



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO



---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA  
LANCIS, INSTITUTO DE ECOLOGÍA

**MANEJO SOSTENIBLE DE UNA SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA EN  
QUINTANA ROO: ESTIMACIÓN DE LOS VOLÚMENES MADERABLES DE  
ESPECIES COMERCIALES**

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**BIOLOGO**

PRESENTA:  
**DAVID ABRAHAM PÉREZ MARTÍNEZ**

DIRECTORA DE TESIS:  
**DR. JULIETA ALEJANDRA ROSELL GARCÍA**

LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA,  
EDO. DE MÉXICO.

2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

A la UNAM y a los que hicieron posible mi educación universitaria.

Agradezco al comité revisor de esta tesis las sugerencias y comentarios que han llevado a mejorar sustancialmente este manuscrito. A Julieta Rosell por su tolerancia y pasión por enseñar.

Esta investigación fue realizada gracias al Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IA201415 "Ecología funcional de la corteza", al proyecto CONACYT 237061 "Ecología y evolución de la corteza: un enfoque comparativo para aportar a problemáticas ambientales", al Programa Man and the Biosphere de la UNESCO a través del premio Young Scientist Award a mi asesora.

Agradezco al Ejido Felipe Carrillo en Quintana Roo la autorización para llevar a cabo este proyecto y su colaboración a lo largo del mismo. De igual manera, agradezco al Ing. José Arreola, asesor forestal del ejido, por su acompañamiento a lo largo del proyecto, tanto durante el trabajo de campo como durante el trabajo de gabinete, y por su constante disposición para proporcionarnos datos y todo tipo de información; a la M. en C. Marcela Olgún por fungir de enlace y por compartir con nosotros datos y apoyar a lo largo del desarrollo del trabajo; al Presidente Ejidal Elías Be-Cituk y al Comisario Julián Koyoc Pacab por prestar todo su apoyo logístico y de campo y permitirnos el acceso a datos de la empresa forestal, a Milton Montalvo Hau por su ayuda durante el trabajo de campo y por compartir con nosotros su conocimiento de la selva, y a la cuadrilla de ejidatarios con quienes compartimos muchos días en su selva.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

Al que motivo e incremento mis ganas por investigar, al que altero mis neuronas para que se pudieran unir y crear más sinapsis, al que detuvo la precariedad de mi pensamiento para seguir evolucionando, el que cargo mi mochila cuando más pesaba, el científico y filósofo por excelencia; omnisciente omnipotente y omnipresente... Dios.

A la gente que creyó en mí y en un momento dado me tendió la mano, a ese nido de alacranes, al eterno viacrucis, aquellos gigantes que me permitieron subir a su hombro, a las grandes zanjas en las que caí y los molinos contra los que luche. A las nubes, mi guitarra, mi flamenco.

# INDICE

	Página
<b>ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS UTILIZADOS</b>	4
<b>RESUMEN</b>	5
<b>ABSTRACT</b>	6
<b>INTRODUCCIÓN</b>	7
<b>MARCO TEÓRICO</b>	10
<b>OBJETIVOS</b>	24
<b>HIPÓTESIS</b>	25
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	25
<b>RESULTADOS</b>	35
<b>DISCUSIÓN</b>	40
<b>CONCLUSIONES</b>	48
<b>REFERENCIAS</b>	49

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS UTILIZADOS

<b>Abreviatura</b>	<b>Descripción</b>
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
USD	Dólar de Estados Unidos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
PPF	Plan Piloto Forestal
PMF	Plan de Manejo Forestal
L	Largo del árbol
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho
VT	Volumen Total
VM	Volumen de madera
VC	Volumen de Corteza
F	Constante por especie para calcular el PVC
PVC	Porcentaje de Volumen de Corteza
ITTO	The International Tropical Timber Organization
AFP	Área Forestal Permanente
MN	Moneda Nacional

## RESUMEN

A pesar de la gran actividad de aprovechamiento forestal que se realiza en los bosques tropicales de Quintana Roo, las ecuaciones para calcular el volumen de madera en las especies de este ecosistema son muy generales. Además, estas ecuaciones fueron generadas hace más de 30 años cuando los individuos eran de mayor talla. Esto se ha traducido en poca precisión al calcular los volúmenes de madera en especies con muy diferentes proporciones de madera y corteza, y con individuos que han reducido su talla respecto de aquellos aprovechados hace tres décadas. En este estudio, generamos ecuaciones para mejorar estas estimaciones en seis especies comerciales de la selva mediana subperennifolia del Ejido Felipe Carrillo Puerto en Quintana Roo. Estas especies fueron *Swietenia macrophylla*, *Swartzia cubensis*, *Metopium brownei*, *Manilkara zapota*, *Lysiloma latisiliquum* y *Cordia dodecandra*. Para cada especie se midieron 20 individuos a los que se les midió el diámetro a lo largo del tronco a 0, 0.30, 0.60, 0.90, 1.30 m (diámetro a la altura del pecho, DAP) del suelo y posteriormente a cada metro después del DAP. Se midieron entre 2 y 3 grosores de corteza en cada uno de estos segmentos, Con estos datos se calculó el volumen total, el de madera, y el de corteza en cada troza. Con base en estos datos se estimó el porcentaje de volumen por especie a través de modelos no lineales. También se implementaron regresiones para generar ecuaciones por especie que relacionaran estos volúmenes con otras características del árbol, como el DAP. En los resultados se encontraron porcentajes de madera y corteza significativamente diferentes entre sí. Los porcentajes de volumen de corteza generados difirieron considerablemente de los que han sido utilizados por la comunidad forestal en los últimos años. Para la madera comercializada en el 2016 hay diferencias importantes en los volúmenes calculados con las ecuaciones previas y con las ecuaciones derivadas de este trabajo que se traducen en aspectos importantes para el manejo del recurso. La metodología implementada en esta investigación es ampliamente recomendada para cualquier trabajo que quiera estimar el porcentaje de volumen de corteza en especies del trópico. Dada la importancia comercial de estas especies en la selva mediana subperennifolia de Quintana Roo y del sur de México, estas ecuaciones pueden ser usadas por otras comunidades que exploten las mismas especies. Generar ecuaciones precisas para los volúmenes aprovechados es importante tanto desde el punto de vista

económico, como desde el punto de vista social y ecológico pues permiten un manejo más adecuado de los sistemas forestales de México.

## **ABSTRACT**

In spite of the importance of forest logging that is carried out in the tropical forests of Quintana Roo, the equations to calculate wood volume in the species of this ecosystem are very general. In addition, these equations were generated more than 30 years ago, when individuals were of larger sizes. This has resulted in little precision in calculating the volumes of wood in species with very different proportions of wood and bark, and individuals that have reduced their size compared to those that were used three decades ago. In this study, we generated equations to improve the estimates of wood volume in six commercial species of the tropical rainforest of the ejido (communal land) of Felipe Carrillo Puerto in Quintana Roo. These species included *Swietenia macrophylla*, *Swartzia cubensis*, *Metopium brownei*, *Manilkara zapota*, *Lysiloma latisiliquum* and *Cordia dodecandra*. For each species, 20 individuals were measured and the diameter along the trunk was measured at 0, 0.30, 0.60, 0.90, 1.30 m (diameter at breast height, DAP) from the base, and each meter after that. We measured between 2 and 3 bark thicknesses in each of these segments to calculate total volume, wood volume, and bark volume in each trunk. We used these data to fit non linear models to estimate bark percent volume per species. Regressions were also fit to examine how these volumes were associated other characteristics of the tree, such as DAP. Results showed contrasting percentages of wood and bark across species. Estimated bark percent volume values differed considerably from those that have been used by the forest enterprise in recent years. We observed important differences between the volume of traded wood in 2016 calculated based on the new and old values of percent bark volumes. These differences can have a significant impact on forest management. As for regressions, there were no differences between percent bark volume and DAP. The methodology implemented in this study can be widely recommended for other studies aiming to estimate bark volumes in tropical species. Given the commercial importance of these species in the tropical rainforests of Quintana Roo and Southern Mexico, these equations and this methodology can be used by other communities

with forest enterprises commercializing the same species. Precise estimates of wood volumes are important from an economic point of view, as well as from a social and ecological perspective, given their impact on the management of Mexican forests.

## **INTRODUCCIÓN**

Cada vez es más claro que el manejo sostenible de los recursos naturales es indispensable para alcanzar un desarrollo social y económico en equilibrio con el ambiente (FAO, 2016a). Diversos organismos internacionales recalcan la importancia de incorporar los principios de desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales para un uso racional de los recursos, que a la vez permita crecimiento económico (Banco Mundial *et al.*, 2009). En este sentido, México se ha comprometido con un desarrollo sustentable que permita por un lado la conservación de los bienes naturales de un país megabiódico, y por otro lado el crecimiento económico de un país en vías de desarrollo (Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018). En el contexto de las actuales problemáticas nacionales, los recursos forestales tienen un papel central para el desarrollo sostenible debido a su naturaleza renovable.

Los bosques representan una fuente de ingreso económico muy importante a nivel mundial. La FAO hace mención que la producción de madera y su industria transformadora representan 0.9% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial (600 mil millones de USD) y emplea a 0.4% de la mano de obra global. Es importante mencionar que en algunos países el sector forestal puede llegar a representar casi el 20% del PIB (FAO, 2016b). Por otro lado, desde la perspectiva humana, los árboles procuran refugio, trabajo, utilidades, seguridad y forman parte de un gran dispensario para la cura de enfermedades, formando nichos amplios entre las comunidades aledañas al recurso (Deweese, 2013).

Además de su importancia económica, los sistemas forestales juegan un papel fundamental en nuestra lucha contra el cambio climático. Los bosques mitigan la contaminación generada por la quema de hidrocarburos y por el aumento excesivo de los GEI, contribuyendo a mantener el equilibrio en los niveles de oxígeno, dióxido de carbono y humedad en la atmósfera. (Norris, 1948). También protegen las

cuencas hidrográficas, de las que proviene el 75% de agua dulce mundial, detienen la erosión de los suelos y regulan la temperatura ambiental (Franquis y Infante, 2003). En los bosques se encuentra el 80% de la diversidad existente en la superficie del planeta, sólo por debajo de los arrecifes coralinos que son los ecosistemas más biodiversos del mundo (Lara-Lara et al. 2008). A nivel mundial, 1.6 millones de personas dependen directamente de la masa forestal, adquiriendo el recurso gran importancia económica y social (PNUMA, 2011).

A pesar de ser un recurso importante, los bosques se pierden a tasas aceleradas. Según la FAO (2005), la pérdida anual de cobertura forestal en México entre los años 1990-2000 fue del 0.5%, aunque bajó a 0.4% para el periodo 2000-2005. Kaimowitz (2008) argumenta que la caída en las tasas de deforestación en México y en Latinoamérica, se debe a una serie de causas entre las que destacan que la mayor parte de los bosques que quedan están en lugares poco aptos para la agricultura, con pendientes pronunciadas, suelos pobres o exceso de lluvias. Otros factores que pueden justificar la baja en la deforestación son la migración de las zonas rurales, que influye directamente en la productividad agropecuaria, disminuyendo así la tala. Además, López (2012) menciona que otra de las causas de la disminución de la tala son los esfuerzos del gobierno por aumentar la reforestación, la conservación y el manejo forestal. Sin embargo, en México estos esfuerzos y resultados no son homogéneos en todas las áreas forestales.

En nuestro país se presenta un caso doble en relación a los bosques: por un lado un alto grado de deforestación como ya se mencionó, y por otro, un buen manejo de los recursos forestales que realizan muchas de las comunidades forestales. La tasa de deforestación en México es una de las más importantes por su magnitud en el planeta. Según el Instituto de Geografía de la UNAM, cada año perdemos entre 500 mil y 2 millones de hectáreas de bosques (Mas *et al.*, 1996; Lund *et al.*, 2002; ONU-REDD, 2010). De hecho, según la CONAFOR con base en la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, México ocupa el lugar número 12 entre las naciones con mayores índices de pérdida de bosques (FAO, 2005b). Esta problemática genera una gran pérdida de diversidad en flora y fauna, generando una alta tasa de extinción, e impidiendo la renovación natural de los sistemas forestales (Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez, 2010). Sin embargo, comunidades

que han subsistido a partir de estos recursos forestales, han aprendido a aprovechar este recurso sin destruirlo (Valdés y Negreros-Castillo, 2010).

El manejo forestal comunitario ha alcanzado una inusual madurez en México (Barton *et al.*, 2007). Dicho manejo se enfoca en el uso sostenible de los ambientes forestales en buen estado, y en la recuperación de tierras forestales degradadas (Edmunds y Wollenberg, 2013). Durante los últimos 30 años, en las comunidades mexicanas se ha llevado a cabo la producción comercial de madera en bosques de propiedad comunitaria, un logro que tiene principios y raíces en el siglo pasado. De hecho, este manejo suele citarse como modelo de buen manejo a nivel mundial por su impacto en el uso y la conservación de especies arbóreas (Mather, 1990). A pesar de estos logros, el sector forestal comunitario mexicano tiene poca influencia a nivel mundial y a su vez es poco reconocido dentro de la misma nación (Klooster, 2000). Esta situación la ejemplifica el Ejido Felipe Carrillo Puerto que forma parte de los seis ejidos forestales en Quintana Roo (Wilshusen, 2003).

El Ejido Carrillo Puerto realiza diversos esfuerzos encaminados a alcanzar un manejo sostenible de su bosque. Esta zona, ubicada en el estado de Quintana Roo, cuenta con un 80% de selva mediana subperennifolia (Arreola y Be-Cituk, 2011). La alta diversidad de flora y fauna en la zona ha representado una fuente de recursos desde tiempos milenarios y ha estado asociada a la megadiversidad cultural de la zona. Esta comunidad cuenta con un Programa de Manejo Forestal en el que se aprovecha una superficie de 20,000 ha. En el área se tienen registradas 105 especies madereras, de las cuales se aprovechan un poco más del 30%. El aprovechamiento de esta riqueza natural con gran potencial ha experimentado varios obstáculos recientes que han disminuido el incentivo para la explotación forestal (Arreola y Be-Cituk, 2011). Investigaciones enfocadas a reducir estos obstáculos son indispensables para incentivar el uso sostenible de estos recursos.

Los volúmenes de la madera comercializada en el ejido se estiman utilizando ecuaciones de cubicación muy generales. Estas estimaciones se basan en ecuaciones del Plan Piloto Forestal, un programa de los años 80's (Daltabuit *et al.*, 2005). Las ecuaciones para volúmenes de madera son muy gruesas y no son específicas para todas las especies que se explotan localmente. Numerosos

estudios previos han mostrado que los volúmenes de madera en una troza dependen de la especie, la edad del árbol, el tamaño, entre otras características (Husch *et al.*, 1982; Fowler, 1991; Fowler y Hussain, 1997; Husch *et al.*, 2002; Wehenkel *et al.*, 2012). Esto se traduce potencialmente en una estimación poco precisa de la madera comercializada, y por lo tanto en un pago diferente al recurso verdaderamente extraído (Orozco-Vílchez y Quirós, 2006).

Este proyecto busca generar las ecuaciones de volumen de madera para las principales especies comerciales del Ejido Carillo Puerto en el contexto de su Plan de Manejo Forestal. Se busca así una estimación más precisa de los recursos comercializados con el objetivo último de que la actividad forestal adquiera una mayor importancia en cuanto al ingreso y se incentive la conservación de los recursos forestales de la zona.

## **MARCO TEÓRICO**

### **Importancia de los bosques para el desarrollo sostenible**

El planeta es una biosfera compleja que cuenta con una gran variedad de ecosistemas y recursos. Entre estos ecosistemas, los bosques cubren una tercera parte de la superficie de la Tierra, teniendo así un rol muy importante en el planeta (Missouri Botanical Garden, 2016). Como ecosistemas complejos los bosques albergan un alto valor de la biodiversidad, son uno de los depósitos más importantes de diversidad biológica terrestre. En general, los bosques tropicales y templados ofrecen hábitats muy diversos para plantas, animales y microorganismos, que en ellos residen (FAO, 2016c).

Los bosques, además de ser nichos ecológicos por excelencia, ofrecen una gama muy amplia de servicios ambientales, por ejemplo, la protección de las cuencas hidrológicas, la captura de carbono y proveen hábitat para la biodiversidad (Bonan, 2008; CONAFOR, 2015). En este sentido, en la mitigación del cambio climático, los

bosques juegan un papel fundamental (Canadell y Raupach, 2008). Los bosques contrarrestan la contaminación generada por la quema de hidrocarburos y por el aumento excesivo de los GEI, contribuyendo a mantener el equilibrio en los niveles de dióxido de carbono, el gas con mayor influencia en el calentamiento global (Figura 1; FAO, 2013). También detienen la erosión de los suelos y regulan la temperatura ambiental (Freer-Smith *et al.*, 2007). De la masa forestal se obtienen recursos cruciales como la madera, las fibras, las plantas comestibles y medicinales, el papel, textiles y los animales de caza. Los árboles, además de ser los filtros biológicos con mayor cobertura en el mundo, ofrecen refugio, trabajo, utilidades y seguridad (Mohamed-Katerere y Smith, 2013; Vira *et al.*, 2015). Datos impactantes de la FAO (2014a) indican que la quema de biomasa como la madera y el carbón vegetal para uso doméstico e industrial es utilizado por unos 840 millones de personas, es decir, más del 12 % de la población mundial.

