



UNIVERSIDAD VERACRUZANA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES  
XALAPA, VERACRUZ

“Siembra directa de semillas de *Swietenia macrophylla* King en milpas terminales como técnica silvícola de regeneración en el Ejido Betania, Q. Roo, México”

T E S I S

Presentada como requisito para obtener al grado de  
Maestría en Ciencias de la Ecología Forestal

Por:

IMELDA MARTÍNEZ SALAZAR



**UNIVERSIDAD VERACRUZANA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES**

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA FORESTAL**

Aprobación del documento final de tesis de grado: “**Siembra directa de semillas de *Swietenia macrophylla* King en milpas terminales como técnica silvícola de regeneración en el Ejido Betania, Q. Roo, México**” Realizada por la alumna Imelda Martínez Salazar, bajo la dirección del Comité particular de tesis y aprobada por el Comité Revisor. Ha sido aceptada como requisito parcial para obtener el grado de: **Maestra en Ciencias en Ecología Forestal.**

<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>
<b>Director de Tesis</b> Dra. Patricia Negreros Castillo	_____
<b>Codirector</b> Dra. María Angélica Navarro Martínez	_____
<b>Asesor</b> Dr. Edward A. Ellis	_____
<b>Comisión revisora</b> Dr. Juan Márquez Ramírez	_____
	_____
	_____
	_____

Xalapa, Ver. 6 de julio del 2016

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento a la Universidad Veracruzana, al Instituto de Investigaciones Forestales por haberme brindado la oportunidad de estudiar la maestría en ciencias en ecología forestal.

A los maestros y compañeros que influyeron en mi formación profesional.

A mi directora de tesis la Dra. Patricia Negreros-Castillo a quien admiro y respeto, por su paciencia, apoyo y fe depositada en mi persona para la realización de este trabajo, por la revisión detallada de este documento y su apoyo bibliográfico.

De igual manera al Dr. Carl Mize, por todo su apoyo en la cuestión estadística y porras para terminar la tesis.

A mi asesora externa Dra. María Angélica Navarro Martínez por sus atinadas recomendaciones y revisión detallada de este documento, así como por su espíritu de conocimiento.

A la M. C. Victoria Santos y la Ing. Rosa Ledesma, por la ayuda en el ejido Betania y el apoyo moral y la preocupación de que se realizara con bien el trabajo de campo.

A las diferentes familias de Betania, Q. Roo que no sólo compartieron sus conocimientos, sino también sus parcelas, su casa, su comida, su sudor y su amistad.

Al CONACYT, por la beca otorgada.

Y a todos aquellos que hicieron posible la conclusión de este trabajo.

### **Dedicatoria**

A mi mamá la Sra. Ángela Salazar Soto, porque es el motor e inspiración de mi vida y he llegado tan lejos gracias a su apoyo moral, comprensión, cariño y amor, pero sobre todo porque ha sido una gran guía silenciosa, por creer en mí y comprender que el estudio que realizaba me gusta y me sigue gustando, y entender que la selva es parte de mi vida. Gracias, Te amo mamá.

A mi hermano Manuel de Jesús y hermana Yoselin, que siempre han estado presentes de alguna manera cuando más los necesito, y por pasar momentos gratos y provechosos con ellos, aun a la distancia, a mi sobrino Johitan que siempre me pregunta ¿para qué es eso?, ¿por qué te vas a la selva? ¿a ver a los animales?, a todos ellos los quiero mucho.

A Raymundo Taleno Castillo, porque de alguna manera, siempre estuviste ahí, con tu apoyo moral, apoyo físico, animándome a seguir, por quitarme las espinas de mis manitas, por preocuparte por mí y por amarme tanto☺.

A mi Negrito y Luna☺.

## **Resumen**

Se evaluó la siembra directa de semillas de caoba en milpas en último año de producción de Roza Tumba Quema (RTQ-terminal) como técnica silvícola para su regeneración en bosques aprovechados comercialmente. Germinación del 30%, y nueve meses después de la germinación, la milpa ( $P < 0.0001$ ), Cantidad de Sombra (CS) ( $P = 0.0003$ ) y suelo ( $P=0.0018$ ) tuvieron un efecto significativo en el crecimiento en diámetro pero también en la mortandad: milpa ( $P=0.009$ ), CS ( $P < 0.0001$ ). A los 45 meses el crecimiento en diámetro (rango 1.5 - 49.0 mm) fue afectado significativamente solamente por la milpa ( $P = 0.004$ ), y la mortandad por la CS. Con 19 especies arbóreas, a los 12 meses del experimento, la vegetación secundaria ya tenía una composición con el 30% de las especies encontradas en el bosque cercano a las milpas. En un bosque natural la regeneración de la caoba es de muy escasa a cero, en este estudio a 45 meses se tiene un promedio de 100 plantas por hectárea. Esta investigación pone de manifiesto que una práctica ancestral muy bien conocida y dominada por la población Maya local RTQ, tiene el potencial para usarse como técnica silvícola de regeneración de la caoba cuando se complementa con la siembra de semilla durante el último de producción.

**Palabras clave:** Caoba, Roza Tumba Quema, silvicultura tropical, sucesión secundaria, Betania Quintana Roo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de Bosques en el mundo. Fuente FAO (2010).	1
Figura 2. Relación entre Silvicultura y Manejo Forestal (Gómez, 2011)	11
Figura. 3 Componentes del sistema silvícola. Tomado de Smith et al., 1997.	13
Figura 4. Sistema de Roza-tumba y quema. De la selva se pasa a milpa, posteriormente pasa a acahual, donde se pueden regenerar especies forestales de valor comercial como la caoba, finalmente regresa a selva nuevamente, este ciclo se ha repetido por miles de años en la zona Maya de México.	18
Figura 5. Distribución natural de <i>S. macrophylla</i> en América (Acosta, 2011).	26
Figura 6. Mapa de distribución en México, A) rama con inflorescencia; B) cápsula (Pennington & Sarukhán, 2005).	27
Figura 7. Ubicación del área de estudio. Ejido Betania, Q. Roo.	36
Figura 8. Parcelas de observación (PO, milpas terminales). PO1 (milpa 1, superficie 1 ha), PO2 (milpa 2, superficie 4 ha.), y PO3 (milpa 3, superficie 4 ha).	41
Figura 9. a) La semilla después de colectada se guardó en bolsas de nylon durante Cuatro meses, b) semilla en una cubeta para ser remojada por 24 hrs, para su Posteriormente siembra.	42
Figura 10. Diseño y orientación de la parcela (50 x 50 m), y representación del modo de siembra (domino) los números en rojo en la fotografía a la derecha, muestran el patrón de siembra de la semilla de caoba.	42
Figura 11. Imágenes de semillas germinadas, fotos tomadas en agosto del 2012.	43
Figura 12. Toma de muestra de suelo (a la izquierda), muestra de suelo etiquetada con su respectiva clave (derecha).	44
Figura 13. Proceso de identificación de color de suelo con base a la tabla de Munsell.	44
Figura 14. Densiómetro esférico cóncavo (densímetro de corona Forestal) para	

determinar la densidad forestal (Gis Ibérica S.L., 2003).	46
Figura 15. Colocación del paquete de papel diazo sobre estacas cerca de las plántulas de caoba en campo.	48
Figura 16. Revelado del papel diazo. Foto de la izquierda, los diazos colocados en la rejilla, sobre el recipiente que contiene la solución de hidróxido de amonio, foto de la derecha campana donde se dejó revelar los diazos por 30 minutos.	48
Figura 17. Diseño de muestreo para conocer las diversidad de árboles de la sucesión secundaria de las milpas terminales utilizadas en el estudio. Cuadros verdes son los cuadrantes de 4 x 4 m., se encuentran separados a una distancia de 26 m.	51
Figura 18. Cuadrante dentro de la parcela de observación, las cintas blancas, limita área del cuadrante de 4x4m. que esta dividido en 4 subcuadrantes.	52

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Porcentaje de germinación de semilla de caoba, en parcelas de observación (PO1, PO2, PO3).	55
Gráfica 2. Curvas de germinación de semilla de caoba en tres parcelas de observación, durante 58 días.	56
Gráfica 3. Proporción de supervivencia de plántulas en las tres parcelas de observación (PO1, PO2 y PO3).	57
Grafica 4. Relación diámetro altura a los dos meses. A: 1 obs. B: 2 obs. C: 3 obs. D: 4 obs.	59
Grafica 5. Relación diámetro y altura a los 45 meses de edad de las plántulas.	60
Gráfica 6. Especies con mayor densidad en las tres PO. Guecom: <i>Guettarda combsii</i> , Pispis: <i>Piscidia piscipula</i> , Cocspi: <i>Coccoloba spicata</i> , Lonrung: <i>Lonchocarpus rugosus</i> , Luespe: <i>Luehea speciosa</i> , Bursim: <i>Bursera simaruba</i> , Playuc: <i>Platymiscium yucatnum</i> , Ranacu: <i>Randia aculeata</i> , Bunswa: <i>Bunchasia swartziana</i> , Chymex: <i>Chrysophyllum mexicanum</i> , Vitgau: <i>Vitex gaumeri</i> , Croref: <i>Croton reflexifolius</i> , Psisar: <i>Psidium sartorianum</i> , Amphot: <i>Ampelocera hottlei</i> .	62
Grafica 7. Porcentaje por tipo de regeneración en las especies registradas para el área de estudio. R: rebrote, S: semilla	63



## LISTA DE TABLAS

Tabla. 1. Países de Latino América con mayor cobertura forestal, expresado en millones de hectáreas. (FAO, 2009a).	2
Tabla. 2. Distribución en porcentaje del carbono presente en el bosque tropical a nivel mundial (FAO, 2010a).	2
Tabla 3. Especies tropicales de importancia económica en el mundo, superficie de plantación en hectáreas. Krishnapillay, (2000).	14
Tabla 4. Épocas de floración de la caoba en distintas regiones de América (Navarro 1999).	29
Tabla 5. Calendario de mediciones.	49
Tabla 6. Número de cuadrantes y subcuadrantes establecidos para el muestreo de diversidad arbórea en las parcela de observación.	52
Tabla 7. Número de semillas sembradas y germinadas, así como el porcentaje de germinación por parcela de observación.	54
Tabla. 8. Concentrado de Resultados de mortandad y crecimiento en diámetro y altura de 2 a 45 meses (incluyendo solamente los valores de P significativos).	61
Tabla 9. Relación de familias y especies encontradas en el área de estudio.	64

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN: EL MANEJO DE LOS ÁRBOLES MADERABLES TROPICALES COMERCIALES.	1
2. ECOLOGÍA DE LA REGENERACIÓN Y SU IMPORTANCIA EN EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS BOSQUES.	8
3. SILVICULTURA Y MANEJO DE ÁRBOLES TROPICALES COMERCIALES.	11
3.1. Silvicultura y el sistema silvícola.	11
3.2. Silvicultura de la caoba y perspectivas para su manejo en bosques naturales.	20
4. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA Y ECOLÓGICA DE <i>Swietenia macrophylla</i> King.	24
4.1. Taxonomía.	24
4.1.1. El género <i>Swietenia</i> .	24
4.1.2. <i>Swietenia humilis</i> Zucc.	25
4.1.3. <i>Swietenia mahagoni</i> Jacq.	25
4.1.4. <i>Swietenia macrophylla</i> King.	25
4.2. Ecología de la regeneración de la caoba.	27
4.2.1. Madurez reproductiva.	28
4.2.2. Floración y Polinización.	28
4.2.3. Fructificación y producción de semilla.	29
4.2.4. Dispersión.	30
4.2.5. Semillas.	31
4.2.6. Germinación.	31
4.2.7. Establecimiento.	32
4.2.8. Plagas.	32
4.3. Dinámica de las poblaciones de la caoba en las selvas de Quintana Roo.	33
5. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.	35
5.1. Objetivo General.	35
5.2. Objetivos específicos.	35
5.3 Hipótesis.	35
6. MATERIALES Y MÉTODOS.	36
6.1 Área de estudio.	36
6.2. Metodología.	37

6.2.1. Metodología para el objetivo 1.	39
6.2.1.1. Diseño del estudio.	39
6.2.1.2. Factores y variables que se midieron.	42
a. Germinación.	42
b. Diámetro y altura	43
c. Color del suelo.	43
d. Luminosidad.	44
d.1. Evaluación visual de la cantidad de la luminosidad.	45
d.2. Medición de la luminosidad con un densiómetro forestal.	45
d.3. Calibración de los métodos indirectos de medición de luminosidad.	46
6.2.2. Calendario de mediciones.	49
6.2.3. Metodología para el objetivo 2.	49
6.2.3.1. Biodiversidad y aprovechamiento de las selvas.	50
6.3. Análisis estadístico por objetivos.	53
7. RESULTADOS.	54
7.1. Resultados Objetivo 1.	54
a. Germinación.	54
b. Crecimiento y Supervivencia.	56
7.2. Resultados Objetivo 2.	62
8. DISCUSION.	65
9. CONCLUSIONES.	70
10. RECOMENDACIONES	72
11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	73



## 1. INTRODUCCIÓN: EL MANEJO DE LOS ÁRBOLES MADERABLES TROPICALES COMERCIALES

Más del 50% de la superficie terrestre está cubierta de bosques lo que equivale a 3,870 millones de hectáreas (Figura. 1), de las cuales 1,160 millones corresponden a bosques tropicales. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, en América Latina se encuentra el 53.36 % de los bosques tropicales (Tabla 1). Geográficamente, los bosques tropicales se localizan entre las latitudes 30°N y 30°S, es decir entre los Trópicos de Capricornio y de Cáncer (Lamprecht, 1990; FAO, 2009; FAO, 2010). El 79% del área forestal total en América Latina y el Caribe se concentra en Brasil, Perú, México, Colombia y Bolivia (Tabla 1).

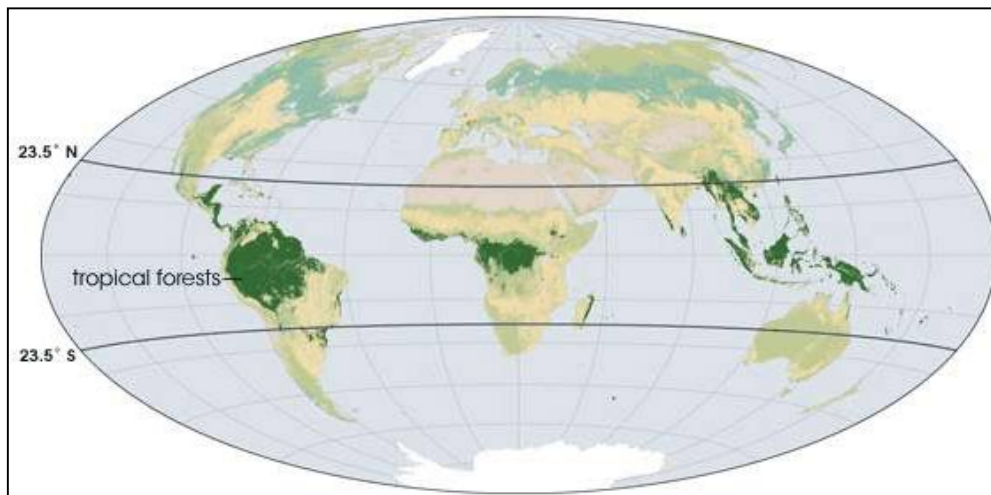


Figura 1. Distribución de Bosques en el mundo. Fuente FAO (2010).

De acuerdo con el Inventario Nacional Forestal 2010, 34% del territorio mexicano está cubierto por bosques que corresponden a 64 millones de hectáreas, por lo que se puede considerar un país forestal o medianamente forestal (Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible [CCMSS], 2012). De los 64 millones de hectáreas, 33 (53%) son bosques de zonas templadas y 31 (48%) son bosques tropicales (secos y húmedos) (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2003).

Tabla. 1. Países de Latino América con mayor cobertura forestal, expresado en millones de hectáreas. (FAO, 2009).

<b>Mayor cobertura forestal en el mundo</b>		
<b>País</b>	<b>Total Bosque</b>	<b>Bosque tropical</b>
<b>Brasil</b>	478	416
<b>Perú</b>	69	61
<b>México</b>	64	31
<b>Colombia</b>	61	53
<b>Bolivia</b>	59	29
<b>Total</b>	<b>730</b>	<b>570</b>

Los bosques tropicales del mundo son muy importantes, tanto por su contribución a la producción maderable, como por albergar el 50 % de las especies que existen en la Tierra (Finegan, 1993). Por su diversidad y extensión generan una enorme variedad de bienes y servicios ecosistémicos dentro de los que sobresalen la regulación del clima global, y el almacenamiento de carbón vegetal (Tabla 2). Aproximadamente 650,000 millones de toneladas de carbono se encuentran distribuidas en la biomasa del bosque, en la madera muerta, hojarasca y suelo (FAO, 2010).

Tabla. 2. Distribución en porcentaje del carbono presente en el bosque tropical a nivel mundial (FAO, 2010).

<b>Biomasa</b>	<b>44 %</b>
<b>Madera muerta y hojarasca</b>	11 %
<b>En el suelo</b>	45 %
<b>Total</b>	100%

Otro de los beneficios más conocidos de los bosques tropicales es la regulación de la corriente de los ríos. El caudal basal se mantiene en la estación seca o verano y reduciendo las inundaciones durante la época de altas precipitaciones (Dirzo, 2004). La protección de los suelos frágiles contra la fuerza increíblemente erosiva de las intensas tormentas y aguaceros tropicales es también un beneficio de los más conocidos. Sin las selvas las inundaciones y sequías generan desastres catastróficos. Por ejemplo, en Honduras los daños causados por el huracán Mitch en 1998 se debieron principalmente a la falta de cobertura forestal, costó de siete billones de dólares, miles de vidas y ha sido el peor desastre natural en América Central (De Fries et al., 2002).

A pesar de la importancia de los bosques tropicales, su superficie a nivel mundial sigue disminuyendo, aunque tal vez a menos velocidad. En el reporte del estado de los bosques de la FAO en el 2011, se menciona que a nivel mundial la deforestación disminuyó de 16 a 13 millones de hectáreas por año. En tanto que la pérdida de cobertura forestal para América Latina, entre los años 1990 y 2005, sumó alrededor de 64 millones de hectáreas (FAO. 2011). Las cifras de FAO (2011), indican que entre los años 2005 y 2010, México perdió 155,000 ha/año de bosques templados y tropicales.

El manejo de los árboles maderables en las selvas o bosques tropicales de América Latina es una actividad netamente extractiva, enfocada lógicamente en los árboles económicamente más valiosos. Tales como la caoba, (*Swietenia macrophylla* King), el cedro rojo (*Cedrela odorata*) o el manú (*Minquartia guianensis*). La Comisión Forestal para América Latina y del Caribe estima que las pérdidas por aprovechamiento selectivo oscilaron entre el 1% y el 57% de la superficie forestal para América latina (FAO, 2011). Esto se debe a que tanto los propietarios como los concesionarios en la mayoría de los países tropicales prefieren la extracción altamente selectiva, en vez del manejo sustentable. En el corto plazo y desde el punto de vista económico, es mucho más rentable y fácil aprovechar exclusivamente los árboles de mayor valor comercial. Sin embargo en el largo plazo este tipo de manejo ha resultado en el deterioro del bosque, la pérdida de su valor

económico y el paso para dedicar los terrenos a otro uso diferente al forestal (Sabogal, Pokorny & Louman, 2008; Valdés Rodríguez & Negreros-Castillo, 2010).

En México, el manejo forestal comunitario (MFC) parece estar funcionando para la conservación y manejo sustentable de los bosques. El MFC en México es posible en principio porque el 60% de los bosques son de propiedad comunitaria (Sabogal, Pokorny & Louman, 2008). Este manejo en ocasiones combina lineamientos de extracción diseñados para aumentar el crecimiento de madera comercial reduciendo el daño a los árboles comerciales e implementando prácticas silviculturales de regeneración (Sabogal, Pokorny & Louman, 2008). Recientemente se realizó una comparación entre bosques comunitarios y áreas naturales protegidas (ANP's) en la región de la Selva Maya de México y Guatemala. La Selva Maya es una amplia masa de bosque tropical que ambos países comparten con Belice, y que representa la segunda área boscosa tropical de América, después de la selva amazónica. La tasa de deforestación anual promedio del conjunto de las ANP's estudiadas en ambos países fue de -0.327%, mientras que la de los bosques comunitarios fue de -0.163%. Es decir, la deforestación promedio en los bosques manejados por comunidades fue apenas de 50% del nivel promedio de las ANP's (CCMSS., 2007). Dos son las características definitorias del manejo forestal comunitario: una es el hecho de ser local y otra de estar organizado colectivamente, donde los participantes comparten responsabilidades y beneficios (Sabogal et al., 2008). Con la participación de comunidades indígenas, a nivel mundial y Nacional se implementan diversos programas y estrategias para detener la deforestación y la degradación. Por ejemplo, incrementar la captura de carbono por regeneración del bosque y conservación, promoción de estufas eficientes de leña para la cocción doméstica (disminuir el consumo de leña y la acumulación de gases en la atmosfera), programas de restauración forestal, plantaciones forestales para pulpa y papel, plantaciones energéticas y sistemas agroforestales. Estos programas también ha propiciado la creación de parques naturales nacionales, aéreas naturales protegidas y reservas voluntarias comunitarias (Moutinho, Santilli, Schwartzman, & Rodrigues, 2008). En México desde el año 2000 y hasta este momento está vigente y en práctica la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México, impulsada por la Comisión Nacional para el



Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO., 2011). Las estrategias se basan en conservar ANP's, así como conservar la fauna y flora, que se encuentra dentro de estas áreas y sus alrededores, además de MFC de bosques naturales templados y tropicales.

En América Latina, la caoba se ha considerado la especie económicamente más importante, alcanzando los precios más elevados entre todas las especies tropicales del mundo. De los bosques de la Península de Yucatán y, en particular, los del estado de Quintana Roo se han extraído desde la época de la Colonia miles de metros cúbicos de la caoba. El aprovechamiento de la caoba en la península de Yucatán generó mucha riqueza durante varias décadas, pero por carecer de un plan de manejo sustentable las existencias comerciales disminuyeron año con año (Galletti, 1999), además de que los altos volúmenes de madera se acumularon durante cientos de años. En los años 1950's, los bosques de Quintana Roo fueron concesionados a la empresa forestal paraestatal Maderas Industriales de Quintana Roo (MIQROO). En 1954, dicha empresa obtuvo la concesión de más de 500 000 ha durante 25 años. Fue el caso más exitoso de unidad forestal tropical integrada, concentrando sus acciones en el centro y sur de la península. Al término de la concesión (alrededor de 1983), MIQROO pasó a funcionar como comprador de trocería local e importada y se formaron empresas sociales para la labor silvícola y de abastecimiento. MIQROO, dejó una herencia principalmente en lo que se refiere a la creación de oficios forestales, infraestructura caminera, experiencia empírica sobre la ecología, sanidad y silvicultura de múltiples especies maderables, la formación de un mercado y una tradición forestal (Negreiros-Castillo et al., 2014).

Durante varios años y a partir de 1983 el gobierno aportó la asistencia técnica forestal con el programa conocido como Plan Piloto Forestal de Quintana Roo (PPFQROO). Posteriormente el PPFQROO dio lugar a la formación del sistema actual de empresas silvícolas comunitarias que se caracterizan por la designación de parte de sus bosques para dedicarlas exclusivamente a la producción de productos forestales maderables y no maderables. Estas zonas se conocen en general como el “Área Forestal Permanente” y se reconoce como precondition necesaria para el logro del rendimiento sostenido (Argüelles et al., 1998; Galletti, 1999). En las empresas comunitarias, el manejo forestal es dirigido

por los propios ejidatarios con la corresponsabilidad de técnicos forestales con licencia o con autorización de las autoridades forestales de México. Inicialmente las empresas comunitarias se enfocaron principalmente en la extracción de la caoba, aunque en la actualidad también se aprovechan otras especies como el tzalam (*Lysiloma latisiliquum*) que ha llegado a ser tan importante como la caoba.

