiento a mediano y largo plazo (Velásquez, 2002).

Los bosques tropicales del sureste de México junto con el Petén de Guatemala conforman actualmente después de la Amazonia, la frontera de bosque tropical más

extensa de América Latina (Challenger, 1998). Sin embargo, la apertura de campos ha reducido la selva a fragmentos muy pequeños, resultando en la fragmentación de grandes extensiones del trópico que son dominadas por paisajes ganaderos (Hernández, 2001).

El estado de Tabasco no ha sido la excepción ya que en su historia destaca etapas críticas respecto al uso del suelo comenzando con la colonización de la parte oriente del estado (Márquez, 2005), como una medida de modernización productiva, lo que significó un proceso de deforestación y el incremento de áreas de pasto para la consolidación de la ganadería extensiva como el principal uso del suelo, hasta una crisis productiva que ha motivado la búsqueda de alternativas de producción.

Ante tal problemática, se plantea a los sistemas silvopastoriles (SSP) como una alternativa de producción sustentable, debido a que constituyen una modalidad de los sistemas agroforestales, y sus principales componentes son los árboles, los pastos, y/o los animales, bajo un sistema integrado (Bacab *et al.*, 2013; Casanova-Lugo *et al.*, 2014). Dichos sistemas ofrecen beneficios al proteger el suelo de la erosión, ya que con la introducción de árboles y arbustos se incrementan la cantidad materia orgánica (Segura-Rosel *et al.*, 2012) y en consecuencia se mejora las propiedades del mismo. Adicionalmente, proporcionan una mayor disponibilidad de alimento de alta calidad para los animales durante todo el año (Casanova-Lugo *et al.*, 2014), a la vez que mejoran las condiciones micro-ambientales en los potreros debido al incremento del área con sombra (Elevitch, 2006; Casanova-Lugo *et al.*, 2016).

II. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de residencia profesional se encuentra dentro del marco de proyecto de Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero que es causada por la Deforestación y Degradación de los bosques, la conservación y el incremento de la captura de dióxido de carbono “mejor conocido como REDD+”. Este es un mecanismo de mitigación del cambio climático desarrollado bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). El propósito de dicho proyecto es contribuir a reducir la deforestación y prevenir la liberación de gases a la atmósfera a corto plazo y a nivel global (Metz *et al.*, 2007; Nabuurs *et al.*, 2007).

Una estrategia es la captura o almacenamiento de carbono en la biomasa arbórea, a través del proceso fotosintético donde las plantas fijan este elemento a sus tejidos (i.e. hojas, tallos, raíces) y lo almacenan por un largo tiempo, principalmente en los tejidos leñosos (Casanova-Lugo *et al.*, 2011; Villanueva-López *et al.*, 2014). No obstante, los SSP en la modalidad de árboles dispersos en potreros la información es escasa por lo que se sabe poco la capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa (Villanueva-López *et al.*, 2014).

Este proyecto se realizó con la finalidad de determinar, a través de la revisión de literatura, el potencial de los SSP en la modalidad de árboles dispersos en potreros como reservorios de carbono a través de la cuantificación de la biomasa aérea y subterránea por métodos no destructivos través del uso de ecuaciones alométricas desarrolladas para árboles tropicales en México y otros países.

III. LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO

El estudio se realizó en las localidades de Villa Luz y Zunu-Patastal en el municipio de Tacotalpa (Subregión de la Sierra) y en Santo Tomás, Nuevo Progreso e Ignacio Allende, en la Sierra del municipio de Tenosique. Estas cinco localidades están en zona serrana de Tabasco, que a su vez forman parte de la Provincia de Sierras de Chiapas y Guatemala, entre 17° 15' y 17° 45' N, y 90° 38' y 93° 46' O, con altitudes de 50 a 1000 m. Ambas zonas están ubicadas, respectivamente, en los márgenes de las reservas de la Sierra de Tabasco y del Cañón del Usumacinta, que colindan con el estado de Chiapas; además, la zona de Tenosique es adyacente al territorio guatemalteco, cuya selva está más cercana a lo natural. Las condiciones fisiográficas comparten cierta similitud, pero hay variaciones en temperatura media anual, precipitación y condiciones de uso de suelo (INEGI, 2009).

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Elaborar una base de datos de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa a través de las características estructurales de los árboles dispersos en potreros en las comunidades de Tacotalpa y Tenosique, de la sierra sur de Tabasco, México.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar las principales características estructurales de los árboles dispersos en potreros en las comunidades de Tacotalpa y Tenosique Tabasco, México.
- Realizar una base de datos de ecuaciones alométricas para árboles tropicales en México y países vecinos.
- Determinar la densidad específica de la madera de los árboles dispersos en potreros en las comunidades de Tacotalpa y Tenosique Tabasco, México.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Definición de REDD+

La Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la Deforestación y Degradación de los bosques, la conservación y el incremento de las capturas de CO₂, también conocida como REDD+, es un mecanismo de mitigación del cambio climático desarrollado bajo la CMNUCC que busca reconocer y proveer incentivos positivos a los países en vías de desarrollo para proteger sus recursos forestales, mejorar su gestión y utilizarlos de manera sostenible con el fin de contribuir a la lucha global contra el cambio climático y sus efectos.

En la actualidad el mecanismo REDD+ incluye 5 actividades: i) reducción de la deforestación; ii) reducción de la degradación de los suelos; iii) conservación; iv) manejo sostenible de los bosques y, v) aumento de las reservas forestales de carbono (<http://finanzascarbono.org/nuevos-mecanismos-de-mitigacion/redd/que-es-redd/>).

Este proyecto inicialmente se planteó exclusivamente con el objetivo de reconocer el almacenamiento de carbono de áreas forestales con altos contenidos de carbono y fuertes presiones de deforestación o degradación, con el tiempo se incluyó un enfoque más amplio que reconoce otras actividades elegibles para este mecanismo, tales como la conservación de los reservorios de carbono, el manejo sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales en los países en desarrollo (CMNUCC, 2007), lo que ahora se conoce como REDD+ (REDD+ “plus”) (CMNUCC, 2007).

5.2. El aporte de la deforestación al cambio climático

La deforestación, de acuerdo con el IPCC (2000) se entiende como aquellos procesos naturales o antropogénicos que convierten las tierras forestales a no forestales. Durante ese proceso de conversión no sólo se afecta el contenido de carbono por la remoción de la biomasa acumulada en los troncos aprovechables, sino que de acuerdo a la escala y tiempo de la conversión se afectan otros

compartimentos donde se almacena el carbono en forma de biomasa en los bosques, y posteriormente el carbono es liberado a la atmósfera cita

Estos compartimentos de almacenaje de carbono son la biomasa aérea, principalmente en los troncos de las plantas leñosas y las hojas; la biomasa subterránea, especialmente almacenada en la red radicular; y el carbono almacenado en el suelo, la necromasa y la hojarasca cita.