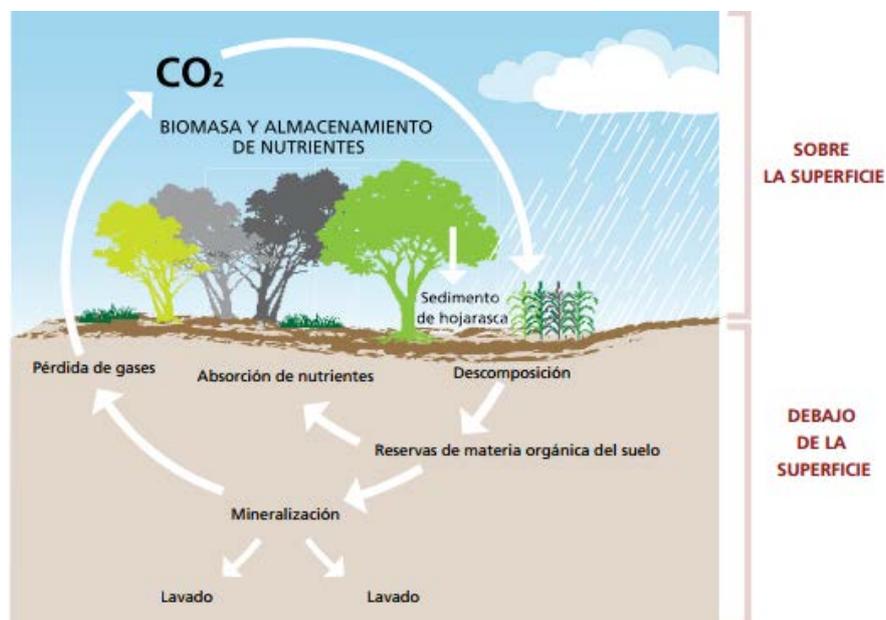


Figura 1. Los bosques y el ciclo del carbono (Tomado de FAO, 2007)

La FAO (2014a) menciona que la economía forestal de manera formal emplea a unos 13.2 millones de habitantes en el mundo. Por su parte, el sector informal emplea por lo menos otros 41 millones de personas. Cabe destacar que estos datos son aproximados, ya que el empleo informal en actividades forestales no suele registrarse en las estadísticas nacionales. En general, las estimaciones muestran

que en las regiones con menor grado de desarrollo, los bosques tienden a tener una mayor importancia (FAO 2014b).

Pese a los increíbles beneficios ecológicos, económicos, y sociales que nos brindan los bosques, la pérdida de estos sistemas es muy acelerada a nivel mundial. La deforestación ocurre a un ritmo de 13 millones de hectáreas al año y es responsable de entre un 12 y un 20% de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero y contribuyen al calentamiento global (ONU-REDD, 2010). Además, el crecimiento acelerado de la población ha generado fuerte presión sobre los bosques. Se prevé que en los próximos 60 años la población mundial se duplicará y el desarrollo económico y social producirá un aumento en la demanda y el consumo de productos madereros (ITTO, 2012).

## **Los recursos forestales y el manejo comunitario en México**

La explotación de los bosques se ha llegado a estigmatizar, sobre todo en el contexto de la sobreexplotación de los recursos y las altas emisiones de carbono de la era industrial (Ellis y Porter-Bolland, 2008). Esta postura ha llevado a la sobreexplotación de los bosques como recurso natural, limitando el uso y aprovechamiento de estos sistemas (CCMSS, 2008). Esta sobreexplotación ha llegado a afectar la situación económica de las comunidades que dependen de estos recursos (Deweese, 2013). Sin embargo, los bosques son un recurso renovable cuando se les maneja de manera adecuada. Desafortunadamente, muchas veces los bosques son objeto de una administración ambiciosa y poco regulada, lo que genera una sobreexplotación y muchas veces el fin de dicho recurso (Sánchez-Sánchez y Islebe, 2002). El mal manejo, aunado a las altas tasas de deforestación, han mermado las reservas forestales a nivel mundial y en México (Fernández y Mendoza, 2015).

A pesar de su alta tasa de deforestación, México sigue siendo un país con una cobertura muy extensa de bosques. Además de la considerable extensión boscosa, México cuenta con una gran diversidad de tipos de bosque que incluyen: los bosques de coníferas y latifoliadas, el mesófilo de montaña, los matorrales y los

pastizales (Figura 2; Rzedowski, 2006). Se estima, según el Inventario Nacional Forestal de 1994, que México cuenta con 53 millones de hectáreas de bosques nativos, de las que 21.5 tiene potencial de producción forestal (SEMARNAT/CONAFOR, 2001). De esta gran área con potencial forestal, sólo el 40 % se encuentra bajo aprovechamiento regulado (Gadow *et al.*, 2004). Aproximadamente 71% de esta superficie es de propiedad ejidal, 14% de propiedad comunal y 15% de pequeña propiedad privada (Bray *et al.*, 2003). En el 2014, las principales especies de madera existentes de la gran diversidad de bosque mexicano contabilizaron en conjunto una Producción Forestal Maderable (PFM) total de 5,601 miles de m<sup>3</sup> en rollo, de la cual cerca del 77% lo registró el pino (INEGI, 2016). Una fracción significativa de la producción forestal en México es llevada a cabo por empresas forestales de manejo comunitario (Turner, 1978).

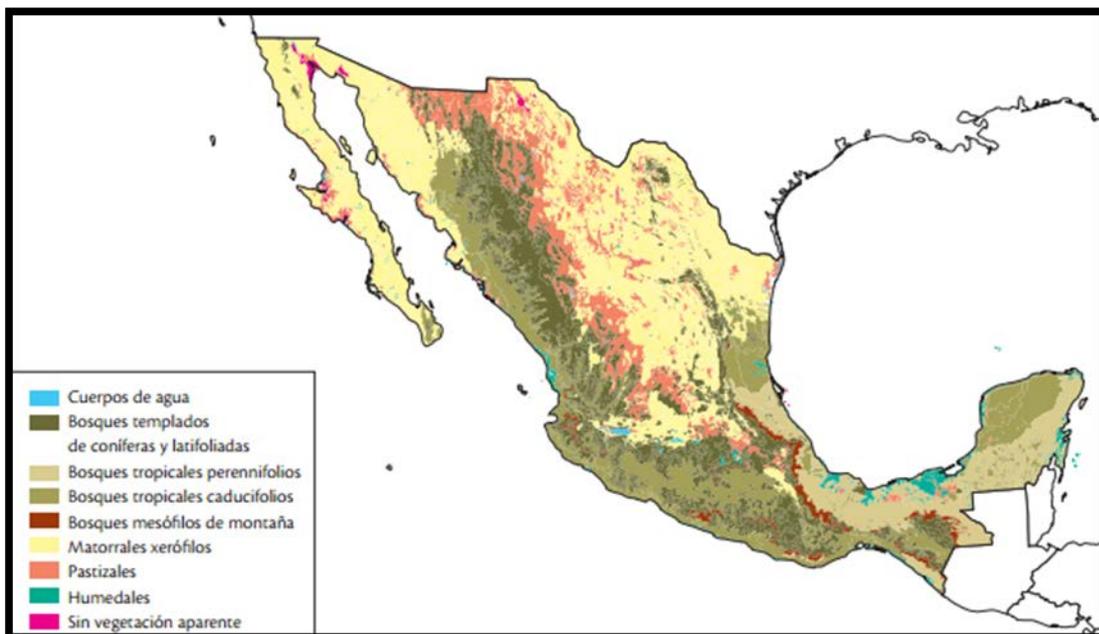


Figura 2. Diferentes tipos de bosque en México (Tomado de Challenger y Soberón, 2008)

El manejo forestal comunitario ha tenido un papel muy importante en el país después del reparto agrario (Barton *et al.*, 2007). Como se mencionó, la mayor parte de la superficie forestal en el país está en manos comunales (Bray *et al.*, 2006; CCMSS, 2008). El manejo forestal comunitario en México ha sido reconocido a nivel mundial por su productividad y eficiencia, por el reparto de beneficios económicos y sociales, y por el impacto del manejo en la conservación de la biodiversidad (Valdés y Negreros-Castillo, 2010). Las zonas manejadas por comunidades tienden a tener las tasas más bajas de deforestación, además de resguardar los agroecosistemas

tradicionales y la diversidad genética *in situ* (Bocco, 2000). En estas zonas de manejo regulado, la actividad forestal se ha convertido en una alternativa de desarrollo regional contribuyendo a incrementar los niveles de ingreso y empleo de comunidades marginadas (Frederick *et al.*, 2015).

El manejo comunitario de los bosques ha representado una experiencia sumamente exitosa, pero en los últimos años los obstáculos para esta actividad se han incrementado (Segura-Warnholtz, 2014). Entre estos obstáculos se encuentran los trámites largos y las regulaciones que en lugar de beneficiar al medio ambiente, entorpecen el manejo y conservación de los recursos (Fernández y Mendoza, 2015). Un marco regulatorio que limita el aprovechamiento de madera y otros productos forestales entorpece la maquinaria comunal (Bray *et al.*, 2007). Este es el caso de políticas orientadas prioritariamente a la conservación pasiva de los recursos y los trámites fiscales pensados para la ciudad y poco viables para los comuneros, mismos que han provocado el constante retroceso de la producción nacional frente a las importaciones, que poco a poco han ido incrementando (Departamento Forestal de la FAO, 2011, 2016), y han causado la desaparición sostenida de empresas forestales comunitarias (Fernández y Mendoza, 2015).

Con la entrada del neoliberalismo y un mercado globalizado, se vuelve indispensable hacer más eficientes los procesos de aprovechamiento en empresas forestales comunitarias (Wiersum *et al.*, 2011). Estas condiciones han llevado a numerosas comunidades a optar por abandonar estas actividades y a resguardarse en la recuperación de la cobertura forestal para su futuro aprovechamiento (Bray *et al.*, 2007). Además, hay una fuerte presión para que la propiedad comunal sea privatizada, obligando a comunidades débiles económicamente a ceder sus derechos de la tierra y por ende de sus bosques (CCMS, 2015).

Además de los retos y presiones externas, existen factores internos que han debilitado a las empresas forestales comunitarias (Sabogal *et al.*, 2008; Bray *et al.*, 2007). Entre estos retos podemos mencionar la falta de capacitación de los que manejan las empresas forestales, el material de campo deficiente, la falta de apoyos gubernamentales, la deficiente administración de sus bienes, y la deficiencia por parte de diferentes autoridades para poder valorar de buena manera sus bosques

(Jardel, 2006). En muchas empresas forestales existen también lagunas en el conocimiento técnico que han limitado el crecimiento de las pequeñas empresas comunales (Bocco *et al.*, 2000; Sabogal *et al.*, 2008).

Se puede decir que la situación forestal en México se encuentra en un punto complicado. El aprovechamiento es vulnerable a cambios drásticos en las políticas públicas, y no recibe el suficiente apoyo (Merino, 2012). Esto impide el desarrollo de poblaciones vulnerables, que buscan un crecimiento socioeconómico a través del aprovechamiento forestal y a su vez una mejor conservación de sus bosques (Merino, 2004). Aunque las comunidades forestales han sido el motor principal de la conservación de los bosques y de su explotación racional, los retos para estas comunidades son numerosos (Galletti, 1999).

### **Los bosques del Estado de Quintana Roo y su historia de aprovechamiento**

El Estado de Quintana Roo, una de las zonas mejor conservadas de la República Mexicana, posee al menos 12 tipos de vegetación (Figura 3, Pozo *et al.*, 2011). La selva mediana subperenifolia es la vegetación que predomina en el estado. Esta selva es el ecosistema tropical más extenso del país con aproximadamente 1,700,000 ha, siendo la segunda selva más grande del continente americano, después de la Amazonia (SEMARNAP, 1996).

Gran parte del territorio en Quintana Roo es de propiedad comunal con un esquema de tipo ejidal. INEGI enlistó 113 ejidos en 1990: 56 en el municipio Felipe Carrillo Puerto y 56 en José María Morelos, con un manejo de tierra que abarcó desde 4,000 hasta 88,000 ha. Según la localidad y la extensión del ejido, la superficie forestal aprovechable para fue de 35,000 ha o más (Granados, 2008). En el estado, se calcula que más de 300,000 ha tienen un aprovechamiento de uso múltiple, que incluye el manejo forestal para la extracción de madera por parte de los ejidos, la extracción de resina de chicle, de hoja de palma para el techado, de frutos y hierbas alimenticias o medicinales, y de carbón, entre otros productos no maderables (Granados, 2008).

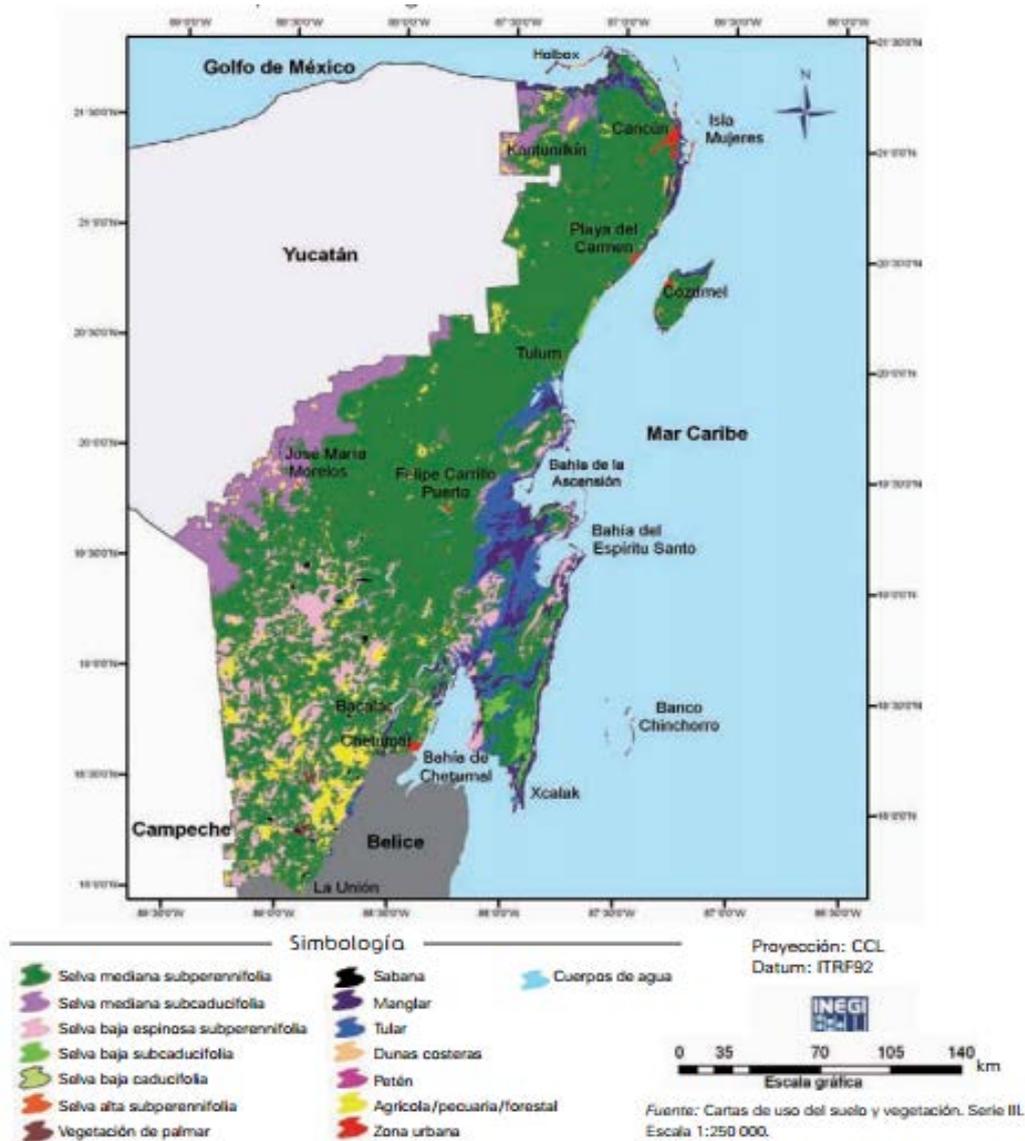


Figura 3.- Tipos de vegetación en Quintana Roo (Tomado de INEGI, 2005 y Pozos *et al.*, 2011)

Aunque actualmente los ejidos son los encargados de manejar la mayor parte de las áreas forestales en el Quintana Roo, este tipo de manejo es relativamente reciente. El manejo de las selvas de la zona ha incluido actores diversos como las concesiones privadas a empresas extranjeras y nacionales enfocadas principalmente en la explotación de maderas preciosas. Posteriormente, a mediados del siglo XX, una paraestatal se encargó del aprovechamiento forestal en la zona. Este periodo se caracterizó por poca inclusión de la población local en la gestión de los bosques y a una deficiente administración de la empresa y del gobierno que dejaron altos niveles de deforestación en la selva (Madrid, 2009).