Desde el punto de vista del manejo forestal, en esta región la caoba es considerada la especie guía (especie guía: típicamente la especie más valiosa y/o importante del bosque, y el aprovechamiento anual se organiza para cosechar una cantidad igual o casi igual de esta especie, junto con un volumen variable de otras especies) de los aprovechamientos. Por ejemplo, en Noh Bec, el Área Forestal Permanente (AFP) se dividió en cinco bloques, cada uno con el potencial de rendir el mismo volumen de la caoba. Cada bloque estaba programado para cosecharse durante cinco años. En este ejido, durante los últimos diez años del primer ciclo de corta se usa la combinación de la caoba y el sacchaka (*Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch.) como especies guías (Argüelles et al., 1998). Este esquema sin embargo ha tenido éxito limitado ya que la variación de la presencia de caoba en el bosque es muy alta, identificándose áreas caoberas y áreas sin caoba. Por lo que un aspecto que sigue siendo crítico para lograr el manejo sustentable de las selvas es el reemplazo de los árboles cosechados, es decir la regeneración de los árboles comerciales. Aunado a esto en las selvas los árboles comerciales representan un número limitado de especies que son poco abundantes, y en forma natural su regeneración es limitada (Grogan & Galvao 2006; Negreros-Castillo & Mize, 2013). La limitada regeneración natural, combinada con las altas tasas de extracción están ocasionado una constante disminución en el tamaño de las poblaciones de árboles comerciales de caoba, que por considerarse alarmante dio paso a que la caoba se incluyera el 15 de Noviembre del 2002 en el Apéndice II de CITES (CITES, 2002; Grogan & Barreto, 2005).

Por otro lado, el avance en el conocimiento de la ecología de poblaciones de los árboles tropicales maderables comerciales y de la caoba en particular, ha avanzado sustancialmente en las últimas tres décadas. Es claro que revertir el proceso de empobrecimiento comercial

de las selvas de Quintana Roo requiere principalmente traducir este conocimiento a prácticas silvícolas de regeneración, que sean además económicas y efectivas. Tal es el caso de la presente investigación que busca aplicar el conocimiento científico existente sobre la ecología de la regeneración de la caoba para generar prácticas silvícolas de regeneración. Específicamente esta investigación evalúa la siembra directa de semilla de caoba en milpas terminales (en su último año del ciclo producción) de Roza Tumba Quema, como técnica silvícola de regeneración.

## **2. ECOLOGÍA DE LA REGENERACIÓN Y SU IMPORTANCIA EN EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS BOSQUES.**

Cuando en el manejo de los bosques se habla de la regeneración, se refiere al proceso de reemplazo de los árboles muertos, es decir, del proceso natural de recambio de árboles. Este proceso, en sentido general, podría definirse como el reemplazo de un conjunto de árboles que han llegado a su etapa madura por otros recién nacidos en una unidad espacio-temporal definida (Martínez-Ramos, 1994). Un requisito indispensable para que se lleve a cabo un proceso de regeneración es la existencia de espacios vacantes en los que se pueden establecer los nuevos individuos, los recién nacidos o semillas recién germinadas. Los espacios vacantes se crean por la muerte de los árboles, sea natural, por cosecha, incendios, huracanes, etc. (Brokaw, 1982; Martínez-Ramos, 1994).

Además de un espacio vacante, el proceso de regeneración implica una serie de transiciones entre estados fenológicos que van desde la polinización para la producción de flores y semillas hasta el establecimiento de plántulas, brinzales y adultos. También existen factores bióticos y ambientales que pueden favorecer o limitar la regeneración. Dentro de los factores bióticos importantes sobresalen la densidad y la especificidad de los enemigos naturales, tales como consumidores de semillas, patógenos (especialmente hongos) y herbívoros (Paine & Beck, 2007). Dentro de los factores abióticos sobresalen la disponibilidad de luz, agua y nutrientes del suelo (Paine & Harms, 2009). Cuando muere un árbol o conjunto de árboles la vacante que se crea, se caracterizará por cantidades variables de luz, agua y nutrientes (Hubbell et al., 1999; Schnitzer & Carson, 2001) que pueden ser favorables para la regeneración de algunas especies y no para otras (Paine & Beck, 2007; Jordano & Herrera, 1995). Por ejemplo en un bosque húmedo secundario de Costa Rica, la sobrevivencia de plántulas de *Cordia alliodora* fue menos del 10% (Guariguata, 2000). En cuanto a la cantidad de luz muchas especies (en particular las maderables a nivel mundial) requieren la alta disponibilidad de la misma en los claros de bosque para alcanzar el dosel principal (Schnitzer & Carson, 2001). Es cierto que el aprovechamiento selectivo del bosque crea aberturas de dosel y puede tener efecto en el ambiente de luz en el sotobosque,

sin embargo, dependiendo del tamaño de la abertura es el tiempo que la luz alcanza el suelo del bosque y que está disponible para las nuevas plántulas. En un estudio realizado en Q Roo sobre el efecto de los huecos creados por la cosecha de árboles para durmientes en la regeneración de cedro y caoba, se encontró que eran poco apropiados estos sitios ya que los huecos se cerraron en un periodo de 2 años (Negreros-Castillo & Mize 2008).

La disponibilidad de los nutrientes del suelo por supuesto tiene un efecto en el crecimiento e indirectamente la mortalidad de las plántulas, como lo demuestra un análisis en el que se usó fertilización. Se observó un aumento en la tasa de crecimiento en la mayoría de especies estudiadas, notando que las especies pioneras respondieron más que las especies tolerantes a la sombra (Veenendaal et al., 1996). Este estudio permitió comprobar la importancia de la disponibilidad de nutrientes en el crecimiento de árboles, aunque es claro que la fertilización de áreas forestales está fuera del alcance económico de casi cualquier operación forestal. En un experimento de invernadero en Ghana, las plántulas plantadas en el suelo de un bosque húmedo perenne mostraron concentraciones foliares más bajas de N, P, K, Ca y Mg que aquellas plantadas en el suelo de un bosque húmedo de hojas semi-decíduas, reflejando diferencias en la disponibilidad de nutrientes del suelo en diferentes tipos de vegetación (Veenendaal et al., 1996).

En las áreas de bosque alteradas por el aprovechamiento forestal (camino, patios, pistas de arrastre) se elimina la vegetación presente, creando vacantes para el establecimiento de nuevas plantas. En Costa Rica *Anadenanthera macrocarpa* y *Astronium urundeuva* fueron las más abundantes en estas áreas de aprovechamiento en un bosque húmedo secundario (Fredericksen & Mostacedo, 2000). Los espacios vacantes creados por el fuego inducen a la regeneración abundante de especies forestales que se originan ya sea por semillas o por rebrotes, además que controla en gran medida las plantas consideradas invasoras o competidoras para las especies arbóreas maderables comerciales (Fredericksen & Mostacedo, 2000).

En los últimos años se ha generado una gran cantidad de información sobre ecología de las especies tropicales maderables más comerciales del mundo. Autores como Núñez-Farfán, y Dirzo (1988), Álvarez-Buylla, y García-Barrios (1991), Martínez-Ramos (1994), Mostacedo, Balcazar, y Montero (2006), y Whitmore (1989), han generado información sobre la dinámica de los diversos mecanismos de regeneración de especies tropicales maderables en una gran variedad de condiciones ambientales y la formación de claros (espacio vacante) de bosque, tanto naturales como de origen antrópico. Otros autores como Gómez-Pompa, Vazquez-Yanes y Guevara (1972), Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia (1993), Álvarez-Buylla y Martínez-Ramos (1990) y Guariguata y Pinard (1998) han enfocado sus estudios sobre la ecología de semillas, condiciones de germinación, factores de dispersión, depredación, ciclos de producción de semillas, etc.

En conclusión, el éxito de la regeneración natural es considerado como la clave para el manejo sostenible de los bosques templados o tropicales. Asegurar el reemplazo de individuos aprovechados, tiene todo el sentido común, y ha sido una preocupación constante para los silvicultores, con el fin de mantener una estructura y composición de los bosques que responda a los objetivos del manejo, sea comercial, de recreación, protección de cuencas, hábitat, etc.

### 3. SILVICULTURA Y MANEJO DE ÁRBOLES TROPICALES COMERCIALES

#### 3.1 Silvicultura y el sistema silvícola

En la literatura con frecuencia suele utilizarse en forma indistinta los términos “manejo forestal y silvicultura” en este documento es importante hacer la distinción correspondiente. El Manejo Forestal se define como “la aplicación de métodos administrativos y principios técnicos forestales para la conducción u operación de una propiedad forestal” (Hawley & Smith, 1972). El Manejo forestal entonces, considera los aspectos económicos, financieros, tecnológicos, sociales y biológicos de una propiedad forestal. El manejo forestal busca utilizar los recursos del bosque de manera planificada, a fin de cumplir un objetivo deseado establecido por el dueño del bosque (Hawley & Smith, 1972).

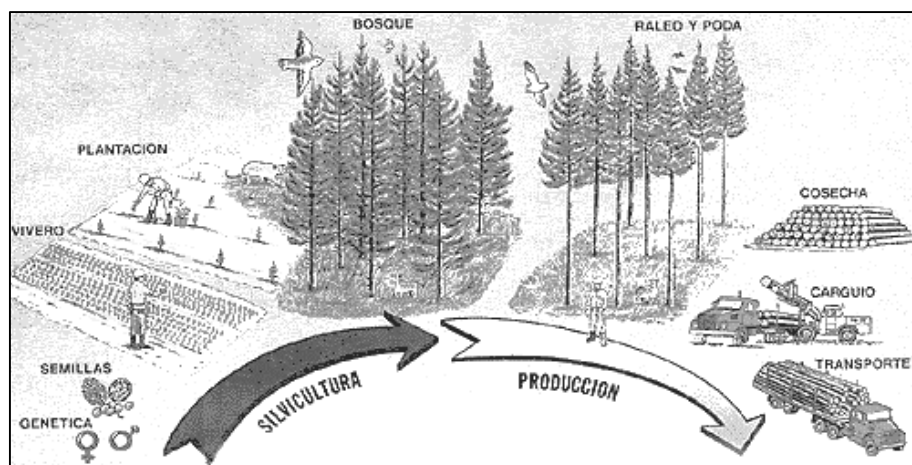


Figura 2. Relación entre Silvicultura y Manejo Forestal (Gómez, 2011)

La silvicultura es la ciencia que se aplica directamente en el bosque (Fig. 2), para generar los productos del manejo establecidos por el dueño del bosque (Gómez, 2011). Según Daniel, Helms y Baker (1982) Silvicultura es “la ciencia y el arte de cultivar masas forestales, comprende la teoría y la práctica del control del establecimiento, composición y crecimiento de bienes y servicios de los bosques”. La silvicultura a diferencia de otras ciencias agrícolas que se aplican en terrenos deforestados, se aplica en bosques naturales o plantaciones forestales. Es por esto que entender por ejemplo la sucesión natural de los bosques y sus causas (fenómenos naturales o antropogénicos) es indispensable para la

aplicación correcta de la silvicultura. Con ésta información se pueden prever diversos escenarios posibles que puede seguir un bosque después de un disturbio (natural o inducido) que crea espacios vacantes de diversos tamaños y condiciones ambientales. Se puede también prever el ritmo con el que se lleva a cabo el proceso de regeneración y crecimiento y, de esta manera, determinar sí y cómo, es posible acelerar, interrumpir, invertir o desviar la sucesión natural y al mismo tiempo decidir la fase de desarrollo de la sucesión más deseable para los objetivos del manejo (Daniel, Helms & Baker, 1982).

La herramienta central de la silvicultura es “El sistema o método silvícola”. Según la definición de Hawley y Smith (1972) y Louman (2001), sistema silvícola es el conjunto de programas de tratamientos culturales planificados que se extienden a lo largo de la vida del rodal, e incluyen los métodos de regeneración y los tratamientos intermedios. Debido a que los métodos de regeneración tienen una influencia determinante sobre la estructura y dinámica del rodal, generalmente su nombre designa el sistema silvícola (Nyland, 2002). En forma muy general el sistema silvícola está conformado de tres partes: Métodos de regeneración, Métodos o prácticas de cultivo intermedio y Métodos de cosecha (Smith et al., 1997) (Figura 3).

En el Sistema silvícola existen dos métodos de regeneración: natural y artificial. En la regeneración tipo “natural” el establecimiento de las plantas se efectúa sin la intervención directa del silvicultor. En este caso, el papel del silvicultor se puede limitar a tomar medidas dirigidas a mejorar las condiciones para el establecimiento y el crecimiento de la planta (Hawley & Smith, 1982), podría incluirse la preparación del suelo y por supuesto la creación de los espacios vacantes necesarios para los nuevos arbolitos. En los métodos de regeneración natural, las masas forestales se establecen mediante mecanismo naturales: semillas (reproducción sexual), por retoños (reproducción asexual), o bien en forma combinada (Hawley & Smith, 1972;). Si se usa un sistema silvícola en el que se espera que la regeneración sea natural, lo que se busca es que las especies maderables aprovechadas sean las que se establecen en el espacio vacante, de tal manera que se pueda asegurar la nueva población y la futura productividad del bosque (Bawa & Seidler, 1998; Mostacedo & Fredericksen, 1999; Gómez, 2011).



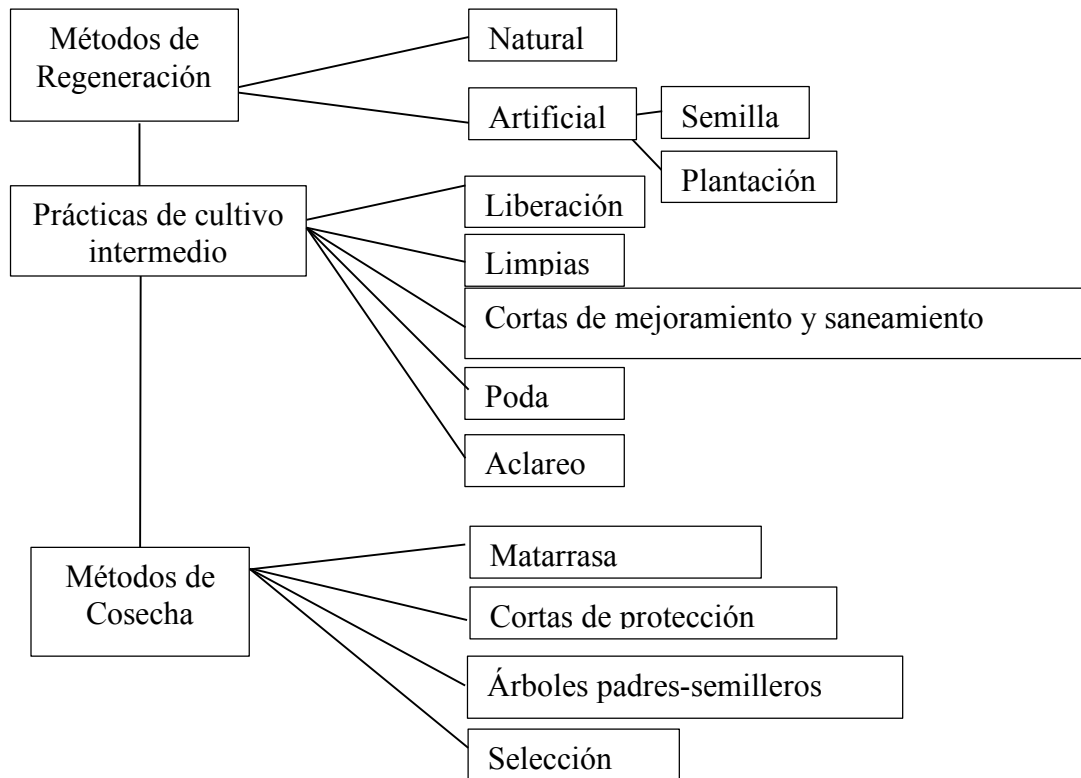


Figura. 3 Componentes del sistema silvícola. Tomado de Smith et al., 1997.

En la regeneración artificial, la nueva generación de arbolitos es establecida por el silvicultor. El silvicultor es responsable de tomar las decisiones y realiza las acciones: selección y preparación del terreno selección de las especies forestales, y método de establecimiento (plántulas, estacas o semilla). El terreno puede estar en el bosque natural o en un terreno denudado para establecer una plantación generalmente pura, aunque puede ser una mezcla de especies.

La silvicultura nació en bosques templados y fue llevada a los trópicos por los años 1800's en el subcontinente Indio con un enfoque en maderas del alto valor comercial como la teca (*Tectona grandis*) y en plantaciones puras en lugar de bosques naturales (Daniel, Helms & Baker, 1982; Hawley & Smith, 1972). La durabilidad de la teca y la facilidad con que se trabaja esta madera se han reconocido desde hace muchos siglos, lo que ha propiciado su distribución y cultivo relativamente amplios por las regiones tropicales. La teca se sitúa hoy

entre las cinco primeras especies tropicales por la superficie de plantación (Tabla 3) en todo el mundo (Krishnapillay, 2000). Al mismo tiempo otras especies a nivel mundial han ganado importancia para el establecimiento de plantaciones (Tabla 3).

Tabla 3. Especies tropicales de importancia económica en el mundo, superficie de plantación en hectáreas. Krishnapillay, (2000).

<b>Plantaciones de especies tropicales</b>	
<i>Eucalyptus spp.</i>	9 949 588
<i>Acacia spp.</i>	3 904 307
<i>Tectona grandis</i>	2 246 559
<i>Casuarina spp.</i>	787 200
<i>Dalbergia sissoo</i>	626 020
<i>Gmelina arborea</i>	418 050
<i>Swietenia macrophylla</i>	151 214
<i>Terminalia spp.</i>	303 957

En el trópico el aprovechamiento de los bosques naturales generalmente se lleva a cabo sin entender la ecología de las especies aprovechadas y sin considerar el uso de sistemas silviculturales adecuados (Guariguata & Pinard, 1998). Aunque existen algunos esfuerzos para desarrollar sistemas silvícolas tropicales y sus prácticas de cultivo específicas, para mejorar la productividad del bosque. En la mayoría de los casos se basan en las experiencias europeas clásicas de los tratamientos por cortas uniformes (monocíclicos) aplicación de cortas por aclareos sucesivos y de los métodos de cortas por entresaca (policíclicos). En las zonas tropicales húmedas se emplean métodos de corta por entresaca, con o sin aclareo y corta de trepadoras, para inducir la regeneración natural, aumentar el crecimiento de los rebrotes avanzados y mantener un rodal mezclado de especies valiosas. En los sistemas policíclicos, se puede decir que el resultado de este tipo de manejo es la explotación progresiva de los bosques, que empieza por extraer primero las especies muy

valiosas) y pasa con el tiempo a especies de madera dura menos conocidas o incluso a especies secundarias de sucesión de madera de menor calidad destinada a actividades como la construcción (Louman, 2001).

Los sistemas silvícolas tropicales más citados son el CELOS Silvicultural System (CSS) en Suriname, en el Bosque Nacional Tapajos y los experimentos del Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazonia (IMAZON) en las Amazonas oriental en Brasil. Todos esos programas han reducido sistemáticamente los daños de la tala y buscan regular adecuadamente el aprovechamiento forestal maderable. También se observaron aumentos importantes en las tasas de crecimiento de las especies comerciales mediante prácticas silvícolas de cultivo intermedio (Cerda, 1994; Bertault et al., 1995; Louman, 2001). El grado de éxito y de fracaso de estos sistemas varía según la región y, especialmente, según la composición de especies de los bosques locales (Cerda, 1994).

Entre un ejemplo del sistema de tala selectiva de especies de alto valor comercial está el proyecto Chimane, un programa experimental de silvicultura patrocinado por la Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT) en el Beni, Bolivia. Se talaron sistemáticamente poblaciones de caoba y cedro sin tratamientos silvícolas adecuados para asegurar su regeneración o la liberación de las plántulas establecidas en el sotobosque. Como consecuencia, las poblaciones comerciales de estas dos especies carecen de árboles juveniles que reemplacen a los árboles maduros de cosecha (Cerda, 1994).

También en Bolivia, Verwer et al. (2008) realizaron un estudio donde evaluaron el efecto que tiene aplicar intervenciones y tratamientos silvícolas (eliminación de lianas y competencia de árboles) en el aprovechamiento de la caoba. La aplicación de tratamientos silvícolas sólo tuvo un efecto sobre la supervivencia de las plántulas y esta fue más baja en el bosque no talado; mientras que la mayor sobrevivencia se observó cuando se aplicaron tratamientos intermedios. La eliminación de lianas y árboles en competencia tuvo un efecto positivo sobre las tasas de crecimiento. Verwer y sus colaboradores sugieren que para recuperar las poblaciones de caoba sobre explotadas en Bolivia es necesario incrementar la duración del ciclo de corta, reducir la intensidad de cosecha y que los tratamientos silvícolas se apliquen con regularidad durante todo el ciclo de corta.

Existen también ejemplos del hemisferio oriental; en Irán, Hamurabi decretó leyes para la protección del bosque y de la naturaleza ya que en el año 1700 a. C. los maharajás nativos introdujeron en Java la Teca (*Tectona grandis*) hace más de 1000 años y desde entonces esta especie ha sido cultivada sistemáticamente. En el África tropical, hay evidencia de que desde hace tiempo, en muchos lugares se realizaban cultivos agroforestales sistemáticos y de forma sostenida, por ejemplo, mejoramiento de los rodales ricos en elemí (*Aucoumea klaineana*). En Malasia se desarrolló, desde principios de siglo, un sistema silvicultural uniforme en el que el bosque original, en el cual predominan especies de la familia Dipterocarpaceae, era prácticamente sustituido por otro arbolado más simple, dominado por especies de valor comercial. La sustitución se realizaba mediante una cosecha de todos los árboles de especies comerciales, mayores a 45 cm de diámetro y la aplicación de un tratamiento de refinamiento sumamente drástico (Bertault, Dupuy & Maitre, 1995).

Reconociendo su importancia en el manejo forestal sustentable la investigación sobre regeneración de especies tropicales maderables ha incrementado enormemente en todos los continentes. En México se han llevado a cabo estudios con el fin de promover la regeneración de especies de valor comercial. En un estudio realizado en un pastizal degradado en la Selva Lacandona, Chiapas, por Danobeytia, Tacher y Perales (2007), evaluaron el efecto de tratamientos de deshierbe y fertilización, sobre la supervivencia y crecimiento de especies arbóreas. Las plántulas de *Ceiba pentandra*, *Schizolobium parahyba* y *Swietenia macrophylla* mostraron mayor supervivencia y crecimiento en altura y diámetro, con respecto a *Brosimum alicastrum*, *Calophyllum brasiliense* y *Ormosia schippii*. Negreros-Castillo, Snook y Mize (2005), en 26 parcelas de media hectárea, evaluaron el efecto de tres tratamientos de apertura de dosel en la germinación, establecimiento, supervivencia y crecimiento inicial de caoba. Los tratamientos para crear las aperturas fueron: tumba mecánica, agricultura de roza-tumba-quema; y tumba y deja (simulando huracán). Los mejores resultados en los primeros años se obtuvieron en las parcelas con roza-tumba-quema (RTQ) y tumba mecánica. En los años posteriores (15 años) el mejor tratamiento fue el de agricultura RTQ. Este resultado es además promisorio ya que la roza-tumba-quema se ha usado en la región por miles de años y los habitantes la conocen perfectamente (Edwards, 1986; Moya-García et al., 2003; Ellis et al., 2015).

En la península de Yucatán el sofisticado sistema agrícola tradicional de Roza-Tumba-Quema (RTQ) ha sido descrito en innumerables documentos como complejo, diverso y dinámico en el tiempo y el espacio (Hernández-Xolocotzi, 1958; Ford & Nigh 2010). Es uno de los pocos ejemplos de sistemas sustentables, resultado de una larga tradición de convivencia con la selva, que reúne una riqueza de conocimientos que han funcionado durante siglos y que existen hasta el presente entre los mayas de hoy (Toledo, et al., 1995; Moya-García et al., 2003). El sistema RTQ, aunque tiene muchas variantes, de manera general se puede describir como un sistema de producción agropecuaria y forestal con las siguientes etapas: 1) selección del sitio: se busca un sitio arbolado (selva madura de preferencia), 2) Roza y tumba: esta etapa consiste en el aclareo del bosque mediante la roza de arbustos el sotobosque, la corta de bejucos, y el derribo de los árboles y 3) Quema: se trata de una quema controlada que se realiza varios meses después de la roza y tumba, cuando el material está adecuadamente seco, 4) Milpa: consiste en el establecimiento de los cultivos agrícolas generalmente comprende el maíz asociado con frijol, calabaza, quelites, etc. 5) Cultivo: el terreno se usa para milpa durante dos años más (año dos y año tres). Para poder cultivar al año dos y al año tres, el terreno se roza (limpia) de toda la vegetación secundaria que se generó durante el tiempo transcurrido entre la cosecha y la siguiente temporada de cultivo. 6) Huamil: al tercer año de cultivo el terreno ya no se puede seguir utilizando para la milpa y por lo cual se dice que se abandona. Al dejar de cultivar, se inicia el proceso de crecimiento de vegetación secundaria durante al menos 20 años. Durante los dos o tres primeros años de crecimiento de vegetación secundaria, este terreno se denomina acahual o huamil (Figura. 4).