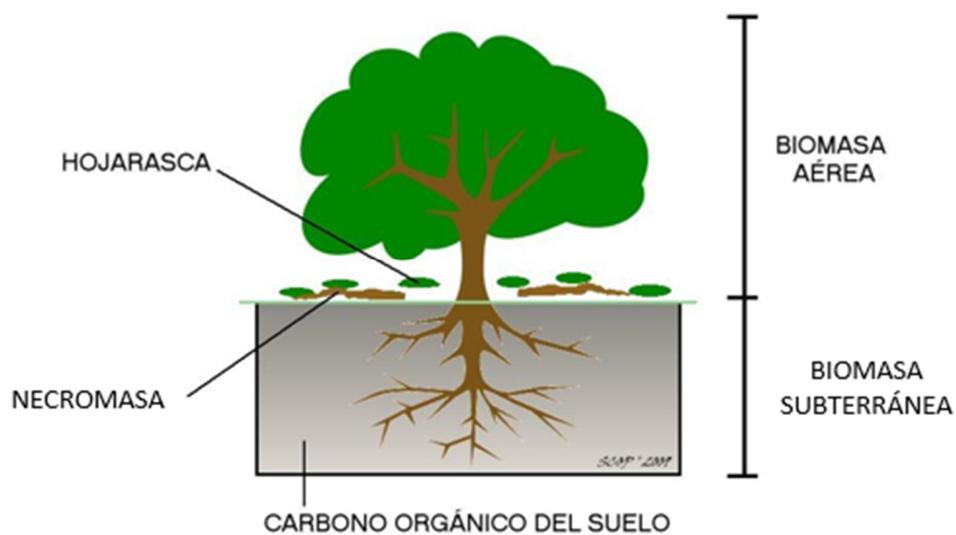


Figura 1. Compartimentos de almacenamiento de carbono en ecosistemas terrestres.

5.3. Deforestación en tabasco

La disminución de la vegetación natural trae consigo graves consecuencias al medio que resultan globalmente en efectos como es el calentamiento global, el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad, esta se acentúa en forma alarmante en los bosques y selvas tropicales (Velásquez, 2002). La deforestación ha sido el uso del suelo más estudiado en las zonas tropicales debido a las altas tasas de biodiversidad que albergan y al balance ecológico que aportan (Márquez 2005).

El estado Tabasco no ha sido la excepción ya que en su historia destaca etapas críticas respecto al uso del suelo comenzando con la colonización de la parte oriente

del estado (Márquez, 2005), como una medida de modernización productiva, lo que significó un proceso de deforestación y el incremento de áreas de pasto, para la consolidación de la ganadería extensiva como el principal uso del suelo, hasta una crisis productiva que ha motivado la búsqueda de alternativas de producción.

En 1940, la cobertura de selva tropical en Tabasco representaba 49 por ciento de la superficie del estado, sin embargo, para 1990 se había reducido a sólo 8 por ciento, del cual únicamente la mitad correspondía a selvas primarias. Es decir que, en poco más de cuatro décadas se perdió alrededor de un millón de hectáreas de selva con la finalidad de convertir a este estado en un emporio agrícola que nunca llegó a ver la luz tal como se había planteado en un principio. Esta tendencia continúa hasta la actualidad, y tan sólo se conserva una muestra representativa de los ecosistemas naturales en 4 por ciento del estado: alrededor de 100 mil hectáreas (ha) que corresponden a zonas de la sierra de los municipios de Huimanguillo, Teapa, Tacotalpa, Macuspana y Tenosique quedan 45 mil ha de selvas y acahuales, 40 mil ha de manglares, 10 mil ha de tintales y 5 mil ha de encinares.

5.4. Importancia de los sistemas silvopastoriles (SSP)

Los SSP constituyen una modalidad de los sistemas agroforestales, donde se desarrollan, de forma conjunta, árboles y pasturas que son explotados para la producción animal y cuyo objetivo es incrementar la productividad en forma sostenible y obtener, además, otros beneficios (Mijail *et al.*, 2005).

Otras definiciones señalan que los SSP son una opción para revestir los procesos de degradación de los pastizales (Ruiz y Febles, (2001), al aumentar la protección física del suelo y de contribuir a la recuperación de la fertilidad, especialmente con la presencia de leguminosas fijadoras de nitrógeno y de árboles de raíces pivotante que aprovechan las capas profundas y reciclan nutrientes.

Por otro parte, Ruiz *et al.*, (2003) describió que el silvopastoreo como un sistema biológico en desarrollo dinámico constante, el cual se alcanza por etapas y se

conoce a través de la evaluación y de la evolución de sus componentes, es decir, los animales, el árbol, el pasto base, la flora y la fauna aérea y del suelo, el suelo mismo en su estructura y composición, el reciclado de nutrientes, la producción animal y derivados, los factores abióticos, antrópicos y otros de carácter socio-económico.

En general, los SSP son aquellos donde se desarrollan, de forma armónica, los árboles o arbustos, los pastos y los animales y se tiene presente su interacción y estrecha relación con el suelo. Ellos constituyen desde el punto de vista productivo, ecológico, económico y social una de las modalidades más prometedoras de los sistemas agroforestales (Casanova-Lugo *et al.*, 2011).

Por todo ello, una de las estrategias para la recuperación y mejoramiento de los sistemas ganaderos es el establecimiento de SSP, los cuales constituyen una modalidad agroforestal donde los árboles y/o arbustos interactúan con las forrajeras herbáceas y los animales (Mahecha, 2002; Karki y Goodman, 2010).

Los SSP están compuestos por gramíneas rastreras o erectas, árboles y arbustos leguminosos o no, y animales que se alimentan de los componentes forrajeros (Santana, 1998; Pezo *et al.*, 2008).

5.5. Diseños de sistemas silvopastoriles

Los SSP se pueden establecer de manera diversa sin perder la fundamentación específica que los caracteriza, es decir, manteniendo la combinación de árboles y ganado, lo que no significa que el animal tenga que permanecer siempre dentro del terreno, puesto que también el funcionamiento establece como una opción el corte y acarreo de forraje fuera del sistema, así como la asociación con otros tipos de cultivos agrícolas (Casanova-Lugo *et al.*, 2014).

Los SSP más comunes y conocidos se presentan como: cercas vivas, bancos forrajeros o de proteína, cultivos en callejones, árboles y arbustos dispersos en

potreros, cultivos de cobertera y aprovechamiento de forraje, pastoreo en plantaciones forestales y frutales, etc. (Villanueva-Partida *et al.*, 2016).

5.6. Aportaciones de los SSP para la captura de carbono

Actualmente existe la primicia de que los gases de efecto invernadero (GEI) podrían reducirse a través de dos procesos: disminuyendo las emisiones antropogénicas de CO₂ o mediante la creación y/o mejoramiento del secuestro de carbono en la biosfera. En este sentido, los sistemas agroforestales son una importante estrategia para la mitigación del calentamiento global: mediante la conservación, el secuestro, el almacenamiento y la sustitución de carbono (Vine *et al.*, 1999; IPCC, 2000; Ibrahim *et al.*, 2007).

Por otro lado, la elevada tasa de deforestación que caracteriza los sistemas pecuarios en el trópico no solamente tiene efectos locales como la degradación de los suelos y la pérdida de su productividad, sino que también contribuye con una cuarta parte en las emisiones de CO₂ y otros gases hacia la atmósfera, proceso que causa cambios climáticos globales que contribuyen a la pérdida de la biodiversidad en los bosques naturales y al desequilibrio de otros ecosistemas terrestres.

En sentido los SSP juegan un papel importante en el secuestro de carbono en los suelos y en la biomasa leñosa (Beer *et al.*, 2003). Según Dixon (1995) estos sistemas aportan dos beneficios principales para conservar carbono: primero contribuyen al almacenaje directo de carbono a corto y mediano plazo (décadas hasta siglos) en los árboles y el suelo, y segundo reducen indirectamente la emisión de los gases invernadero causada por la deforestación y la agricultura migratoria.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Sitios de estudio

El estudio se realizó en las localidades de Villa Luz y Zunu, Patastal en el municipio de Tacotalpa (Subregión de la Sierra) y en Santo Tomás, Nuevo Progreso e Ignacio Allende, en la Sierra del municipio de Tenosique. Estas cinco localidades están en zona serrana de Tabasco, que a su vez forman parte de la Provincia de Sierras de Chiapas y Guatemala, entre $17^{\circ} 15'$ y $17^{\circ} 45'$ N, y $90^{\circ} 38'$ y $93^{\circ} 46'$ O (Figura 1), con altitudes de 50 a 1000 m. Ambas zonas están ubicadas, respectivamente, en los márgenes de las reservas de la Sierra de Tabasco y del Cañón del Usumacinta, que colindan con el estado de Chiapas; además, la zona de Tenosique es adyacente al territorio guatemalteco, cuya selva está más cercana a lo natural. Las condiciones fisiográficas comparten cierta similitud, pero hay variaciones en temperatura media anual, precipitación y condiciones de uso de suelo (INEGI, 2009).