En 1983, la empresa paraestatal abandonó los bosques de Quintana Roo para ceder paso al llamado Plan Piloto Forestal (PPF). Este programa fue apoyado fuertemente por el gobierno estatal y fue desarrollado en colaboración con la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica. Sus principales objetivos incluían la transferencia de los bosques a los dueños originales para realizar el aprovechamiento, además de la recuperación del bosque (Daltabuit *et al.*, 2005). A raíz del PPF apareció la Sociedad de Productores Forestales Ejidales de Quintana Roo (SPFEQR), una organización que fue clave en el trabajo que debieron realizar las comunidades en este periodo de transición (Janka y Acopa, 1982). El principal objetivo del SPFEQR fue coordinar acciones financieras y técnicas para un mejor manejo del recurso forestal. Esta mejora involucró la intervención de asesores especializados en el área, que asesoraran a la comunidad en aspectos técnicos, legales y administrativos (Anda, 1986).

El PPF contempló un ordenamiento territorial que designó un Área Forestal Permanente (AFP) en los terrenos de las comunidades (Godas *et al.*, 2005). Esta designación tuvo como objetivo el reducir el avance de la agricultura y la ganadería que impactan directamente en la deforestación (Ejido Felipe Carrillo Puerto - U'yo'olché A. C., 2005). Actualmente, los ejidos utilizan un ciclo de corta de 25 años, ciclo que se basa en la tasa de crecimiento del bosque (Primack *et al.*, 1999). El objetivo es que después del primer ciclo de 25 años, se pueda extraer la misma cantidad de madera en un segundo ciclo, partiendo de que los ejemplares que no fueron aprovechados en el primer ciclo hayan alcanzado el diámetro mínimo de corta requerido (Álvarez, 1987).

Desde la transferencia de los bosques a las comunidades, el manejo forestal comunal en Quintana Roo ha sido un ejemplo de éxito a nivel internacional (Daltabuit *et al.*, 2005). Aunque las comunidades se han enfrentado a una gran diversidad de retos, el espíritu del PPF se ha mantenido, buscándose un aprovechamiento sustentable del bosque y la distribución de los beneficios económicos (Primack *et al.*, 1999). En varios casos, la extensión del bosque bajo resguardo se ha incrementado (Bray *et al.*, 2007), y se ha observado que el manejo comunitario ha constituido una alternativa real para conservar la biodiversidad

(Valdés y Negreros-Castillo, 2010). Además de estos beneficios ambientales, el trabajo de la SPFEQR ha permitido la certificación de algunos de los principales ejidos por el Programa SmartWood de Rainforest Alliance y por Green Cross de Scientific Certification Systems. Estos programas certifican la madera extraída de bosques que han un buen desarrollo social y una naturaleza colectiva del aprovechamiento, permitiendo una silvicultura social de excelencia (Rainforest Alliance-CCMSS, 1998).

### **Manejo forestal comunitario en el Ejido Felipe Carrillo Puerto**

El Ejido Felipe Carrillo Puerto formó parte del Plan Piloto Forestal implementado en el Estado de Quintana Roo. A raíz de este plan, el AFP del ejido fue decretada en 1986 con una superficie de 20,000 ha que se ha ido aprovechando a lo largo de estos años (Figura 4). El aprovechamiento de esta área se realiza mediante un Plan de Manejo Forestal. El Plan que reguló el aprovechamiento desde 1985 hasta 2010 registra que en ese periodo se aprovecharon 25,000m<sup>3</sup> de madera, que equivale a un 41% del volumen autorizado por el plan (Figura 5). La versión más reciente de este plan abarca de 2011 a 2022 y plantea utilizar más de 12000 ha para aprovechamiento (Ejido Felipe Carrillo Puerto y U'yo'olché A. C. 2005). El Plan de Manejo, además de regular el aprovechamiento del AFP, mantiene y conserva una reserva decretada en el 2005 por el ejido que cuenta con una cobertura actual de 10,024.12 ha. Esta superficie arbolada sirve de amortiguamiento para la fauna que es desplazada por el trabajo forestal (Arreola y Be-Cituk, 2012).

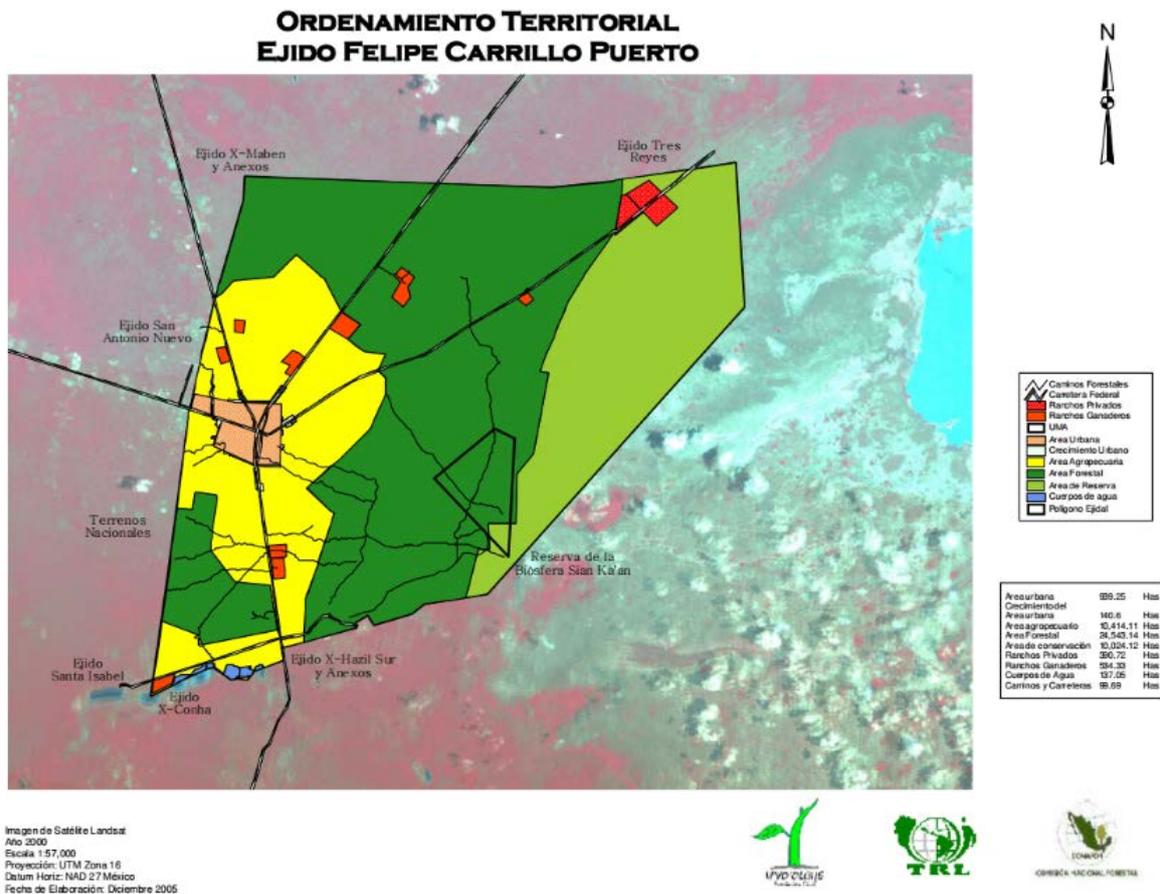


Figura 4.- Ordenamiento territorial del Ejido Felipe Carrillo Puerto (Tomado de Ejido Felipe Carrillo Puerto y U'yo'olché A. C. 2005)

Otro aspecto incluido en el Plan de Manejo tiene que ver con las actividades de reforestación que realiza el ejido en los claros generados por el aprovechamiento. Los ejidatarios han realizado esta actividad por más de 20 años en el vivero ejidal (Arreola y Be-Cituk, 2012). En este sitio se cuenta con plantas de maderas preciosas, además de otras especies nativas que también son usadas para la reforestación. Las técnicas utilizadas permiten una sobrevivencia de 75% al 80% en los claros en el bosque. Esta actividad ha sido muy importante en el esfuerzo de aprovechar de manera sostenible el bosque (Arreola y Be-Cituk, 2012).

Aunque la actividad forestal no es la única actividad productiva del ejido, sí se trata de una actividad que se realiza año con año y representa un ingreso importante para los ejidatarios (Arreola y Be-Cituk, 2012). Además, la actividad forestal funciona como un vínculo que une a la gente y es una actividad que promueve el

cuidado del ambiente. A diferencia de ejidos como Petcacab, Noh Bec y Tres Garantías, Felipe Carrillo Puerto no se ha consolidado como un ejido netamente forestal. Sin embargo, sus recursos forestales tienen un gran potencial para un aprovechamiento a mayor escala (Wiersum *et al.*, 2011).

El aprovechamiento que se lleva a cabo en la actualidad en el ejido distingue entre cuatro tipos de maderas en el proceso de comercialización. Por un lado están las maderas preciosas, que abarcan a especies como *Swietenia macrophylla* (Caoba), que han representado el recurso maderable más importante de estas selvas (Granados, 2008; Arreola y Be-Cituk, 2012; Navarro, 2015). También están las maderas blandas, como *Pseudobombax ellipticum* (amapola), y las maderas duras como *Lysiloma latisiliquum* (Tzalam), una madera muy utilizada para la decoración y la producción de pisos (Rios-Cortez *et al.*, 2012; Arreola y Be-Cituk, 2012). Finalmente está la palizada, término que abarca a los tallos leñosos utilizados para la construcción de palapas y otros cimientos de construcción (Frederick *et al.*, 2013; Arreola y Be-Cituk, 2012), mismos que empiezan a tener mayor interés dado el crecimiento turístico de la zona.

En general, la empresa forestal del ejido Carrillo Puerto tiene una lista de más de veinte especies con potencial para comercialización. Sin embargo, de este conjunto considerablemente diverso, el ejido comercializa principalmente seis especies de árboles que pueden consultarse en la Tabla 1. Estas seis especies han representado entre el 82-97% de las ventas totales entre 2010 y 2016 (datos del ejido).

Tabla 1 Volúmenes vendido del 2010 al 2016, incluyendo el volumen comercializado por especie.

Especies	Nombre común	Volumen aprovechado 2010-2016 (m <sup>3</sup> )	Porcentaje de m <sup>3</sup> Vendidos
<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.	Siricote	33.124	0.74
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	Chicozapote	1597.742	35.57
<i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urb.	Chechen	1465.826	32.63
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth	Tzalam	883.429	19.67
<i>Swartzia cubensis</i> (Britton y Wills) Stadl.	Katalox	68.481	1.52
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	443.604	9.87
Total		4492.206	100

Aunque la empresa forestal ejidal contaba con la maquinaria para el arrastre de las trozas y el procesamiento de la madera, actualmente el ejido solamente vende las trozas a pie de t ocón a una c artera diversa de clientes. En este proceso de comercialización, la asamblea general de ejidatarios, órgano de gobierno de la actividad forestal, da su aprobación al volúmen y a los precios (Arreola y Be-Cituk, 2012). Representantes del ejido realizan esta negociación de venta y también realizan la estimación de los volúmenes de madera en las trozas.

### **Estimación de los volúmenes maderables**

Los volúmenes de madera en una troza se estiman a través de las llamadas ecuaciones de cubicación. Mediante la medición de variables básicas como el largo del fuste, el diámetro a la altura del pecho (130 cm desde la base), y el porcentaje de volumen de corteza, estas ecuaciones permiten estimar el volumen de madera

en un tronco (Husch *et al.*, 2002; Atha *et al.*, 2005; Romahn-de la Vega y Ramírez, 2010). El volumen de madera y también el de corteza dependen en primera instancia de la especie y de factores como el lugar de crecimiento del árbol, la edad, y otras condiciones ambientales que modifican en la proporción de tejidos en las especies (Fowler, 1991; Wehenkel *et al.*, 2012). Además de permitir calcular el volumen comercializado, las ecuaciones de cubicación también permiten estimar el volumen disponible en el bosque para futura comercialización y determinar qué especies son las que pueden permitir un mejor aprovechamiento y una mayor ganancia (Wiersum *et al.*, 2011). Por todo esto, las ecuaciones de cubicación son un recurso muy importante para el manejo sustentable de un ambiente forestal (Frederick *et al.*, 2015).

Las ecuaciones para calcular los volúmenes de madera tienen formas muy variadas que difieren en su grado de complejidad (Husch *et al.*, 2002, Van Laar y Akca, 2007; Romahn-de la Vega y Ramírez, 2010). En general, las ecuaciones se complican cuando se utilizan parámetros complementarios como el diámetro en diversos puntos del fuste, el diámetro apical y basal, o cuando se calcula el volumen hasta un diámetro determinado (Gordon, 1983; Van Laar y Akca 2007). Además, estas ecuaciones requieren descontar el porcentaje de corteza presente en las trozas para generar un estimado únicamente de la madera.

Existen diversas formas de calcular los porcentajes de corteza en un tronco (Koch, 1971; Navarro-Martínez *et al.*, 2002; Atha *et al.*, 2005). Existen métodos sencillos como el de Meyer (1946) que calcula el volumen de corteza (VC) en una especie como sigue:

$$VC = \text{volumen total} * (1 - F^2)$$

Donde F es un coeficiente empírico que resulta de la pendiente de la gráfica del diámetro de la madera (eje Y) vs diámetro total de la troza (eje X) incluyendo datos de diferentes individuos en dicha gráfica (Husch *et al.*, 2002; Van Laar y Akca 2007). Posteriormente, el porcentaje de corteza puede ser estimado como:

$$PVC = 1 - F^2$$

Donde PVC es el porcentaje de volumen de corteza. Aunque existen métodos más complejos para estimar PVC, se ha encontrado que estos modelos no son mucho mejores que el método de Meyer (Atha *et al.*, 2005; Marshall *et al.*, 2006).

Dado que el porcentaje de volumen de corteza depende del grosor de esta capa de tejido en el tronco, este porcentaje varía como resultado de diferentes factores. En primer lugar está la variación por especie. El grosor de corteza puede variar de manera muy significativa entre especies (Rosell, 2016). Además, este está relacionado con el lugar de crecimiento del árbol, pues varía con el clima y la presencia de depredadores (Fowler, 1991), y también cambia entre las distintas regiones del tronco (Spurr, 1952; Philip, 1994; Wilhelmsson *et al.*, 2002).

La empresa forestal ejidal de Felipe Carrillo Puerto ha manejado un grupo de ecuaciones de cubicación desde la implementación del Plan Piloto Forestal. La ecuación base es como sigue:

$$VM = 0.784 * D^2 * L * (1-PVC)$$

Dónde,

VM es el volumen de madera

D es el diámetro a la altura del pecho

L es la longitud de la troza

PVC es el porcentaje de volumen de corteza en la troza

El PVC cambia con base en la especie (Atha *et al.*, 2005; Wehenkel *et al.*, 2012). La Tabla 2 muestra los porcentajes aplicados actualmente según la especie (Arreola y Be-Cituk, 2012). En esta tabla se observa que un mismo porcentaje de volumen de corteza es aplicado para especies clasificadas como de madera dura. Entre las maderas duras se encuentra el Chicozapote (*Manilkara zapota*) y el Siricote (*Cordia dodecandra*), especies con un grosor muy contrastante de corteza y por lo tanto con un volumen muy diferente de este tejido. Aplicar un mismo valor a estas dos especies, seguramente genera poca precisión en los estimados de madera comercializada en el ejido. Además, estos porcentajes de corteza fueron generados en los tiempos de implementación del PPF. La distribución de tamaños de los árboles en el sitio seguramente ha cambiado desde entonces como resultado del aprovechamiento (Navarro, 2015). Por todas estas razones, resulta imperativo

actualizar estos porcentajes de corteza y generar porcentajes que sean específicos por especie. Este fue justamente uno de los objetivos centrales de esta investigación.

Tabla 2.- Porcentaje de corteza utilizado para la estimación de volúmenes de madera en las especies aprovechadas.

Porcentaje de corteza	Arboles de producción maderera
14%	Caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> )
21%	Amapola ( <i>Pseudobombax ellipticum</i> )
10%	Especies de madera dura

En este trabajo se realizó una actualización de los porcentajes de volumen de corteza para las especies de mayor importancia económica para el ejido. Gracias a estas actualizaciones, se ha generado una ecuación para cada una de las especies estudiadas. De esta forma se ha hecho una contribución importante a la empresa forestal comunitaria que impacta los estimados de volúmenes de madera comercializados y de madera en pie. Se muestra en este trabajo que hay diferencias considerables entre los porcentajes utilizados en los últimos años y los calculados aquí. Esto se traduce en estimaciones distintas de los volúmenes aprovechados, mismas que tienen un impacto en el manejo y en la comercialización como se discute más adelante. Si bien los resultados de este trabajo fueron generados en el Ejido Felipe Carrillo Puerto, estas ecuaciones podrían utilizarse en otras empresas forestales de la zona, en donde también se comercializan estas mismas especies.