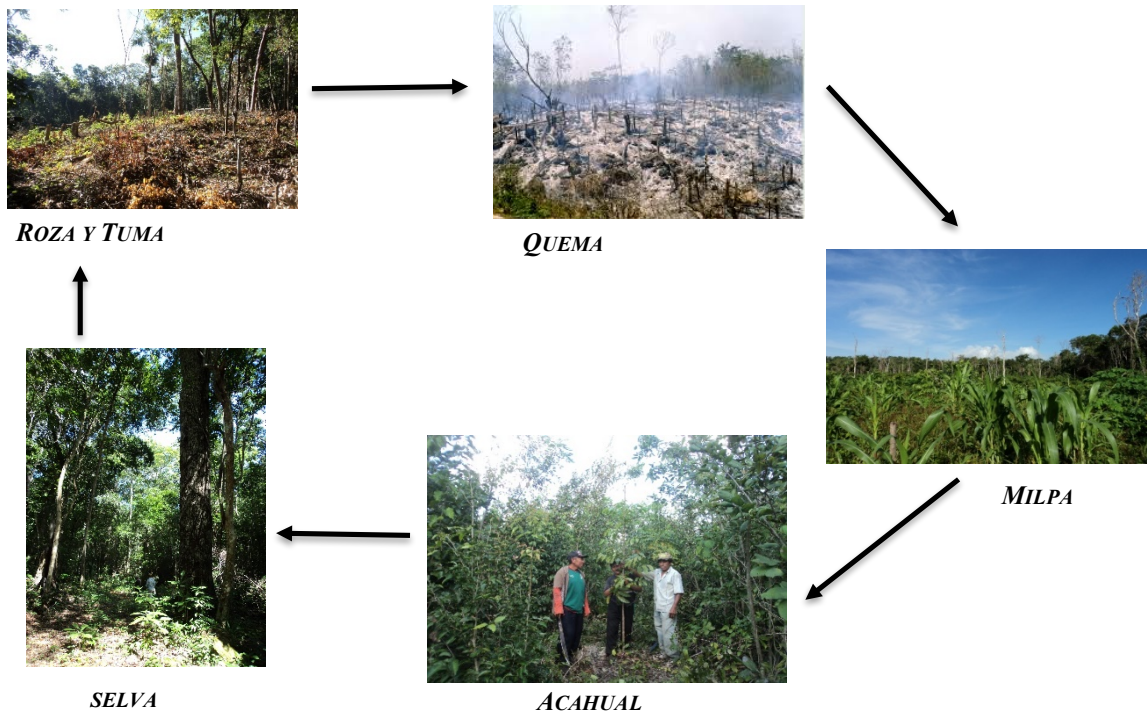


Figura 4. Sistema de Roza-tumba y quema. De la selva se pasa a milpa, posteriormente pasa a acahual, donde se pueden regenerar especies forestales de valor comercial como la caoba, finalmente regresa a selva nuevamente, este ciclo se ha repetido por miles de años en la zona Maya de México.

El proceso de quema incrementa durante un número reducido de años la disponibilidad de nutrientes como N, P y otros cationes, reduce las poblaciones de insectos y otros organismos que se alimentan de la milpa, y reduce la capacidad de crecimiento de otras plantas que compiten con los cultivos, todo esto en conjunto permite la producción agrícola de una diversidad de alimentos (Giardina et al., 2000). Para la mayoría de las zonas tropicales del mundo el sistema RTQ se ha identificado como el único posible para generar productos alimenticios agrícolas ya que los nutrientes se concentran en la vegetación y la única forma de hacerlos disponibles a los cultivos agrícolas es a través de la quema. En la Península de Yucatán es muy evidente debido a las características del suelo y el clima limita la agricultura sedentaria de largo plazo. El suelo es de origen calcáreo, pedregoso, con mínimo porcentaje (3 a 4%) de materia orgánica y permeable (Zúñiga & Palacio, 2005). Es sumamente difícil realizar modificaciones topográficas e imposible el uso de maquinaria agrícola, además la permeabilidad de la roca calcárea impide la formación de corrientes de aguas superficiales. Una vez que la parcela se deja de cultivar, se inicia la

sucesión secundaria que en el caso de la milpa de RTQ está formada por varias etapas que se describen a continuación. La etapa de acahual (huamil) o sucesión secundaria tiene varias características: primero, la parcela es colonizada por numerosas hierbas y arbustos provenientes del banco de semillas, muchas de estas plantas son medicinales y melíferas (Negreros-Castillo et al., 1996). Uno o dos años después aparecen especies arbóreas pioneras y algunas palmas, algunas de pueden usar para construcciones domésticas. Gradualmente algunas de las especies arbóreas pioneras son reemplazadas por especies arbóreas, denominadas por algunos autores “intermedias”, provenientes de la lluvia de semillas de la vegetación arbórea remanente que la rodea (Gómez- Pompa & Vázquez-Yanes, 1976; Moya-García et al., 2003). En algunos casos durante el periodo de establecimiento de una parcela de RTQ, algunos árboles se mantienen en el terreno, y los que se cortan se hace a una altura de un metro dejando un tocón visible. Estos árboles o sus tocones permiten la presencia de especies arbóreas de etapas avanzadas desde las primeras fases de la sucesión (Gómez- Pompa & Vázquez-Yanes, 1976; Toledo et al., 1995). Tradicionalmente, la vegetación secundaria leñosa o acahual se desarrolla durante un período de 15 a 20 años que se conoce localmente como etapa de descanso o barbecho. Durante este tiempo se acumulan constantemente los nutrientes en la vegetación hasta que es liberada al suelo en la siguiente quema, solamente entonces la fertilidad del suelo es posible y se puede decir que se restaura la capacidad productiva de la selva para producir alimentos (Toledo et al., 1995; De la Tejera-Hernández, & García-Barrios, 2008).

En sus fases maduras, los acahuales representan un reservorio de algunas especies nativas. En Chiapas alrededor de 50% de las especies leñosas registradas en los acahuales corresponden a especies propias de bosque maduro (Ochoa-Gaona et al., 2007). Es por esto que los manchones de vegetación secundaria (de acahual) son importantes para la conectividad con los fragmentos de bosque maduro, amortiguando el efecto de la fragmentación, estableciendo un sistema dinámico que genera un paisaje con manchones bajo agricultura que posteriormente pasaban a ser selva y manchones de selva de diferentes edades que luego pasaban a ser milpa, ambos un importante hábitat y fuente de alimentación para una gran diversidad de organismos (Gómez- Pompa & Vázquez-Yanes, 1976; Casas, 2001; Ochoa-Gaona et al., 2007).

Con base en la descripción anterior, considero que la agricultura de RTQ es un sistema silvícola que permite la regeneración de especies forestales maderables importantes en Q Roo y recientemente reconocido como tal por Negreros-Castillo et al. (2014). Por lo que resulta lógico probar si la **siembra directa de semilla de caoba en parcelas de RTQ en su último año de producción** es una técnica silvícola adecuada para la regeneración de la caoba y el manejo sustentable de las selvas de México y de América.

### 3.2 Silvicultura de la caoba y perspectivas para su manejo en bosques naturales.

Los planes vigentes de manejo en Quintana Roo se encuentran en revisión constante, pues provienen de un sistema diseñado por el plan piloto forestal de los 80's (Argüelles et al., 1998). Al mismo tiempo en la fase del Plan Piloto Forestal (PPF) en 1983 se aplicó el mismo sistema planteado por la MIQRO, y se inició un proceso de apropiación (mayor participación) de la actividad forestal por parte de los dueños de los montes. Debido a la escasa información ecológica de las especies, MIQRO decide aplicar un sistema policíclico. El cual se caracteriza por el aprovechamiento de unos pocos árboles “maduros” de importancia económica, en una unidad de bosque manejado, dejando en pie la mayoría de los árboles, que por su tamaño, se consideran inmaduros. En este sistema se utiliza una especie guía que es la caoba (Argüelles et al., 1998) y se aprovechan otras especies de valor económico incluyendo al cedro (*Cedrela odorata* L.). El diámetro mínimo de corta (DMC) para la especie guía y otras preciosas es de 55 cm. Para otras especies comerciales se formaron dos grupos considerados como maderas blandas y maderas duras, para las cuales el DMC es de 35 cm, esto fue en base a un análisis de los diámetros máximos encontrados para dichas especies durante los inventarios de MIQRO (Argüelles et al., 1998; Vester & Navarro, 2007). El ciclo de corta se estableció en 25 años, igual a la duración de la concesión de MIQRO. En ese tiempo se debía extraer todo el arbolado de diámetros cortables estimado en el inventario forestal (Flachsenberg & Galletti, 1999). Actualmente se está poniendo énfasis en la silvicultura de otras especies cuya demanda en el mercado se está incrementando. Por otro lado, la amplia zona turística del estado cada vez más incrementa la demanda de materiales para construcciones rústicas turísticas.



Al inicio del PPF, después de concluir la concesión con MIQRO, el objetivo principal del gobierno de Quintana Roo fue el de detener la dinámica de desmonte y estabilizar la frontera forestal. El concepto central para detener dicho proceso fue que el uso racional del recurso forestal representara un ingreso económico seguro y atractivo para la población local. Bajo esta premisa en cada ejido participante, como resultado de reunión de asamblea ejidal, se crearon áreas forestales permanentes de manejo forestal comercial, conocidas como “área forestal permanente” (AFP). De esta forma el terreno total del ejido quedaba dividido en áreas para agricultura, área urbana y área forestal permanente (comercial) (Argüelles et al., 1998).

En el proceso de aprovechamiento forestal (extracción de árboles maderables y no maderables) quedó de manifiesto el daño generado a árboles remanentes en pie y a la regeneración (plántulas y/o árboles jóvenes), causados tanto por la caída de los árboles extraídos, como por el arrastre de troncos y la entrada de los tractores para abrir caminos de arrastres. Fueron diversas las medidas que se tomaron para disminuir la afectación: 1) aprovechamiento forestal en un área de corta se lleva a cabo en un tiempo máximo de 3 años: un año para sacar la caoba y los otros dos años para las otras especies (Vester & Navarro, 2007), 2) empleo de técnicas de impacto reducido como la planeación de los caminos de arrastre y caída direccional del arbolado a aprovechar, para lograr el cuidado de la regeneración (Vester & Navarro, 2007). Se practica también la regeneración artificial, plantando principalmente plántulas de caoba y cedro producidas en vivero, sin embargo, existen evidencias de que las plántulas plantadas bajo dosel presentaron una supervivencia escasa o nula (Negreros-Castillo & Mize 2003). En el caso del ejido Noh Bec, se encontró que en los carriles de arrime y en los huecos al pie de tocón, el dosel se había cerrado y, por consiguiente, las plantas de caoba habían muerto o se habían crecido mucho menos de lo esperado (Argüelles & del Ángel, 1999). Por el contrario, en las bacadillas los árboles de caoba crecían promisoriamente (Argüelles et al., 2005). Al reconocer que la caoba es una especie intolerante a la sombra, se iniciaron estudios mejor enfocados para resolver los problemas de su baja regeneración en condiciones naturales. Uno de los estudios pioneros establecido en 1986, consistió en observar el efecto de la remoción parcial del dosel

superior sobre la regeneración natural de *S. macrophylla*, los resultados después de 2 años indican que donde se removió el 45% del área basal original se obtuvo la mejor repuesta (Negreros-Castillo & Hall, 1996). Estudios posteriores relacionados con el tamaño de apertura de dosel revelan que los árboles de caoba se establecen y crecen bien en aperturas relativamente grandes de alrededor de 5 000 m<sup>2</sup> y abiertas con maquinaria o por roza, tumba y quema. En dichas aperturas la regeneración de la *S. macrophylla*, sea ésta natural, de semilla sembrada o de plántulas, es favorecida, siempre y cuando ésta se establece poco después de abrir las mismas. Las plántulas de caoba no sobreviven bajo el dosel del monte (Snook & López, 2003; Negreros-Castillo, Snook & Mize, 2005). Estas investigaciones también han demostrado que la siembra directa de semilla de caoba tiene gran potencial y podría resultar más práctico y menos costoso, que la producción y siembra de plántulas (Negreros-Castillo et al., 2005). Un kilo de semilla de caoba contiene 2000 unidades y se puede transportar con facilidad a mayor distancia que las plántulas.

Desafortunadamente se han aplicado muy pocos de los resultados de la investigación sobre regeneración de la caoba en la silvicultura de las selvas de Quintana Roo. Algunos esfuerzos aislados existen, pero sin que se hayan documentado para dar a conocer los detalles de las prácticas utilizadas y sobre todo los resultados. Esto se debe en parte a la falta de apoyo o de recursos para asegurar que los técnicos forestales que asesoran a los ejidos puedan seguir prestando sus servicios y apliquen la silvicultura necesaria para alcanzar los objetivos de manejo forestal (Nolasco et al., 2005). Otros aspectos problemáticos tienen que ver con políticas y actividades que no son propiamente forestales, pero que inciden directamente en la actividad forestal, como el desarrollo urbano, agrícola, ganadero y sobre todo turístico. El apoyo gubernamental para el sector forestal representa solamente el 1% del apoyo a las actividades agropecuarias (SEDARI), las cuales impulsan la conversión de áreas forestales (Galletti, 1999).

La silvicultura del futuro de Quintana Roo, si se desea mantener las masas forestales, requiere de acciones que impulsen el manejo forestal sostenible y rentable en Quintana Roo. Atendiendo a mejorar los programas de reforestación, plantaciones comerciales y

agroforestales con la caoba y especies nativas que representen beneficios para los productores como por ejemplo: madera, frutos, resinas, y otros valores (Galletti, 1999). Considerar manejar acahuales para la regeneración de caoba y como parte de un programa de manejo de la sucesión ecológica dirigida, esta sería una valiosa herramienta para fomentar la diversificación agropecuaria y conservación de las selvas (Nolasco et al., 2005).

#### 4. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA Y ECOLÓGICA DE *Swietenia macrophylla* King.

La caoba (*Swietenia macrophylla* King) es una especie que se distribuye en el territorio neotropical desde México a Brasil y Argentina pasando por América Central y las islas del Caribe (Patiño, 2002) y pertenece a la familia Meliaceae. La familia Meliaceae se encuentra presente en América, África y Asia, reportándose en éstos continentes alrededor de 50 géneros, con más de 1,000 especies (Patiño, 2002). En los neotrópicos se han identificado hasta la fecha ocho géneros: *Cabrlea*, *Carapa*, *Cedrela*, *Guarea*, *Ruegea*, *Schmardea*, *Swietenia*, y *Trichilia*, siendo *Swietenia* y *Cedrela* los más importantes desde el punto de vista forestal Comercial (Pennington & Styles, 1975; Pennington, 1981).

##### 4.1 Taxonomía.

División Magnoliophyta (angiospermas, plantas con flores)

Clase Magnoliopsida (dicotiledóneas)

Orden Sapindales

Familia Meliaceae

Genero *Swietenia* Jaquin (3 spp.; Styles 1981, Miller 1990)

Especie *macrophylla* King. 1886.

##### 4.1.1 El género *Swietenia*.

Este género es neotropical en filogenia y distribución (Figueroa, 1994) y presenta tres especies: *Swietenia mahagoni* Jacq., *Swietenia macrophylla* King. y *Swietenia humilis* Zucc. y dos híbridos naturales uno producto de la cruce de *S. macrophylla* x *S. humilis* que se originó en las áreas del rango de distribución donde coinciden ambas especies y otro obtenido por la cruce natural de *S. macrophylla* x *S. mahagoni* en plantaciones próximas de ambas especies que se ha denominado *S. x aubrevilleana* (Pennington, Styles & Tayler, 1981).

#### 4.1.2 *Swietenia humilis* Zucc.

Denominada caoba del Pacífico, caobilla o cobano. Se distribuye en una estrecha franja a lo largo del Pacífico desde Sinaloa, México con un manchón aislado en el este de Guatemala, localizado al este - sureste del lago de Izabal, hasta Punta Arenas en Costa Rica (Whitmore & Hinojosa, 1977; Salas, 1993). El área de distribución de *S. macrophylla* y *S. humilis* se sobrepone en al menos tres localidades: una en México (en el Istmo de Tehuantepec), una en Guatemala y otra en Costa Rica, en las que han sido reportados híbridos naturales de ambas especies; *S. humilis* (Whitmore & Hinojosa, 1977).

#### 4.1.3 *Swietenia mahagoni* Jacq.

Denominada caoba de las Indias Occidentales, mahogany, West Indies mahogany. Es una especie nativa del sur de Florida incluyendo los Cayos, Las Bahamas, Cuba, Jamaica y República Dominicana. En su rango natural de distribución cuenta con una serie de poblaciones aisladas, no sólo entre sí, sino también de las otras especies (Pennington et al., 1981). Se introdujo a Puerto Rico, Islas Vírgenes, Bermudas, las Antillas Menores, Trinidad y Tobago y hacia el sur a Sudamérica (Curazao) Hawái, Islas Salomón, India, Sri Lanka y Fiji (Pennington et al., 1981; Francis, 2002).

#### 4.1.4 *Swietenia macrophylla* King

Denominada caoba y caoba hondureña en español, mogno en portugués y mahogany o big-leaf mahogany en inglés, tiene un rango de distribución que comprende desde México hasta Brasil. En México se encuentra desde el sur de Tamaulipas, siguiendo el litoral del Atlántico, hasta la Península de Yucatán. Está presente en Centro América, desde Belice, hasta Panamá; continúa a través del noroeste de Sudamérica por la periferia de la alta Amazonia Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú hasta Bolivia y la Amazonia del sur en Brasil (Figuroa, 1994; Pennington & Sarukhán, 2005; Salas, 1993. Figura. 5)

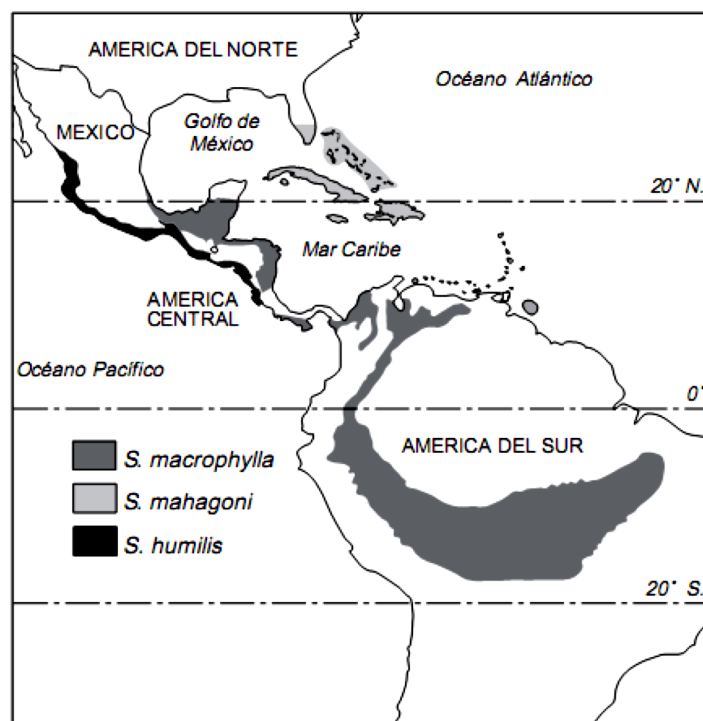


Figura 5. Distribución natural de *S. macrophylla* en América. Tomado de Acosta (2011).

Las hojas paripinadas (tipo de hoja compuesta en la que el número de folíolos es par y por tanto hay dos folíolos terminales al final del raquis o nervio medio de la hoja, Figura. 2), en raras ocasiones con una hojuela más, que da la idea de hojas imparipinadas, de 10 a 50 cm de largo dependiendo de la edad del árbol y de la posición de las hojas en el árbol (Lamb, 1966). Generalmente las hojas de los árboles adultos son más pequeñas que las de los árboles jóvenes (Navarro, 1999. Figura. 6).

Los frutos son cápsulas alargadas a ovoides, algunas veces en forma de pera, leñosas, llegan a medir de 10 a 15 (hasta 22) cm de largo, 6-8 cm de diámetro, dichos frutos maduran durante la estación lluviosa, en Quintana Roo, esto ocurre entre febrero y abril (Cámara-Cabrales & Snook, 2005), la cubierta o pericarpio se raja, abriéndose en cinco valvas (Lamb, 1966) exponiendo las semillas aladas (Pennington et al., 1975; Patiño, 2002). La corteza externa es gruesa y muy fisurada con las costillas escamosas en piezas alargadas, color pardo grisácea a café grisáceo. La interna rosada a roja, fibrosa, de sabor amargo y astringente (Lamb, 1966; Pennington et al., 1975). La copa es abierta y

redondeada que puede alcanzar un diámetro de hasta 25 m. de diámetro (Cámara-Cabrales & Snook, 2005).

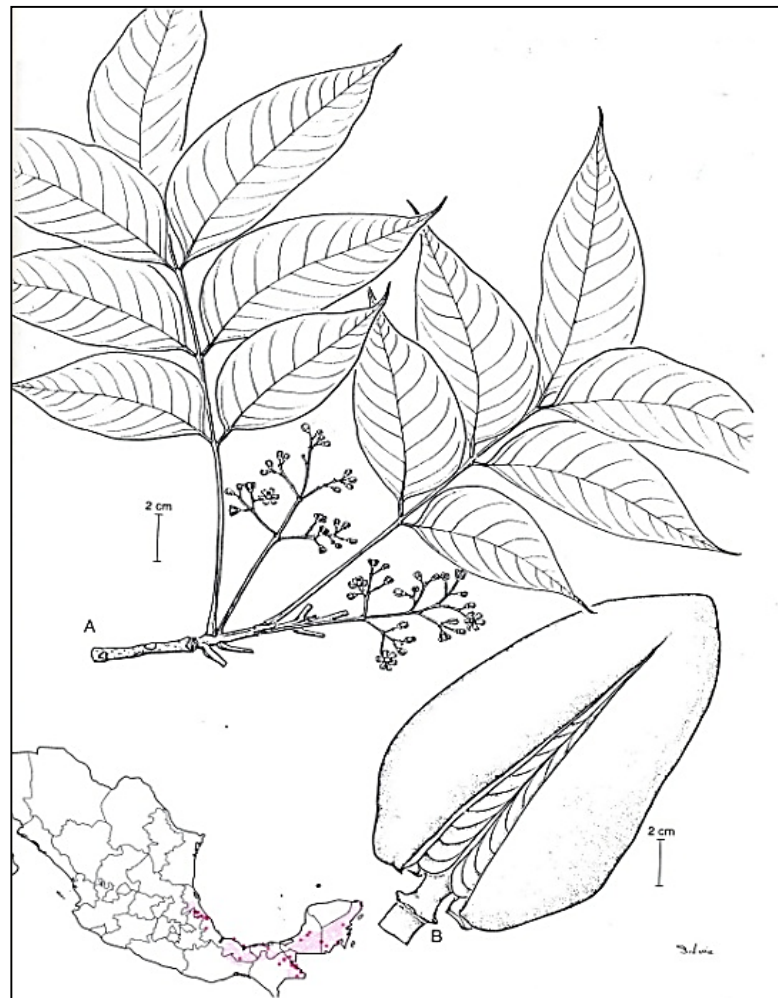


Figura 6. Mapa de distribución en México, A) rama con inflorescencia; B) cápsula. Tomado de Pennington & Sarukhán (2005).