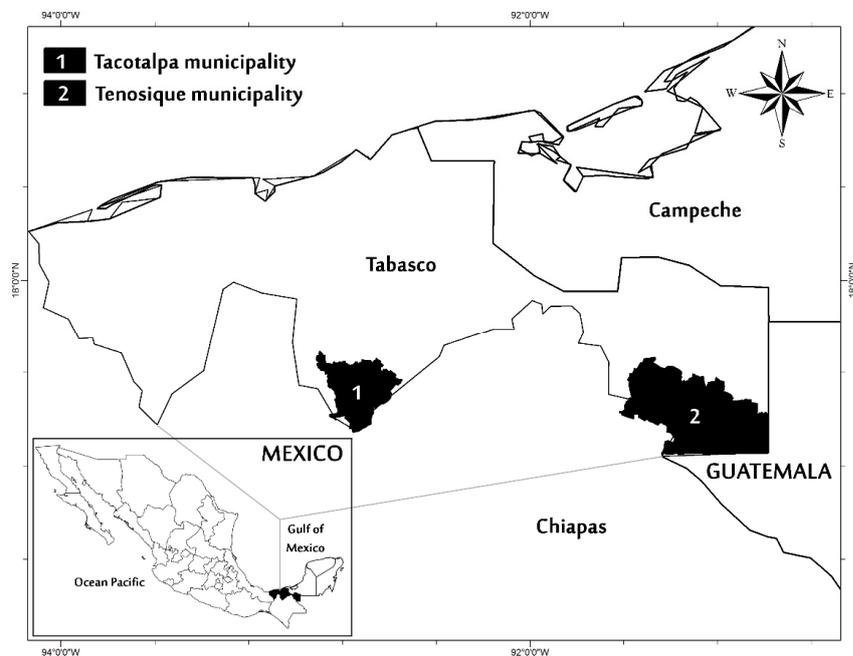


Figura 2. Sitios de estudio en la Sierra Sur de Tabasco, México.

5.2. Clima

La zona de estudio tiene clima cálido húmedo con abundantes lluvias todo el año (Af) y lluvias en verano (Am) (INEGI, 2000). Para Tacotalpa la temperatura media anual es 25.6 °C, máxima media mensual 29.2 °C en mayo y mínima media mensual 22 °C en diciembre y enero. La precipitación anual es 4014 mm, un promedio máximo mensual de 588 mm en octubre y un mínimo mensual de 132 mm en abril. Para Tenosique la temperatura media anual es 26.3 °C, la máxima media mensual 30.5 °C en mayo y la mínima media mensual 22 °C en diciembre y enero. La precipitación anual es 3282 mm (INEGI, 2000; Palma *et al.*, 2007).

5.3. Suelo

Hay diferentes tipos de suelos debido a la naturaleza geológica de la región, su grado de evolución y la zona fisiográfica donde se ubica. Los suelos predominantes son Fluvisol Gleyco, caracterizados por su conformación a base de material tipo aluvial reciente palustre arcilloso, alto contenido de materia orgánica, saturación de agua, textura arcillosa y permeabilidad muy baja. Estos sitios son aptos, por su moderada a baja fertilidad, para sustentar pastizales y áreas pequeñas de agricultura temporal permanente (INEGI, 2009)

En esta zona está la mayor parte de los relictos de selva en la entidad. La vegetación está cubierta por fragmentos de bosque tropical lluvioso en un mosaico de vegetación secundaria de diferente edad derivada de la actividad agrícola y pastizales para la ganadería en las partes planas u onduladas (Ochoa-Gaona *et al.*, 2008).

Los remanentes de bosque tropical perennifolio, en su mejor estado; alcanzan 30 metros de altura y consisten de tres estratos arbóreos y un estrato herbáceo conformado por aráceas, marantáceas y helechos, lianas y varios tipos de orquídeas (Grande *et al.*, 2010). Las especies arbóreas más comunes son palma de guano (*Sabal mexicana*), corozo (*Attalea butyracea*), jobo (*Spondias mombin*),

macuilis (*Tabebuia rosea*), ceiba (*Ceiba pentandra*), laurel (*Nectandra ambigens*), árbol de hule (*Castilla elastica*), barí (*Calophyllum brasiliense*), bojón (*C. alliodora*), entre otras (Maldonado *et al.*, 2008; Grande *et al.*, 2010).

5.4. Criterios de selección de sitios

Antes de seleccionar los sitios de muestreo se realizaron recorridos y sondeos de campo para identificar potreros con árboles dispersos. Se usó un formulario para obtener información biofísica sobre la edad y tipo de manejo del sistema, especies herbáceas, densidad arbórea, entre otros parámetros (Cuadro 1). Después, se seleccionó los sitios (unidad de muestreo) que cumplieran con los siguientes criterios: mínimo 24 árboles ha⁻¹ con diámetro normal >10 cm, y áreas pastoreadas al menos 8 h/día. Se seleccionó 16 ranchos, seis en la zona de Tacotalpa y 10 en la de Tenosique y se asignó aleatoriamente una parcela de 1.0 ha para el inventario florístico.

Cuadro 1. Características generales de los informantes que fueron entrevistados en la Sierra Sur de Tabasco, México.

Nombre	Edad (años)	Sexo	Nivel de estudios	Municipio	Localidades
David Gómez Cruz	60	Masculino	Ninguno	Tenosique	Ignacio Allende
Nicolás Pérez Díaz	55	Masculino	Primaria	Tenosique	Ignacio Allende
Julia del Carmen Sánchez	41	Femenino	Primaria	Tenosique	Ignacio Allende
Domingo Díaz Sánchez	45	Masculino	Primaria	Tenosique	Ignacio Allende
Alfonso Vera Jiménez	38	Masculino	Primaria	Tenosique	Nuevo Progreso
Rigoberto Vera Jiménez	50	Masculino	Primaria	Tenosique	Nuevo Progreso
Camilo Jiménez Vera	57	Masculino	Ninguno	Tenosique	Nuevo Progreso
Isidro Pérez Torres	60	Masculino	Ninguno	Tenosique	Nuevo Progreso
Mario Cruz Madrigal	52	Masculino	Ninguno	Tenosique	Santo Tomas
Juan Lázaro Vásquez	32	Masculino	Primaria	Tenosique	Santo Tomas
Jorge González González	65	Masculino	Ninguno	Tacotalpa	Zunu Patastal
Reynaldo López Martínez	59	Masculino	Ninguno	Tacotalpa	Zunu Patastal
Manuel Morales	54	Masculino	Ninguno	Tacotalpa	Zunu Patastal
Bartolo Díaz Díaz	63	Masculino	Primaria	Tacotalpa	Villa Luz
Braulio Cruz Hernández	56	Masculino	Primaria	Tacotalpa	Villa Luz
Domingo Álvarez López	67	Masculino	Ninguno	Tacotalpa	Villa Luz

5.5. Encuesta en fincas

Se realizó una encuesta sobre el uso y manejo de las fincas entre 18-30 agricultores por el paisaje (48 en total), que fueron seleccionados al azar de una lista de todos los agricultores de cada zona de estudio. El objetivo del cuestionario semi-estructurado fue caracterizar el sistema de producción, la superficie total de la finca y el árbol y la cubierta herbácea y para recopilar información detallada sobre la presencia de árboles dispersos en potreros, el número de especies de árboles presentes, y se asocia con las prácticas de manejo.