## OBJETIVOS

### ✓ General

Generar ecuaciones de cubicación de madera para las principales especies comerciales en el Ejido Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, a través de la estimación de los porcentajes de volumen de corteza.

## ✓ Particulares

- Establecer nuevos porcentajes de volumen de corteza para las seis especies de mayor importancia comercial en el Ejido Felipe Carrillo Puerto.
- Actualizar las ecuaciones para calcular el volumen maderable de estas especies, generando una ecuación por especie.
- Comparar las ecuaciones de cubicación anteriores del Ejido con las generadas y analizar el impacto de estas ecuaciones en el aprovechamiento.
- Analizar la relación entre el porcentaje de volumen de corteza, el diámetro a la altura del pecho, el volumen total y el volumen de madera.

## HIPÓTESIS

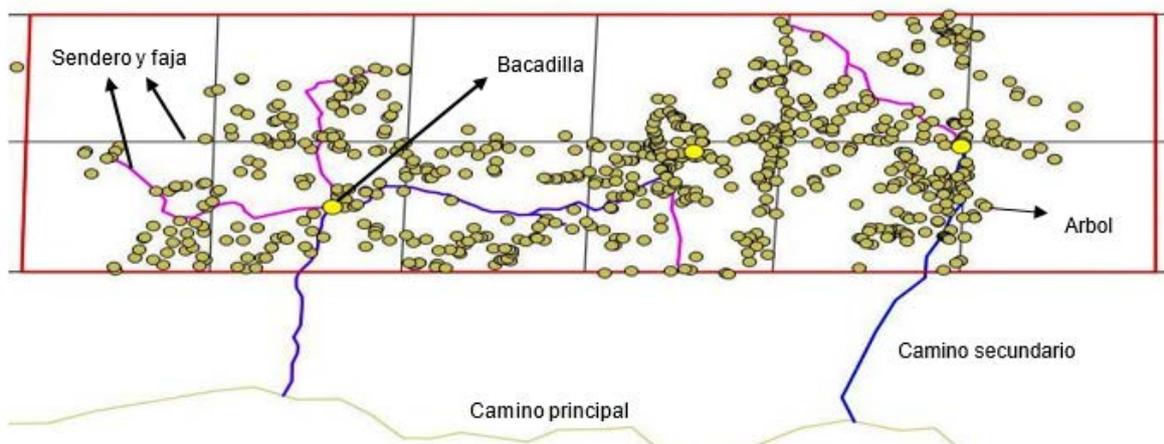
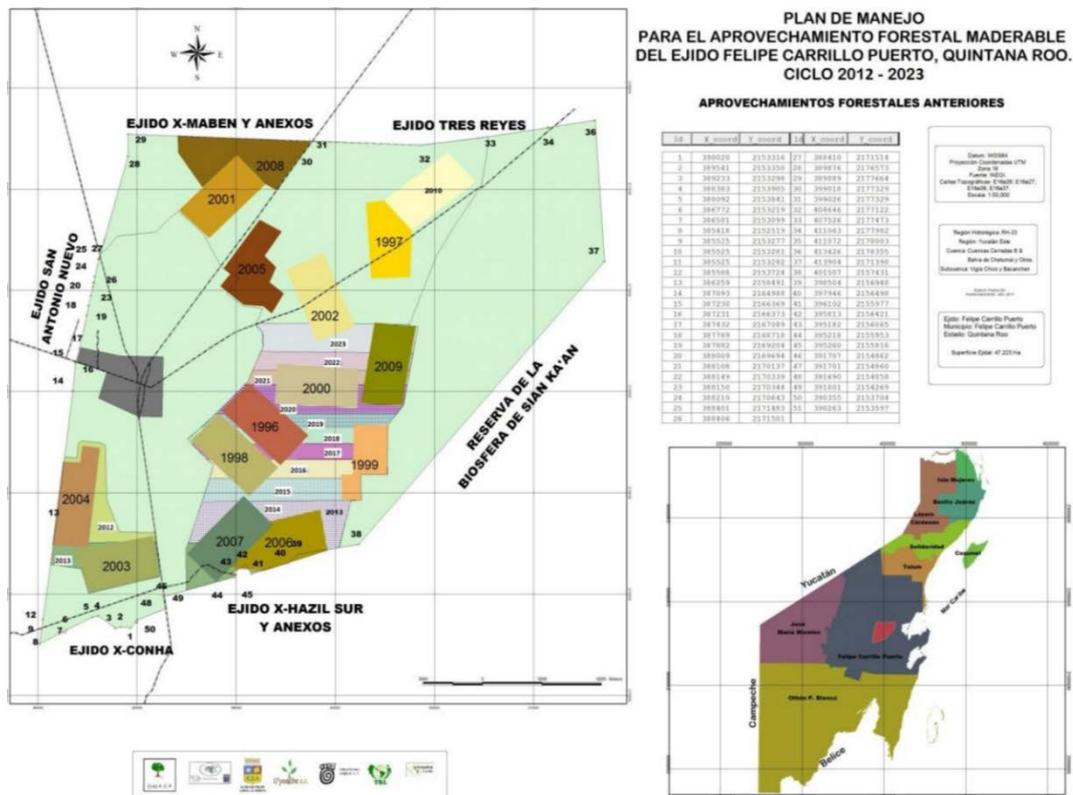
El porcentaje de volumen de corteza que ha sido utilizado por la comunidad forestal para el cálculo de los volúmenes de madera comercializados será considerablemente distinto de los nuevos porcentajes estimados en este trabajo. Esto será el reflejo de diferentes valores del grosor de corteza entre las especies estudiadas que impactará en distintos volúmenes de este tejido en las trozas. Se espera que en especies como el Chicozapote (*M. zapota*), donde el grosor de corteza es considerable, el porcentaje usado en los últimos años para el volumen de corteza sobreestime el volumen de madera. En contraste, en especies de corteza delgada como el Siricote (*C. dodecandra*), el volumen de madera se habrá subestimado con los porcentajes utilizados en los últimos años.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio de estudio

El presente estudio se realizó en el Ejido Felipe Carrillo, en el estado de Quintana Roo, México. El Ejido cuenta con 47,223,902. 467ha (Figura 5), de las cuales más del 50% son utilizadas como áreas forestales permanentes (Arreola y Be-Cituk, 2012). El sitio de estudio se ubicó dentro del área de corta anual para el 2016,

misma que tuvo una cobertura de 818.5 ha (Figura 6, Arreola y Be-Cituk, 2012). Las mediciones necesarias para la generación de las ecuaciones de cubicación incluidas en este trabajo se realizaron en el primer ciclo de corte del 2016 abarcando de febrero a marzo.



## **Clima**

El clima en el área de estudio corresponde a un tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano Aw1(x')(i') de acuerdo con el sistema de Köppen modificado por García en 2004. La temperatura promedio anual oscila en 23.7°C, siendo el mes de agosto el más cálido y enero el más frío con 26.2°C y 22.5°C, respectivamente. Presenta un régimen de lluvias con una precipitación media anual 1158 mm (Arreola y Be-Cituk, 2012, según datos de INEGI).

Por su ubicación en la península de Yucatán, la incidencia de los ciclones tropicales en el sitio es elevada, ya que estos fenómenos se forman en el Atlántico y se desplazan en dirección al mar Caribe. En la comunidad el último ciclón de gran intensidad reportado fue Dean que se presentó en el 2007 (Arreola y Be-Cituk, 2012; Navarro-Martínez *et al.*, 2012). En el Ejido no se reportaron pérdidas como consecuencia de este fenómeno, a diferencia de otros ejidos forestales en la península. Los vientos dominantes vienen del Este y corresponden a los vientos alisios. En los meses de invierno, se presentan los Nortes que aportan humedad y viento frío, lo que causa el descenso de la temperatura (Arreola y Be-Cituk, 2012).

## **Hidrología**

Quintana Roo esta entre dos Regiones Hidrológicas, la Yucatán Norte y Yucatán Este. Felipe Carrillo Puerto se ubica en la Región Hidrológica 33, en la Yucatán Este, Cuenca Bahía de Chetumal, Sub cuenca Vigía Chico (INEGI, 2002). En toda el área ejidal existen algunas lagunas que se ubican en la zona agrícola y ganadera, y dos pequeños cuerpos de agua que se ubican en la zona forestal y que suman 3200 m<sup>2</sup>. Algunos cenotes pequeños y zona de bajos inundable se ubican sobretodo en la parte que colinda con la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (Arreola y Be-Cituk, 2012).

## **Litología**

La litología del lugar es en su gran mayoría calizas de origen sedimentario marino. El ejido se encuentra en la Formación Carrillo Puerto, del Mioceno-Plioceno, con calizas masivas blancas, fosilíferas cubiertas por caliche. Se distribuye de Puerto

Juárez al Sur, hasta cerca de Bacalar y Chetumal y por el Oeste se extiende a la mitad del Estado (Pozo *et al.*, 2011). Las rocas contienen el 93.37% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y 1.02% de carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ). No hay evidencia de terremotos ni erupciones volcánicas. La altura promedio sobre el nivel del mar es de 25 a 30 metros con un terreno relativamente plano que facilita su explotación (INEGI, 2002).

## **Suelo**

Los suelos se caracterizan por ser poco profundos, con abundante materia orgánica y pH neutro o ligeramente alcalinizado. Estos suelos presentan un grado alto de pedregosidad con fragmentos de rocas de origen calcáreo. La poca evolución del suelo se debe a la diversificación de estos, influida por los accidentes topográficos o los factores de intemperización (Pozo *et al.*, 2011). En el Ejido, el suelo que más predomina es el Kankab, seguido del Tzequel y Pus-lum según la clasificación maya (Arreola y Be-Cituk, 2012).

## **Flora y Fauna**

Según los inventarios generados por la comunidad y por investigadores, existen al menos 628 vertebrados terrestres, 21 anfibios, 93 reptiles, 421 aves y 93 mamíferos (Arreola y Be-Cituk, 2012).

Por otra parte, el tipo de vegetación corresponde en un 55% a selva mediana subperenifolia con vegetación primaria (25,854.87 ha), 25% corresponde a selva mediana subperenifolia con vegetación secundaria (12,267.87 Ha), el 9% corresponde a vegetación de tular o sabana (4,339.95 Ha) y 7% a selva baja espinosa. (Tabla 3 )

Tabla.- 3 Representación de los tipos de vegetación en el ejido (Arreola y Be-Cituk, 2012, datos tomados de INEGI)

<b>Concepto</b>	<b>Has</b>	<b>%</b>
No aplicable	1,355.76	3
Agua	48.17	0
Selva baja espinosa	3,356.38	7
S.M. vegetacion primaria	25,854.87	55
S.M. vegetacion secundaria	12,267.87	26
Tular	4,339.95	9
<b>Superficie Ejidal</b>	<b>47,223.00</b>	<b>100</b>

### **Selección de especies**

El ejido cuenta con un número considerable de especies con potencial de aserrío. Entre ellas se encuentran la Caoba (*Swietenia macrophylla*), la amapola (*Pseudobombax ellipticum*), una madera considerada como blanda al igual que el chaca rojo (*Bursera simaruba*), el pasak (*Simarouba glauca*), y el sac-chaca (*Dendropanax arboreus*). Entre el grupo de maderas duras están el Tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), el Chechen (*Metopium brownei*), el Katalox (*Swartzia cubensis*), el ya'axnik (*Vitex gaumeri*), y el Chicozapote (*Manilkara zapota*). El ejido también aprovecha un grupo de unas 20 especies que se agrupan bajo el nombre de palizada (Pozo *et al.*, 2011)

Aunque existen varias especies aprovechables en el Área Forestal Permanente, el ejido ha estado comercializando seis especies principalmente en los últimos años (Tabla 1). Estas seis especies fueron las que se comercializaron en el año 2016 (Tabla 4). Se aprovechó la temporada de corta en el ejido para llevar a cabo las mediciones que de otra forma hubieran sido muy complicadas con los árboles en pie.

Tabla 4.- Especies comercializadas en el periodo 2016 en Ejido Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, México (Administración del Ejido).

Nombre común	Familia	Especie	No. Árboles cosechados	Volumen (m <sup>3</sup> ) Rollo
Caoba	<i>Meliaceae</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	76	104
Tzalam	<i>Mimosoideae</i> <i>Leguminosae</i>	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	308	236
Chechen	<i>Anacardiaceae</i> <i>Leguminosae</i>	<i>Metopium brownei</i>	441	112.365
Chicozapote	<i>Sapotaceae</i>	<i>Manilkara zapota</i>	718	450.612
Katalox	<i>Faboideae</i>	<i>Swartzia cubensis</i>	123	62.903
Siricote	<i>Boraginaceae</i>	<i>Cordia dodecandra</i>	37	18.000
Total			1703	983.88

### Colecta de datos en campo

Para generar las ecuaciones de cubicación, se trabajó con 20 individuos por especie, con el fin de alcanzar un número suficiente para el análisis estadístico. La única excepción fue el Siricote, especie poco común en el bosque para la que solamente se midieron 16 individuos. Los individuos fueron medidos en el interior de la selva (Figura 8) y en la bacadilla (Figura 9). Cuando los árboles fueron medidos en la selva, su corteza se encontraba intacta. Sin embargo, cuando los fustes habían sido arrastrados por tree-farmers hasta el área de acumulación (bacadilla) (Figura 8), en muchos casos se generaron daños en la corteza. Los individuos trabajados en la bacadilla fueron seleccionados para presentar el menor grado de daño en la corteza después del arrastre.



Figura 8.- Trabajo en la selva



Figura 9.- Bacadilla y tree-farmer

Para generar los porcentajes de volumen de corteza, se utilizó la metodología recomendada por Wehenkel *et al.* (2012), con algunas modificaciones debido a la diferencia de ecosistema a estudiar. En cada árbol se midió el diámetro a diferentes alturas del tronco para dividir al mismo en segmentos. El primer segmento abarcó de 0 a 30 cm, el segundo de 30 a 60, el tercero de 60 a 90, el cuarto de 90 a 130 cm (diámetro a la altura del pecho, DAP), y posteriormente a cada metro hasta la parte apical del fuste (Atha *et al.*, 2005; Wehenkel *et al.*, 2012, Figura 10). El diámetro fue medido con cinta métrica cuando fue posible rodear el segmento de tronco o con

una forcípula cuando esto no fue posible. Entre cada división de segmento se utilizó una técnica poco destructiva para la extracción de corteza. Esta técnica consistió en extraer cuadros de corteza usando una motosierra para definir el cuadro, y martillo y cincel para removerlo del tronco. Esta técnica permitió retirar la corteza sin alterar su grosor y deteriorar la madera que iba a ser vendida (Figura 11). Generalmente se extrajeron tres cuadros de corteza alrededor del mismo nivel del segmento, mismos que fueron ubicados a 90° entre sí, exceptuando el punto en el que descansaba el tronco. El grosor de corteza se midió con un vernier digital.

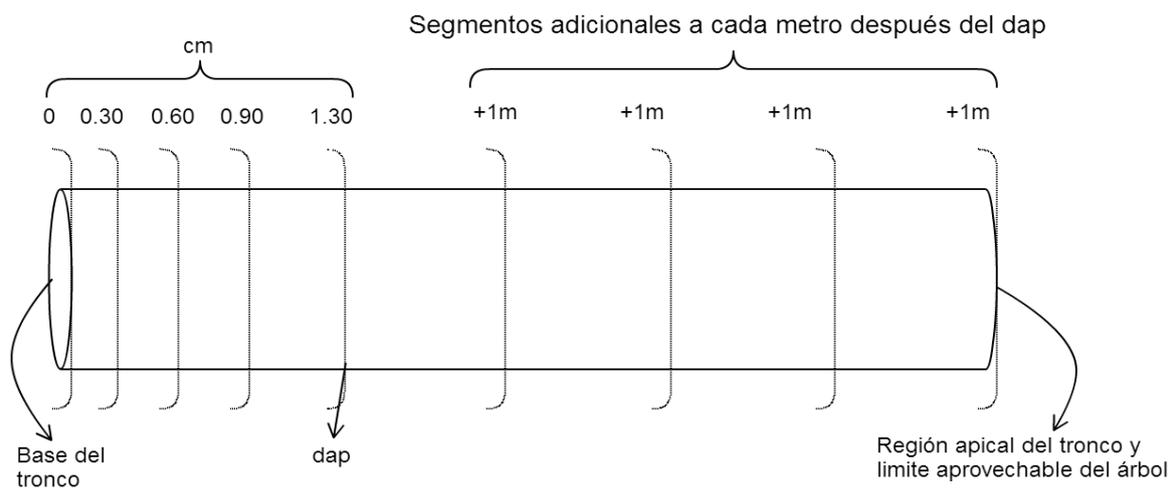


Figura 10.- Diagrama que representa la metodología aplicada para la medición de los fustes en el Ejido Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo.