#### 4.2 Ecología de la regeneración de la caoba

La caoba es una especie emergente que ocurre a densidades de aproximadamente un árbol de tamaño comercial por hectárea (Lamb 1966), es un árbol perennifolio o caducifolio, de 35 a 50 m de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 3.5 m, tronco derecho, ligeramente acanalado con contrafuertes bien formados hasta de 2 a 3 m. de altura

(Pennington & Sarukhán, 2005). Aunque en la actualidad es difícil encontrar individuos de tales dimensiones (Navarro, 2015).

#### 4.2.1 Madurez reproductiva.

La producción de frutos y semillas varía entre años y entre árboles (Synnott, 2009). Cámara-Cabrales y Snook (2005) agregan que los árboles mayores producen más frutos porque la copa es más grande. Árboles con DAP de 130 cm; produce 600 cápsulas de frutos en un único año (Chavelas, 2004; Synnott, 2009). La producción puede empezar en árboles de 20 a 30 cm DAP cuando su copa recibe plena luz solar o alcanza el dosel (Gullison et al., 1996). La edad de fructificación ocurre aproximadamente a los 15 años, aunque algunas veces puede ser antes (Synnott, 2009). Cámara-Cabrales y Snook (2005) confirman observaciones previas en cuanto a que los árboles de caoba más grandes producen más semilla que los árboles pequeños coincidiendo con Gullison, Panfil, Strouse, y Hubbell, (1996) y Grogan (2001).

#### 4.2.2 Floración y Polinización.

La floración de la caoba puede ocurrir en diferentes periodos según la región, en la tabla 4, se señala las épocas de floración para determinados países (Navarro, 1999). La floración en Quintana Roo empieza en el mes de marzo, con plena floración en abril a junio, según Synnott (2009). Sin embargo Chavelas (2004), menciona que es variable la fecha de inicio de floración entre individuos de esta misma especie, sus inflorescencias aparecen al comienzo de la estación de primavera a finales de marzo y principios de abril y concluyen a mediados de mayo. Flores son difíciles de apreciar a simple vista, son pequeñas y ya que miden aproximadamente 6 mm de largo por 6 mm de diámetro (Chavelas, 2004), verde amarillentas, reunidas en panículas axilares de hasta 15 cm de largo. Ambos sexos en la misma inflorescencia; las flores masculinas más abundantes que las femeninas, ambas dulcemente perfumadas (Chavelas, 2004; Synnott, 2009). Chavelas (2004), en su estudio más detallado observa que las flores de caoba abren entre las 18:30-19:00 horas y las 19:30 horas hasta las 21:30 hrs, este movimiento de apertura dura alrededor de 95 a 120 minutos



aproximadamente. La polinización inicia al crepúsculo, la caoba es una especie polinizada por abejas (Hymenoptera) principalmente de la familia Apidae: *Apis mellifera*, *Trigona fulviventris*, *Plebeia* sp. y *Scaptotrigona pectorales*; seguido por las mariposas nocturnas, (Chavelas, 2004). Lamb (1966) sugiere el viento como posible agente polinizador. Según Styles (1972), la estructura floral de las meliáceas indica que son polinizadas por insectos; de hecho, Styles y Khosla (1976) observaron que las abejas y las mariposas nocturnas polinizan varias especies en la familia. En Florida, Howard et al., (1995) encontraron que solamente *trips* (del orden Thysanoptera) visitaban las flores de *S. mahogani*.

Tabla 4. Épocas de floración de la caoba en distintas regiones de América (Navarro 1999).

<b>Países</b>	<b>Épocas de floración</b>
<b>México (Quintana Roo)</b>	Febrero a abril
<b>Puerto Rico</b>	Mayo y Junio
<b>Panamá</b>	Noviembre
<b>Costa Rica</b>	Noviembre y diciembre
<b>Nicaragua (costa atlántica)</b>	Enero a febrero
<b>Honduras (zona central)</b>	Febrero a marzo
<b>Guatemala (Petén)</b>	Febrero y marzo
<b>Belice</b>	Febrero y marzo
<b>Venezuela</b>	Febrero a abril
<b>Bolivia</b>	Junio y julio
<b>Perú</b>	Septiembre y octubre

#### 4.2.3 Fructificación y producción de semilla

Una vez efectuada la polinizada los frutos tardan en madurar aproximadamente seis meses (Patiño, 2002), o puede ser 10-12 meses (Pennington et al., 1981), maduran durante la época seca, cuando el árbol está sin hojas (Pennington & Sarukhan, 2005). En Quintana

Roo, esto ocurre entre febrero y abril (Rodríguez-Santiago, Chavelas-Polito & García-Cuevas, 1994). Algo importante es el tamaño de la copa afecta directamente la cantidad de fruto producido anualmente. Por ejemplo, la producción de fruto de árboles con diámetros  $\geq 75$  cm puede ser tres veces mayor que la de los árboles con diámetros menores a 75 cm (Negreros- Castillo et al., 2014). La producción de semilla por fruto es de aproximadamente 45–70 semillas de unos 8 cm de longitud y 2 cm de ancho, de color marrón oscuras brillantes irregulares, comprimidas, provistas de una prolongación en forma de ala de 6 a 7 cm de largo, se encuentran dispuestas en una columna interior del fruto (Pennington et al., 1975; Patiño, 2002). El número de semillas por kilogramo varía entre 1,800 a 3,000, los frutos de mayor peso y tamaño contienen las mejores semillas, por lo que son estos tipos de frutos los que tienen que recolectarse y así garantizar la mayor cantidad de semillas capaces de germinar, siendo las semillas más pesadas de mejor calidad (Chavelas, 2004).

#### 4.2.4 Dispersión.

La caoba presenta una dispersión anemócora (dispersión por viento) la cual ocurre después de que las válvulas de los frutos se abren y caen al suelo (Alcocer et al., 1999; Synnott, 2009). Se tienen evidencias de que la distancia máxima que alcanza es de 60 m alrededor del árbol padre en Quintana Roo (Rodríguez et al., 1994) y la distancia media reportada es de 36 m en Bolivia (Gullison et al., 1996). Otro agente dispersor de semillas de caoba es el agua de las lluvias. Frecuentemente, los primeros vientos son tan fuertes que mueven el dosel del bosque como remolino, lo que puede ocasionar una dispersión de semillas en todas direcciones y fuera de la copa del árbol padre (Gullison et al., 1996). En Quintana Roo, se reportó que después de la época de dispersión de semillas (marzo-abril), fueron encontradas 6,861 semillas en área abierta (84% de semillas teóricamente dispersadas). A los seis meses de la dispersión de las semillas, se encontraron 1,608 plántulas/ha. de caoba en el área abierta (Rodríguez et al., 1994). No se ha reportado informes sobre la dispersión de las semillas de caoba por animales (Synnott, 2009). Lamb (1966) opinó que no se sabe que tan importante es la participación (si es que la hay) de animales y aves en la dispersión de las semillas de caoba. Sin embargo, Clements (2000), reportado en Synnott (2009), el

primer estudio de dispersión de semillas de caoba y concluyó que el roedor *Proechimys* sp. funciona como un agente de dispersión en esta especie.

#### 4.2.5 Semillas.

Las semillas de la caoba no forman parte del banco de semillas y, por lo tanto, se regenera a partir de semillas recién caídas, ya que las semillas carecen de mecanismos de latencia a largo plazo, pero pueden sobrevivir en la tierra de cuatro a seis meses o hasta diez durante el periodo seco (Mayhew & Newton, 1998; Newton, et al., 1993). Así, la viabilidad de las semillas, frescas y maduras, suele ser de alrededor de 90% (Mayhew & Newton, 1998). La viabilidad de las semillas se reduce rápidamente con el tiempo dependiendo de las condiciones (humedad, temperatura) del almacenaje (Gómez, 1996; Magnitskiy & Plaza, 2007). En condiciones ambientales tropicales, lo normal es que la viabilidad disminuya 10% o más cada mes. Se puede conservar una alta viabilidad guardando las semillas en un refrigerador y con baja humedad, en bolsas de plástico u otros contenedores cerrados (Gómez, 1996; Magnitskiy & Plaza, 2007).

#### 4.2.6. Germinación.

La germinación es hipogea (tipo de germinación en el cual los cotiledones quedan por debajo de la superficie del suelo), en campo la semilla de caoba logra tener una germinación de 13 % en promedio, este porcentaje varía de acuerdo a la forma de colocación, la semilla enterrada logra un porcentaje de germinación del 20% a diferencia de semilla superficial que es del 6% (Negreros-Castillo, Snook & Mize, 2005a) y en vivero se logra una germinación entre el 92%, de 20 a 24 días (López, García & Ramírez, 2012). Algunos autores como Gómez (1996), Pimentel, Pimentel, Magnusson, Higuchi y Reis (2002) y Quinto, Martínez-Hernández, Pimentel-Bribiesca y Rodríguez-Trejo (2009) mencionan que la germinación total se alcanza a los 45 días. Negreros-Castillo y Mize (2008), encontraron 29% de germinación de semillas de caoba, después de dos meses, en áreas creadas bajo extracciones forestales. La disponibilidad de humedad, conjuntamente con el fin de la estación de lluviosa acelera la germinación, aunque los mecanismos exactos permanecen desconocidos (Lamb, 1966). Es una especie heliófila (especie de planta que requiere de plena exposición a la luz solar para vivir y desarrollarse) pero en su juventud

tolera la sombra leve (Snook, 2000; Snook & López, 2003). La temperatura media anual de 23 a 28°C con extremas de 11 a 37 ° C y la precipitación anual es de 1,300 mm y 75% de la lluvia cae entre mayo y octubre, no tolera temporadas de sequías muy largas (Gómez, 1996; Synnott, 2009).

#### 4.2.7 Establecimiento.

La caoba crece en gran variedad de condiciones edafológicas, desde suelos arcillosos hasta suelos con arenas gruesas (Lamb, 1966). El pH preferido se encuentra en un rango entre alcalino y neutro, aunque se conocen plantaciones con buenos resultados en suelos ácidos con pH de 4,5 (Lamb, 1966). Con relación a la cantidad de agua en el suelo, la caoba prefiere suelos bien drenados, pero en los climas más secos prefiere suelos con mayor capacidad de retención de agua (Lamb, 1966; Pennington & Sarukhan, 2005). Las plántulas pueden sobrevivir un tiempo bajo sombra, pero necesitan luz solar para establecerse con brinzales y arboles pequeños por lo menos al año de edad, se establecen y crecen bien en aperturas relativamente grandes (superficies alrededor de 5 000 m<sup>2</sup>), (Grogan & Galvao, 2010; Snook & López, 2003; Toledo-Sotillo & Snook, 2005; Negreros-Castillo, Snook & Mize, 2005a).

#### 4.2.8. Plagas.

El barrenador de yemas de las meliáceas, *Hypsipyla grandella* (Lep. Pyralidae) es una de las plagas forestales más severas conocidas en el trópico (Lunz, Thomazini, Moraes, Neves, Batista, Degenhardt, & Ohashi, 2010). Un estudio interesante en cuestiones químicas, demuestra que las hembras de *H. grandella* son atraídas por las hojas jóvenes de la caoba, esta atracción está mediada por compuestos kairomonales que guían a la hembra a su sitio de oviposición (Acto de poner o depositar huevos por el miembro femenino de los animales ovíparos), por lo que se podría anticipar la naturaleza volátil de dichos compuestos (Macías-Sámamo, 2001). De conocerse estos, podrían ser empleados como una herramienta para el manejo. Ellos se podrían usar como atrayente en trampas, para la captura de hembras (Macías-Sámamo, 2001). El principal daño es causado por la larva de *H. grandella*

que destruye el meristemo terminal de las plántulas plantadas, barrenando en las puntas y haciendo túneles en los tallos jóvenes (Howard & Mérida, 2007; Lunz et al., 2010). Los rebrotes de las plantas afectados por repetidos ataques del insecto, dan como resultado numerosas ramas laterales y consecuentemente reducción de velocidad de crecimiento y árboles mal formados indeseables para la producción de madera (Macías-Sámano, 2001). El barrenador solo vuela hasta alturas de 2 a 2.5 m., por lo tanto, es una plaga que afecta en los 2 a 3 primeros años (Macías-Sámano, 2001; Synnott, 2009). Este barrenador ataca un porcentaje más alto a las plantaciones, a diferencia donde estos árboles crecen entremezclados en bosques naturales, y este insecto ha sido un impedimento importante al establecimiento de las plantaciones de caoba (Lamb, 1966; Newton et al., 1993; Mayhew & Newton, 1998).

#### 4.3 Dinámica de las poblaciones de la caoba en las selvas de Quintana Roo.

Las selvas de Quintana Roo albergan más de 100 especies de árboles por hectárea, pero las más abundantes actualmente son *Manilkara zapota* y *Brosimum alicastrum* (Argüelles, Sánchez, Caballero & Ramírez, 1998; Granados, López & Trujillo, 1997; Pennington & Sarukhan, 2005). La caoba forma parte de las selvas de Quintana Roo (Granados, López & Trujillo, 1997; Pennington & Sarukhan, 2005), en donde muchas veces se encuentra formando grupos de un número variable de árboles (Pennington & Sarukhan, 2005). Las selvas donde crece la caoba pertenecen a un tipo de vegetación llamada “Selva Mediana Subperennifolia” (SMS), principal tipo de vegetación para el Estado (74%). Otras once comunidades conforman el 26% restante: selva alta subperennifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja subperennifolia, selva baja subcaducifolia, selva baja caducifolia, palmar, manglar, sabana, vegetación de dunas costeras, peten y tular. El clima, la geología, el suelo, la topografía y la cercanía al mar Caribe, determinan la distribución de los diversos tipos de vegetación (Estes et al., 2011). En la Región Terrestre Prioritaria de México Número 149 del sistema mexicano de zonas prioritarias, es donde la caoba encuentra las condiciones adecuadas de desarrollo sobre suelos de origen calizo o aluvial, medianamente profundos. En algunos lugares se encuentran densidades de hasta 29 individuos/ha. mayores a 10 cm de diámetro normal (DN, diámetro a la altura de 1.37 m de

la base del árbol) (Vester y Navarro-Martínez, 2007). Estas altas densidades se han atribuido a la presencia de disturbios catastróficos (incendio después de huracán, roza-tumba-quema) que crearon aperturas grandes en el dosel con la temporal reducción al mínimo de la vegetación del sotobosque, exposición del suelo mineral y aumento de radiación solar (Gullison et al., 1996; Snook 1993: 2000). Estos disturbios determinan la ecología y la organización de las selvas de caoba, por ejemplo los huracanes, provocan un incremento en las tasas de mortalidad, reclutamiento y crecimiento de las poblaciones que los componen (Barrera, Gómez-Pompa & Vásquez-Yanes, 1976; Lugo, 2000; Navarro, García & González, 2012; Vester & Olmsted, 2000). Los incendios son más comunes en años secos y pueden iniciarse a partir de rayos, aunque por lo regular resultan de quemas que escapan de los campos agrícolas. Después de los huracanes, las hojas, ramas y tallos caídos proveen grandes cantidades de materia orgánica, utilizándolos como combustible y así favoreciendo incendios que pueden destruir miles de hectáreas de la selva (Snook, 2000), después de un incendio se ha encontrado entre 0.5 y 2.0 caobas sobrevivientes por hectárea (Snook, 2000). La roza-tumba-quema, es un sistema dinámico que genera un paisaje con manchones bajo agricultura que posteriormente pasan a ser selva y manchones de selva de diferentes edades que luego pasan a ser milpa (Barrera et al., 1977; Durán-Medina, Mas & Velázquez, 2007; Negreros-Castillo, González-Núñez & Merino, 2000). Comparado con la frecuencia de huracanes la RTQ se ha utilizado por más de 3 mil años y es un disturbio mucho más frecuente y con mayor distribución en el espacio de la selva en donde crece la caoba. Consecuentemente las poblaciones de caoba en Quintana Roo presentan una fuerte correlación espacial con la distribución de los manchones de RTQ en sus diferentes estados de desarrollo.

## **5. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### 5.1 Objetivo General.

Evaluar la siembra directa de semilla de caoba en terrenos de RTQ en su último año de producción como técnica silvícola de regeneración en las selvas comerciales de Quintana Roo.

### 5.2 Objetivos específicos:

Objetivo 1. Determinar el efecto del tipo de suelo en la germinación de las semillas de caoba; así como el efecto del suelo y cantidad de sombra en la supervivencia y crecimiento de las plántulas en milpas terminales.

Objetivo 2. Conocer la diversidad de árboles, a nivel de plántula, que se establecen durante la sucesión secundaria en las milpas terminales en donde se sembró la semilla de caoba.

### 5.3 Hipótesis:

La siembra directa de semilla de caoba en terrenos de RTQ en su último año de producción es una buena técnica silvícola de regeneración para la caoba en las selvas bajo aprovechamiento comercial de Quintana Roo.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en el Ejido Betania que se localiza en el kilómetro 191 de la carretera Felipe Carrillo Puerto-Muna, a 26 kilómetros de la cabecera municipal de Felipe Carrillo Puerto. Se ubica en las coordenadas geográficas  $19^{\circ} 38' 17''$  N y  $88^{\circ} 17' 17''$  O. Colinda al norte con el Ejido Chunhuas e X-Pichil, al sur con el Ejido Yoactun y Terrenos Nacionales, al oeste con los Ejidos Laguna Kanáh y Ejido Dzula y al este con Terrenos Nacionales (Figura. 7)

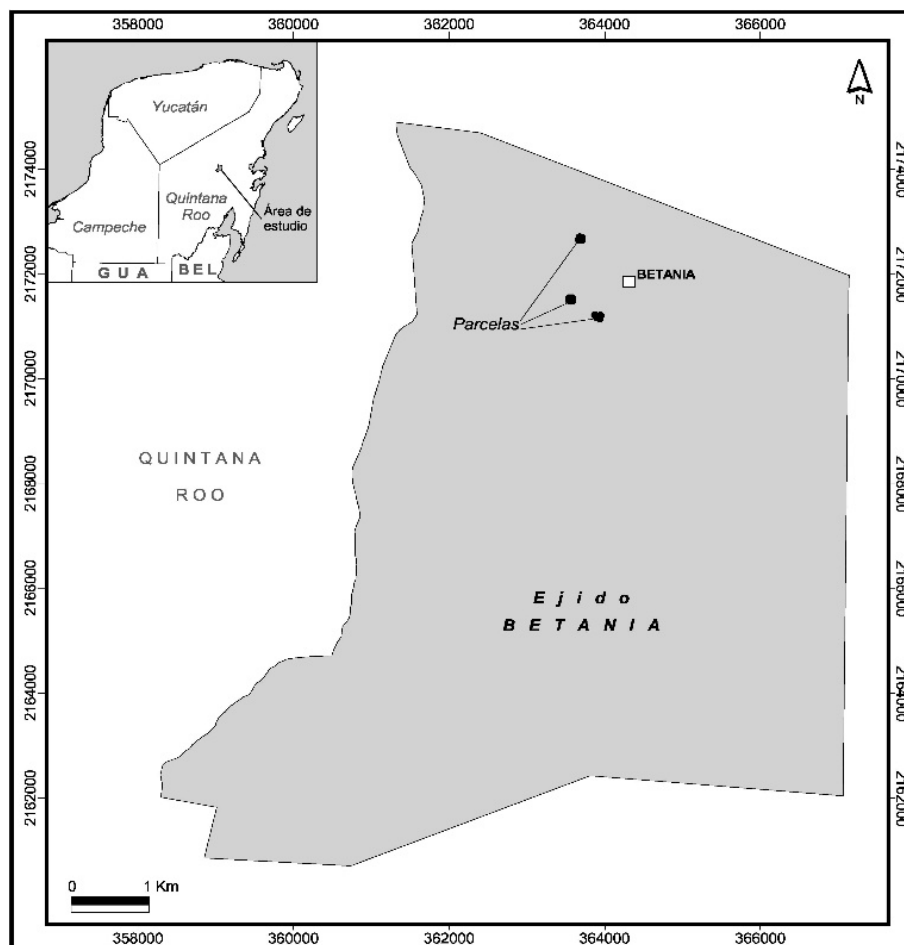


Figura 7. Ubicación del área de estudio. Ejido Betania, Q. Roo.



El clima es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (de mayo a octubre); la época seca va de noviembre a abril. La precipitación media anual es de 1300 mm y la temperatura media anual es de 25.8°C. El relieve es básicamente plano con algunas zonas onduladas de mínima elevación. Según la clasificación de suelos de la FAO-UNESCO los principales son rendzinas que de acuerdo con la clasificación maya de los suelos corresponden a los denominados tzequel con presencia intercalada de k'ankab y yaaxhom; mientras que los suelos secundarios son el litosol y el luvisol (Bautista & Zinck, 2010). El principal tipo de vegetación en el área de estudio es la selva mediana subperennifolia (Miranda & Hernández X., 1963; Pennington & Sarukhan, 2005). Donde predominan las siguientes especies: Tzalam (*Lysiloma bahamensis*), Chechen Negro (*Metopium brownei*), Ramón (*Brosimum alicastrum*), Chicozapote (*Manilkara zapota*), Yaaxnic (*Vitex gaumeri*), Chaca rojo (*Bursera simaruba*), Amapola (*Pseodobombax ellipticum*), Jobo (*Spondias mombin*), Boob (*Cocoloba cozumelensis*) entre otras. Durante la época de sequía las especies pierden su follaje, alrededor de 25 al 50% de (Miranda & Hernández X., 1963; Pennington & Sarukhan, 2005).

El ejido cuenta con una superficie total de 11,036 hectáreas de las cuales 5,000 has corresponden al área forestal permanente, es decir bajo “manejo comercial” y 5,836 ha para las actividades agropecuarias y urbanas. El tipo de agricultura que predomina es de temporal bajo el sistema rosa tumba y quema donde se cultiva maíz, frijol y calabaza. El área urbana ocupa una superficie de 200 has (PROSELVAQROO, 2008).

El estudio logró establecerse gracias a la participación de productores locales que aceptaron el establecimiento del experimento en sus terrenos agrícolas y la colaboración del grupo técnico de la Organización de Ejidos Productores de la Zona Maya (OEPFZM) a la que pertenece el ejido Betania.

## 6.2 Metodología

Evaluar la siembra directa de semillas de caoba en milpas terminales como técnica silvícola para su regeneración, requiere de tomar en cuenta varios factores. El principal es evaluar si las semillas logran germinar y producir plántulas en un número suficiente, pero además determinar si existen principalmente condiciones de suelo y luz que influyen en el proceso crecimiento y supervivencia y como se afecta la biodiversidad.

Respecto al suelo, el color es el atributo más utilizado por los habitantes mayas, en particular es uno de los factores que toman más en cuenta para seleccionar el sitio de establecimiento de la milpa. El color de suelo es una característica que podría ayudar a identificar los mejores sitios para la producción de caoba. Rodríguez y Barrios (1979) encontraron 99.6% de supervivencia de plántulas de caoba en suelos Ka-cab (suelo color café oscuro), en el mismo estudio, los autores hacen referencia que el desarrollo de plántulas de caoba es más homogéneo en suelos yaaxhom (Color café muy oscuro). Negreros-Castillo y Mize (2013) encontraron que una población natural madura de árboles de caoba, crecieron mejor en un periodo de 6 años en sitios con suelos negros (76%).

La cantidad y calidad de luz solar que llega al sotobosque depende de las características de las especies que conforman el dosel (cobertura del dosel) e influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas que se encuentran bajo el mismo (Mostacedo & Frederiksen, 2000). La caoba por ejemplo, se establece satisfactoriamente en terrenos con alta incidencia de luz y sin competencia (Snook, Negreros-Castillo & O'Connor, 2005). Al mismo tiempo las plántulas de caoba pueden sobrevivir por un periodo, a veces de 20 años, bajo sombra pero necesitan luz solar para madurar y pasar a las categorías de brinzales y árboles juveniles (Negreros-Castillo, Rodríguez, & García, 1993; Synnott, 2009; Navarro-Martínez, 2015). Se pueden encontrar semillas germinando y plántulas muy jóvenes bajo el dosel cerrado, tolerando la sombra del bosque (Vester & Navarro, 2007). Sin embargo, en un estudio se observó que las plantas establecidas artificialmente bajo dosel murieron todas en un periodo de 3 años (Negreros-Castillo et al., 1993). En conclusión, la cantidad de luz requerida por la caoba es variable en particular durante las primeras etapas de su crecimiento y desarrollo.