Cuadro 2. Características generales de los sistemas silvopastoriles tradicionales con árboles dispersos en potreros en la Sierra Sur de Tabasco, México.

Características Principales	Parámetros	Descripción
Sistema de producción	Objetivo de producción	Engorda Pie de cría Doble propósito
	Razas	Cebú × Suizo
Área total y pasturas	Área total	12.7 – 22.8 hectáreas
	Cabezas de ganado	20 – 32 cabezas de ganado
	Presión de pastoreo	1.4 – 1.6 Unidades Animal por hectárea
	Días de pastoreo	8 – 18 días
Árboles y Pasturas	Cobertura de pasturas	50.3 – 73.6%
	Especies de pasturas	<i>Brachiaria brizantha</i>
		<i>Paspalum</i> sp.
		<i>Pennisetum purpureum</i> <i>B. decumbens</i>
	Densidad de árboles	24 – 212 árboles por hectárea
Nivel de tecnificación	Bajo- medio (bajo uso de concentrados comerciales, fertilizantes, y riego)	

5.6. Inventario florístico

En cada unidad de muestreo fueron identificadas por nombre común y científico todos los árboles; se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP), altura total (AT), altura del fuste limpio (AFL) y área de copa (AC) de todos los árboles con DAP >10

cm. El área de copa se estimó como el área de una elipse, formado por 2 diámetros perpendiculares y a su vez de 4 radios; por tanto, se usó el radio 1 del diámetro 1 y el radio 2 del diámetro 2 para calcular el área de copa de los individuos arbóreos, con la Ecuación 1 descrita por Esquivel (2011) y Villanueva-Partida *et al.* (2016):

$$A = P_i \cdot R_1 \cdot R_2 \quad \text{Ecuación [1]}$$

Donde A= área de la copa (m²), P_i=3.1416, R₁=radio de copa del eje 1 (m), R₂= radio de copa del eje 2 (m).

5.7. Ecuaciones alométricas

Para estimar la biomasa aérea se empleó un método no destructivo que consiste en el uso de ecuaciones alométricas. Estas ecuaciones fueron compiladas de diversas fuentes de información, ver anexo 1. Para ello se consultó revistas, artículos científicos y diversas páginas de internet (e.g. Globalometric). Se obtuvo por lo menos una ecuación para cada especie registrada.

En caso de no existir alguna ecuación específica para alguna especie se creó una ecuación general de vegetación tropical húmeda, de acuerdo a lo siguientes parámetros tal como lo sugiere el INEGI (2002):

$$BA = CF * (dbh^2 * Pi/4) * HT/10000 * D * FEB \quad \text{Ecuación [2]}$$

Dónde: BA= biomasa aérea (Mg); CF= coeficiente mórfico; DBH= diámetro a la altura de pecho; Pi= 3.1416; HT= altura total; D= densidad específica de la madera y; FEB= Factor de expansión de biomasa.

5.8. Análisis de datos

Los datos de estructura de la vegetación (i.e. diámetro a la altura de pecho, altura total, altura del fuste limpio y área de la copa), resultado del inventario forestal,

fueron analizados mediante estadística descriptiva con programa de Microsoft Excel 2016 para Windows 10.

VII. RESULTADOS

En el cuadro 3 se muestra el listado florístico de los árboles dispersos en los pastos de la sierra sur de Tabasco, México. Se identificó por nombre común y científico todos los árboles, asimismo los usos de los árboles dispersos en potreros registradas en las comunidades de Tacotalpa y Tenosique en Tabasco México. Donde se obtuvo más del 90% de la familia fabácea, continuando con un 40% la familia malvácea dejando así con un restante del 25%, 15% y 5% las demás familias. Se registraron 59 especies. Los usos reportados para las distintas especies fueron leña 23 %, miel 10%, madera 16%, forraje 5%, cercas vivas 8%, puestos 3%, sombras 13% y medicinal 9%. Además, se identificó que la mayor cantidad de especies son nativas del estado de Tabasco y las otras de los estados de Yucatán y Campeche). Asimismo, el 87% son árboles, 10% arbustos y 3% palmas.

Cuadro 3. Listado florístico de los árboles dispersos en potreros en la Sierra Sur de Tabasco, México.

Familia	Especies	Nombre común	Usos	Origen	Forma de vida
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Jobillo	1, 2, 5,7	N	A
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	1, 2, 4, 8, 9	NN	A
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo	1, 2, 8	N	A
Annonaceae	<i>Annona muricata</i> L.	Anona	2, 4, 8,9	NN	A
Arecaceae	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Pejibaye	3, 4, 7	NN	P
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	Coco	2, 4, 9	NN	P
Bignoniaceae	<i>Parmentiera aculeata</i> (Kunth) Seem.	Cuajilote	2, 3, 4, 5, 7	N	A
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	Macuilis	1, 2, 7, 9	N	A
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Bojón	1, 2, 5, 6	N	A
Bignoniaceae	<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv.	Tulipan	1, 2, 3, 4	NN	A
Boraginaceae	<i>Cordia stellifera</i> I.M.Johnst.	Candelero	1, 2, 4, 7	N	A
Boraginaceae	<i>Ehretia tinifolia</i> L.	Nance pea	2, 4, 9	N	A
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Palo mulato	1, 3, 5, 7, 8, 9	N	A
Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Barí	1, 2, 3	N	A
Calophyllaceae	<i>Mammea americana</i> L.	Mamey	2, 4, 9	NN	A
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i> L.	Almendro	1, 2, 4, 5	N	A

Fabaceae	<i>Albizia adinocephala</i> (Donn.Sm.) Record	Cola de pescado	2, 5, 6, 7	N	A
Fabaceae	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	Guapaque	1, 3, 4, 6, 8	N	A
Fabaceae	<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M.Sousa	Plumillo	2, 7, 9	N	AR
Fabaceae	<i>Diphysa robinoides</i> Benth. & Oerst.	Chipilín	2, 5, 7, 9	N	AR
Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Piche	1, 2, 3, 4, 7, 8	N	A
Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Cocoite	2, 3, 5, 8, 9	N	A
Fabaceae	<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	Palo tinto	2, 5, 6, 8, 9	N	A
Fabaceae	<i>Inga vera</i> Willd.	Guatope	2, 4, 7, 9	N	AR
Fabaceae	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth.	Palo gusano	2, 3, 5, 7, 9	N	AR
Fabaceae	<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	Cola lagarto	1, 2, 5, 7	N	A
Fabaceae	<i>Ormosia schippii</i> Standl. & Steyerm.	Colorín	1, 2, 7	N	A
Fabaceae	<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	Jabín	1, 2, 5, 7	N	A
Fabaceae	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Guamuchil	2, 4, 5	N	A
Fabaceae	<i>Platymiscium yucatanum</i> Standl.	Chulul	1, 2, 7	N	A
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Guanacastle	1, 2, 7	N	A
Fabaceae	<i>Vatairea lundellii</i> (Standl.) Record	Amargoso	2, 4, 7, 8	N	A
Lamiaceae	<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm.	Melina	1, 2, 4	NN	A
Lamiaceae	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Teca	1, 2, 7	NN	A
Lauraceae	<i>Persea Americana</i> Mill.	Aguacate	1, 2, 4, 5, 7, 9	NN	A
Lauraceae	<i>Persea schiedeana</i> Nees	Chinín	2, 4, 7	N	A
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Nance	1, 4, 8, 9	N	A
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba	1, 7, 9	N	A
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo	2, 3, 4, 5, 8, 9	N	A
Malvaceae	<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Zapote de agua	2, 5, 7, 9	N	A
Malvaceae	<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Kunth) Dugand	Amapola	1, 2, 5	N	A
Malvaceae	<i>Theobroma bicolor</i> Bonpl.	Pataste	1, 2, 5, 7, 9	NN	A
Malvaceae	<i>Trichospermum mexicanum</i> (DC.) Baill.	Majagua	1, 2, 9	N	A
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	1, 2, 8, 9	N	A
Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	1, 2, 4, 7	N	A
Moraceae	<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg	Castaña	2, 4, 8	N	A
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Ramón	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9	N	A
Moraceae	<i>Ficus</i>	Chimón	4, 7, 8	N	A
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Naranja	2, 4, 8, 9	NN	A
Rutaceae	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	Lagartillo	1, 5, 8	N	A
Salicaceae	<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britton & Millsp.	Trementina	2, 6, 7	N	A
Sapindaceae	<i>Cupania dentate</i> DC.	Quebrahacha	1, 2, 6	N	AR
Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i> L.	Jaboncillo	1, 2, 7, 8	N	AR
Sapindaceae	<i>Talisia olivaeformis</i>	Huaya	2, 4,	N	A
Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	Zapote	1, 2, 4, 5, 7, 9	N	A
Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i> DC.	Coralillo	1, 2, 7	N	A
Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	Guarumo	1, 3, 4	N	A
Verbenaceae	<i>Lippia cardiostegia</i> Benth.	Sasnich	2, 8, 9	N	A