Figura 11.- Extracción del cuadro de corteza con motosierra, martillo y cincel

## Estimación de porcentajes de volumen de corteza

Para la estimación de los porcentajes de volumen de corteza (PVC), se capturaron los datos en Excel 2013 y se utilizó el programa R v.3.1.1 (R Core Team 2015) para los cálculos de los diferentes volúmenes y para el análisis estadístico de los datos que se describen a continuación.

En campo se midieron los perímetros basal y apical de cada segmento que fueron posteriormente transformados en diámetros sobre la corteza. A partir del diámetro basal y apical y de la longitud de cada segmento, se calculó el volumen de cada segmento incluyendo la madera y la corteza. Para este cálculo se utilizó la fórmula del frustum:

$$V = \frac{1}{3} \pi * L \left( (D_b/2)^2 + (D_b * D_a)/4 + \left(\frac{D_a}{2}\right)^2 \right)$$

Dónde,

V= Volumen de cada segmento en un individuo

L= longitud del segmento

D<sub>b</sub>=diámetro basal del segmento

D<sub>a</sub>=diámetro apical del segmento

Posteriormente se sumaron los volúmenes sobre la corteza de todos los segmentos para estimar el volumen total del tronco. Para calcular el volumen de la madera se siguió un procedimiento similar al del volumen total. Fue necesario estimar el diámetro de la madera a partir del diámetro total restando dos veces el grosor de corteza. El volumen de la corteza fue estimado restando el volumen de la madera al volumen total sobre la corteza.

Para el análisis estadístico se utilizaron modelos no lineales (Baty *et al.*, 2014) con el fin de calcular el PVC a partir de la relación entre el volumen de la corteza (VC) y el volumen total (VT) de las trozas (Ecuación 1). Esta ecuación permitió estimar el valor del coeficiente F y posteriormente el PVC (Ecuación 2).

$$VC = VT * (1 - F^2) \dots \dots \dots (\text{Ecuación 1})$$

$$PVC = 1 - F^2 \dots \dots \dots (\text{Ecuación 2})$$

Posteriormente, se examinó la relación entre PVC con cambios en el diámetro a la altura del pecho (*DAP*, ecuación 3), y también la relación entre el volumen de la madera (*VM*) y el volumen total (*VT*, Ecuación 4). Todas estas ecuaciones se implementaron con base en lo hecho por Wehenkel et al. (2012).

$$\text{Log}_{10} \text{PVC} = \beta_1 + \beta_2 * \text{log}_{10} \text{DAP} \dots\dots\dots (\text{Ecuación 3})$$

$$\text{VM} = \text{VT} * (1 - \beta^2) \dots\dots\dots (\text{Ecuación 4})$$

Finalmente, el PVC es el factor a sustituir en la ecuación 5 utilizada por el ejido con el objetivo de calcular los volúmenes de madera para cada especie.

$$\text{Volumen de madera en la troza} = 0.785 * D^2 * L * (1 - \text{PVC}) \dots\dots(\text{Ecuación 5})$$

Dónde,

0.785 = constante derivada de la ecuación de Smalian y Huber

D = diámetro expresado en cm

L = longitud del fuste

PVC = porcentaje de volumen de corteza

Los valores de PVC específicos por especie fueron comparados con los que ya utilizaba la comunidad. Además, con base en la información proporcionada por el ejido sobre el volumen comercializado entre 2010 y 2016 y el número de individuos aprovechados para cubrir esa venta, se calculó el volumen de madera promedio por troza para cada especie. Este dato de volumen de madera fue transformado a volumen total usando los valores previos de PVC, y después nuevamente a volumen de madera usando los nuevos PVC de este estudio. De esta manera, se determinó cuántos árboles era necesario cortar para cubrir la demanda de madera y así estimar el efecto de los nuevos porcentajes en el manejo del bosque.

## RESULTADOS

Con base en lo estipulado en el Plan de Manejo Forestal del Ejido Felipe Carrillo Puerto, solamente individuos con DAP > 35 cm pueden ser aprovechados en las especies para aserrío, con excepción de la Caoba, que debe presentar un DAP > 50 cm para ser aprovechada. Esto se ve reflejado en los tamaños de la Tabla 5. Los DAP fueron más variables para *L. latisiliquum* y *S. macrophylla* y menos variables para *M. zapota*. Los valores más altos de DAP se observaron en *S. macrophylla* y los menores en *C. dodecandra*. Los largos de las trozas fueron bastante variables.

Tabla 5. Promedio de los individuos por especies de los tamaños de muestra y estadística descriptiva por especie para el diámetro a la altura del pecho (DAP), la longitud de la troza y el grosor de la corteza.

Especies	n	DAP (cm)*	Longitud troza (m)*	Grosor de corteza (mm)*
<i>Cordia dodecandra</i>	16	39.7 (30.1, 52.1)	7.5 (3.3, 10.6)	8.1 (5.3, 12.8)
<i>Manilkara zapota</i>	20	41.5 (32.5, 47.0)	6.8 (5.1-8.1)	18.5 (12.4, 27.5)
<i>Metopium brownei</i>	20	45.8 (34.4, 57.6)	7.3 (4.1-11.1)	8.9 (4.6, 15.3)
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	20	49.3 (36.6, 69.4)	5.5 (3.4-9.8)	14 (8.4, 24.8)
<i>Swartzia cubensis</i>	20	44.4 (34.1, 60.8)	6.6 (4.1-11.6)	9.1 (5.7, 18.9)
<i>Swietenia macrophylla</i>	20	57.6 (46.9, 84.3)	9.9 (4.7-13.3)	19.2 (10.0, 27.2)

Media (Máximo, Mínimo)

Los grosores de corteza entre las especies fueron bastante variables. Las cortezas más gruesas se observaron en *S. macrophylla* y las más delgadas en *C. dodecandra* (Tabla 5, Figura 13). Esto resalta la poca precisión que deben tener las estimaciones de volumen de madera que han utilizado un mismo PVC para las maderas duras que consideran un mismo porcentaje para estas dos especies de corteza tan dispar.

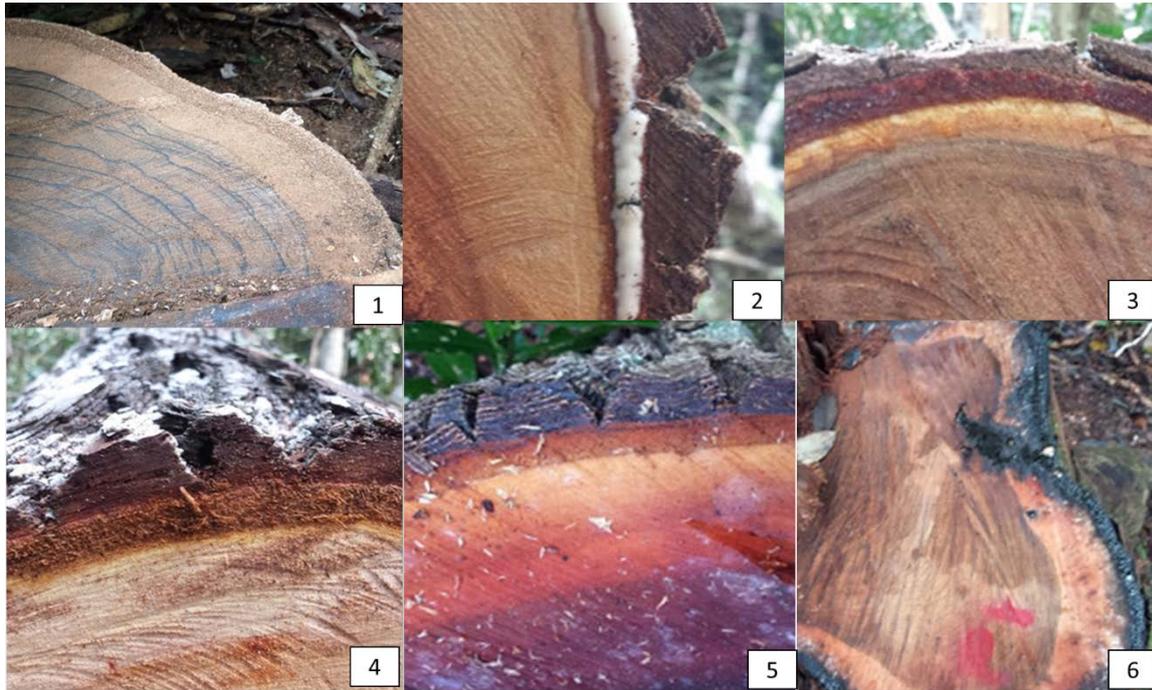


Figura 12. Corte transversal del tronco de las seis especies: *C. dodecandra* (1), *M. zapota* (2), *S. cubensis* (3), *S. macrophylla* (4), *L. latisiliquum* (5) y *M. brownei* (6).

Las diferencias en grosor de corteza se vieron traducidas en cuanto al PVC entre especies. El valor más alto de PVC lo presentó el Chicozapote, mientras que el menor lo tuvo el Tzalam (Tabla 5). Los modelos no lineales utilizados para estimar  $F$ , coeficiente que sirvió de base para PVC (proporción o porcentaje de volumen de corteza) mostraron un buen ajuste. Esto se infiere con base en lo indicado por los valores de los cuadrados medios y la correlación entre los valores observados y los predichos por el modelo (Tabla 5). Aunque algunos individuos salieron de la tendencia general de los puntos, el ajuste fue bueno en prácticamente todos los casos. El mejor ajuste lo presentó el Siricote (Figura 13(2), Tabla 5), en contraste con el Chechen que resultó ser el de menor ajuste (Figura 13(5), Tabla 5). La variación en los valores de  $F$  se muestra en la Tabla 6. Es importante resaltar que a pesar de que el Siricote sólo se pudieron trabajar 16 individuos, la distribución de los puntos en la Figura 13(4) y los resultados del modelo para esta especie sugieren un buen ajuste (Tabla 5). Los valores de porcentaje de volumen de corteza se pueden calcular a partir de los valores de proporción reportados en la Tabla 6.

Tabla 6. Modelos no lineales prediciendo el volumen de corteza con base en el volumen total y el valor F (Ecuaciones 1 y 2).

Especies	Valor F	CME†	R <sub>pred-obs</sub> ‡	Proporción de volumen de corteza (95% I.C.)
<i>Cordia dodecandra</i>	0.956 (0.952, 0.959)***	0.0109	0.891	0.0869 (0.0796, 0.0943)
<i>Manilkara zapota</i>	0.907 (0.901, 0.912)***	0.0184	0.837	0.1779 (0.1675, 0.1883)
<i>Metopium brownei</i>	0.958 (0.953, 0.964)***	0.0227	0.638	0.0822 (0.0711, 0.0910)
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	0.942 (0.937, 0.947)***	0.0187	0.822	0.1126 (0.1032, 0.1220)
<i>Swartzia cubensis</i>	0.960 (0.955, 0.965)***	0.0212	0.789	0.0784 (0.0688, 0.0883)
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.929 (0.922, 0.936)***	0.0583	0.859	0.1371 (0.1245, 0.1496)

\*\*\* P<0.005; † Cuadrados medios del error; ‡ correlación entre valores observados y predichos

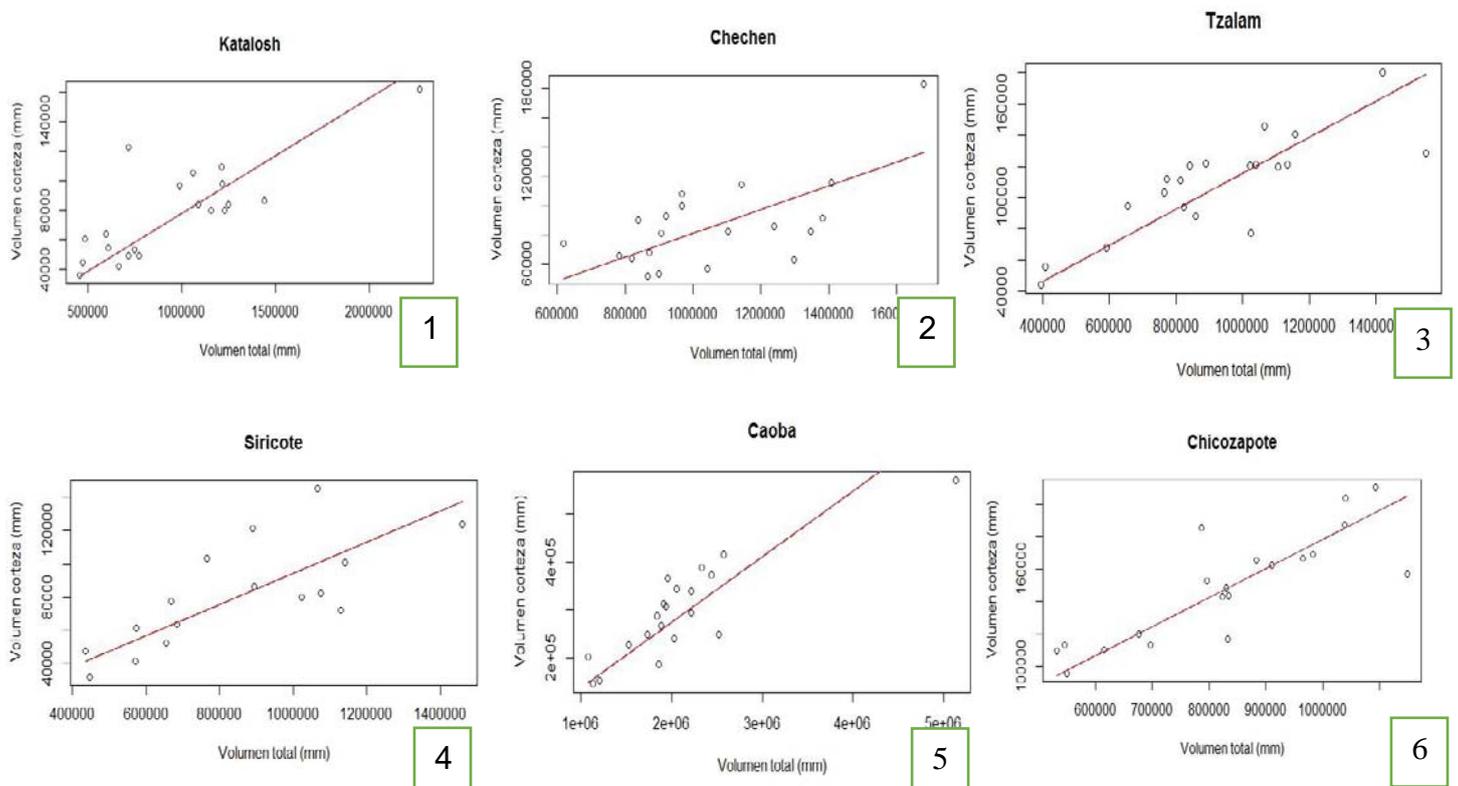


Figura 13.- Ajuste de regresión no lineal para los individuos: *S. cubensis* (1), *M. brownei* (2), *L. latisiliquum* (3), *C. dodecandra* (4), *S. macrophylla* (5) y *M. zapota* (6).

## Comparación entre los porcentajes de volumen de corteza anteriores y actuales

Los nuevos valores de PVC presentaron diferencias importantes respecto de los valores previos usados actualmente por el ejido (Tabla 7 y Figura 15). Es importante mencionar que antes de este estudio los porcentajes de los volúmenes de corteza eran bastante generales para las maderas duras (10%). Las especies en el grupo de las maderas duras presentaron un nuevo PVC mayor en este estudio en el caso del Tzalam (11.6%) y el Chicozapote (17.8%), o menor en el caso del Katalox (7.8%), Chechen (8.2%) y Siricote (8.7 %, Tabla 7). Aquellas especies con un PVC mayor a 10% implican que la madera se ha estado sobreestimando en estos últimos años, mientras que un PVC menor a 10% representa un caso de subestimación del volumen de madera en una troza.