Conservación de la biodiversidad es una de las mayores preocupaciones en la práctica de la silvicultura de los bosques y las selvas (Wadsworth, 1997:2000; Sánchez-Pérez, Castillo-Acosta, & Cámara-Cabrales, 2011). La mayor amenaza para los bosques y su diversidad es el cambio de uso de suelo, es decir la deforestación para dedicar las tierras forestales a otros usos no forestales (Daniel, Helms, & Baker, 1982). El sistema tradicional de RTQ es un ejemplo de los pocos sistemas de producción alimenticia, utilizado por los indígenas mayas (Toledo & Ordóñez, 1993; Moya-García et al., 2003), que genera un paisaje dinámico en tiempo y espacio. Este paisaje se caracteriza por manchones temporales de cultivos agrícolas que posteriormente se transforman en selva por la sucesión secundaria) y manchones temporales de selva de diferentes edades que pueden ser desmontados nuevamente para ser milpa o se pueden dejar que pasen a etapas muy madura de selva (Barrera et al., 1997; Terán & Rasmussen, 1994; Granados & López-Trujillo, 1997). A este sistema ancestral, se le puede atribuir el mantenimiento de la diversidad de las selvas de Quintana Roo (Edwards, 1986).

Tomando en cuenta la complejidad del proceso para evaluar una nueva técnica silvícola, la metodología que se propuso para realizar esta investigación se diseñó para tomar en cuenta en forma integrada los factores: suelo, disponibilidad de luz y biodiversidad en un sistema RTQ (milpa) en su último año de producción.

Para facilitar la comprensión de la metodología, ésta se presenta por separado para cada uno de los dos objetivos específicos del estudio.

#### 6.2.1. Metodología para el objetivo 1.

Objetivo 1. Determinar el efecto del tipo de suelo en la germinación de las semillas de caoba y el efecto del suelo y la cantidad de sombra en la supervivencia y crecimiento de las plántulas en milpas terminales.

##### 6.2.1.1 Diseño del estudio.

Para lograr el objetivo uno se usó una metodología de tipo observacional (Di Rienzo et al., 2008) con 3 repeticiones, en el que la germinación de la semilla de caoba, la supervivencia y crecimiento de las plántulas se relaciona con dos factores micro-climáticos del sitio: cantidad de sombra y tipo de suelo. En la primera etapa de la investigación se seleccionaron tres milpas (de seis que se visitaron), las cuales cumplieron con las características requeridas para el estudio: 1. una superficie mínima de una hectárea, 2. en su último año de producción (milpa terminal), 3. Alejada del poblado y carreteras y 4. Con el consentimiento del dueño para realizar el estudio.

Dentro de cada milpa se estableció una parcela de observación (PO) de 50 x 50 m (0.25 ha) (Figura. 8) en la que se establecieron, de este a oeste, once líneas de 50 m de largo con una separación de 5 m. En cada línea se marcaron, cada 5 m, 11 sitios de siembra (121 en total). A cada sitio de siembra le fue asignada una clave que se colocaba en una placa y consistía en lo siguiente: primero el número 1, 2 ó 3 correspondiente a la milpa terminal o parcela de observación, luego una letra de la A a la K corresponde a la línea y finalmente un número del 1 al 11 correspondiente al sitio de siembra (1 al 11). Por ejemplo, 1A1, corresponde a las semillas sembradas en la milpa 1, en la fila A y en la posición uno. 1K 11 corresponde a las semillas sembradas en la milpa 1, fila K en la posición 11. La semilla utilizada se colectó en el ejido vecino de Naranjal Poniente y para mejorar las condiciones de germinación la semilla se remojó por 24 horas antes de la siembra (Figuras. 9) (Negreros-Castillo et al., 2005). En base en la insuficiente germinación obtenida en un estudio previo en el que se usaron tres semillas (Negreros-Castillo et al., 2003), en el presente estudio se utilizaron cinco semillas (sin ala) por cada sitio de siembra, sembrando un total de 605 semillas (en cada PO). Las semillas, se sembraron en forma enterrada después de las primeras lluvias (Negreros-Castillo et al., 2003; Snook & Negreros-Castillo, 2004), siguiendo un patrón de dominó (Figura. 10). La siembra de la semilla de caoba se realizó, después de la siembra del maíz, por cuestiones de tiempos, no se logró establecer al mismo tiempo que el maíz.



PO1



PO2



PO3

Figura 8. Parcelas de observación (PO, milpas terminales). PO1 (milpa 1, superficie 1 ha), PO2 (milpa 2, superficie 4 ha.), y PO3 (milpa 3, superficie 4 ha).

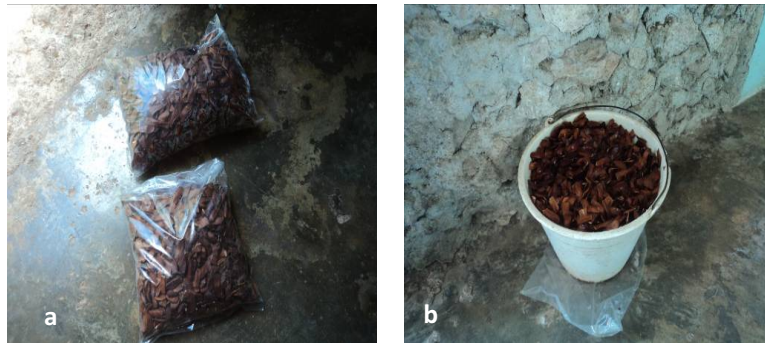


Figura 9. a) La semilla después de colectada se guardó en bolsas de nylon durante cuatro meses, b) semilla en una cubeta para ser remojada por 24 hrs, para su posteriormente

siembra.

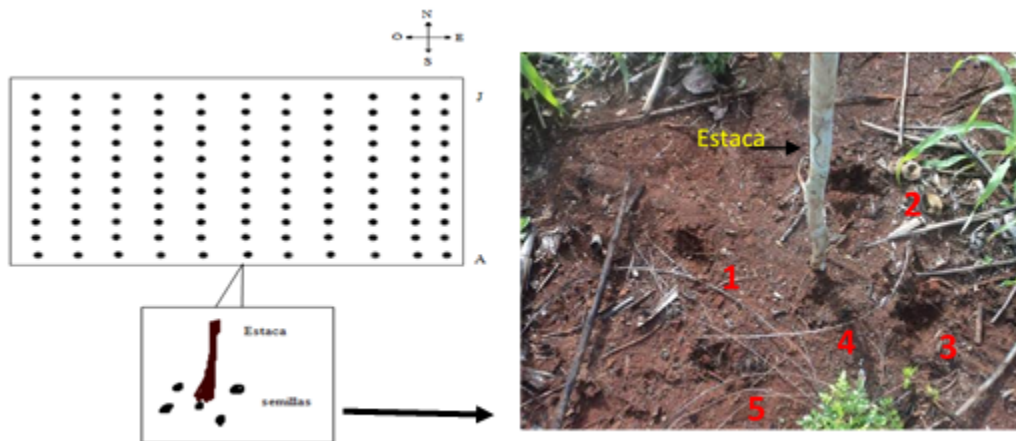


Figura 10. Diseño y orientación de la parcela (50 x 50 m), y representación del modo de siembra (domino) los números en rojo en la fotografía a la derecha, muestran el patrón de siembra de la semilla de caoba.

#### 6.2.1.2 Factores y variables que se midieron



a. Germinación. Después de la siembra de las semillas, las parcelas de observación fueron visitadas diariamente durante 45 días para contar el número de semillas germinadas y, al final, calcular el porcentaje de germinación, así como obtener las curvas de tiempo de germinación de semillas (Figura. 11) (Alcocer et al., 1999; Morris, Negreros-Castillo & Mize, 2000; Synnott, 2009). La información colectada fue anotada en el formato que se presenta en el anexo 1.



Figura 11. Imágenes de semillas germinadas, fotos tomadas en agosto del 2012.2

b. Diámetro y altura. Dos meses después (septiembre 2012) de haber germinado las semillas de caoba se inició la toma de datos de diámetro a la base (con vernier en mm) y altura (con flexómetro en cm). Las observaciones se realizaron durante los meses, 2, 9, 11, 23, 38 y 45. En cada visita se revisaron cada uno de los puntos en las líneas y se contaron las plantas vivas y las muertas (Anexo 3). El cálculo del crecimiento se basó en el incremento en el tiempo del diámetro y la altura (Mostacedo & Frederiksen, 2000, Anexo 4), (Figura. 11).

Para tener un mejor control sobre las mediciones a través del tiempo y para la posterior identificación correcta de cada planta; a la nomenclatura para identificar los sitios de siembra se le agregaron las letras a, b, c, d, e, dependiendo del número de semillas germinadas, usando una placa para cada semilla. Por ejemplo si se encuentran dos plántulas en la milpa 1, fila A, posición uno, serían dos placas 1A1a y 1A1 b.

c. Color del suelo. Para realizar la evaluación del tipo de suelo, al momento de ubicar la parcela dentro de la milpa, se utilizó como parámetro el color del suelo, el cual se identificó para cada uno de los 121 puntos de siembra usando la tabla de Munsell (Soil Survey Staff, 1993). Se colectó una muestra superficial de suelo (horizonte O) de aproximadamente 10 gr en cada uno de los 121 puntos colocándolas en bolsas de plástico, etiquetadas de acuerdo a la clave de la planta que corresponda.



Figura 12. Toma de muestra de suelo (a la izquierda), muestra de suelo etiquetada con su respectiva clave (derecha).



Figura 13. Proceso de identificación de color de suelo con base en la tabla de Munsell.

La identificación de color de las muestras de suelo colectadas se realizó en gabinete bajo las mismas condiciones de luz y a la misma hora (Figura. 14), de la siguiente manera: primero, visualmente, se separaron las bolsitas con muestra de suelo que fueran de color



similar, posteriormente con la ayuda de la tabla de Munsell y una de las muestras de suelo separadas por color, se identificó el color y se anotó el dato resultante en el formato (Anexo 5).

d. Luminosidad. A pesar de que al inicio del estudio las tres Parcelas de Observación se encontraban todas completamente a cielo abierto y en el centro de milpas terminales, la vegetación natural empezó a emerger (sucesión secundaria) (Gómez-Pompa, 1971; Barrera et al., 1997), en forma muy irregular, creando condiciones con diversa cantidad de vegetación y en consecuencia diferentes de luminosidad en cada uno de los 121 puntos de siembra. Es por esto que se decidió evaluar la luminosidad en cada punto usando dos métodos indirectos:

d.1 Evaluación visual de la cantidad de la luminosidad (Cantidad de sombra). Para la evaluación visual de la luminosidad incidente en cada plántula de caoba se definieron tres clases en base a la vegetación acompañante de cada plántula de caoba. Se buscó seleccionar tres clases fácilmente definibles observando la vegetación presente al sur y al norte de la plántula de caoba hasta una distancia de 50 cm (Com. perms. Negreros-Castillo & Mize, 2010). De esta forma se definieron tres clases: 1) 0 = 0% des sombra, la planta recibe luz total todo el día, es decir cero vegetación alrededor de la planta, 2) 50 = 50% del día con sombra, es decir la vegetación presente estaba en el lado sur, y 3) 100 = 100% sombra todo el día, es decir la plántula se encontraba rodeada de vegetación o bajo la vegetación. La luminosidad con este método se midió a los 10 meses que germinaron las semillas.

d2. Medición de la luminosidad con un densiómetro forestal (Gis Ibérica S.L., 2003). La cantidad de luz en cada sitio de siembra se puede medir de manera indirecta, a través de la evaluación de la cobertura vegetal usando el densímetro forestal (Figura. 15). En cada sitio de siembra se toma una medición hacia cada uno de los cuatro puntos cardinales, el valor de cobertura para la planta es el promedio de las cuatro mediciones. El densímetro

forestal consiste en un espejo cóncavo montado en una base de madera con un nivel. El espejo está dividido en 24 cuadros y cada uno vale cuatro puntos dando un total de 96 puntos que multiplicados por 1.04 es igual a 100. Este valor de 100 puede ser 100% de sol o 100% de sombra, dependiendo de lo que se decida observar en el espejo. El espejo se coloca sobre la planta y en él se refleja el dosel sobre la misma. Si sobre una planta se cuentan 50 puntos vacíos (no se ve el dosel reflejado) quiere decir que hay 46 puntos llenos (se ve el dosel reflejado), esto equivale a 52 % de luminosidad y 48% de sombra.

Como la cobertura es un factor dinámico que cambia conforme se desarrolla la vegetación, a partir de la segunda semana de julio y hasta la última semana de diciembre (durante 24 semanas), semanalmente, se midió la cobertura de dosel de cada uno de los 121 sitios. La información se anotó en el formato que se encuentra en el anexo 6.



Figura 14. Densiómetro esférico cóncavo (densímetro de corona Forestal) para determinar la cobertura forestal (Gis Ibérica S.L., 2003)

### d.3. Calibración de los métodos indirectos de medición de luminosidad:

Existen varios métodos para medir la luminosidad el más preciso es la utilización de equipo especializado el cual generalmente está fuera del alcance de la mayoría de los investigadores. Un método muy preciso y un poco más accesible es el uso de la luz diaria

integrada -diaz- (papel diazo) (Friend, 1961; Bardon et al., 1995; Williams-Linera, 2003; Torres & López, 2010). Pero, aunque accesible y menos costoso el diazo todavía es complicado. Pensando en la posible aplicación futura de la medición de la luminosidad usando los dos métodos sencillos y de menos costo descritos anteriormente, se decidió medir la luminosidad en una muestra de plantas usando los tres métodos en forma prácticamente simultánea. El método de Diazo, permitiría calibrar los métodos de “clasificación visual” y “densiómetro”. Para poder calibrar los métodos visuales y del densiómetro con el papel diazo se seleccionó un grupo de 30 plantas por parcela de observación (90 plantas en total) para utilizar los tres métodos simultáneamente. Para la muestra se seleccionaron 30 plantas en cada parcela de observación que fueron perfectamente identificadas en el momento de realizar mediciones de crecimiento en diámetro y altura.

Método diazo (Friend, 1961). La luz diaria integrada es la cantidad de luz recibida diariamente como función de la intensidad de la luz y la duración del día (Torres & López, 2010). Para estimar la cantidad de luz que recibe una planta el método se basa en la cantidad de capas de papel diazo que se decoloran por la cantidad de luz solar que reciben (Friend, 1961; Bardon et al., 1995; Williams-Linera, 2003). Por dos días se midió la luz diaria integrada por medio del uso de papel fotosensible diazo (Paso1) En un cuarto oscuro, con luz roja, se recortaron tiras de papel diazo de 3 cm de largo por 1 cm de ancho, formando paquetes de 14 tiras (engrapadas), los cuales fueron cubiertos por ambos lados con cartoncillo negro. El cartoncillo fue perforado aproximadamente a la mitad, solo por un lado, este lado quedo expuesto al sol de tal manera que la perforación es el sitio de recepción de la luz. Para proteger los paquetes de la humedad y la lluvia cada uno se colocó dentro de una bolsa (pequeña) de plástico.

Paso 2. Colocación de los paquetes diazo en el campo. El procedimiento de colocación del papel diazo, según Friend (1961), consiste en sujetar los pequeños paquetes de tiras de papel diazo sobre las hojas de los arboles a muestrear, ya sea engrapados o de alguna otra forma, cuidando que el paquete de papel quede colocado de forma horizontal. En la

presente investigación, para asegurar la captación de luz del sol, el paquete de papel diazo fue colocado cerca de la plántula sobre estacas, sujetado con cinta adhesiva, de manera que estuvieran en posición horizontal. En cada una de las 30 plantas seleccionadas se colocaron dos paquetes diazo en cada planta durante por 36 hrs para asegurar la obtención de resultados (Figura. 15). Los paquetes fueron colocados a las 6:00 hrs, retirándolos al día siguiente a las 6 pm y guardaron en una bolsa negra para su transporte al laboratorio de ecología funcional del Instituto de Ecología, A. C. (INECOL).

Paso 3. Revelado de los paquetes diazo. En el laboratorio del INECOL el revelado se realizó exponiendo los paquetes a vapor de amonio por 30 minutos dentro de una campana de extracción (Figura. 16).



Figura 15. Colocación del paquete de papel diazo sobre estacas cerca de las plántulas de caoba en campo.



Figura 16. Revelado del papel diazo. Foto de la izquierda, los diazos colocados en la rejilla, sobre el recipiente que contiene la solución de hidróxido de amonio, foto de la derecha campana donde se dejó revelar los diazos por 30 minutos.

Una vez revelado el papel diazo, se contó el número de tiras decoloradas en cada paquete de 14.

Paso 4. Calibración del diazo. Para calibrar la técnica, en la azotea del INECOL otro grupo de paquetes diazo (preparados de la misma manera que en paso 1) se expusieron a 100% de luminosidad durante diferentes periodos de tiempo entre 1 y 72 horas. Los paquetes fueron recogidos cada hora el primer día, cada dos horas el segundo y cada cuatro horas el tercer día, y después revelados. Paralelamente la luz diaria integrada se midió durante los tres días por medio de un sensor de luz conectado a un “data logger” (LICOR, 1000), instalado en el mismo lugar de exposición de los paquetes de papel diazo antes mencionados. Este sensor capta la cantidad instantánea de luz fotosintéticamente activa y la suma durante las 72 horas de medición. Finalmente, por medio de una regresión logarítmica se relaciona el valor de luz integrada con el número de capas iluminadas de papel diazo.

### 6.2.2 Calendario de mediciones

Después de la germinación se midieron diversas variables de acuerdo la siguiente tabla.

Tabla 5. Calendario de mediciones.

Variable	Meses					
	2	9	11	23	38	45
<b>Diámetro</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Altura</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Supervivencia</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Color del suelo</b>	X					

<b>Luminosidad</b>	X					
<b>Visual</b>	X					
<b>Diazo</b>	X					
<b>Densiómetro</b>	X					

### 6.2.3. Metodología para el objetivo 2.

Objetivo 2. Conocer la diversidad de árboles, a nivel de plántula, que se establecen durante la sucesión secundaria en las milpas terminales en donde se sembró la semilla de caoba

#### 6.2.3.1. Biodiversidad y aprovechamiento de las selvas

La biodiversidad es un concepto que, comúnmente, se refiere a la cantidad y tipos diferentes de organismos vivos en un lugar del planeta en un tiempo determinado (Rice et al., 2001). Se puede tratar de un lugar en el que nunca haya existido la intervención humana, o uno con diferentes tipos e intensidades de actividad humana hasta incluso se puede considerar la biodiversidad de una ciudad. En cualquiera de los casos la biodiversidad es dinámica cambia en el tiempo y el espacio, con o sin la intervención humana, por lo cual el concepto de “conservación de la biodiversidad” resulta incomprensible y poco práctico ya que son innumerables las interpretaciones del concepto. Existe la percepción de que el aprovechamiento forestal maderable es un factor de pérdida de biodiversidad, pero todo es relativo, primero es importante resaltar que el aprovechamiento de las selvas para la producción de madera, en particular, es el único tipo de uso que menos cambios produce en la biodiversidad. Comparado dicha actividad con la producción de caña y ganadera; así como con la construcción de carreteras; entre muchos otros usos de la tierra que requieren del desmonte “total y permanente”, el aprovechamiento forestal a través de la forestaría comunitaria no representa ninguna amenaza a la diversidad de las selvas de Quintana Roo (Vester & Navarro, 2007). Segundo, los árboles producen la única materia prima que “limpia” el ambiente mientras se produce, manteniendo el carbono en la madera por tanto como se evite que se queme o se pudra. Tercero el aprovechamiento maderable es un negocio que para que exista a largo plazo, requiere de comprender lo

mejor posible muchos aspectos ecológicos ya que la generación de productos forestales depende casi enteramente de procesos naturales. En este caso la sucesión secundaria es uno de los más relevantes para lograr que la selva genere los productos deseados por el dueño y el negocio forestal sea rentable a largo plazo. En este trabajo la biodiversidad se define como el número o riqueza de especies de árboles que se regeneraron como resultado de la sucesión secundaria de milpas doce meses después de concluir su ciclo de producción.

Para este componente de la investigación se utilizó la metodología de zigzag (Caamal, 1986), con algunas adaptaciones propuestas por Negreros-Castillo, Navarro y Martínez, (comunicación personal 2013). Sobre líneas en la forma de zigzag o W, de manera sistemática, se establecieron ocho cuadrantes de 4 x 4 m. (Figura. 17). Para calcular la distancia entre los cuadrantes cada una de las tres PO se dibujó a escala, sobre papel milimétrico, luego se trazó una W. Posteriormente se midieron las líneas (cuatro) de la W (que sería un transecto en forma de W), obteniendo una separación de 26 m entre cuadrante. En el campo, con cuerdas, una brújula para marcar la dirección de la línea, y guiándonos por los sitios de siembra de la caoba, se trazó el zig zag y los cuadrantes de muestreo.

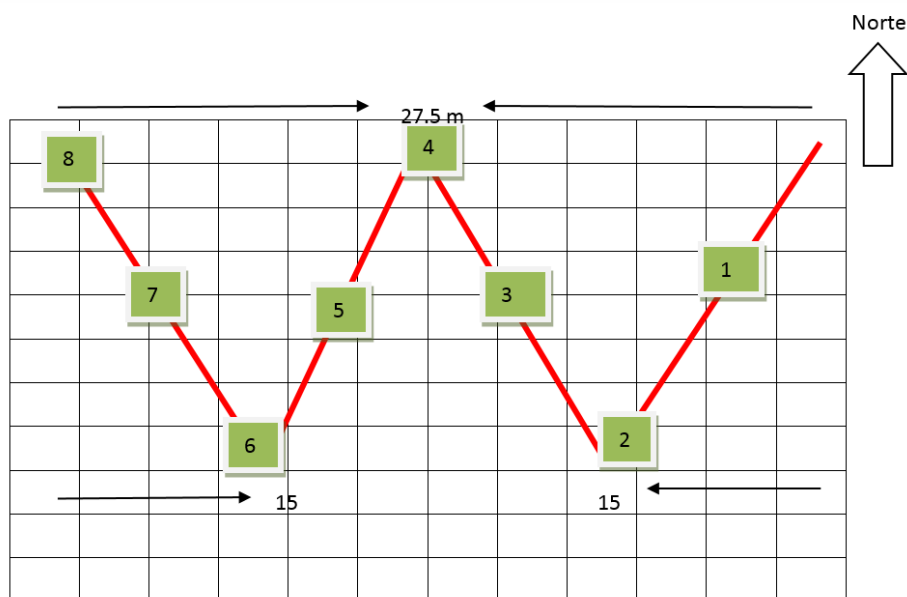




Figura 17. Diseño de muestreo para conocer las diversidad de árboles de la sucesión secundaria de las milpas terminales utilizadas en el estudio. Cuadros verdes son los cuadrantes de 4 x 4 m., se encuentran separados a una distancia de 26 m.

Para tener un mayor control en la toma de los datos, cada cuadrante fue subdividido en 4 subcuadrantes de 1 m, contando con un total de 32 subcuadrantes por parcela de observación (Tabla 6). Para cada plántula (árboles menores a 1.30 m de altura) encontrada en los subcuadrantes se identificó por especies, se midió su diámetro a la base en mm, se midió la altura en metros (Mostacedo & Frederiksen, 2000) y se identificó el mecanismo de regeneración (rebrote o semilla). Para la identificación de las especies se contó con el apoyo de guías de campo expertos en el reconocimiento de las plántulas, quienes proporcionaron el nombre local; asimismo, se identificó en campo a las plántulas con su nombre científico, en caso de conocerlo. Para medir el diámetro a la base (en milímetros) se utilizó un vernier y para medir la altura (en metros) se uso un flexometro.



Figura 18. Cuadrante dentro de la parcela de observación, las cintas blancas, limita área del cuadrante de 4x4m. que esta dividido en 4 subcuadrantes.

Tabla 6. Número de cuadrantes y subcuadrantes establecidos para el muestreo de diversidad arbórea en las parcela de observación.



<b>Parcela de observación</b>	<b>Cuadrante</b>	<b>Subcuadrante</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>7</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>8</b>	<b>4</b>

### 6.3. Análisis estadístico por objetivos

Objetivo 1. Determinar el efecto del tipo de suelo en la germinación de las semillas de caoba, así como el efecto del suelo y la cantidad de sombra en la supervivencia y crecimiento de las plántulas en milpas terminales.