Rubiaceae	<i>Sickingia salvadorensis</i>	Nazareno	2, 5, 1,	N	A
-----------	--------------------------------	----------	----------	---	---

1) Madera, 2) leña, 3) forraje, 4) fruta, 5) cercas vivas, 6) puestos, 7) sombra, 8) medicinal 9) miel. A = No aplicable; N = Nativo, NN = no nativo; A = árbol; AR = arbusto; P = palma.

Por otra parte, se encontraron un total de 69 ecuaciones para las especies reportadas en los sistemas silvopastoriles en la modalidad de árboles dispersos en potreros sobresalientes en los estados de Yucatán, Campeche, Quintana Roo y Tabasco. Para algunas especies se hallaron dos o más ecuaciones alométricas para estimar la cantidad de biomasa. Asimismo, cabe señalar que 20 especies que no han sido reportadas en la literatura científica como *Coccoloba diversifolia*, *Cocos nucifera*, *Cordia stellifera*, *Gliricidia sepium*, *Lippia cardiostegia*, *Pachira aquatica*, *Parmentiera aculeata*, *Persea schiedeana*, *Platymiscium yucatanum*, *Pseudobombax ellipticum*, *Sapindus saponaria*, *Schizolobium parahyba*, *Sickingia salvadorensis*, *Simarouba glauca*, entre otras, por lo que se utilizó una ecuación general con parámetros como Coeficiente Mórfico (CM), Factores de Expansión de Biomasa (FEB) y Densidad (D) (Anexo 1). Al respecto, para dichas especies se empleó un valor de CM de 0.45 determinado para las especies tropicales; asimismo el FEB fue 3.40, para árboles tropicales (INEGEI, 2002).

Se encontró que el mayor número de ecuaciones reportadas fue para las especies de la familia botánica de las Fabaceae, con un 32%, seguidos por las Lamiaceae con un 9%, asimismo las familias restantes con un porcentaje mínimo de 8%, 5%, y 2% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de ecuaciones aplicables a las familias botánicas árboles dispersos en potreros en la Sierra Sur de Tabasco, México.

Familia botánica	Número de ecuaciones
Fabaceae	21
Lamiaceae	6
Malvaceae	5
Meliaceae	5
Burseraceae	4
Moraceae	4
Calophyllaceae	3
Rutaceae	3

Sapindaceae	3
Boraginaceae	2
Combretaceae	2
Anacardiaceae	1
Annonaceae	1
Arecaceae	1
Lauraceae	1
Malpighiaceae	1
Sapotaceae	1
Urticaceae	1

Por otra parte, los resultados indican que el número de ecuaciones por especie oscila entre 1 y 4, no obstante, *Bursera simaruba* y *Tectona grandis* tuvieron el mayor número de ecuaciones por especie (4 diferentes ecuaciones) para estimar la biomasa arbórea (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de ecuaciones aplicables por especie de árboles dispersos en potreros de la

Especie	Número de ecuaciones
<i>Tectona grandis</i> L.f.	4
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	4
<i>Swietenia macrophylla</i> King	3
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	3
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth.	3
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	3
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	2
<i>Terminalia catappa</i> L.	2
<i>Inga vera</i> Willd.	2
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	2
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm.	2
<i>Ficus</i> sp.	2
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	2
<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M.Sousa	2
<i>Cedrela odorata</i> L.	2
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	2
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	2
<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg	2
<i>Trichospermum mexicanum</i> (DC.) Baill.	1
<i>Theobroma bicolor</i> Bonpl.	1
<i>Talisia olivaeformis</i>	1

<i>Sapindus saponaria</i> L.	1
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	1
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	1
<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	1
<i>Persea Americana</i> Mill.	1
<i>Ormosia schippii</i> Standl. & Steyerm.	1
<i>Mammea americana</i> L.	1
<i>Ehretia tinifolia</i> L.	1
<i>Diphysa robinoides</i> Benth. & Oerst.	1
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	1
<i>Cupania dentate</i> DC.	1
<i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pav.) Oken	1
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	1
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	1
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	1
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	1
<i>Annona muricata</i> L.	1
<i>Albizia adinocephala</i> (Donn.Sm.) Record	1

Por otra parte, las variables más comunes que utilizan las ecuaciones para la estimación de la biomasa son diámetro a la altura del pecho (DAP); altura total (AT). Para la forma de vida de los árboles las variables más usadas fueron DAP con un 60%; (DAP, AT) 12%; (DAP, AT, DEM) 22%; Para los arbustos (DAP) 83%; (DAP, AT) 17%; Palmas (DAP) 50% (DAP, AT, DEM) 50% (Cuadro 6).

Cuadro 6. Número de ecuaciones según la forma de vida y las variables empleadas para estimar biomasa de los árboles dispersos en potreros en la Sierra Sur de Tabasco, México.

Forma de vida	Variable	Número de ecuación
Árbol	DAP	53
	DAP, AT	10
	DAP, AT, DEM	18 (elaboración propia)
Arbusto	DAP	5
	DAP, AT	1
Palma	DAP	1
	DAP, AT, DEM	1 (elaboración propia)
Total		89

DAP, diámetro a la altura del pecho; AT, altura total; DEM, densidad específica de la madera.

Del total de ecuaciones encontradas en la literatura el 90% son lineales, el 6% exponencial, y solamente el 4% del tipo logarítmicas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Número de ecuaciones alométricas reportadas en la literatura científica según su tipo.

Tipo de ecuación	Número de ecuaciones
Lineal	62
Exponencial	4
Logarítmica	3
Total de ecuaciones	69

Por otra parte, la densidad específica de los árboles dispersos en potreros de la Sierra sur de Tabasco estuvo en el rango de 0.31 a 0.93 g/cm³. No obstante, el 68.8% de las especies poseen una densidad específica de la madera que van de 0.4 a 0.6 g/cm³ (Figura 3).

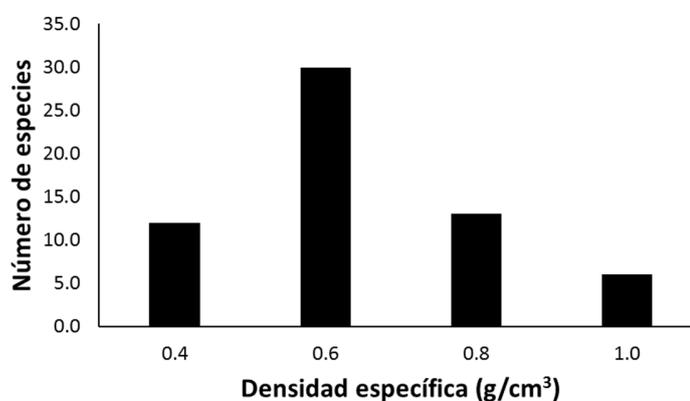


Figura 3. Densidad específica de la madera de los árboles dispersos en potreros en la Sierra Sur de Tabasco, México.