Tabla 7.- Porcentajes de volumen de corteza (PVC) antiguos contra los generados en este estudio

Especies	PVC antiguo (%)	PVC nuevo (%)
Caoba	14	13.7
Tzalam	10	11.2
Chechen	10	8.2
Katalox	10	7.8
Siricote	10	8.7
Chicozapote	10	17.8

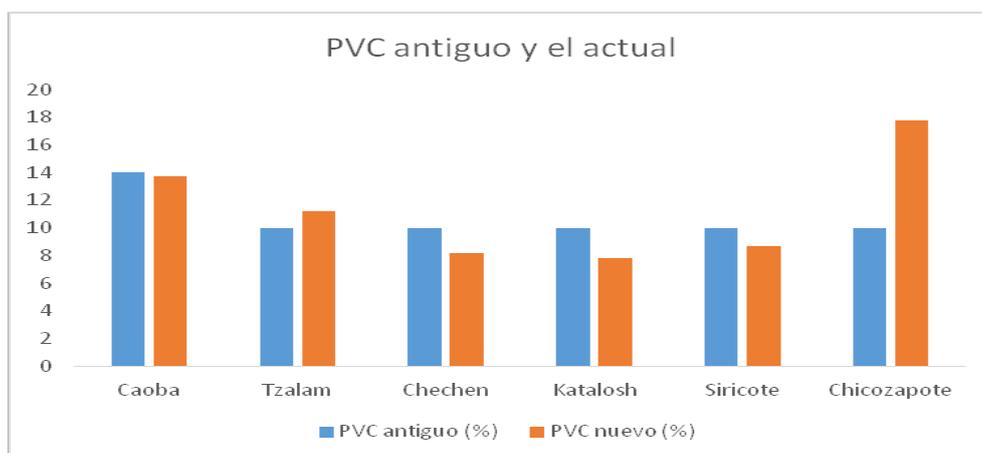


Figura 15.- Diferencias entre los grosores de corteza anteriores y los actuales

En la Tabla 7 se evidencia el producto de esta investigación, en términos de derribe de árboles y volumen aprovechado. De las seis especies comercializadas en 2016, para las especies *M. brownei*, *S. macrophylla*, *S. cubensis* y *C. dodecandra* los metros cúbicos fueron subestimados en las trozas, por lo que se registró un menor volumen de madera del que realmente se entregó a los clientes. Por el contrario, en dos especies, *M. zapota* y *L. latisiliquum*, la madera en las trozas fue sobreestimada.

Tabla 7. Proporción del volumen de corteza calculado en este trabajo (nuevo PVC) y el usado actualmente por el ejido forestal (viejo PVC), con la diferencia en número de árboles que se tendrían que talar con el Viejo PVC y con el Nuevo PVC considerando el volumen maderable vendido de 2010 a 2016 por el ejido.

Especies	Nuevo PVC	Viejo PVC	Diferencia de VM (%)	Volumen aprovechado 2010-2016 (m <sup>3</sup> )	# árboles derribados		
					Nuevo PVC	Viejo PVC	Diferencia
<i>Cordia dodecandra</i>	0.0869	0.1000	-1.43	33.124	73.9	75.0	-1.1
<i>Manilkara zapota</i>	0.1779	0.1000	9.47	1597.742	2663.1	2432.6	+230.5
<i>Metopium brownei</i>	0.0822	0.1000	-1.94	1465.826	5641.4	5752.9	-111.6
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	0.1126	0.1000	1.42	883.429	1169.3	1153.0	+16.4
<i>Swartzia cubensis</i>	0.0784	0.1000	-2.34	68.481	130.8	133.9	-3.1
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.1371	0.1400	-0.34	443.604	323.1	324.2	-1.1

## Cambio en PVC con tamaño de la planta

La relación entre PVC y DAP fue relativamente débil para todas las especies o inexistente (Tabla 8). La relación tendió a ser más fuerte en *M. brownei* y *S. cubensis*, lo que permitirá tener una idea de PVC de cualquier árbol de estas especies conociendo su DAP.

Tabla 8. Ajuste y estimaciones para modelos lineales que predicen la proporción de volumen de corteza basada en el diámetro a la altura del pecho (ecuación 3).

Especie	R <sup>2</sup>	Anova	$\beta_1$ (95% I.C.)	$\beta_2$ (95% I.C.)
<i>Cordia dodecandra</i>	0.18	F <sub>(1,18)</sub> = 3.1 <sup>ns</sup>	1.644 (0.785, 2.503) <sup>*</sup>	-0.442 (-0.981, 0.097) <sup>ns</sup>
<i>Manilkara zapota</i>	0.15	F <sub>(1,18)</sub> = 3.1 <sup>ns</sup>	2.048 (1.095, 3.000) <sup>***</sup>	-0.491 (-1.081, 0.098) <sup>ns</sup>
<i>Metopium brownei</i>	0.44	F <sub>(1,18)</sub> = 14.2 <sup>**</sup>	3.043 (1.849, 4.237) <sup>***</sup>	-1.290 (-2.011, -0.570) <sup>**</sup>
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	0.28	F <sub>(1,18)</sub> = 6.9 <sup>*</sup>	1.889 (1.233, 2.527) <sup>***</sup>	-0.480 (-0.863, -0.097) <sup>*</sup>
<i>Swartzia cubensis</i>	0.33	F <sub>(1,18)</sub> = 8.8 <sup>**</sup>	2.705 (1.443, 3.966) <sup>***</sup>	-1.086 (-1.853, -0.318) <sup>**</sup>
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.06	F <sub>(1,18)</sub> = 1.2 <sup>ns</sup>	1.880 (0.505, 3.254) <sup>*</sup>	-0.412 (-1.194, 0.370) <sup>ns</sup>

<sup>\*</sup> P<0.05, <sup>\*\*</sup> P<0.01, <sup>\*\*\*</sup> P<0.005, <sup>ns</sup> No significativo. Datos transformados a log<sub>10</sub>

## Relación entre volumen total y volumen de la madera

Tabla 9. Predicción del modelo no lineal entre volumen maderable y el volumen total (ecuación 4).

Especie	$\beta$ (95% I.C.)	CME†	R‡
<i>Cordia dodecandra</i>	0.295 (0.282, 0.307) <sup>***</sup>	0.0109	0.999
<i>Manilkara zapota</i>	0.422 (0.410, 0.434) <sup>***</sup>	0.0184	0.993
<i>Metopium brownei</i>	0.285 (0.278, 0.303) <sup>***</sup>	0.0227	0.996
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	0.337 (0.323, 0.351) <sup>***</sup>	0.0187	0.998
<i>Swartzia cubensis</i>	0.280 (0.263, 0.298) <sup>***</sup>	0.0212	0.999
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.370 (0.353, 0.387) <sup>***</sup>	0.0583	0.998

\* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.005, <sup>ns</sup> No significativo; † Cuadrados medios del error; ‡ correlación entre los valores previstos y los observados

En la tabla 9 se describe el ajuste de la ecuación 4 con un ajuste extraordinariamente alto, en el que todas las especies presentaron una relación de casi el 100 % con una probabilidad muy baja de error.

## DISCUSIÓN

Los valores de porcentaje de volumen de corteza (PVC) generados en este trabajo son de vital importancia para el manejo sustentable de la Selva Maya. En este trabajo se actualizaron seis de las principales especies aprovechadas en el Ejido Felipe Carrillo Puerto y en diversas áreas del sur de la Península de Yucatán. Los nuevos valores obtenidos aquí difieren en un grado importante con los valores que se utilizan actualmente en la empresa ejidal. A continuación se discuten estas diferencias y las implicaciones de estos nuevos valores en términos del aprovechamiento y manejo de la selva mediana subperennifolia del ejido y de algunos aspectos económicos asociados. Finalmente, se discuten algunos aspectos metodológicos.

### Diferencias entre los nuevos PVC y los usados actualmente por la empresa ejidal

Las diferencias entre los PVC aquí calculados y los usados actualmente por el ejido eran de esperarse. Las ecuaciones de cubicación utilizadas actualmente incluyen solamente el uso de tres PVCs, uno para las maderas duras (10%), otro para la Caoba (14%) y otro más para la amapola y otras blandas (21%). A pesar de ser una

especie importante, la amapola no ha sido comercializada con tanta intensidad por el ejido en los últimos años y no fue aprovechada en el 2016, por lo que no está incluida en este trabajo. En el 2016 fueron aprovechadas la Caoba y cinco especies de maderas duras para las que se aplicó el valor de 10% para el PVC. Generalizar este PVC produce inevitablemente cierto grado de imprecisión en los estimados de volumen de madera en especies con grosores de corteza muy distintos (Ejido Dzula y Anexo X-Haas. 2009; Ejido Adolfo de la Puerta, 2006; Ejido Petcacab y Polinkin. 2011; Argüelles *et al.*, 2011). Así, *Manilkara zapota*, la especie con la segunda corteza más gruesa, fue la que presentó el PVC más distante del valor usado actualmente. Comparándolo con el valor más pequeño correspondiente a *Metopium brownei* hay una diferencia de casi el 10 % en el PVC. Esta diferencia en *M. zapota* implica que en las trozas comercializadas actualmente se ha estado sobreestimando el volumen de madera usando un PVC de 10%. Esta misma situación se presenta en *Lysiloma latisiliquum*, especie para la que se calculó un PVC de 11.2% (Tabla 7). Para estas dos especies hay una disminución en el volumen maderable al aplicar los nuevos PVC, por lo que será necesario buscar alternativas para el manejo del bosque y para amortiguar pérdidas económicas ante la actualización del PVC.

En contraste con el Chicozapote y el Tzalam, las otras tres maderas duras comercializadas en el 2016 presentaron PVC menores al 10% aplicado a este grupo de maderas. Estas tres especies fueron *Cordia dodecandra* (8.7%), *Metopium brownei* (8.2%) y *Swartzia cubensis* (7.8%). En la Caoba, *Swietenia macrophylla*, el valor de PVC tuvo un decremento mínimo (13.7%) respecto del valor actual (14%). Estas diferencias se traducirán en un aumento en el volumen maderable por troza. Esto se verá reflejado en la economía del ejido y en aspectos de manejo que se discuten más adelante en esta sección.

En este trabajo se han calculado los valores de PVC para seis especies de aserrío, pero hay más de 25 especies de uso comercial en el Ejido Carrillo Puerto (Arreola y Be-Cituk, 2012) y probablemente en toda la parte sur de la Península de Yucatán. Por lo tanto, es necesario generar ecuaciones de cubicación para cada especie de importancia comercial. La falta de información y de actualización en las ecuaciones de cubicación genera pérdidas de miles de pesos anuales, lo que se traduce también en pérdidas del recurso natural y de interés por parte de las comunidades

(Bray y Merino, 2004). Un ejemplo claro son las maderas blandas que presentan el mismo caso con un 21% de corteza para todas las especies que se encuentran en esta categoría, la amapola y el chaca son maderas blandas y por obvias razones con grosores de corteza distintos (Fowler y Hussain, 1997; Husch, et al., 2002; Wehenkel et al., 2012).

Aunque los PVC estimados en esta investigación son distintos a los PVC utilizados actualmente, sus valores están en el rango de PVC observados en otros árboles a nivel mundial. Por ejemplo, se ha estimado que el PVC de árboles, tanto de plantas con flor como de gimnospermas en ambientes tropicales y templados, se encuentra entre un 6 y un 20% (Wehenkel et al., 2012). En las áreas templadas europeas hay coníferas con valores de PVC entre 10 y 12%, mientras que algunas angiospermas en esta zona alcanzan el 20% (König, 2007). Algunos pinos en México tienen también estos altos valores, pudiendo superar el 20% (Wehenkel et al., 2012). Las diferencias en PVC en una especie dependen en última instancia del grosor de la corteza en la planta y su cambio a lo largo del fuste.

### **Variación en el grosor de la corteza entre especies y ambientes**

Las diferencias en el porcentaje de corteza entre las diferentes especies puede tener varias explicaciones, pero recae principalmente en el grosor de la corteza que caracteriza a cada especie. La diferencia entre los grosores de corteza se pueden deber a efectos genéticos, ambientales como la disponibilidad de agua, y sucesos específicos del sitio de crecimiento de cada individuo (Gordon, 1983; Wilson y Witkowski, 2003). Así, el grosor de corteza está asociado a factores evolutivos relacionados con la protección contra patógenos, depredadores, y aspectos macroambientales, además de factores ecológicos como cambios en las condiciones climáticas microambientales (Romero, 2012). En las estimaciones de los PVC en este trabajo, se ha enfatizado la diferencia entre especies, agrupando a todos los individuos de una misma especie en el mismo conjunto para los análisis. De esta forma, se han promediado las posibles diferencias debidas a microambiente, y se han resaltado las diferencias debidas al linaje de la planta, es decir las propias de las especies.

## **Impacto potencial de la imprecisión de los PVC en el manejo forestal y la economía de la empresa forestal**

Como se mencionó previamente, para cuatro de las especies ha habido una subestimación en la madera de las trozas comercializadas. Para las dos restantes se han sobreestimado estos volúmenes. Para entender el posible impacto de la imprecisión de los PVC en aspectos de manejo, se realizó un ejercicio de cálculo de individuos que no se hubieran cortado, o individuos adicionales que se tendrían que haber cortado, bajo los nuevos valores de PVC. Este ejercicio indicó que en el caso de tres de las especies, *S. macrophylla*, *S. cubensis* y *C. dodecandra*, los nuevos PVC hubieran implicado la tala de 1 a 3 individuos menos en el periodo de 2010 a 2016 (Tabla 6). Aunque estos números podrían parecer pequeños, esta diferencia puede ser de gran importancia para la Caoba, pues se trata de una especie que ha sufrido una sobreexplotación en la zona (Navarro, 2015). También es relevante para el Siricote, una especie poco abundante en la selva mediana, para la que no se conocen muchos datos de su biología, incluyendo la tasa de crecimiento (Campos, *et al.* 2015). En este sentido, la tala de un menor número de individuos tiene un impacto importante en el bosque. El número de individuos que no necesitaban talarse se eleva en el caso de *M. brownei*, en donde se calculó que 112 individuos podrían haberse dejado en pie usando los nuevos PVC.

Para dos de las maderas duras, los nuevos valores de PVC indican que se han sobreestimado los volúmenes de madera por troza. Este es el caso del Chicozapote (*M. zapota*) y el Tzalam (*L. latisiliquum*). En el caso del Tzalam, se calcula que 16 individuos adicionales debieron cortarse para cubrir la demanda de madera de 2010-2016 (Tabla 6). Para el Chicozapote, este número se eleva a 230 individuos. Esta alza significativa en el Chicozapote se debe a que es la especie comercial más importante del ejido. Esta planta ha representado el 42% del total de árboles talados, mientras que el Tzalam ha representado un 18% (Tabla 4). Este cambio en el PVC podría implicar, sobre todo en el caso del Chicozapote, un replanteamiento en la forma de aprovechar estas especies.

Además del efecto en el número de individuos aprovechados, aplicar los nuevos PVC tendrá un efecto en términos económicos para el ejido. Aunque el análisis económico queda fuera de los objetivos de esta tesis, se infiere que estos PVC podrían estimular la implementación de estrategias adicionales al actual manejo del bosque. Estas estrategias estarían encaminadas a evitar pérdidas económicas y a buscar un mejor manejo de la selva. Una posible manera de buscar un equilibrio en este sentido sería alterar los precios de venta de la madera, o buscar otros mercados de comercialización (Ríos-Cortez *et al.*, 2012). Esta propuesta puede ser más complicada de lo que parece, ya que generalmente se tiene contratos con los compradores o precios estandarizados en la región (Frederick *et al.*, 2013). Aunque parece difícil, esta vía permitiría compensar las pérdidas potenciales en la empresa forestal ejidal derivadas de la aplicación de los nuevos PVC.

Una vía para encontrar mejores mercados de comercialización de la madera ha sido la certificación (Martínez y Colin, 2003). La certificación internacional podría limitar estas pérdidas, debido a que promueve que las comunidades forestales entren al mercado global (Wiersum *et al.*, 2013). La estandarización a nivel local de los criterios de manejo forestal a nivel global permitiría dar más alternativas al aprovechamiento. La certificación podría ser una buena oportunidad de ampliar el mercado de la madera del ejido, buscando ir de la mano con el mercado global de las maderas (Frederick *et al.*, 2015). Un incremento de la actividad forestal en el ejido irá emparejado con un aumento en el interés de los ejidatarios por esta actividad.

Actualizar los PVC para las especies aprovechadas es importante para mejorar el comercio de la madera y el manejo sustentable del bosque. En este trabajo se actualizaron los PVC de las seis especies de más importancia comercial para el ejido. Sin embargo, la empresa forestal en Felipe Carrillo Puerto enlista como especies de aserrío más de 20 especies de plantas (Arreola y Be-Cituk, 2012). A estas especies se les aplica el PVC previo dependiendo de si son maderas duras o blandas. Sería muy importante actualizar también los PVC y las ecuaciones de cubicación para estas otras especies. La actualización de los porcentajes de corteza y la facilidad de implementar esta metodología, podría incentivar el trabajo en el monte por parte de la comunidad, para generar nuevos factores de corteza para

especies que comercializan en menor medida (Bray *et al.*, 2006, Bray y Merino, 2004 y Sabogal *et al.*, 2008).

### **Uso de los nuevos PVC en otras empresas forestales comunitarias de la zona**

Una de las propuestas para esta investigación es la implementación de los nuevos valores de PVC en toda la península de Yucatán o al menos en los Ejidos donde se aprovechen estas especies. El traslape en cuanto al tipo de bosque y especies aprovechadas es muy grande entre los ejidos de la zona, además de que se realiza un manejo muy parecido al que se aplica en Carrillo Puerto (Ejido Dzula y Anexo X-Haas, 2009; Ejido Adolfo de la Puerta, 2006; Ejido Petcacab y Polinkin, 2011; Argüelles *et al.*, 2011).