Con los datos levantados en campo se calculó el porcentaje de germinación y se construyeron curvas de tiempo de germinación de las semillas de caoba. Usando el programa SAS (SAS 9.3), se realizaron diversos análisis de varianza para determinar el efecto del color del suelo (RB y VDR), cantidad de sombra (0,50, 100) y la milpa (1, 2,3), en la supervivencia, y crecimiento en diámetro y altura.

Objetivo 2. Conocer la diversidad de árboles a nivel de plántula que se establecen durante la sucesión secundaria en las milpas terminales en donde se sembró la semilla de caoba

La diversidad de árboles como resultado de la sucesión secundaria en las 3 milpas terminales se estudió mediante el uso de tablas dinámicas en Excel. Se obtuvo la composición de plántulas de especies arbóreas, así como su abundancia relativa y su densidad (Mostacedo & Frederiksen, 2000). Asimismo, se calculó el porcentaje de plántulas obtenidas a partir de rebrotes y semillas.



## 7. RESULTADOS

7.1 Resultados Objetivo 1. Determinar el efecto del tipo de suelo en la germinación de las semillas de caoba y el efecto del suelo y la cantidad de sombra en la supervivencia y crecimiento de las plántulas en milpas terminales.

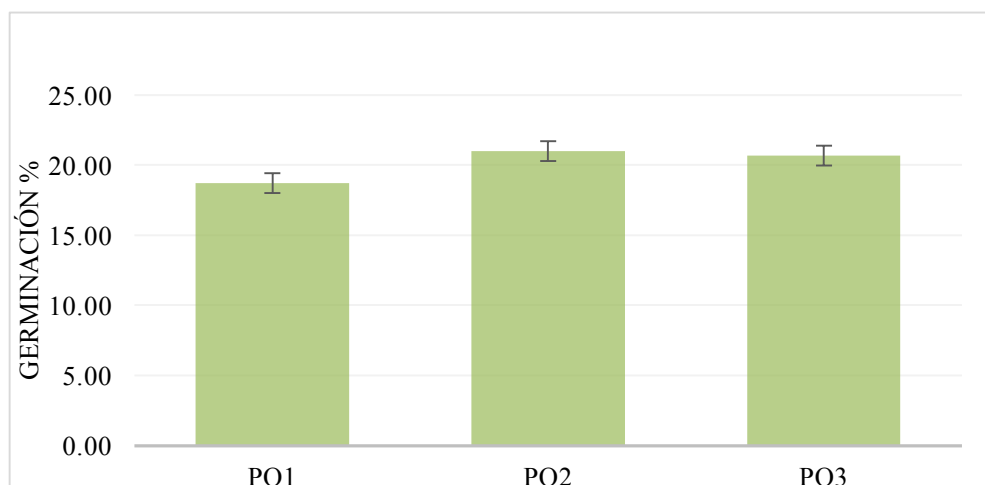
### a. Germinación.

Si bien originalmente, se indicó en la metodología, que el proceso de germinación se evaluaría durante 45 días (Alcocer et al., 1999; Morris, Negreros-Castillo & Mize, 2000; Synnott, 2009), terminado este periodo, durante las siguientes tres visitas se encontraron plántulas nuevas, por lo que el periodo de germinación se extendió hasta 58 días.

De las 605 semillas sembradas en cada una de las parcelas de observación (1815 semillas en las tres PO), en PO1 germinaron 106 semillas de caoba (18%), PO2 germinaron 127 (21%) y PO3 germinaron 125 (21%) (Tabla 7). En la gráfica 1 muestra el porcentaje de germinación en las tres parcelas de observación.

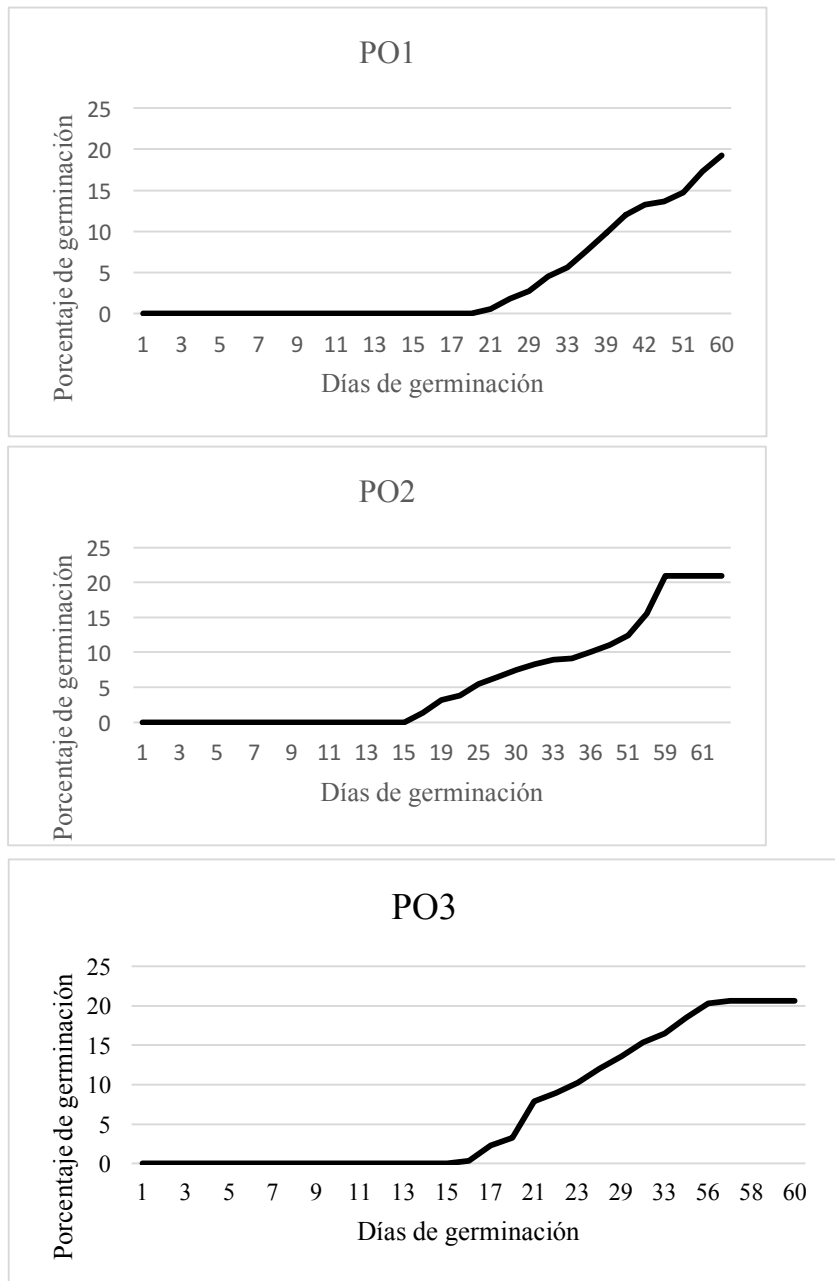
Tabla 7. Número de semillas sembradas y germinadas, así como el porcentaje de germinación por parcela de observación.

<b>PO</b>	<b>No. Semillas sembradas total</b>	<b>No. Semillas germinadas</b>	<b>%</b>
1	605	106	18
2	605	127	21
3	605	125	21
<b>Total</b>	1815	358	



Grafica 1. Porcentaje de germinación de semilla de caoba, en parcelas de observación (PO1, PO2, PO3).

La germinación en cada una de las tres parcelas de observación se llevó a cabo en fechas ligeramente diferentes al inicio y terminación del proceso. En las parcelas 2 y 3, dicho proceso inicio alrededor de los 15 días de la siembra; mientras que en la parcela las semillas iniciaron su germinación alrededor de día 21. En las tres parcelas el 100% de las semillas germinó alrededor del día 58. Por otro lado, el tipo de suelo no tuvo efecto alguno en la germinación de las semillas ( $P=0.3521$ ).

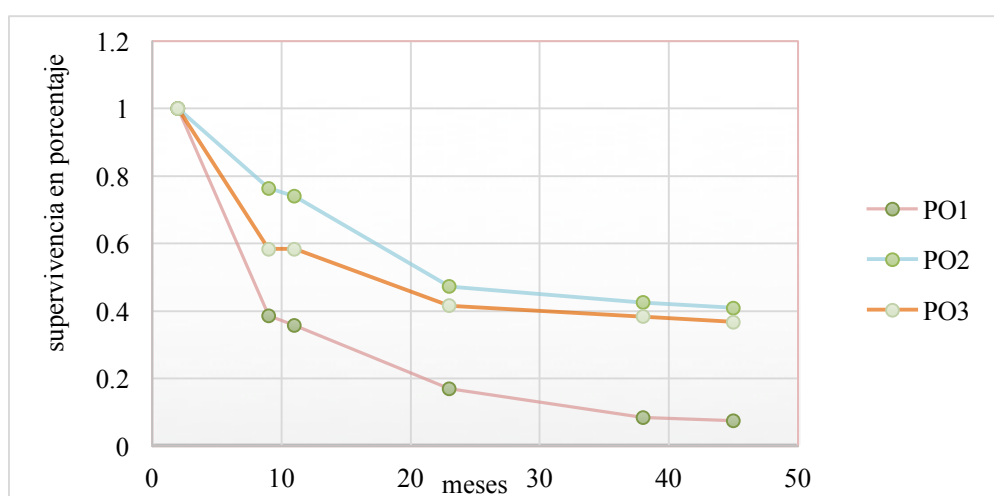


Grafica 2. Curvas de germinación de semilla de caoba en tres parcelas de observación, durante 58 días.

b. Supervivencia y Crecimiento.

Después de 45 días se produjeron en total de 358 plántulas (PO1: 106, PO2: 127, PO3: 125; Tabla 6), las cuales fueron medidas en el mes de septiembre del 2012. Para abril del 2016

(45 meses después de la germinación), cuando se realizó la última medición se encontró un total de 106 plántulas (suma de las tres parcelas; 30% de las plántulas al inicio del experimento). Se calculó la proporción de plántulas vivas por cada una de las tres parcelas (grafica 3). Fue notable la pérdida de plántulas en la parcela 1 (proporción 0.1), en comparación con la que se presentó en las parcelas 2 y 3 (proporción 0.4). Eso se debió a que el dueño de la misma decidió limpiar completamente el terreno dejando solamente las plántulas de apenas unos cuantos centímetros de altura, se desecaron y murió un gran número de ellas.



Grafica 3. Proporción de Supervivencia de plántulas en las tres parcelas de observación (PO1, PO2 y PO3).

Después de la germinación, se realizaron seis mediciones del diámetro y altura para calcular crecimiento y el efecto de milpa, suelo y cantidad de sombra en el mismo. La tabla 8 muestra los promedios de altura y diámetro para cada una de las fechas de medición, así como los valores máximos y mínimos. A los 45 meses en 2016 la altura mínima encontrada fue de 24 cm y la máxima 500 cm, en tanto que el diámetro 1.6 – 51.0 mm.

Tabla 7. Promedios de altura y diámetro de las plántulas de caoba durante todo el periodo de mediciones en las tres parcelas de observación. Altura expresada en cm y diámetro en

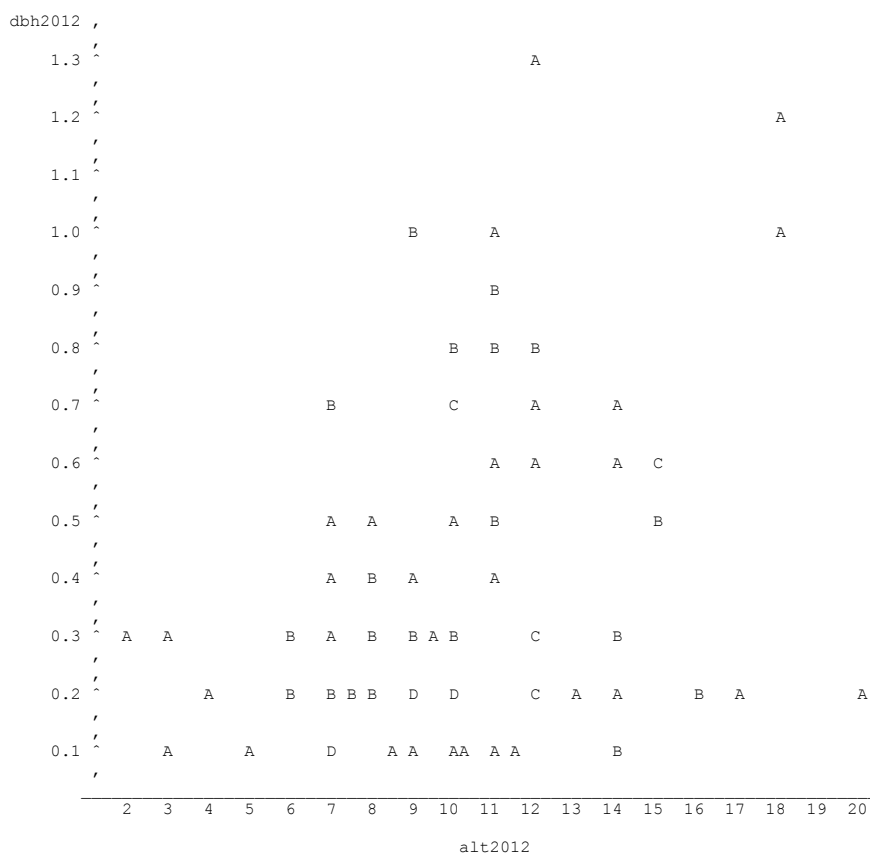
mm. DBA: diámetro a la base, después de los 23 meses se midió el diámetro altura al pecho.

<b>Variable</b>	<b>No de Obs</b>	<b>Promedio</b>	<b>Std Dev</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>DAB 2 meses</b>	358	0.42	0.31	0.1	1.8
<b>Alt 2 meses</b>	358	10.92	3.80	2	24
<b>DAB 9 meses</b>	208	1.62	1.25	0.1	15
<b>Alt 9 meses</b>	208	19.45	6.86	7	59
<b>DAB 11 meses</b>	202	1.69	0.90	0.1	5
<b>Alt 11 meses</b>	202	21.56	9.11	9	100
<b>Dbh 23 meses</b>	128	6.61	3.90	1	19
<b>Alt 23 meses</b>	128	86.91	65.40	10	290
<b>Dbh 38 meses</b>	109	9.86	5.85	1	39.2
<b>Alt 38 meses</b>	109	127.69	90.79	17	420
<b>Dbh 45 meses</b>	106	14.77	8.44	1.6	51
<b>Alt 45 meses</b>	106	156.91	106.66	18	500

Después de la primera medición, el dueño de la parcela 1 realizó un tratamiento de limpieza total de la vegetación secundaria que estaba creciendo en forma natural y que no correspondía al experimento. Esto ocasionó que la parcela se quedara solamente con el 8% de las plántulas. Por esta razón se decidió realizar los análisis utilizando solamente los datos de las parcelas 2 y 3, por lo que los resultados que a continuación se presentan corresponden solamente a dichas parcelas (Tabla 8).

Para conocer el efecto de la milpa, el color del suelo y la cantidad de sombra en el cambio en diámetro y la altura entre los dos y los nueve meses (Grafica 4) y la mortandad, se realizó un análisis de varianza. Se encontró que para el diámetro la milpa ( $P < .0001$ ), la

cantidad de sombra ( $P = 0.0003$ ) y el tipo de suelo ( $P=0.025$ ), tuvieron un efecto significativo en el crecimiento en diámetro. En tanto que para la altura solamente la milpa ( $P= 0.0007$ ) tuvo un efecto significativo. Respecto a la mortandad la milpa ( $P =0.009$ ) y la cantidad de sombra ( $<0.0001$ ) tuvieron un efecto significativo, la combinación color de suelo\*sombra no tuvieron ningún efecto significativo ( $P=0.971$ ). Para saber si existieron diferencias significativas entre los individuos que sobrevivieron y los que murieron a los dos meses se realizó una prueba de T. Respecto el diámetro ( $T = 0.06$ ) tuvo un efecto significativo en la supervivencia a diferencia de la altura ( $T = 0.12$ ) que no lo tuvo, murieron las plántulas de diámetro pequeño.



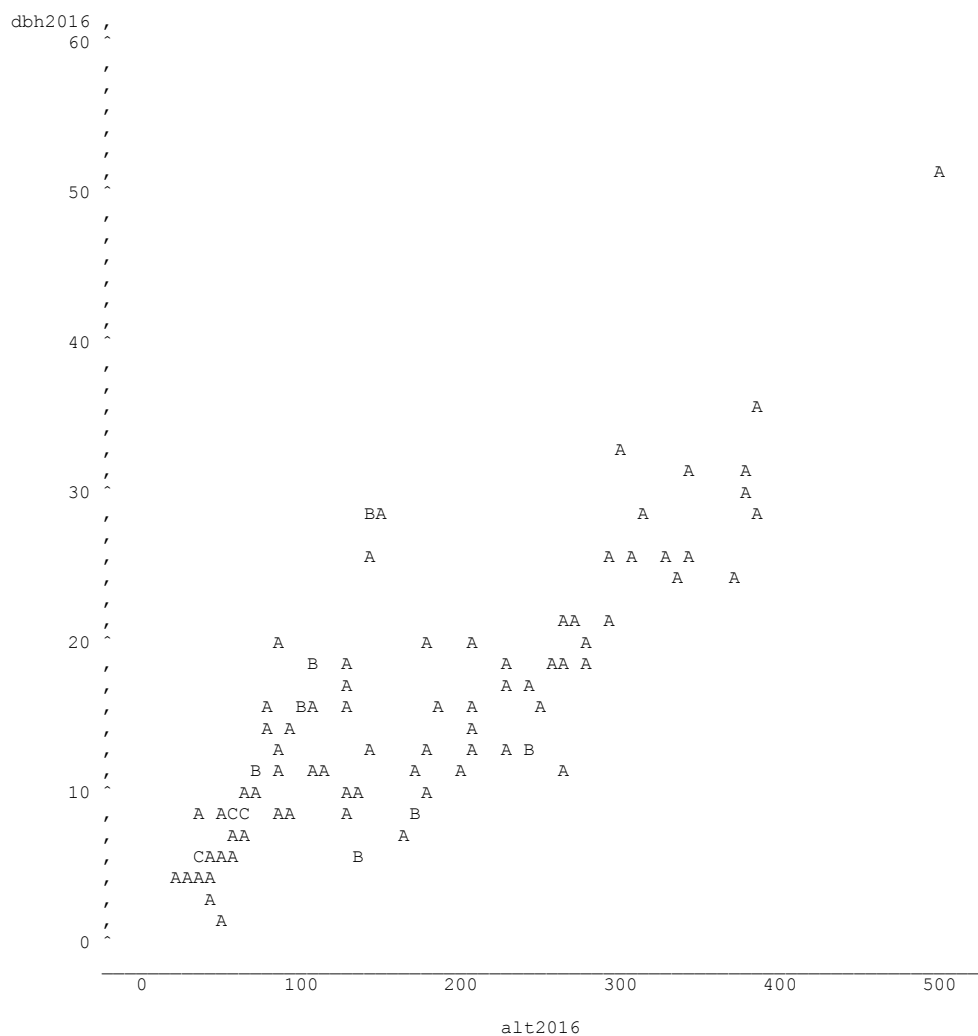
Grafica 4. Relación diámetro-altura después de germinación. A: 1 obs. B: 2 obs. C: 3 obs. D: 4 obs.

Con los datos de diámetro y altura a los 45 meses del estudio (grafica 5) se realizaron análisis de varianza para conocer el efecto de la milpa, el color del suelo, y la sombra en el



crecimiento (diámetro y altura) y la mortandad. Para la mortandad, el factor que mayor efecto tuvo fue la sombra inicial ( $P = 0.02$ ), y dentro de los tres niveles de sombra el de 0% presentó mayor número de individuos que murieron (35%). Ni el diámetro inicial ( $T = 0.96$ ) ni la altura inicial ( $T = 0.27$ ) tuvieron un efecto significativo en la mortandad.

El cambio en diámetro (crecimiento) de dos a 45 meses fue afectado significativamente por la milpa ( $P = 0.0004$ ) y muy cercano a ser significativo por el nivel de sombra ( $P=0.06$ ). En tanto que el cambio en altura fue afectado significativamente solamente por la altura a los 2



meses ( $P=0.004$ ) y la milpa ( $P= <0.0001$ ).

Grafica 5. Relación diámetro y altura a los 45 meses de edad de las plántulas.

Tabla. 8. Concentrado de Resultados de mortandad y crecimiento en diámetro y altura de 2 a 45 meses (incluyendo solamente los valores de P significativos).

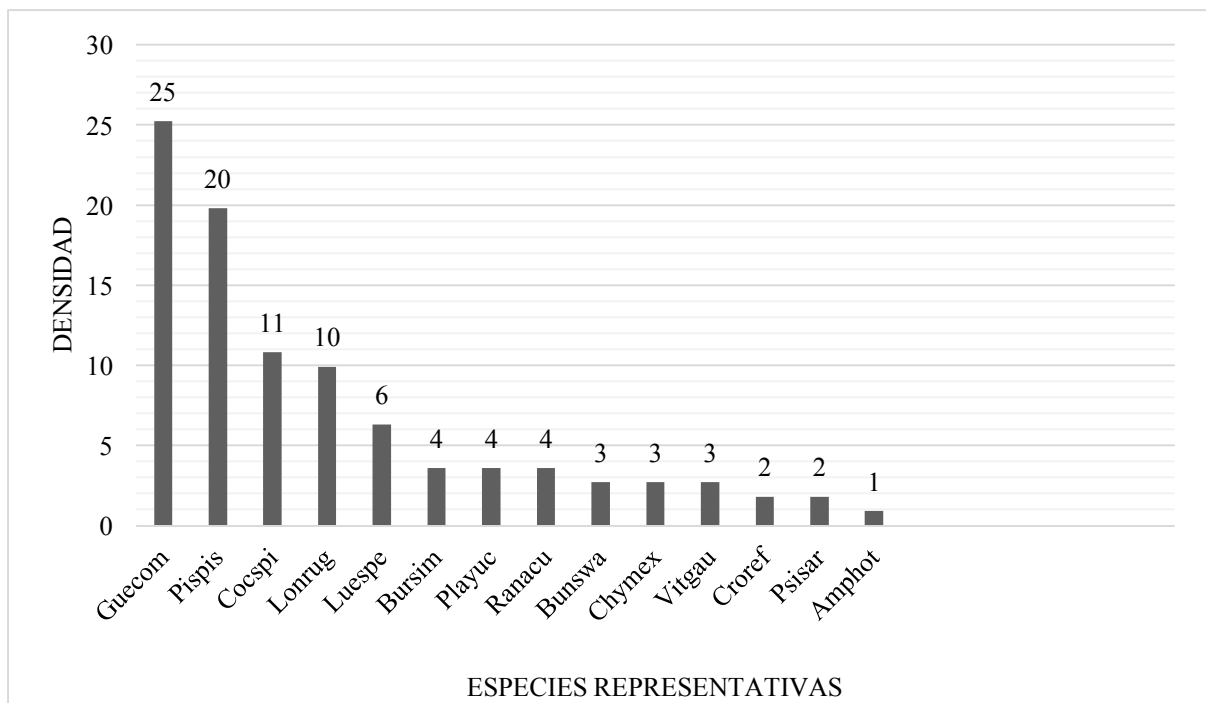
\*= proporción de individuos por cada nivel de sombra; M2= milpa 2, M3 = Milpa 3

MESES	FACTOR	MORTANDAD	CRECIMIENTO EN DIÁMETRO	CRECIMIENTO EN ALTURA
DE 2 A 9	Milpa	P = 0.009	P = <0.0001	P = 0.0007
	Cantidad de sombra	P = <0.0001 *0% = 0.45 50% = 0.1 100% = 0.1	P = 0.0003	-
	Color del suelo	-	P = 0.025	-
DE 9 A 11	Milpa	-	-	-
	Cantidad de sombra	-	-	-
	Color del suelo	-	-	-
DE 11-23	Milpa	-	P = 0.0002	P = 0.02
	Cantidad de sombra	P = 0.009 0% = 0.2 50% = 0.3 100% = 0.6	-	-
DE 23-38	Milpa	-	-	-
	Cantidad de sombra	P = 0.001 0% = 0.05 50% = 0.06 100% = 0.4	P = 0.0002	P = <0.0001
	Color del suelo	P = 0.04 RB = 0.06 VDR = 0.12	-	-
DE 38-45	Milpa	-	P = <0.0001 M2= 12.7 mm M3= 7.2 mm	P = <0.0001 M2 = 182 cm M3 = 83 cm
	Cantidad de sombra	P=0.02 0% = 0.6 50% = 0.5 100% = 0.8	-	-
	Color del suelo	-	-	-

7.2 Resultados Objetivo 2. Conocer la diversidad de árboles a nivel de plántula que se establecen durante la sucesión secundaria en las milpas terminales en donde se sembró la semilla de caoba.