VIII. PROBLEMAS RESUELTOS Y LIMITANTES

El en presente trabajo de residencia se planteó encontrar las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa en sistemas silvopastoriles con árboles dispersos en potreros. No obstante, solo el 70 % de las especies han sido reportadas en la literatura científica, lo que indica que la información aun es escasa en nuestro país. Esta situación se fue remediada con el uso de una ecuación general que contempla algunas características de la forma y física de la madera de las especies arbóreas estudiadas como el coeficiente mórfico y factores de expansión de biomasa generales y densidad específica de la madera para especies tropicales.

IX. COMPETENCIAS APLICADAS O DESARROLLADAS

Durante todo este tiempo como estudiante de la carrera ingeniería forestal, al colaborar con el siguiente trabajo de residencia profesional aplique varias competencias específicas de las materias cursadas.

- Desarrollar los elementos del protocolo en un documento en forma estructurada.
- Presentar en forma oral y escrita el protocolo de investigación.
- Comprender y diferenciar las principales técnicas del manejo agroforestal en los ecosistemas tropicales, subtropicales, templados y semiáridos.
- Comprender las relaciones de la agroforestería con la producción agropecuaria.
- Comprender el papel y la importancia que los sistemas agroforestales tienen en la conservación de otros recursos.
- Aplicar técnicas alométricas para medición y cubicación de árboles.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más estudios que demuestren la contribución de los árboles dispersos en potreros como promoción de servicios ambientales, tal como la captura de carbono en la biomasa arbórea.

También se recomienda hacer una evaluación amplia acerca de las especies analizadas, con el propósito de validar las ecuaciones alométricas que fueron encontradas en el presente proyecto.

XI. CONCLUSIONES

La mayor cantidad de ecuaciones reportadas en la literatura científica corresponde a los árboles dispersos en potreros, donde el DAP y la AT son los parámetros más utilizados.

Las fabáceas han sido la familia más estudiada, debido posiblemente a su mayor abundancia en los trópicos.

Las ecuaciones lineales han sido las más utilizadas en los reportes científicos.

El 68.8% de las especies de árboles dispersos en potreros poseen una densidad específica que van de 0.4 a 0.6 g/cm³

Hace falta aún un grupo de familias botánicas que han sido poco estudiadas en términos de modelos alométricos, por ejemplo: Anacardiaceae, Annonaceae, Arecaceae, Lauraceae, Sapotaceae, Urticaceae.

XII. REFERENCIAS

- Alonso J. (2009). "Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente". Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.
- Anguiano J.M.; Aguirre J.; Palma J.M. (2013). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum*" Avances en Investigación Agropecuaria.
- Araujo T.; Higuchi N.; Carvalho J.d.J. (1999). Comparison of Formulae for Biomass Content Determination in a Tropical Rain Forest Site in the State of Para, Brazil. *Forest Ecology and Management*, (117):43-52.
- Ares A.; Boniche J.; Quesada J.; Yost R.; Molina E.; Smyth T. (2002). Estimación De Biomasa Por Métodos Alométricos, Nutrientes Y Carbono En Plantaciones De Palmito En Costa Rica.
- Arreaga G.W. (2002). Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Peten, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR.; CATIE. 86
- Bacab, H. M.; Madera, N. B.; Solorio, F. J.; Vera, F., Marrufo, D. F. (2013). The intensive silvopastoril systems with *Leucaena leucocephala*: tropical livestock option. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3):67-81
- Buvaneshwaran C.; George M., Perez D.; Kanninen M. (2006). Notes Biomass of Teak plantations in Tamilnadu, India and Costa Rica compared. *Journal of Tropical Forest Science*, 18(3):195-197.
- Cairns M.; Olmsted J.; Granados J.; Argaez J. (2003). Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatán Peninsula. *Forest Ecology and Management* 186:125-132.
- Casanova L.F.; Petit A.J.; Solorio S.J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1):5-118.

- Cole T.; Ewel J. (2006). Allometric Equations for Four Valuable Tropical Tree Species. *Forest Ecology and Management*, (229):351-360.
- FSI (Forest Survey of India). 2001. Chapter 8. Carbon stocks in India's forest. 81-90 http://www.ecoport.com/EcoNoticias/deforestacioncambio_y_climatico_acaban_con_edén_tabasqueño, "Deforestación y cambio climático acaban con edén tabasqueño", EcoPortal, Buenos Aires, Argentina, 02 de agosto de 2010.
- Hughes F.; Kauffman B.; Jaramillo V. (1999). Biomass, Carbon, and Nutrient Dynamics of Secondary Forests in a humid Tropical Region of Mexico. *Ecology*. 80(6):1892-1907.
- Hung D.N.; Son N.V.; Hung N.P. (2012) Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Viet Nam - Evergreen broadleaf forests in Quang Binh Province in (Eds) Inoguchi, A., Henry, M. Birigazzi, L. Sola, G. Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Viet Nam, UN-REDD.
- Huy B.; Hung V.; Huong N.T.T.; Ly C.T.; Dinh N.D. (2012) Tree allometric equations in Evergreen Broadleaf Forests in the South Central Coastal region, Viet Nam, in (Eds) Inoguchi, A., Henry, M. Birigazzi, L. Sola, G. Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Viet Nam, UN-REDD Programme, Hanoi, Viet Nam.
- Krisnawati H.; Adinugroho W.C.; Imanuddin R. (2012). Monograph Allometric Models for Estimating Tree Biomass at Various Forest Ecosystem Types in Indonesia. Bogor, Indonesia, Research and Development Center for Conservation and Rehabilitation, Forestry Research and Development Agency, Ministry of Forestry.
- Lee P.G. (2002). Estudio preliminar para la estimación de biomasa y cuantificación de carbono para *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense* y *Cybistax donnell-smithii* en bosque naturales de Guatemala. Lic. Ing Agr. GT, Universidad de San Carlos de Guatemala. 75
- Maldonado N.M.; Grande J.D.; Fuentes E.F.; Hernández S.; Pérez G.F.; Gómez A. (2008) "Los sistemas silvopastoriles de la región tropical húmeda de México: El caso de Tabasco". *Zootecnia Tropical*. 26(3).

- Manzano F. (2010). Crecimiento, periodicidad y biomasa de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. México. 85.
- Monteith D.; (1979). Whole tree weight tables for New York; AFRI Res; Rep; 40; Syracuse; NY; State University of New York; College of Environmental Science and Forestry; Applied Forestry Research Institute.
- Morales H.A.; Galindo A.A.; Gama C.L.; Sánchez P.E. (2007) "Propuesta de Reforestación y Enriquecimiento de la microcuenca el Polev, Tenosique, Tabasco".
- Nahed A.J.; Valdivies J.C.; Aguilar R.J.; Grande D.M.; Ruiz, J.C (2013) "Evaluación técnica, ambiental, económica y social de los sistemas agroforestales pecuarios tradicionales y propuestas para su adaptación al cambio climático. Sistemas silvopastoriles tradicionales en la cuenca media del río Grijalva (entre Chiapas y Tabasco, México)". Ecosur.
- Návar J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257:427-434
- Nogueira E.; Fearnside P.; Nelson B.; Barbosa R.; Keizer E. (2008). Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management* 256(11):1853-1867.
- Overman J.P.M.; Witte H.J.L.; Saldarriaga J.G.; (1994). Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon Rainforest. *Journal of Tropical Ecology*. 10(2).
- Prasad V. (2004). Volume table of *Acacia Mangium* ang *Gmelina arborea*. Tawau, Sabah, Sabah softwoods sdn. Swamy, S.L., Kushwaha, S.K. & Puri, S. Tree growth, biomass, allometry and nutrient distribution in *Gmelina arborea* stands grown in red lateritic soils of Central India. *Biomass and Bioenergy*, 26(4):305317.
- Rodríguez R.; Jiménez J.M.; Aguirre O.; Razo R. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo,

- Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4(2):215-222.
- Rojas G.F.; Martínez Z.P.; Olgún M.; Jong D. (2009). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en México. ECOSUR-CONAFOR. Inédito.
- Ruiz R.M (2007) "Los Sistemas Silvopastoriles: Un Enfoque Necesario De Investigación Y Vinculación De La Uach En El Trópico Húmedo". Ponencia a presentar en Encuentro de Investigación y Vinculación, Chapingo, México.
- Segura M.; Kanninen M.; Suárez D. (2006). Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforest Syst.* 68:143-150.
- Villanueva L.G.; Casanova L.F.; Ramírez A.L.; Martínez Z.P. (2014). Influencia del sistema silvopastoril "cercas vivas" de *Gliricidia sepium* en la respiración del suelo en Tacotalpa, Tabasco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17:(2):261-266.
- Villanueva P.C.; Casanova L.F.; Villanueva L.G.; González V.N.; Oros O.I.; Díaz E.V.; (2016). Influence of the density of scattered trees in pastures on the structure and species composition of tree and grass cover in southern Tabasco, Mexico; *Agriculture, Ecosystems & Environment*; 232:1-8.
- Wang J.; Ju K. (1998). "Study on biomass of water conservation forest on north slope of Qilian Mountains." *Journal of Fujian College of Forestry* 18(4): 319-323

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Lista de ecuaciones alométricas encontradas en la literatura científica para estimar la biomasa de árboles dispersos en la Sierra Sur de Tabasco, México.

Especie	Ecuaciones	País	Referencia
<i>Albizia adinocephala</i> (Donn.Sm.) Record	$0.0363 * (DAP)^{(2)} + 1.4877 * (DAP) - 0.7142$	India	FSI, 2001
<i>Annona muricata</i> L.	$(3.355 + 2.578) * LOG(DAP)$	Brasil	Nogueira <i>et al.</i> , 2008
<i>Artocarpus altilis</i>	$(0.1245) * (DAP)^{(2.4163)}$	Viet Man	Hung <i>et al.</i> , 2012
<i>Artocarpus altilis</i>	$0.0197 * (DAP)^2 - 0.0557 * (DAP) + 0.1090$	India	FSI, 2001
<i>Astronium graveolens</i>	$(-3.355 + 2.578) * LOG(DAP)$	Brasil	Nogueira <i>et al.</i> , 2008
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	$(6.8414) * (DAP)^{2.086} + 2.734 * (DAP)^{2.1837} + 2.7402 * (DAP)^{1.9408}$	Costa Rica	Ares <i>et al.</i> , 2002
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	$(0.0336) * (DAP^2) * (AT)$	México	Cairns <i>et al.</i> , 2003
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	$0.479403 * (DAP^{2.0884})$	Tamaulipas	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	$(0.0841 * (DAP)^{2.41})$	México	Navar <i>et al.</i> , 2009
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	$(0.064808 * (DAP)^{2.46998})$	Tamaulipas	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	$(0.0053 * (DAP)^{2.96})$	México	Navar <i>et al.</i> , 2009
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	$(0.5825 * (DAP)^{1.6178})$	México	Navar <i>et al.</i> , 2009
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	$(0.283 * ((DAP)^2 * (AT))^{0.807})$	México	Ayala <i>et al.</i> , 1998
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	$-0.15264 - 0.04895 * (DAP) + 0.00167 * (DAP)^{(2)}$	Guatemala	Arreaga <i>et al.</i> , 2002
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	$0.11975 + 0.00008435 * (DAP)^{(2)}$	Guatemala	Arreaga <i>et al.</i> , 2002
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	$0.16502 * (DAP)^{(2.3351)}$	África	Henry <i>et al.</i> , 2002
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	$0.16502 * (DAP)^{(2.3351)}$	África	Henry <i>et al.</i> , 2010
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	$6.4050 * ((DAP)^2 * (AT))^{(0.4137)}$	Viet Nam	Dung <i>et al.</i> , 2012
<i>Coccoloba diversifolia</i>	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000 * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Cocos nucifera</i> L.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000 * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Cedrela odorata</i> L.	$(-0.15264 - 0.048959) * (DAP) + 0.00167 * (DAP)^{(2)}$	Guatemala	Arreaga <i>et al.</i> , 2002
<i>Cedrela odorata</i> L.	$0.465 * (DAP)^{(2.202)}$	Brasil	Overman <i>et al.</i> , 1994
<i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pav.) Oken	$(0.8501 * ((DAP)^2))$	México	Rojas-García <i>et al.</i> , 2009
<i>Cordia stellifera</i> I.M.Johnst	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000 * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Cupania dentate</i> DC.	$1.120 * (DAP)^{(2)}$	Brasil	Overman <i>et al.</i> , 1994

<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	$= 0.620 + 0.159 * (DAP) - 0.243 * (AT)$	Colombia	Saldarriaga <i>et al.</i> , 1998
<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M.Sousa	$(0.048454 * (DAP)^{2.58164})$	New York	Monteith <i>et al.</i> , 1979
<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M.Sousa	$4.515 - 0.26 * (DAP) + (0.005 * ((DAP)^2))$	México	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008.
<i>Diphysa robinoides</i> Benth. & Oerst	$4.515 - 0.26 * (DAP) + (0.005 * ((DAP)^2))$	México	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008.
<i>Ehretia tinifolia</i> L.	$LOG10(0.0004639) + 2.204 * LOG10((DAP))$	Ghana	Wong <i>et al.</i> , 1990
<i>Enterobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	$0.465(DAP)^{2.202}$	Brasil	Overman <i>et al.</i> , 1994
<i>Enterobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	$0.749 * (DAP)^{(2.0111)}$	Brasil	Overman <i>et al.</i> , 1994
<i>Ficus glabrata</i>	$(0.027059) * (DAP^{2.86357})$	México	Hughes <i>et al.</i> , 1999
<i>Ficus glabrata</i>	$((EXP(4.9375)) * ((DAP^2)^{1.0583})) * 1.14 / 1000000$	México	Rodríguez <i>et al.</i> , 2006
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000 * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm.	$= 0.0102 * ((DAP)^{(2.5848)})$	Viet Nam	Hung <i>et al.</i> , 2012
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm.	$= 0.075 * (DAP)^{(2.4167)}$	Costa Rica	Arias <i>et al.</i> , 2011
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	$(0.0433) * (DAP^{2.3929})$	México	Návar <i>et al.</i> , 2009
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	$(0.5825) * (DAP^{1.6178})$	México	Návar <i>et al.</i> , 2009
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	$(0.5825) * (DBH^{1.6178})$	México	Návar <i>et al.</i> , 2009
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	$(0.0433) * (DAP^{2.3929})$	México	Návar <i>et al.</i> , 2009
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	$(0.37 * (DAP)^{1.96})$	México	Návar <i>Et al.</i> , 2009
<i>Lippia cardiostegia</i> Benth.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000 * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Inga vera</i>	$EXP(-1.76) * (DAP^{2.26})$	México	Acosta <i>et al.</i> , 2002
<i>Inga vera</i>	$EXP(-4.04) * (DAP^4) * ((DAP^{0.29})^2)$	México	Douterlungne <i>et al.</i> , 2013
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth.	$EXP(4.420177 + 0.061182 * (DAP) - 0.134815 * (AT) + 0.004806 * (AT)^2)$	Guatemala	Lee <i>et al.</i> , 2002
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth.	$(0.5825 * (DAP)^{1.678})$	México	Návar <i>et al.</i> , 2009
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth.	$-0.15264 - 0.04895 * (DAP) + 0.00167 * (DAP)^{(2)}$	Guatemala	Arreaga <i>et al.</i> , 2002
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	$(0.5825 * (DAP)^{1.6178})$	México	Návar <i>et al.</i> , 2009
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	$-0.15264 - 0.04895 * (DAP) + 0.00167 * (DAP)^{(2)}$	México	Arreaga <i>et al.</i> , 2002