Un problema potencial para la implementación del nuevo PVC en otros ejidos que aprovechen las mismas especies, sería el que las ecuaciones ajustadas sólo serían aplicables a individuos de diámetro similar a los utilizados aquí. Sin embargo, esto probablemente no represente un problema, ya que en estos ejidos también se aplica un método de selección a través de un diámetro mínimo de corta, un método que se utiliza principalmente en los bosques tropicales, a diferencia de los bosques templados (Gerez y Purata, 2008; Granados, 2008). En estos ejidos, el diámetro mínimo de corta de las especies aprovechadas es similar al aplicado en el Ejido Felipe Carrillo Puerto, y por lo tanto, los PVC de este trabajo serían aplicables a estos otros sitios.

### **Variación del PVC con el tamaño de la planta y entre el volumen de madera y el volumen total de la troza**

En este estudio se examinó si el PVC de las diferentes especies mostraba alguna asociación con el diámetro a la altura del pecho (DAP), y por lo tanto con el tamaño de la planta. Una asociación fuerte, implicaría que es necesario considerar el tamaño de la planta al calcular el volumen maderable de una troza, aplicando un PVC distinto. Al ajustar los modelos prediciendo el PVC a partir del DAP, solamente

se encontró relación en el Katalox (*S. cubensis*) y en el Chechen (*M. brownei*, Tabla 8). Esta relación no es muy estrecha, por lo que no se propone el uso de diferentes valores de PVC para diferentes dimensiones de troza en las diferentes especies. Este resultado simplifica la cubicación en campo por parte de los ejidatarios, que solamente requiere conocer el PVC único de cada especie.

Por su parte, la ecuación que relacionó el volumen de madera con el volumen total presentó muy buenos ajustes en todas las especies. Los coeficientes de determinación de los modelos ( $R^2$ ) fluctuaron entre .993 y .999 para las seis especies (Tabla 9). Esto significa que el volumen de madera puede ser estimado de manera precisa a partir del volumen total y que es posible calcular el PVC con la metodología propuesta (Atha et al. 2005; Wehenkel et al., 2012). A continuación se discuten algunos aspectos relacionados con la metodología aplicada en este trabajo.

### **Algunos aspectos metodológicos**

Este trabajo siguió la metodología de Wehenkel et al. (2012) implementada originalmente en los bosques templados de Durango. El presente trabajo demuestra que esta metodología puede ser aplicada también a especies del trópico de manera relativamente sencilla a partir de pocas herramientas y utilizando un grupo pequeño de mediciones. Estimar más PVC para especies adicionales de la selva mediana subperennifolia de Quintana Roo y de otras especies del trópico de México, sería de gran utilidad para el manejo de los bosques y para el impulso de las empresas forestales comunitarias (Frederick *et al.*, 2015; Gerez y Purata, 2008).

Si bien las mediciones son sencillas y requieren un conjunto pequeño de materiales de medición, estas toman un tiempo significativo en campo. Es por ello que el tamaño muestral por especie en este trabajo fue de veinte individuos por especie. Los análisis estadísticos muestran que este tamaño muestral fue adecuado para el cálculo de los PVC (ver estadísticas de bondad de ajuste en Tablas 6). Sin embargo, sería ideal poder incluir un mayor número de datos en estos cálculos año con año para robustecer las estimaciones del PVC. Cabe mencionar que si bien el diámetro de las trozas fue poco variable en la muestra, esto refleja el criterio de

selección de árboles a través del diámetro mínimo de corta (Granados, 2008). En el aprovechamiento de la selva los individuos más grandes cada vez son más escasos, por lo que es poco probable que el ejido detecte individuos de mayor talla que los analizados aquí en futuros ciclos de corta. Navarro (2015) resalta este hecho con *Swietenia macrophylla*, adjudicando esta condición a diversos factores, entre ellos el manejo previo del bosque con el que se extrajeron los individuos de mayor tamaño de esta especie.

El trabajo de medición en campo fue realizado tanto en la zona de acumulación de troncos (bacadilla), como en la selva. Cada sitio de colecta de datos presenta ventajas y desventajas. Por un lado, el trabajar en bacadilla permite hacer el muestreo más rápido, al estar todas las especies en un área en particular, y permite elegir los troncos a medir. Un trabajo de medición concentrado en bacadilla permite aumentar el tamaño muestral al reducir el tiempo de desplazamiento. Sin embargo, al ser arrastrados los troncos a la bacadilla, se pierde corteza, lo que complica las mediciones y lleva a que se invierta tiempo adicional en la búsqueda de fustes que estén en buenas condiciones. Otra desventaja es que puede resultar complicado identificar las especies sólo con el tronco.

Por su parte, el trabajo en la selva facilita la identificación de las especies y la obtención de corteza para calcular su volumen. También permite contar con mayor espacio para manipular el tronco y con la copa del árbol para cualquier observación adicional. La razón por la que se podría rechazar esta opción es el hecho de entrar en la selva, factor que puede ser riesgoso sin conocer los caminos y las veredas. Además, las áreas de corta pueden extenderse por hectáreas, por lo que la inversión de tiempo para desplazarse es significativamente mayor que en la bacadilla. Es frecuente que para algunas trozas el trabajo se dificulte por el sitio en el que fueron taladas (ríos, barrancas o entre otros árboles). Todos estos factores tendrían que tomarse en cuenta en el diseño de futuros estudios que busquen coleccionar mediciones para el cálculo de los porcentajes de volumen de corteza.

## CONCLUSIONES

El avance de las comunidades forestales en México se ve afectada por diversos factores entre los que destaca la falta de herramientas metodológicas. Este trabajo es una contribución en este sentido, pues estimó ecuaciones de cubicación para las seis especies de mayor importancia comercial del Ejido Felipe Carrillo Puerto en Quintana Roo. Las ecuaciones utilizadas actualmente por la empresa forestal en el ejido se basan en valores de porcentajes de volumen de corteza que son muy generales (10% para todas las especies agrupadas como de madera dura) y que fueron estimadas con una distribución de tamaños en los individuos diferente a la que se observa actualmente en el bosque. En este trabajo se estimaron nuevos porcentajes de volumen de corteza por especie y considerando los tamaños que se aprovechan actualmente.

Las nuevas ecuaciones mostraron que existen cuatro especies para las que se ha subestimado el volumen de madera por troza, mientras que para otras dos se ha sobreestimado dicho volumen. De aplicarse los nuevos porcentajes de volumen, será necesario pensar en estrategias de manejo para las especies para las que será necesario cortar un mayor número de individuos que permitan ajustar el volumen de madera vendido. Además, sería necesario discutir estrategias para equilibrar la balanza económica en el caso de estas mismas especies.

Las ecuaciones generadas en este trabajo pueden ser aplicadas en otros ejidos de la zona en los que se aprovechen especies similares cuyos individuos tengan tallas parecidas a las de las plantas en Felipe Carrillo Puerto. De igual forma, la metodología aplicada en este estudio se recomienda para cualquier investigación que busque estimaciones de los porcentajes de volumen de corteza en otras especies de la Península de Yucatán, y de otras zonas tropicales. Contribuciones de este tipo como las realizadas por este estudio tendrán un efecto importante en el manejo sostenible de nuestros bosques tropicales y en apoyar a los ejidos forestales del país.

## REFERENCIAS

- Alatorre, F. G. 2000 La construcción de una cultura gerencial democrática en las empresas forestales comunitarias. Procuraduría agraria. Casa Juan Pablos s. a. Mexicali. Mexico.
- Anda, C. 1986. Quintana Roo: tres casos vivos. Selva, vivienda, comunicación. México, Unión Gráfica.
- Argüelles S. L. A., C. P. Bárcenas, L. F. Gutiérrez, A. T. Noble, M. M. García, 2011. Programa de Manejo Forestal Nivel Avanzado para las Selvas Tropicales del Ejido Bacalar, Q. Roo
- Arreola P. J. A., E. Be-Cituk 2011. Plan de Manejo para el aprovechamiento forestal maderable en el ejido Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo. CONAFOR, Quintana Roo, México. p. 146.
- Arriaga M. V., V. G. Cervantes, A. Vargas-Mena. 1994 Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas sedesol. Instituto Nacional de Ecología UNAM. México. p. 6-10.
- Atha, D. E., Romero, L. y Forrest, T. 2005. Bark volumen determination of *Bursera simaruba* in Belize. *Caribbean Journal of Science*, 41(4), 843\_848
- Banco Mundial, FAO y Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. 2009. Gender in agriculture source book. Washington, DC <http://siteresources.worldbank.org/INTGENAGRLIVSOUBOOK/Resources/CompleteBook.pdf>).
- Barsimantov, J. 2010. Tenure, tourism and timber in Quintana Roo, Mexico: Land tenure changes in forest ejidos after agrarian reforms. *Int. J. Commons*, 4, 293–318.

- Barton B. D., L. P. Merino, D. Barry. 2007 *Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales*. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). México, D.F. p. 442.
- Baty, F., Ritz, C., Charles, S., Brutsche, M., Flandrois, J.-P., and Delignette-Muller, M.-L. 2014. A toolbox for nonlinear regression in R: the package nlstools. *J. Stat. Softw.*
- Baur. G. N. 1964. *The Ecological Basis of Rain Forest Management* Forestry Commission, N.S.W., Australia, p. 499
- Bellefontaine R., Petit S., Pain-Orcet M., Deleporte P., Bertault J. G. 2002 *Los árboles fuera del bosque; Hacia una mejor consideración. Funciones e importancia para el desarrollo. Guia FAO conservación. Departamento de Montes. FAO. Roma, Italia.*
- Bonan, G.B. 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* 320(5882): 1444–1449. doi:10.1126/science.1155121.
- Bray, D.B., Merino-Pérez, L., Negreros-Castillo, P., Segura-Warnholtz, G., Torres-Rojo, J.M., y Vester, H.F. 2003. Mexico's community-managed forests as a global model for sustainable landscapes. *Conserv. Biol.* 17(3): 672–677
- Bray D. B. y L. P. Merino. 2004. *La experiencia de las comunidades forstales en Mexico Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias*. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F
- Bray, D.B., Antinori, C., Torres-Rojo, M. 2006 The Mexican model of community forest management: Agrarian policy, forestry policy and entrepreneurial organization. *Forest Policy Econ.* , 8, 470–484.

- Bray, D.B., L. Merino-Pérez y D. Barry. 2007. Los Bosques Comunitarios de México: Manejando para Paisajes Sustentables. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F
- Bray, D. B., Durán M. E., Merino P. L., Torres R. J. M. y Velázquez M. A. 2007. Nueva evidencia: Los bosques comunitarios de México protegen el ambiente, disminuyen la pobreza Y promueven paz social. Concejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. A.C. Mexico p.p. 26
- Bocco, G., Velázquez, A., Torres, A. 2000. Ciencia, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Un caso de investigación participativa en México. *Interciencia*, vol. 25, núm. 2, marzo-abril, 2000, pp. 64-70. Venezuela.
- Campos, B., Simeí, M., Jimenez-Osornio, J., y Barrientos, M. 2015. Dasyometric analysis of Siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) plantations under three types of management at Xmatkuil Yucatan. *MADERA BOSQUES* 21(3): 47–54.
- Canadell, J.G., y Raupach, M.R. 2008. Managing forests for climate change mitigation. *science* 320(5882): 1456–1457.
- CCMSS, 2008. Nota Informativa 19. Tramitología: Un fuerte obstáculo para el sector forestal en México, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. México 7p
- CCMS, 2015. Riesgos y oportunidades del presupuesto base cero para el sector forestal mexicano. Nota Informativa 42. Monitoreo de Políticas Públicas. Mexico. 3p.
- Céspedes-Flores, S. E., Moreno-Sánchez, E. 2010 Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental*. 2, 5–13.

Challenger, A., y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 87-108.

CONAFOR, 2009. REFORESTACIÓN INFORME DE ENTIDADES FEDERATIVAS Resultados, Aciertos y Áreas de Oportunidad. Evaluación Externa Ejercicio Fiscal 2008. Mexico

CONAFOR, 2015. Servicios ambientales del Bosque, Servicios Ambientales. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Fecha de consulta 18/10/2016. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/servicios-ambientales/>.

Daltabuit, M. G., E. V. Valenzuela, H. R. Cisneros, J. Á. M. Mejía y I.P. Terrón. 2005. Sustentabilidad y Ecoturismo en Tres Garantías, Quintana Roo. Cuernavaca: UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, 85 p.

Da Cunha, T., y Guimarães, C. 2009. Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de Pinus taeda L. en el sur de Brasil. Kurú: Revista Forestal, 6 (16), 1-15.

De Groot, R.S., Wilson, M., Boumans, R., 2002. A typology for the description, classification and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics 41 (3), 393–408.

Departamento Forestal de la FAO. 2011, Productos forestales 2005-2009. Anuario forestal, Colección FAO Montes N° 44 Estadística N° 200. Roma.

Departamento Forestal de la FAO. 2016, Productos forestales 2010-2014. Anuario forestal, Colección FAO Montes N° 49 Estadística N° 205. Roma, Italia. 358 P.

Dewees P., 2013. Bosques, árboles y hogares resilientes. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales. FAO, Unasyuva 241, Vol. 64, 2013/

Doruska, P. F. Patterson D., Hartley J. Hurd M. y Hart T. 2009. Newer Technologies and Bioenergy Bring Focus Back to Bark Factor Equations. *Journal of Forestry*; 107,1 ProQuest SciTech Collection 38 p.

Edmunds D. S., E. K. Wollenberg. 2013 *Local Forest Management: The Impacts of Devolution Policies*. Routledge. P. 32.

Ejido Adolfo de la Puerta, 2006. Programa de Manejo para el Aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables y No Maderables. Ejido Adolfo de la Huerta, Municipio de José María Morelos, Quintana Roo, México.

Ejido Dzula y Anexo X-Haas. 2009. Aprovechamiento persistente de recursos forestales maderables; Aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables en el ejido Dzula y su Anexo X-Haas, Municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo.

Ejido Felipe Carrillo Puerto - U'yo'olché A. C. 2005. Estudio de Ordenamiento Territorial del Ejido Felipe Carrillo Puerto. Ordenamiento Territorial. Ejido Felipe Carrillo Puerto, Q. Roo. 95 p.

Ejido Petcacab y Polinkin. 2011. Manifestación de impacto ambiental para el aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables y No Maderables en el ejido Petcacab, Municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo.

Ellis, E.A., and Porter-Bolland, L. 2008. Is community-based forest management more effective than protected areas?: A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico. *For. Ecol. Manag.* 256(11): 1971–1983.

FAO, 1948. *Las Reservas Forestales del Mundo - Recursos Forestales del Mundo Unasylva - Vol. 2, No. 4*, Roma

FAO 2005, *Global Forest Resources Assessment 2005. Progress Towards Sustainable Forest Management*, FAO Forestry Paper 147. FAO, Roma.

FAO (b). 2005. Terms and definitions. Global Forest Resources Assessment Update. Forestry Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 33 p.

FAO, 2007 El estado mundial de la agricultura y la alimentación, pagos a los agricultores por servicios ambientales. Servicios ambientales y agricultura. Roma

FAO, 2013. La FAO, los bosques y el cambio climático; Trabajando con los países para hacer frente al cambio climático por medio de la gestión forestal sostenible. Boletín informativo. Roma.

FAO (a) 2014. Los múltiples beneficios de los bosques. El estado de los bosques del mundo; Potenciar los beneficios socioeconómicos de los bosques. Roma.

FAO (b) 2014. La medición de los beneficios socioeconómicos. El estado de los bosques del mundo; Potenciar los beneficios socioeconómicos de los bosques. Roma.

FAO (a). 2016. El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma.

FAO (b), 2016 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES MUNDIALES 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo? Segunda edición, Roma

FAO (c) 2016 Bosques Biodiversity ; Biodiversidad para un mundo sin hambre. Fecha de consulta 18/10/2016.

<http://www.fao.org/biodiversity/componentes/bosques/es/>

Fernández E. V. y Mendoza, N. 2015. Sobrerregulación forestal; Un obstáculo para el desarrollo sustentable de México. Fuente Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible Cuatro Muros. México 28 p.