Se registraron 111 plántulas pertenecientes a 19 especies (Tabla 9), de las cuales 9 tienen densidad alta como se indica en la gráfica 6. Las especies determinadas se encuentran repartidas en 13 familias (Tabla 9).

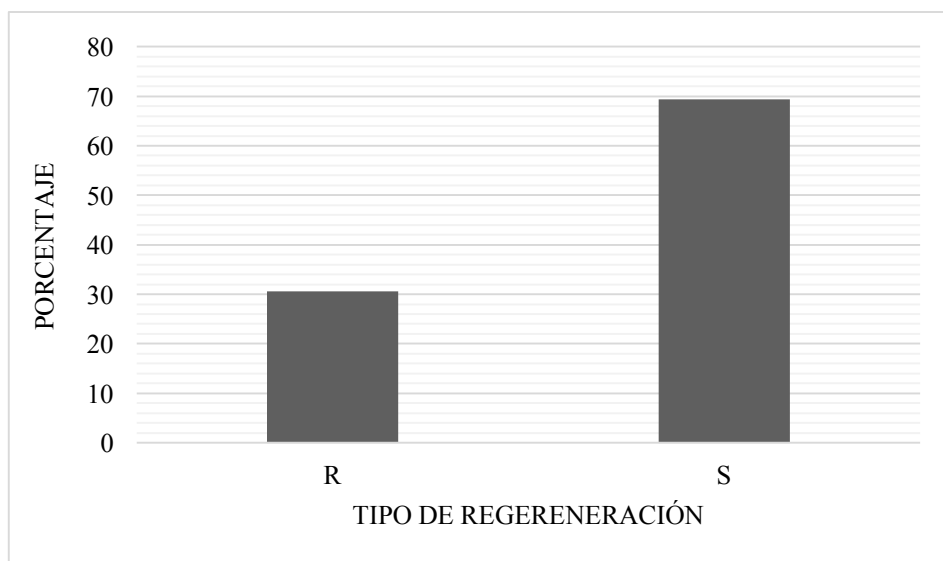
Gráfica 6. Especies con mayor densidad en las tres PO. Guecom: *Guettarda combsii*, Pispis: *Piscidia piscipula*, Cocspi: *Coccoloba spicata*, Lonrung: *Lonchocarpus rugosus*, Luespe: *Luehea speciosa*, Bursim: *Bursera simaruba*, Playuc: *Platymiscium yucatnum*, Ranacu: *Randia aculeata*, Bunswa: *Bunchasia swartziana*, Chymex: *Chysophyllum mexicanum*, Vitgau: *Vitex gaumeri*, Croref: *Croton reflexifolius*, Psisar: *Psidium*



sartorianum, Amphot: *Ampelocera hottlei*.

Es importante resaltar que una misma especie puede presentar varios mecanismos de regeneración. En este caso entre las especies con mayor presencia como *Piscidia piscipula*

presentó 21 % de plántulas regeneradas por rebrote y 15 % por semilla, seguida de *Guettarda combsii* con 17 % por semilla y 44% por rebrote (Gráfica 7).



Gráfica 7. Porcentaje por tipo de regeneración en las especies registradas para el área de estudio. R: rebrote, S: semilla.

En el área estudiada, la familia Fabaceae fue la más representada con cinco especies, las familias Malpighiaceae y Rubiaceae presentan dos especies cada una (Tabla 9). La especie con la abundancia más alta fue *Byrsonima bucidaefolia*, con 25 %, seguida de *Piscidia piscipula* con 20 % (Gráfica 6). El mecanismo de regeneración por semilla fue del 69%, y por rebrote del 31% (Gráfica 7).

Tabla 9. Relación de familias y especies encontradas en el área de estudio.

<b>Familia</b>	<b>Genero</b>	<b>Especie</b>
<b>Anacardiaceae</b>	<i>Spondias</i>	<i>Mombin</i>
<b>Araliaceae</b>	<i>Dendropanax</i>	<i>Arboreus</i>
<b>Burseraceae</b>	<i>Bursera</i>	<i>Simaruba</i>
<b>Euphorbiaceae</b>	<i>Croton</i>	<i>reflexifolius</i>
<b>Fabaceae</b>	<i>Lonchocarpus</i>	<i>Rugosus</i>
	<i>Lysiloma</i>	<i>latisiliquum</i>
	<i>Piscidia</i>	<i>Piscipula</i>
	<i>Platymiscium</i>	<i>yucatnum</i>
	<i>Swartzia</i>	<i>Cubensis</i>
<b>Malpighiaceae</b>	<i>Bunchasia</i>	<i>Swartziana</i>
	<i>Byrsonima</i>	<i>Bucidaefolia</i>
<b>Myrtaceae</b>	<i>Psidium</i>	<i>Sartorianum</i>
<b>Polygonaceae</b>	<i>Coccoloba</i>	<i>Spicata</i>
<b>Rubiaceae</b>	<i>Guettarda</i>	<i>Combsii</i>
	<i>Randia</i>	<i>Aculeata</i>
<b>Sapotaceae</b>	<i>Chysophyllum</i>	<i>mexicanum</i>
<b>Tiliaceae</b>	<i>Luehea</i>	<i>Speciosa</i>
<b>Ulmaceae</b>	<i>Ampelocera</i>	<i>Hottlei</i>
<b>Verbenaceae</b>	<i>Vitex</i>	<i>Gaumeri</i>

## 8. DISCUSION

En cualquier sistema de producción agropecuaria animal o vegetal, el reemplazo de los individuos cosechados para el mercado, es la clave para mantener el negocio en forma permanente y rentable. En el caso de la selva manejada para la producción de madera la base de la permanencia y rentabilidad es reemplazar los árboles que se cosechan, aplicando la silvicultura para crear las condiciones que permitan su establecimiento y crecimiento en el menor tiempo posible. Como el manejo forestal depende de los procesos naturales, entender los mecanismos ecológicos de regeneración de las especies aprovechadas es un conocimiento indispensable, más que en cualquiera otra actividad agropecuaria.

Las selvas de Quintana Roo albergan aproximadamente 200 especies por hectárea de las cuales aproximadamente 20 tienen alto valor comercial (Negreros-Castillo et al., 2014). Entre todas ellas la caoba es la más valiosa no solamente en Quintana Roo sino en toda América tropical y una de las más valiosas en el mundo. Su presencia puede influir en la decisión del propietario para mantener la selva o cambiar el uso para un tipo de negocio más rentable. Para las selvas que se encuentran cerca de la costa de Quintana Roo, con hermosas playas, su único destino económico es el turismo. Nadie podría refutar las ventajas económicas de este tipo de cambio de uso de suelo. Para las selvas que se encuentran alejadas de las costas las opciones pueden ser diversas dependiendo de su cercanía con carreteras, su productividad intrínseca y su riqueza en especies comerciales. Es por esto que en Quintana Roo el manejo de la selva para producción de madera es un negocio complejo con retos y muchos factores en contra incluso legales. Por lo cual la regeneración de especies comerciales ha sido el tema de innumerables investigaciones durante los últimos 20 años.

El enfoque principal de este estudio es probar un método para el reemplazo de los árboles cosechados de caoba utilizando siembra de semilla en milpas terminales. Para empezar el porcentaje de germinación obtenido fue de un promedio de 20%, arriba del 13% reportado

para Quintana Roo en condiciones naturales (Negreros-Castillo, Snook & Mize, 2005). La supervivencia fue de 30 % a los dos meses del inicio del trabajo y del 16% a los 45 meses para las parcelas 2 y 3. Para la parcela uno fue del 8% pero debido a que el dueño de la parcela en su interés por ayudar a mejorar las condiciones de crecimiento efectuó limpieza completa del terreno, dejando las plántulas de caoba expuesta a la luz total. Lo cual quedó confirmado al analizar la causa principal de mortandad entre los dos y 9 meses en la milpa 2 y 3 y que fue la milpa y más fuertemente la cantidad de sombra (0% de sombra presentó mayor número de individuos que murieron igual a 35%). Al mismo tiempo al correr de los meses las plantas que murieron fueron las que se encontraron a un nivel de 100% de sombra incluso a los 45 meses ( $P=0.020\% = 0.6$ ,  $50\% = 0.5$ ,  $100\% = 0.8$ ). Esto indica que al inicio de su desarrollo las plantas de caoba sobreviven mejor si crecen bajo un poco de sombra (Negreros-Castillo et al., 1993; Grogan, 2001; Negreros-Castillo et al., 2005). Igualmente, el diámetro inicial tuvo un efecto importante en la supervivencia durante los primeros meses de desarrollo. Esto concuerda con el estudio realizado en vivero para determinar la calidad de planta de caoba, encontrando que las plántulas con diámetro a la base mayor a 4mm tuvieron mayor supervivencia y crecimiento (Mexal et al., 2002).

Pero a partir de los 12 meses para su desarrollo posterior evidencias existen de que la caoba sobrevive y crece mejor a cielo abierto (cero sombra), Negreros-Castillo, Snook y Mize (2005) plantaron plantas de caoba bajo el dosel del bosque y obtuvieron 0% de supervivencia a los dos años, en tanto que a cielo abierto por procesos mecánicos fue del 13% y por RTQ fue del 11%. Similarmente en Noh Bec Quitanana Roo, cinco años después de plantadas se encontró que las plántulas de caoba no sobrevivieron en los carriles ni en los claros pequeños, solamente en las bacadillas (58 árboles/ha. y de 0,83 cm/año de diámetro) (Argüelles et al., 2005). Las bacadillas son espacios a cielo abierto donde se apilan las trozas para cargar los camiones que reciben iluminación total la mayor parte del día. En tanto que los carriles y claros pequeños reciben iluminación total durante un número muy reducido de horas al día. En un estudio reciente, Navarro (2015) encontró que, en una selva cercana a la región de estudio, sobrevivió el 4% de las plántulas en áreas bajo aprovechamiento forestal, ocho años después.

Respecto al crecimiento se encontró que fue la milpa el factor que afectó principalmente el crecimiento en altura y diámetro. Sin embargo en este estudio queda de manifiesto la gran variabilidad en el crecimiento de las poblaciones de caoba, ya que a los 45 meses, la altura mínima encontrada fue de 24 cm y la máxima 500 cm, en tanto que el rango del diámetro fue de 1.6 – 51.0 mm. (Rango de crecimiento en diámetro de 0.4 mm/año-12.7 mm/año).

La milpa es favorable porque proporciona las condiciones para la germinación, supervivencia y desarrollo de la caoba. Cuando se termina el ciclo de cultivo la vegetación secundaria empieza a establecerse y proporciona moderados niveles de sombra que protege a las recién germinadas semillas de caoba, a los 12 meses las caobas que se encuentren a cielo abierto tendrán el mayor potencial de crecimiento.

Conocer la diversidad de árboles que se establecen en milpas terminales, después de sembrar la semilla de caoba, es importante debido a que en el futuro se busca contar con un área forestal con árboles de caoba y otras especies que se encuentran en la selva madura y que son de importancia comercial. El presente trabajo apenas a los 12 meses ya reporta la presencia de 19 especies de árboles, en un área de muestreo de 384 m<sup>2</sup>, de las cuales cuatro son actualmente aprovechadas comercialmente (*Bursera simaruba*, *Dendropanax arboreus*, *Platymiscium yucatanum*, *Simira salvadorensis*). Zamora, García, Flores y Ortiz (2008), reporta 119 especies, en acahuals de diferentes edades, Sánchez et al. (2011), reporta 51 especies. Las especies reportadas en este trabajo, son las registradas por Argüelles, Sánchez, Caballero y Ramírez (1998), Granados, López y Trujillo (1997), Pennington y Sarukhan (2005) y Sorensen (2006), mencionan que las selvas albergan más de 100 especies de árboles, pero las más abundantes actualmente son *Manilkara zapota* y *Brosimum alicastrum*, aunque estas especies no fueron las más abundantes (*Byrsonima bucidaefolia*, *Luehea speciosa*, *Spondias mombin*) se encuentran presentes. Las especies encontradas en este estudio se están estableciendo una vez que los acahuals alcanzan cierto grado de complejidad estructural, ligada en este caso con la edad del acahual (Gómez-Pompa & Kaus, 1999). La composición encontrada representa la primera



aproximación de la composición de la regeneración de las especies arbóreas en un sistema RTQ, se espera que con el tiempo el número aumentará a uno muy cercano al de la selva que rodea la zona de estudio.

Con base a todo lo comentado anteriormente, partiendo de la hipótesis planteada al inicio del estudio, “la siembra directa de semilla de caoba en terrenos de RTQ en su último año de producción es una buena técnica silvícola de regeneración de caoba en las selvas aprovechadas comercialmente en Quintana Roo”. Los resultados indican claramente que las condiciones que genera la milpa terminal (último año de producción): un terreno limpio por un periodo de 6 meses, sin grandes árboles que den sombra, y con un proceso de sucesión secundaria son precisamente las mejores condiciones para reemplazar la caoba que se cosecha de selvas comerciales; a la vez que permiten la regeneración de otras especies con requerimientos ecológicos similares a la misma. La semilla germina y las recién plántulas producidas están protegidas de la luz directa y con el tiempo la vegetación secundaria acompaña al crecimiento de la caoba proporcionando condiciones de cielo abierto. La agricultura de roza tumba quema también ha sido identificada como la práctica más promisoría para el establecimiento de especies de importancia comercial como la nuez de Brasil (*Bertholletia excels*) (Kainer et al., 1998).

Desde otro punto de vista utilizar la milpa como técnica silvícola, es una gran ventaja, ya que es un tipo de agricultura que se ha utilizado por siglos en esta región y los campesinos, la conocen a la perfección. La única modificación es sembrar semilla de caoba en el último año del ciclo de cultivo al mismo tiempo solamente unas semanas después de sembrar el maíz como se realizó en este estudio. Durante el ciclo de vida del maíz, en la milpa realizan más frecuentemente limpieza para evitar que otras hierbas compitan con el maíz. Después de la cosecha del maíz, la milpa no se debe de tocar y dejar que la sucesión secundaria siga su curso. Cada 12 meses revisar cada plántula y liberarla de bejucos, y sombra generada por las plantas vecinas. Una vez que las caobas rebasan el dosel principal se pueden visitar cada 5 años. Estos tratamientos son de bajo costo, y requieren aproximadamente de dos jornales al año por hectárea, tarea para la que los campesinos locales están más que capacitados.

Otra ventaja de esta técnica silvícola es su fácil aplicación, menor costo que lo que requeriría, por ejemplo, establecer plantaciones puras de caobas. Además las plantaciones puras presentan el problema niveles altos de ataque de *Hypsipyla grandella* que causa mermas importantes en el crecimiento de las plántulas. En este estudio no se reportó plaga de este barrenador, la vegetación secundaria que surgió sirvió para protección a la caoba para evitar el ataque de la plaga (Sánchez-Soto, Domínguez-Domínguez & Cortés-Madrigal, 2009).

Al realizar el estudio en la milpa terminal, se pretendía diseñar una técnica silvícola, destinada a los campesinos, que fuera de fácil entendimiento y que los costos fueron casi nulos. Porque a los campesinos, son a los que les beneficia tener selva o monte, esta última como ellos la llaman, con caobas que en un futuro cosecharan, además de mantener la diversidad que surge dentro de la milpa, se reportaron especies que son utilizadas para palizada, etc. Si implementamos la aplicación de la milpa terminal como técnica silvícola, en un futuro los campesinos podrán mejorar su patrimonio al contar con selvas ricas en caoba y otras especies maderables. El manejo forestal puede entonces ser una actividad rentable que realmente asegure el futuro de las familias que se dedican al aprovechamiento forestal y la permanencia de las selvas en el estado de Quintana Roo.

## 9. CONCLUSIONES

Esta investigación pone de manifiesto que una práctica ancestral muy bien conocida y dominada por la población Maya local, tiene el potencial para usarse como técnica silvícola de regeneración de la caoba cuando se complementa con la siembra de semilla durante el último año del ciclo de tres años de producción. En forma natural la regeneración de caoba está prácticamente ausente en los bosques naturales de Quintana Roo que se encuentran bajo manejo comercial (Negreros-Castillo et al., 2013). En las selvas de Quintana Roo en una hectárea se pueden encontrar aproximadamente hasta 500 individuos con un diámetro mayor a 15 cm (Negreros-Castillo et al., 2014), de estos uno sería caoba de tamaño comercial. Si se logran 10 caobas comerciales por hectárea en un promedio de 75 años el valor del bosque se incrementaría substancialmente. La siembra directa de semilla de caoba tiene gran potencial y podría resultar más práctico y menos costoso, que la siembra de plántulas. Un kilo de semilla de caoba contiene 2000 unidades y se puede transportar con facilidad a mayor distancia que las plántulas.

Al mismo tiempo el tratamiento de RTQ contempla la sucesión secundaria en la que se establecen otras numerosas especies de la selva. Apenas a 12 meses después del inicio de la sucesión secundaria como resultado de la RTQ ya están presentes el 30% de las especies que se podrían encontrar en la selva adyacente. Todas estas especies pueden germinar y sobrevivir en el sotobosque mientras se abren claros de tamaño mediano para seguir creciendo y comúnmente se consideran como tolerantes a la sombra (Ochoa-Gaona et al., 2007; Vester & Navarro, 2007). Lo anterior es un indicador de que el sistema de RTQ ha jugado un papel clave por más de tres mil años para mantener la cobertura forestal y una gran diversidad arbórea

El manejo forestal comercial de ninguna manera se puede comprometer a mantener el cien por ciento de la composición presente al momento de su aprovechamiento, sin embargo, es la única actividad agropecuaria de la que se puede esperar, y es parte de su existencia

misma, a mantener el 100% de la cobertura forestal y un buen porcentaje de la composición arbórea. Por lo tanto, comparado con todas las otras actividades económicas que se desarrollan en la selva, la actividad forestal realmente debería gozar de un alto prestigio por parte de la sociedad y agradecer a los dueños de los bosques que deciden este tipo de manejo en lugar de cambio de uso de suelo, a pesar de ser el único negocio que tiene que cumplir con una tortuosa legislación forestal, al menos en México y que es a muy largo plazo.

De acuerdo a la hipótesis planteada al inicio de este estudio, y con base a los resultados que son contundentes, se concluye que “La siembra de semilla de caoba en milpas terminales” tiene el potencial de ser utilizada como técnica silvícola para regeneración de la caoba en bosques comerciales. La técnica genera las condiciones que necesita la semilla de caoba para germinar y para su posterior establecimiento, y crecimiento. Su costo es relativamente bajo, existe la experiencia local para su aplicación, y puede ser utilizada para la regeneración de otras especies de valor comercial en las selvas de Quintana Roo.

## 10. RECOMENDACIONES

- ✓ Promover el uso de la RTQ y siembra de semilla de caoba como técnica silvícola para su regeneración en selvas bajos manejo comercial.
- ✓ Realizar talleres y pláticas informativas a productores para interesarlos en la siembra de semilla de caoba en sus parcelas terminales de RTQ como una forma de incrementar el valor de sus terrenos.
- ✓ Aplicar los resultados de ésta y otras investigaciones sobre regeneración de la caoba en la silvicultura de las selvas de Quintana Roo.
- ✓ Promover en las dependencias que compete la utilización de la siembra de semilla de caoba como técnica silvícola para su regeneración en selvas bajos manejo comercial.
- ✓ Reconocer la importancia del manejo rentable de las selvas de Quintana Roo, para que los dueños sigan interesados en continuar con el manejo forestal a largo plazo.
- ✓ Dar seguimiento a este estudio tanto al crecimiento de las caobas como de la composición arbórea.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, G. R. (2011). *Variación de semillas y germinación de Swietenia macrophylla King de tres procedencias del estado de Tabasco, México*. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Alcocer M. I.; M. A. I. Batís; C. S. Dirzo; M. D. Gual & Vázquez-Yanes, C. (1999). Árboles mexicanos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. J084. México D. F. Pp. 264.
- Argüelles-Suárez, L.A., Sánchez Román, F., Caballero, R. A., & Ramírez, S. E., (1998). Programa de manejo forestal para el bosque tropical del ejido Noh Bec. Chetumal: *Trópica Rural Latinoamérica*.
- Argüelles S, L. A. & Del Ángel, B. (1999). Reporte técnico del proyecto raleos PRODEFOR 1999. Ejido Noh Bec, México.
- Argüelles, L. A., Synnott, T., Gutiérrez, S., & Del Ángel, B. (2005). Regeneración y silvicultura de la caoba en la Selva Maya mexicana Ejido de Noh Bec. *Recursos naturales y ambiente*, 44, 45-52.
- Barrera, A., Gómez-Pompa, A. & Vásquez-Yanes, C. (1977). El manejo de las selvas por los Mayas: sus implicaciones silvícolas y agrícolas. The Forest management by the Maya culture: the agricultural and silvicultural implications. *Biótica (México)*. 1977. 2(2), 47-61.
- Bardon, R. E., D. W. Countryman & Hall, R. B. (1995). A reassessment of using light-sensitive diazo paper for measuring integrated light in the field. *Ecology* 76: 1013-1016.
- Bawa, K. S., & Seidler, R. (1998). Natural forest management and conservation of biodiversity in tropical forests. *Conservation Biology*, 12(1), 46-55.
- Bautista F, Zinck J. A. (2010). Construction of a Yucatec Maya soil classification and comparison with the WRB framework. *J Ethnobi Ethnomed* 6:7. DOI:10.1186/1746-4269-6-7
- Bertault, J. G., Dupuy, B., & Maitre, H. F. (1995). La silvicultura para la ordenación sostenible del bosque tropical húmedo. *Unasylva*, 181(46).
- Brokaw, N. V. (1982). The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. *Biotropica*, 158-160.
- Caamal, J. A., & S. del Amo. (1986). Comparación de la dinámica de las especies arvenses en sistemas de monocultivo y policultivo. 127-136.
- Cámara-Cabrales, L. & Snook, L. K. (2005). Producción de semillas de caoba en México. Patrones de variación e implicaciones para la sostenibilidad. *Recursos Naturales y Ambiente*, 44, 60-67.