<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	$-0.2605 + 0.00111 * (DAP)^{(2)}$	México	Arreaga <i>et al.</i> , 2002
<i>Mammea americana</i> L.	$(0.048454 * (DAP)^{2.58164})$	México	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Mangifera indica</i> L.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Mirandaceltis monoica</i>	$(0.062394 * (DAP)^{2.71448})$	México	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Ormosia schippii</i> Standl. & Steyerm.	$0.465 * (DAP)^{(2.202)}$	Brasil	Overman <i>et al.</i> ,1994
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Parmentiera aculeata</i> (Kunth) Seem.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Persea Americana</i> Mill.	$(0.048454 * (DAP)^{2.58164})$	México	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Persea schiedeana</i> Nees	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	$(0.0358 * ((DAP)^2 * (AT))^1)$	México	Cairns <i>et al.</i> , 2003.
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	$(0.8322 + (0.0429 * (DAP)^2 * (AT)))$	México	Cairns <i>et al.</i> , 2003.
<i>Piscidia Communis</i>	$(0.064066 * (DAP)^{2.62323})$	México	Rodríguez <i>et al.</i> , 2007
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	$0.0029 + 0.1658 * (DAP)^{(2)} * (AT)$	India	Chaturvedi, <i>et al.</i> ,1996
<i>Platymiscium yucatanum</i> Standl.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Kunth) Dugand	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Sapindus saponaria</i> L.	$0.0102 * ((DAP)^{2.5848})$	Viet Man	Hung <i>et al.</i> , 2012
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Sickingia Salvadorensis</i>	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Simarouba glauca</i> DC.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Spathodea Campanulata</i>	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Spondias Mombin</i>	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Swietenia macrophylla</i> King	$0.15264 - 0.04895 * (DAP) + 0.00167 * (DAP)^{(2)}$	Guatemala	Arreaga <i>et al.</i> , 2002
<i>Swietenia macrophylla</i> King	$-0.2605 + 0.00111 * (DAP)^{(2)}$	Guatemala	Arreaga <i>et al.</i> , 2002
<i>Swietenia macrophylla</i> King	$0.49473 + 8.02 * 10^{(-5)} * (DAP)^{(2)} - 0.01531 * (AT)$	Guatemala	Arreaga <i>et al.</i> , 2002
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>talisia olivaeformis</i>	$(0.0493) + ((0.0480) * (DAP^2) * (AT))$	México	Cairns <i>et al.</i> , 2008
<i>Tectona grandis</i> L.f.	$25.3092 * (DAP)^2 + 0.7069 * (DAP) + 0.5550$	India	FSI, 2001
<i>Tectona grandis</i> L.f.	$0.1065 * (DAP)^2 - 2.1243 * (DAP) + 25.013$	Costa Rica	Buñaneswaran <i>et al.</i> , 2006
<i>Tectona grandis</i> L.f.	$0.1701 * (DAP)^2 - 0.5602 * (DAP) + 1.3209$	India	FSI, 2001

<i>Tectona grandis</i> L.f.	$19.77 * ((DAP)^{1.0364})$	Indonesia	Krisnawati <i>et al.</i> , 2012
<i>Theobroma bicolor</i> Bonpl.	$(0.2666 * (DAP)^2)$	México	Rojas- García <i>et al.</i> , 2009
<i>Terminalia catappa</i> L.	$0.749 * (DAP)^{(2.0111)}$	Amazonas	Overman <i>et al.</i> , 1994
<i>Terminalia catappa</i> L.	$0.780 * (DAP)^{(2)}$	Amazonas	Overman <i>et al.</i> , 1994
<i>Trichospermum mexicanum</i> (DC.) Baill.	$EXP(-2.82) * (DAP^{2.42})$	México	Douterlungne <i>et al.</i> , 2003
<i>Vatairea lundelli</i> (Standl.) Record	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	$0.00942 * (DAP)^{1.8329}$	México	Manzano <i>et al.</i> , 2010
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	$0.00062 * (DAP)^{3.2722}$	México	Manzano <i>et al.</i> , 2010
<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britton & Millsp.	$F * (DAP^2 * Pi/4) * AT/10000) * D * FEB$	México	GEI 1990-2002

Anexo 2. Densidades de la madera de árboles dispersos en potreros en la Sierra Sur de Tabasco, México.

Especies	Densidad específica (g/cm³)
<i>Albizia adinocephala</i> (Donn.Sm.) Record	0.52
<i>Annona Muricata</i> L.	0.36
<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg	0.43
<i>Astronium Graveolens</i>	0.87
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	0.50
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	0.60
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	0.31
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	0.58
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	0.59
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	0.31
<i>Cedrela odorata</i> L.	0.45
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	0.31
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	0.78
<i>Coccoloba Diversifolia</i>	0.80
<i>Cocos Nucifera</i> L.	0.50
<i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pav.) Oken	0.52
<i>Cordia stellifera</i> I.M.Johnst.	0.53
<i>Cupania dentate</i> DC.	0.66
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	0.90
<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M.Sousa	0.66
<i>Diphysa robinoides</i> Benth. & Oerst.	0.66
<i>Ehretia tinifolia</i> L.	0.57
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	0.39
<i>Ficus Glabrata</i>	0.49
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	0.62
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm.	0.44
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0.52
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	0.93
<i>Inga vera</i> Willd.	0.58
<i>Lippia cardiostegia</i> Benth.	0.50
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth.	0.69
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	0.60
<i>Mammea americana</i> L.	0.64
<i>Mangifera indica</i> L.	0.55
<i>Mirandaceltis Monoica</i>	0.69
<i>Ormosia schippii</i> Standl. & Steyerm.	0.59
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	0.38
<i>Parmentiera aculeata</i> (Kunth) Seem.	0.50
<i>Persea Americana</i> Mill.	0.55
<i>Persea schiedeana</i> Nees	0.50
<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	0.64
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	0.68
<i>Platymiscium yucatanum</i> Standl.	0.83
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	0.86
<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Kunth) Dugand	0.34

<i>Sapindus saponaria</i> L.	0.71
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	0.35
<i>Sickingia salvadorensis</i>	0.60
<i>Simarouba glauca</i> DC.	0.38
<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv.	0.35
<i>Spondias mombin</i> L.	0.39
<i>Swietenia macrophylla</i> King	0.52
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	0.53
<i>Talisia olivaeformis</i>	0.87
<i>Tectona grandis</i> L.f.	0.60
<i>Theobroma bicolor</i> Bonpl.	0.50
<i>Terminalia Catappa</i> L.	0.48
<i>Trichospermum mexicanum</i> (DC.) Baill.	0.37
<i>Vatairea lundelli</i> (Standl.) Record	0.61
<i>Zanthoxylum Riedelianum</i>	0.48
<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britton & Millsp.	0.56

Anexo 3. Evidencias fotográficas del trabajo de residencia profesional



Selección de sitios



Selección de la especies



Sistema silvopastoril



Cuantificación altura total



Medición del diámetro a la altura de pecho



Inventario florístico



Encuesta a productor



Árboles dispersos en potreros