Flachsenberg H. y Galleti H. A. 1998. Forest management in Quintana Roo, Mexico En Primack, R. B., Bray, D. Galleti H. A. y Ponciano I. Timber, Tourists, and

- Temples: Conservation And Development In The Maya Forest of Beliza, Guatemala y Mexico. Island Press. Washington D. C. 426 p.
- Franquis F. R., Infante A. M. 2003 "Los Bosques y su Importancia para el Suministro de Servicios Ambientales". (Revista Forestal Latinoamericana 34-2003, 17 – 30 p.p
- Forero O. A. y Redclift, M. R. 2007. The production and marketing of sustainable forest products: chewing gum in Mexico. Development in Practice Journal. Volume 17, 2007 - Issue 2 Pp.196-207
- Fowler, G. W. 1991. An aspen bark factor equation for Michigan. North. J. Appl. For. 8(1): 12-15.
- Fowler, G. W., and N. G. Hussain. 1997. Bark factor equations for paper birch in Michigan. Michigan DNR For. Infor. Leaflet 1-97. 12 p.
- Frederick W. C., R. Davis., Rodríguez D. P., Mollenhauer R., Kraus Y. E., Gregory E. F., González I. A. H., Albarrán H. H., Mercedes A. S. C., y Nacibe D. C. S. 2013. Competitividad y Acceso a Mercados de Empresas Forestales Comunitarias en México. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y El Banco Mundial, México
- Frederick W. C., R. Davis., Rodríguez D. P., Mollenhauer R., Kraus Y. E., Gregory E. F., González I. A. H., Albarrán H. H., Mercedes A. S. C., y Nacibe D. C. S. 2015. Community Forestry Enterprises in Mexico: Sustainability and Competitiveness, Journal of Sustainable Forestry, 34:6-7, 623-650
- Freer-Smith, P.H., Broadmeadow, M.S.J. and Lynch, J.M. 2007. Forests and climate change: the knowledge-base for action. Forestry and Climate Change, edited by Freer-Smith, P.H., Broadmeadow, M.S.J. and Lynch, J.M. UK: CAB International, p.7-14.

- Gadow, K. v.; S. Sánchez O. y O.A. Aguirre C. 2004. Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques* 10(2):3-16.
- Galletti, H.A. 1999. La selva maya en Quintana Roo (1983-1996) trece años de conservación y desarrollo comunal. In *La selva maya, conservación y desarrollo*. Edited by R.B. Primack, D. Bray, H.A. Galletti, and I. Ponciano. Siglo XXI Editores, Mexico City, Mexico. pp. 53–73. Available from [http://www.era-mx.org/Estudios\\_y\\_proyectos/xxestudioscaso/galletti.htm](http://www.era-mx.org/Estudios_y_proyectos/xxestudioscaso/galletti.htm) [accessed 27 October 2016].
- García, E. 2004 *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía-UNAM. ISBN-UNAM Serie Libros (Obra General) 968-36-7398-8. Mexico.
- Granados S. D. 2008. *Desarrollo sustentable; aplicaciones e indicadores. Aprovechamiento sustentable de la selva maya de Quintana Roo*. H. Cámara de Diputados, LX Legislatura Miguel Ángel Porrúa, librero-editor ISBN 978-607-401-051-0 173-206
- Gerez, P. y S. E. Purata. 2008. *Guía Práctica Forestal de Silvicultura Comunitaria*. SEMARNAT/CONAFOR/CCMSS. i-ix, 73 páginas. México.
- Gobbi, J; Ibrahim, M; Casasola, F; Ramírez, E; Murgueitio, E. 2005. ¿Solucionando el problema del monitoreo? El uso de un índice ecológico como herramienta para aplicar un pago por servicios ambientales. In Henry Wallace/CATIE Inter-American Conferences Series (4, 2004, Turrialba, CR). 2005. Integrated management of environmental services in human-dominated tropical landscapes. CATIE. p 15-18.
- Godas, M.D., Valenzuela, E., Cisneros, H., Mejía, J. de los Á., and Terrón, I. 2005. *Sustentabilidad y ecoturismo en Tres Garantías, Quintana Roo*. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico.
- Gordon, A. 1983. Estimating bark thickness of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forest Science*, 13(3), 340\_348

- Harkin, J. y Rowe, J. W. 1971. *Bark and its possible uses*, p. 56. Madison, WI: Forest Products Laboratory. U.S. Forest Service.
- Husch, B., C. I. Miller, and T. W. Beers. 1982. *Forest Mensuration*. John Wiley and Sons, Inc., NY. 402p.
- Husch B., T.W. Beers, J A. Kershaw. 2002. *Forest Mensuration, Determination of Tree Volume*. 4<sup>th</sup> John Wiley y Sons. p. 118-151.
- Husch, B., Beers T. W., Kershaw J. A. Jr. 2002. *Forest Mensuration*, 4th Ed. John Wiley y Sons, Hoboken, NJ. 456 p. ISBN: 978-0-471-01850-6
- ITTO, 2005. Consecución del Objetivo 2000 y La Ordenación Forestal Sostenible en México. Resumenanalítico. Informe presentado al Consejo Internacional de las Maderas Tropicales (ITTO), por la Misión de Diagnóstico establecida conforme a la Decisión 2(XXIX). Yokohama, Japón. 14 pp.
- ITTO 2012. Reseña anual y evaluación De la situación mundial de las maderas 2012. Organización Internacional De las Maderas Tropicales; División de Información Económica e Información sobre el Mercado. Yokohama, Japón.
- INEGI, 1991. Quintana Roo. Resultados definitivos. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Aguascalientes, 224 pp.
- INEGI 2002. Estudio Hidrológico del Estado de Q uintana Roo. Anuarios Estadísticos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. México
- INEGI 2016 “Estadísticas a propósito del día internacional de los bosques”, El aprovechamiento Forestal en México. Datos Nacionales Aguascalientes, AGS. [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2016/bosques2016\\_0.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2016/bosques2016_0.pdf)

- Jardel, E.J. P. 2006. Viejos y nuevos problemas en el sector forestal en México. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara
- Khan, M. A. y Ashraf, S. M. 2007. Studies on thermal characterization of lignin. Substituted phenol formaldehyde resin as wood adhesives. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 89(3), 993-1000.  
<http://www.readcube.com/articles/10.1007/s10973-004-6844-4>
- Kaimowitz, D. 2008, "The prospects for Reduced Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) in Mesoamerica", *International Forestry Review*, 10(3): 485-495.
- Klooster, D. 2000. *Institutional choice, community, and struggle: A case study of forest co-management in Mexico*. *World Development*, 28(1), 1-20.
- Koch C. B. 1971. Bark Volume of yellow Poplar, red, black and scarlet Oak and red Maple in west Virginia Bulletin 602T West Virginia University Agricultural Experiment Station. USA 28 p.
- König, B. 2007. Untersuchungen zur stofflichen Verwendung von extrahierter Fichtenrinde [Studies on the the material use of extracted spruce bark], p. 201. Göttingen, Germany: Cuvillier Verlag.
- Kosak. A., Yang. R. C. 1981. Equations for Estimating Bark Volume Thickness of Commercial Trees in British Columbia. *The Forestry Chronicle*. Macquarie University. p. 112-115
- López, A. 2012. Deforestación en México: un análisis preliminar. Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C. México, D. F., México. Vol. 527. 46 p.
- Lund, H.G., Torres V., Turner A.y L. Wood. 2002. Análisis crítico de los estimados disponibles de deforestación. USAID. SEMARNAT. México

- Madrid, L., Núñez J. M., Quiroz G. y Rodríguez Y. 2009. La propiedad social forestal en México, *Investigación ambiental* (1):2, pp. 179-196
- Malone, T. y Liang, J. 2009. A bark thickness model for White spruce in Alaska Northern Forests. *International Journal of Forestry Research*, 1\_5, doi:10.1155/2009/876965.
- Martínez, G. A. y Colin, C. S. 2003 La certificación ambiental de los bosques en México: reporte preliminar. *Gaceta Ecológica*, núm. 67. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Distrito Federal, México. pp. 45-60
- Martínez-López, J., Acosta-Ramos, A., 2014 Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina*, en Ixtlán, Oaxaca, México *Madera y Bosques* [en línea] 20 ( ) : [Fecha de consulta: 18 de abril de 2016] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61730576006>> ISSN 1405-0471
- Marshall H. D., Murphy G. E. y Lachenbruch B. 2006. Effects of bark thickness estimates on optimal log merchandising. *Forest products journal* vol. 56, no. 11/12
- Mas J. F., S. Valentino, A. Roman. 1996. Elaboracion de un Modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geograficas boletín*, numero 5, Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Mather, A. S. 1990. *Global forest resources*. Belhaven Department of Geography, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland, UK.
- Merino P. L. 2004. Conservación o deterioro. El impacto de las políticas públicas en las comunidades y en los bosques de México. México: Instituto Nacional de Ecología
- Merino, L. P., D. B. Bray y D. Barry. 2007. Los bosques comunitarios de México Manejo sustentable de paisajes forestales

- Merino P. L. 2012. Las condiciones de las comunidades forestales mexicanas y la política pública. Recuento de des encuentros. En Durand L., Figueroa F. y Guzmán M. La naturaleza en contexto. Hacia una ecología política mexicana. México, D. F.: CRIM-CIICH-UNAM / El Colegio de San Luis, A.C., 336 p.
- Meyer, H. A. 1946. Bark volume determination in trees. *Journal of Forestry*, 44, 1067\_1070.
- Missouri Botanical Garden. 2016. Tropics. Available from <http://www.tropicos.org/> [accessed 12 November 2016].
- Mohamed-Katerere, J. y Smith, M. 2013. La función de los ecosistemas en la seguridad alimentaria. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales. FAO, Unasyuva 241, Vol. 64, 2013/2
- Moret, A. Y., P. Ruíz. 1998. Determinación de ecuaciones de volumen para mureillo (*Erisma uncinatum*) en la unidad c4 de la reserva forestal imataca, Bolívar-Venezuela. Rev. Forest. Venez. Venezuela. 42(2) p.187-197
- Navarro-Martínez A. J., Borja-de la Rosa M. Á. Musalem-Santiago H. Ramírez-Maldonado D. Granados-Sánchez. 2002. Ecuaciones y tablas de volúmenes comerciales con y sin corteza para *Peltogyne mexicana* Martínez, una especie amenazada del estado de Guerrero, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 8(2): 133-139.
- Navarro-Martínez, A., Durán-García, R., and Méndez-González, M. 2012. El impacto del huracán Dean sobre la estructura y composición arbórea de un bosque manejado en Quintana Roo, México. Madera Bosques 18(1): 57–76.
- Navarro M. M. A. 2015. Diagnóstico del estado actual de *Swietenia macrophylla* King (Caoba) en los bosques manejados de Quintana Roo, México: perspectivas para su manejo. Universidad Veracruzana Centro de Investigaciones Tropicales. Xalapa-Enríquez, Veracruz, Mex.

Negreros-Castillo, P. 1991. "Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) regeneration in Quintana Roo, Mexico ". Retrospective Theses and Dissertations. Paper 9561

Norris E. Dodd 1948 Recursos Forestales del Mundo Departamento de montes. Las Reservas Forestales del Mundo - Recursos Forestales del Mundo, Unasylva - Vol. 2, No. 4

ONU-REDD 2010 E estrategia del Programa ONU-REDD 2011-2015 Documento Marco del Programa de Colaboración de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones Debidas a la Deforestación y la Degradación Forestal en Países en Desarrollo. Ginebra, Suiza El Programa ONU-REDD.

Orozco V. L., D. Quirós. 2006. Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales. Centro Agronómico Tropical de Investigación Enseñanza. Turrialba, Costa Rica p. 434.

Paine, C.E.T., Stahl, C., Courtois, E.A., Patiño, S., Sarmiento, C. y Baraloto, C. 2010 Functional explanations for variation in bark thickness in tropical rain forest trees. *Functional Ecology*, 24, 1202–1210.

Philip, M.S. 1994. *Measuring Trees and Forests*. 2nd ed. CAB Inter., Wallingford, Oxfordshire, UK. 310 pp.

Pinilla S.J.C., Molina B.M.P.; Briones, R., Hernández C. G. 2006. Opciones de productos a partir de la madera de acacia, y su promoción. Antecedentes de una experiencia con acacias en Chile. Instituto Forestal, Casilla 109– C, Concepción, Chile *Boletín del CIDEU* 2: 73-92

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. <http://pnd.gob.mx/> citado 31 agosto de 2015

PNUMA, 2011. Los bosques y los árboles, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente TZUNA, tomo 9 No. 1 Nairobi, Kenia.

Pozo, C., Armijo Canto, N. y Calmé, S. 2011. Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd). México, D. F

Primack, R. B. Bray, D. Galleti H. A., Ponciano I. 1999. Selva maya, conservación y desarrollo. Siglo veintiuno editores, S.A. de C.V. Island press. 461 p.

Rainforest Alliance-CCMSS 1998. Resumen público de la certificación de manejo forestal de la Sociedad Civil de Productores Forestales Ejidales de Quintana Roo. México, Smart Wood Program c/o Rainforest Alliance y Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible.

Recio G. Á. 2012. Ecuaciones de cubicación para el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en el monte Aguas Vertientes N.138 del C.U.P. en el municipio de El Espinar (Segovia).. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.U.I.T. Forestal (UPM) [antigua denominación].

RStudio Team. 2015. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

Ríos-Cortez A., J Torres-Pérez, A. Gómez-Guerrero, A. Navarro-Martínez. 2012. Relacion entre el manejo forestal y el bienestar socioeconómico en dos ejidos de Quintana Roo Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Año 18, Vol. 18 (2): 251-259.

- Romahn-de la Vega C. F. Ramírez, H. M. 2010. Dendometría; Cubicación de árboles y productos primarios Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales.
- Romero C. 2012, Bark Ecology, Ecology. Info 34. Department of Botany University of Florida Gainesville, Florida, USA [Online]. Available: <http://www.ecology.info/bark-ecology.htm>, [Accessed: 20 Enero. 2017
- Romero, C. 2012. Bark structure and functional ecology. Department of Botany, PO 118526, University of Florida, Gainesville, FL 32611-8526
- Rosell J. A. 2016. Bark thickness across the angiosperms: more than just fire. *New Phytol.* 211 90–102. 10.1111/nph.13889
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. In 1a Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sabogal C., de Jong W., Pokorny B., Bastiaan L. 2008 Manejo forestal comunitario en América Latina; Experiencias, lecciones aprendidas y retos para el futuro. Centro para la Investigación Forestal (CIFOR), Belém, Brasil
- Saenz-Esqueda, M. A., Rosales-Castro M., Rocha-Guzman, N. E., Gallegos-Infante, J. A. y Gonzalez-Laredo, R. F. 2010. Phenolic content and antioxidant action in needle extracts from *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii* and *P. teocote*. *Madera y Bosques*, 16(3), 37-48.
- Sánchez-Sánchez, O., and I slebe, G.A. 2002. Tropical forest communities in southeastern Mexico. *Plant Ecol.* 158(2): 183–200.
- Segura-Warnholtz, G. 2014. Quince años de políticas públicas para la acción colectiva en comunidades forestales, *Revista Mexicana de Sociología* (76):5, pp. 105-135

- SEMARNAP. 1996. Programa de Áreas Naturales Protegidas de México, 1995-2000. 1a ed. México. P. 100.
- Spurr, S.H. 1952. Forest Inventory. The Ronald Press Company, NY. 476 pp.
- Turner, B.L. 1978. Ancient agricultural land use in the central Maya lowlands. Pre-Hisp. Maya Agric. Univ. N. M. Press Albuq. N. M. USA: 163–183.
- Valdés Rodríguez, O. A., Negreros Castillo, P. 2010 El manejo forestal comunitario en México, Universidad Veracruzana, México
- Van Laar, A. y Akca, A. 2007. *Forest mensuration*, Book series: Managing Forest ecosystems, Vol. 10, 399 pp. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Vira, B., Agarwal, B., Jamnadass, R.H., Kleinschmit, D., McMullin, S., Mansourian, S., Neufeldt, H., Parrotta, J.A., Sunderland, T.C.H., and Wildburger, C. 2015. Forests, trees and landscapes for food security and nutrition. In *Forests and Food: Addressing Hunger and Nutrition Across Sustainable Landscapes*. Open Book Publishers, Cambridge, UK. Available from <http://www.cifor.org/library/5934/forests-trees-and-landscapes-for-food-security-and-nutrition/> [accessed 27 October 2016].
- Wehenkel C., Cruz-Cobos F., Carrillo A. y Lujan-Soto J. E. 2012. Estimating bark volumes for 16 native tree species on the Sierra Madre Occidental, Mexico, *Scandinavian Journal of Forest Research*, Taylor and Francis Group. 8 p.
- Wiersum, K. F., Humphries, S., y van Bommel, S. 2011. Certification of community forestry enterprises: Experiences with incorporating community forestry in a global system for forest governance. *Small-scale Forestry*, 12(1), 15–31.
- Wilhelmson, L.J. Arlinger, K. Spångbergs. Lundqvist, T. Grahn, Ö. Hedenberg, and L. Olsson. 2002. Models for predicting wood proper- ties in stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scand. J. Forest Res.* 17:330-350. pdf

Wilshusen, P. R. 2003. Negotiating devolution: Community conflict, structural power, and local forest management in Quintana Roo, Mexico. Tesis de doctorado, Universidad de Michigan p. 198-227.

Wilson, B.G. y Witkowski, E.T.F. 2003. Seed banks, bark thickness and change in age and size structure (1978-1999) of the African savanna tree, *Burkea africana*. PDF