- Casas, A. (2001). Silvicultura y domesticación de plantas en Mesoamérica. *Plantas, cultura y sociedad. Estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo*, 21, 123-158.
- Cerda, I. (1994). Aportes para la formulación de políticas en el sector forestal: el caso chileno. *Taller Regional, Necesidades y Prioridades de Investigación en Políticas Forestales y Agroforestales para Latinoamérica: 19-23 de julio de 1993, San José, Costa Rica*, 175.
- Chavelas, H. M. (2004). *Biología Floral de Swietenia macrophylla King (Meliaceae)*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México. 132 p. Tesis de licenciatura.
- CITES. (2002). Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora. [http://www.cites.org/common/cop/12/appendix\\_notice](http://www.cites.org/common/cop/12/appendix_notice).
- Clements, T. (2000). *Mahogany seed predation in two forest fragments in southern Pará*. BA Thesis, Biological Sciences, University of Oxford.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2011). De la biodiversidad, T. E. M. Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país mega diverso. Pp. 250.
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C (CCMSS). (2007). *Nueva evidencia: los bosques comunitarios de México: protegen el ambiente, disminuyen la pobreza y promueven paz social*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones y Docencia Económica. Pp. 24.
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C (CCMSS). (2012). Estado de los bosques de México. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura sostenible A. C. Pp. 217
- Daniel, T. W., Helms, J. A., & Baker, F. S. (1982). *Principios de silvicultura* (Vol. 492). McGraw-Hill. Pp. 492.
- Danobeytia, f. R., Tacher, s. L., & Perales, R, H. (2007). Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en la Selva Lacandona. *Chiapas, México. Ecol. Apl.*, 6(1-2), 1-8.
- De la Tejera-Hernández, B., & García-Barrios, R. (2008). Agricultura y estrategias de formación de ingreso campesinas en comunidades indígenas forestales oaxaqueñas. *Instituciones y Desarrollo: Ensayos sobre la Complejidad del Campo Mexicano*, 65-103.
- De Fries, R., Houghton, R., Hansen, M., Field, C., Skole, D., & Townshend, J. (2002). Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99(22): 14256-14261.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., González, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, W., & Balzarini, M. (2008). *Estadística para las ciencias agropecuarias*. Editorial Brujas. Pp. 347.
- Dirzo, R. (2004). Las Selvas tropicales. Epitome de la crisis de la biodiversidad. CONABIO. *Biodiversitas* 56: 12-15

- Durán-Medina, E., Mas, J. F., & Velázquez, A. (2007). Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. *Los Bosques Comunitarios de México. INE-SEMARNAT. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, Instituto de Geografía, UNAM, Florida International University. México*, 267-299.
- Edwards, R. C. (1986). The human impact on the forest in Quintana Roo, Mexico. *Journal of Forest History* (30):120-127.
- Ellis E.A, K. A. Kainer, J. A. Sierra Huelsz y P. Negreros-Castillo, D. Rodríguez-Ward, M. Di Gianò. (2015). Endurance and adaptation of community forest management in Quintana Roo, Mexico. *Forests*: (6)4295-4327. Doi: 10.3390/f6114295. ISSN 1999-4907. [www.mdpi.com/journal/forests](http://www.mdpi.com/journal/forests)
- Estes, J. A., Terborgh, J. Brashares, J. S., Power, M. E., Berger, J., Bond, W. J., & Marquis, R. J. (2011). Trophic downgrading of planet earth. *Science*, 333 (6040), 301-306.
- Figueroa, C. J.C. (1994). An assessment of the distribution and status of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) Puerto Rico Conservation Foundation and International Institute of Tropical Forestry. 25 p.
- Finegan, B., Sabogal, C., Reiche, C. & Hutchinson, I. (1993). Los bosques húmedos tropicales de América Central: su manejo sostenible es posible y rentable. *Revista Forestal Centroamericana* 6 (20): 17-27.
- Flachsenberg, H. & Galletti, H. A. (1999). El manejo forestal de la selva en Quintana Roo, México. *La Selva Maya, Conservación y Desarrollo*. Siglo Veintiuno Editores, México, DF, 74-97.
- Ford, A. & Nigh, R. (2010) The milpa cycle and the making of the Maya forest garden. *Res Rpts Belizean Arch* 7:183.
- Francis, J. K. (2002). "Chapter 2", en J.A. Vozzo (ed.), *Tropical trees seed manual*. MacVean, AL, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Agriculture Handbook 721.
- Fredericksen, T.S. & Mostacedo, B. (2000). Regeneration of sawtimber species following selective logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management* 131: 47-55.
- Friend, D. T. C. (1961). A Simple Method of Measuring Integrated light Values in the field. *Ecology*. 42 (2):577-580.
- Galletti, H. (1999). La Selva Maya en Quintana Roo (1983-1996). Trece años de conservación y desarrollo comunal. In Primack, RB; Bray, D; Galletti, H; Ponciano, I. (Ed), *La Selva Maya, conservación y desarrollo*. p. 53-73. México, DF.
- Gis Ibérica S.L. (2003). Densímetro Forestal. Consultado 10-09-2013 en <http://www.gisiberica.com/densiometros/DENSIOMETRO.htm>
- Giardina, C.P., Sanford, R.L. Jr., Døckersmith, I.C. & Jaramillo, V.J. (2000). The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. *Plant and Soil* 220:247-260.



- Gómez, J. (1996). *Deterioro de la viabilidad de la semilla de Swietenia macrophylla King bajo distintas condiciones de almacenamiento* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría en ciencia, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México).
- Gómez, J. W. L. (2011). Regeneración natural de nueve especies maderables en un bosque intervenido de la Amazonia Boliviana. *Acta Amazonica*, 41(1), 135-142.
- Gómez-Pompa, A. (1971). Posible papel de la vegetación secundaria en la evolución de la flora tropical. *Biotropica*, 125-135.
- Gómez-Pompa, A., Vazquez-Yanes, C., & Guevara, S. (1972). The tropical rainforest: a non-renewable resource. *Science*, 177(4051), 762-765.
- Gómez-Pompa A. & Vázquez-Yanes C. (1976). Estudios sobre sucesión secundaria en los trópicos cálido-húmedos: el ciclo de vida de las especies secundarias. In Gómez-Pompa A., Vázquez-Yanes C., del Amo S. & Butanda A. (Eds.). *Regeneración de Selvas* (pp. 559-592). Continental, México, D.F.
- Gómez-Pompa A., & Kaus, A. (1999). From pre-Hispanic to future conversation alternatives: lessons from Mexico. *Proceeding Of the National Academy of sciences*, 96 (11), 5982-5986
- Granados, S. D., López, G. F. & Trujillo, E. M. (1997). Selva Maya de Quintana Roo. *Ciencia*, 48(2), 36-52.
- Grogan, J. E. (2001). Big leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in Southeast Pará, Brazil: a life history study with management guidelines for sustained production from natural forests. Ph.D. Dissertation, Yale University. 422 p.
- Grogan, J. & Barreto, P. (2005). Big-leaf mahogany on CITES Appendix II: Big Challenge, Big Opportunity. *Conservation Biology* 19: 973-976.
- Grogan, J. & J Galvão, J. (2006). Factors Limiting Post-logging Seedling Regeneration by Big-leaf Mahogany (*Swietenia macrophylla*) in Southeastern Amazonia, Brazil, and Implications for Sustainable Management. *Biotropica* 38: 219-228.
- Grogan, J., Schulze, M., & Galvao, J. (2010). Survival, growth and reproduction by big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in open clearing vs. forested conditions in Brazil. *New Forests*, 40(3), 335-347.
- Guariguata, M. R., & A Pinard, M. (1998). Ecological knowledge of regeneration from seed in neotropical forest trees: implications for natural forest management. *Forest ecology and management*, 112(1), 87-99.
- Guariguata, R.M. (2000). Seed and seedling ecology of tree species in neotropical secondary forests: management implications. *Ecological Applications* 10: 145-154.
- Gullison, R. E., Panfil, S. N., Strouse, J. J. & Hubbell, S. P. (1996). Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 122(1), 9-34
- Günter, S. (2001). Impacto de los factores ecológicos en la regeneración de la mara (*Swietenia macrophylla* King) en bosques naturales de Bolivia. *Regeneración y Silvicultura de Bosques Tropicales de Bolivia*. 99-188.
- Hawley, R. C. S., & Smith, D. (1972). *Silvicultura práctica*. Ediciones Omega, S. A. Barcelona.

- Hernández-Xolocotzi, E. (1958) La agricultura. IN Beltrán E (ed) Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. IMRNR (Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables), Mexico City, pp. 1–57
- Howard, F. H. & Merida, M. A. (2007). El taladrador de las meliáceas, *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Insecta: Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae). *University of Florida, Florida, USA*.
- Howard, F. W., Nakahara, S. & Williams, D. S. (1995). Thysanoptera as apparent pollinators of West Indies mahogany, *Swietenia mahogani* (Meliaceae). *Ann Sci For* 52:283-286.
- Hubbell, S. P., Foster, R. B., O'Brien, S. T., Harms, K. E., Condit, R., Wechsler, B. & De Lao, S. L. (1999). Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. *Science*, 283(5401), 554-557.
- Jordano, P., & Herrera, C. M. (1995). Shuffling the offspring: uncoupling and spatial discordance of multiple stages in vertebrate seed dispersal. *Ecoscience*. 2(3): 230-237.
- Kainer, K. A., Duryea, M. L., Costa de Macedo, N. & Williams, K. (1998). Brazil Nut seedling establishment and autoecology in extractive reserves of acre, Brazil. *Ecological Applications*, 8 (2), 397-410.
- Krishnapillay, B. (2000). Silvicultura y ordenación de plantaciones de teca. *Unasyuva*, 51(201), 14-21.
- Lamb, F.B. (1966). Mahogany of Tropical America. Its ecology and management. Ann Arbor. The University of Michigan Press. Michigan, E.U.A. 220 p. La Montaña, Hopelchén, Campeche. *Investigaciones geográficas*, (66), 65-80.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn, Alemania.
- López, F. D. A., García, C. O. & Ramírez, E. R. G. (2012). Germinación y crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) en condiciones de vivero. *Lacandonia*, 5(1).
- Louman, B. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central* (Vol. 46). Catie. Obtenido de <http://books.google.com.mx/books?id=e88HhetPW4QC&lpg=PA127&ots=Z1fBFLJC0g&dq=historia%20de%20la%20silvicultura%20tropical&hl=es&pg=PA2#v=onepage&q&f=true>
- Lugo, A. E. (2000). Effects and outcomes of Caribbean hurricanes in a climate change scenario. *The Science of the Total Environment* 262:243-251.
- Lunz, A. M., Thomazini, M. J. T., Moraes, M. C. B., Neves, E. J. M., Batista, T. F. C., Degenhardt, J. & Ohashi, O. S. (2010). *Hypsipyla grandella* em mogno (*Swietenia macrophylla*): situação atual e perspectivas. *Pesquisa Florestal Brasileira*, (59), 45.
- Macías-Sámamo, J. E. (2001). Interacciones químicas entre *Hypsipyla grandella* y sus plantas hospedantes. *Manejo Integrado de Plagas*, (60), 15-21.

- Magnitskiy, S. V. & Plaza, G. A. (2007). Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía colombiana*, 25(1), 96-103
- Martínez-Ramos, M. (1994). Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 54, 179-224.
- Mayhew, J. E. & Newton, A. C. (1998). *The silviculture of mahogany*. New York, CABI Publishing. 226 p.
- Mexal, J. G., Cuevas, R. R. A., Negreros-Castillo, P & Paraguirre, L. C. (2002). Nursery production practices affect survival and growth of tropical hardwoods in Quintana Roo, Mexico. *Forest Ecology and Management*. 168: 125-133.
- Miranda, F., & E. Hernández-X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-178.
- Morris, M; Negreros-Castillo, P & Mize, C. W. (2000). Sowing date, shade, and irrigation affect big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King). *Forest Ecology and Management*. 132:173–181.
- Mostacedo C, B., & Fredericksen, T. S. (1999). Regeneration status of important tropical forest tree species in Bolivia: assessment and recommendations. *Forest Ecology and Management*, 124(2), 263-273.
- Mostacedo C., B., & Frederiksen, T. S. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto Forestal BOLFOR. Bolivia. Pp. 92.
- Mostacedo, B., Balcazar, J., & Montero, J. C. (2006). Tipos de bosque, diversidad y composición florística en la Amazonia sudoeste de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41(2), 99-116.
- Moya-García, X., Caamal, A., Ku-Ku, B., Chan-Xool, E., Armendáriz, I., Flores, J. & Xool-Domínguez, J. (2003). La agricultura campesina de los mayas en Yucatán. *LEISA Revista de Agroecología*, 19, 7-17.
- Moutinho, P., Santilli, M., Schwartzman, S., & Rodrigues, F. (2008). ¿Por qué ignorar la deforestación tropical? Una propuesta de incluir la conservación de los bosques en el Protocolo de Kyoto.
- Navarro, C. (1999). Variación genética de la *Swietenia macrophylla* en Upala, Norte de Costa Rica. Recursos Genéticos Forestales No. 25, CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 1-2.
- Navarro, M. M. A., García, R. D. & González, M. M. (2012). El impacto del huracán Dean sobre la estructura y composición arbórea de un bosque manejado en Quintana roo, México. *Madera y bosques*, 18(1), 57-76.
- Negreros-Castillo. P., Rodríguez S., B. & García C. X. (1993). Regeneración natural de caoba (*Swietenia macrophylla* King) Bajo diferentes densidades de dosel. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 18(74): 25-43.
- Negreros-Castillo, P., & Hall, R. B. (1996). First-year results of partial overstory removal and direct seeding of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in Quintana Roo, Mexico. *Journal of Sustainable Forestry*, 32(2-3), 65-76

- Negreros-Castillo, P., González-Núñez, J. C. & Merino Pérez, L. (2000). Evaluación de la sustentabilidad del sistema de manejo forestal de la Organización de Ejidos Productores Forestales de la Zona Maya de Quintana Roo. *Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. Cinco Experiencias de Evaluación en el México Rural. México City: Mundi Prensa-GIRA-UNAM*, 83-141.
- Negreros-Castillo, P.; L. K. Snook & C. W. Mize. (2003). Regenerating mahogany (*Swietenia macrophylla* King) from seed in Quintana Roo, Mexico: the effects of sowing method and clearing treatment. *Forest Ecology and Management*. 183:351-362.
- Negreros-Castillo, P., Snook, L. K. & Mize, C. W. (2005). Regeneración de caoba a partir de siembra directa en aperturas creadas en un bosque natural en México. *Recursos Naturales y Ambiente* no. 11:84 90 marzo. CATIE.
- Negreros-Castillo, P. & Mize, C. W. (2008). Regeneration of mahogany and Spanish cedar in gaps created by railroad tie extraction in Quintana Roo, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255(2), 308-312.
- Negreros-Castillo, P. & Mize C. W. (2010). Comunicación personal. Como afecta la sombra en las plántulas de caoba
- Negreros-Castillo, P. & Mize C. W. (2013). Soil-site preferences for mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Yucatan Peninsula. *New Forest*. DOI: 10.1007/s11056-011-9303-7. On line first.
- Negreros-Castillo, P., L. Cámara-Cabrales, M.S. Devall, M.A. Fajvan, M.A. Mendoza Briseño, C. W. Mize & A. Navarro-Martínez. (2014). Silviculture guide for the mahogany forests of Quintana Roo, Mexico. North American Forestry Commission. USFS-FAO
- Newton, A.C., Baker, P, Ramnarine, S., Mesén, J. F. & Leakey R. R. B. (1993). The mahogany shoot borer: prospects for control. *Forest Ecology and Management* 57: 301-328
- Nolasco, M., A., Carreón Mundo, M., Hernández Hernández, C., Ibarra, E., & Snook, L. (2005). El manejo de la caoba en Quintana Roo, México: Legislación, responsabilidades y apoyo gubernamental. *Recursos Naturales y Ambiente*, 44, 19-26.
- Nyland, R. D. (2002). Silviculture: Concepts and Applications. Waveland Press Inc., Illinois. 682p.
- Ochoa-Gaona, S., Hernández-Vázquez, F., De Jong, B. H., & Gurri-García, F. D. (2007). Selva Lacandona, Chiapas, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 81: 65-80.
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). *Situación de los bosques del mundo 2009*. Roma (Italia).
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). *Evaluación de los recursos forestales 2010. Resultados principales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, Roma.

- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). Situación de los bosques del mundo 2011. Roma. [www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s00.htm](http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s00.htm).
- Paine, C. T., & Beck, H. (2007). Seed predation by neotropical rain forest mammals increases diversity in seedling recruitment. *Ecology*, 88(12), 3076-3087.
- Paine, C. T., & Harms, K. E. (2009). Quantifying the effects of seed arrival and environmental conditions on tropical seedling community structure. *Oecologia*, 160(1), 139-150.
- Patiño, V. F. (2002). Los recursos genéticos de *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata* en los Neotrópicos: prioridades para una acción coordinada. Recursos genéticos forestales n. 25. 35 p.
- Pimentel, L. A.; Pimentel, L. O.; Magnusson, W. E.; Higuchi, N.; Reis, F. Q. (2002). Regeneration of five commercially-valuable tree species after experimental logging in an amazonian forest. *Revista Árvore*, 26(5): 567-571.
- Pennington, T. D., & Sarukhan, J. (2005). *Arboles Tropicales de México. Manual Para Identificación de Las Principales Especies*. UNAM.
- Pennington, T. D., & Styles, B. T. (1975). A generic monograph of the Meliaceae. *Blumea*, 22, 419-540.
- Pennington, T. D.; Styles, B. T. & Tayler, D. A. H. (1981). Meliaceae: Flora Neotropica. The New York Botanical Garden. 472 p.
- Proselva Tropical de Quintana Roo S.C. (PROSELVAQROO). (2008). Informe final "Ordenamiento territorial comunitario del Ejido de Betania". México. Pp. 27.
- Quinto, L., Martínez-Hernández, P. A., Pimentel-Bribiesca, L., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2009). Alternativas para mejorar la germinación de semillas de tres árboles tropicales. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 15 (1), 23-28.
- Rice, R., Sugil C., Frumhoff, P.C., Losos, E. & Gullison, R. (2001). Options for conserving biodiversity in the context of logging in tropical forests. In: Footprints in the Jungle: Natural Resource Industries, Infrastructure and Biodiversity Conservation, (Ed.) I. A. Bowles and G.T. Prickett, 168-179. Oxford: Oxford University Press.
- Rodríguez, P. A. A. & Barrio, C. J. M. (1979). Desarrollo de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en diferentes tipos de suelos. *Ciencia Forestal*. 4(22): 45-64.
- Rodríguez-Santiago, B., Chavelas-Polito, J. & García-Cuevas, X. (1994). Dispersión de semillas y establecimiento de caoba (*Swietenia macrophylla* King) después de un tratamiento mecánico del sitio. In Snook, LK; Barrera de Jorgenson, A. eds. Madera, chicle, caza y milpa; contribuciones al manejo integral de las selvas de Quintana Roo, México. México, PROAFAT, INIFAP, USAID, WWF-US. p. 81-90.
- Sabogal, C., Pokorny, W., & B Louman, B. (2008). Manejo forestal comunitario en América Latina: experiencias, lecciones aprendidas y retos para el futuro. CIFOR
- Salas, E. J. (1993). Árboles de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENAT). Managua. Nicaragua. 390.

- Sánchez-Pérez, B. R., Castillo-Acosta, O., & del Carmen Cámara-Cabrales, L. (2011). Regeneración natural de la selva alta perennifolia en el parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco, México. *Polibotánica*, (32): 63-88.
- Sánchez-Soto, S., Domínguez-Domínguez, M., & Cortés-Madriral, H. (2009). Efecto de la sombra en plantas de caoba sobre la incidencia de *Hypsipyla grandella* Zeller y otros insectos, en Tabasco, México. *Universidad y ciencia*, 25(3), 225-232.
- Schnitzer, S. A., & Carson, W. P. (2001). Treefall gaps and the maintenance of species diversity in a tropical forest. *Ecology*, 82(4), 913-919.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2003), Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Tlalpan, México D.F. Consultado 1 -03-2013. En línea: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia\\_mce/html/](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/)
- Smith D. M., Larson BC, Kelty MJ, & Ashton P. M. S. (1997). *The Practice of Silviculture: Applied Ecology, Ninth Edition*. John Wiley & Sons.
- Snook, L. K. (1993) Stand dynamics of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and associated species after fire and hurricane in the tropical forests of the Yucatan Peninsula Mexico. Dissertation, Yale University.
- Snook, L. K. (2000). Regeneración y crecimiento de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en las selvas naturales de Quintana Roo, México. *Ciencia Forestal en México*, 25(87), 59-76.
- Snook, L. K., & López, C. (2003). La regeneración de la caoba (*Swietenia macrophylla* King): Frutos de siete años de investigación colaborativa. *Chetumal, Quintana Roo, México, Centro Internacional para la Investigación Forestal*.
- Snook, L. & Negreros-Castillo, P. (2004). Regenerating Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) on Clearings in Mexico's Maya Forest: The Effects of Clearing Method and Cleaning on Seedling Survival and Growth. *Forest Ecology and Management* 189: 143-160.
- Snook, L. K., Negreros-Castillo, P. & O'Connor, J. (2005). Supervivencia y crecimiento de plántulas de caoba en aperturas creadas en la Selva Maya de Belice y México. *Recursos Naturales y Ambiente*, (44), 91-99.
- Soil Survey Staff. (1993). Soil Survey Manual. USDA, Soil Conservation service, Agricultural Handbook No. 18, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D. C.
- Sorensen, N. (2006) Regeneration and growth of several canopy tree species in the Maya forest of Quintana Roo, Mexico: The role of competition and microhabitat conditions. Dissertation, Oregon State University
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc). (1994). SAS/STAT User's Guide, Version 9.3, Fourth edition, Volume 1, SASA Institute Inc. Cary, NC. USA. 943 p.
- Synnott, T. J. (2009). *La caoba en la Península de Yucatán. Ecología y regeneración*. Colección CONABIO.
- Styles, B. T. (1972). The flower biology of Meliaceae and its bearing on tree breeding. *Silvae Genetica*. 21 (5): 175-182.

- Styles, B. T. & Khosla, P. K. (1976). Cytology and reproductive biology of Meliaceae. *In* Burley, J; Styles, BT. eds. Tropical trees: variation, breeding and conservation. Linnean Society Symposium Series 2. p. 61-68.
- Terán, S. & Rasmussen, C. H. (1994). La milpa de los mayas. Ediciones de la Universidad de Yucatán. Mérida Yucatán, México. Pp. 265.
- Toledo, V. M., & Ordóñez, M. J. (1993). The biodiversity scenario of Mexico: A review of terrestrial habitats. *In*: Ramammorthy C., T. P. Bye., A. Lot., J. Fa (eds). *In The Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. Oxford University Press. New York, Oxford. pp. 757-777.
- Toledo, V. M., Batis, A. I., Becerra, R., Martinez, E., & Ramos, C. H. (1995). La selva útil: etnobotánica cuantitativa de los grupos indígenas del trópico húmedo de México. *Interciencia*, 20(4), 177-187.
- Toledo-Sotillo, M., & Snook, L. K. (2005). Efectos de la dispersión de semillas y tratamientos silviculturales en la regeneración natural de caoba en Belice. *Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)*. (44), 68-75.
- Torres, A. P., & López, R. G. (2010). Medición de luz diaria integrada en invernaderos. Departamento de Horticultura y Arquitectura de Áreas Verdes, Purdue University, U.S.A.
- Valdés Rodríguez, O. A., & Negreros-Castillo, P. (2010) El manejo forestal comunitario en México
- Vázquez-Yanes, C., & Orozco-Segovia, A. (1993). Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. *Annual Review of ecology and Systematics*, 69-87.
- Veenendaal, E. M., Swaine, M. D., Lecha, R. T., Walsh, M. F., Abebrese, I. K., & Owusu-Afriyie, K. (1996). Responses of West African forest tree seedlings to irradiance and soil fertility. *Functional Ecology*, 501-511.
- Verwer, C., Peña-Claros, M., Van Der Staak, D., Ohlson-Kiehn, K., & Sterck, F. J. (2008). Silviculture enhances the recovery of overexploited mahogany *Swietenia macrophylla*. *Journal of Applied Ecology*, 45(6), 1770-1779.
- Vester, H. F.M. & Olmsted, I. (2000). Efecto de los huracanes en la selva. *In*: Vester H. F.M. (coord.). Influencia de los huracanes en el paisaje de Yucatán. Consideraciones para el diseño de corredores y su manejo. Informe de proyecto. México. 216 p.
- Vester, H., & Navarro, N. M. (2007). *Árboles maderables de Quintana Roo*. Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología. CONACYT
- Wadsworth, F. H. (1997). Aspectos críticos para la práctica silvicultural en los bosques naturales de América tropical. Experiencias prácticas y prioridades de investigación en silvicultura de bosques naturales en América tropical. (1996, Pucallpa, Perú). Actas.
- Wadsworth, F. H. (2000). *Producción forestal para América tropical*. Departamento de Agricultura de los EE. UU., Servicio Forestal.

- Whitmore, J. L. & Hinojosa, F. C. (1977). The Cuyabeno Wildlife Production Reserve: Human Needs and Natural Resource Conservation in the Ecuadorian Amazon. In Conservation of Neotropical Forests: Working from Traditional Resource Use. K. Redford and C. Padoch, eds. New York: Columbia University Press. pp. 273-290.
- Whitmore, T. C. (1989). Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology*, 70(3), 536-538.
- Williams-Linera, G. (2003). Temporal and spatial phenological variation of understory shrubs in a tropical montane cloud forest. *Biotropica* 35: 28-36.
- Zamora Crescencio, P., García Gil, G., Flores Guido, J. S., & Ortiz, J. J. (2008). Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia en el sur del estado de Yucatán, México. *Polibotánica*, (26), 39-66.
- Zúñiga, F. B., & Palacio, A. G. (2005). *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. Instituto Nacional de Ecología.