



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA**

**Maestría en Ciencias en Conservación
y Aprovechamiento de los Recursos Naturales
Especialidad en Biodiversidad del Neotrópico**

**“ANÁLISIS DEL CARBONO FORESTAL EN LA COMUNIDAD DE
IXTLÁN DE JUÁREZ Y EL POTENCIAL PARA QUE ÉSTA RECIBA
INCENTIVOS POR CARBONO”**

T E S I S

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS**

**PRESENTA
ING. GUADALUPE PACHECO AQUINO**

**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. ELVIRA DURÁN MEDINA**

Santa Cruz Xoxocotlán, Enero del 2014.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 06 del mes de enero del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: "Análisis del carbono forestal en la comunidad de Ixtlan de Juárez y el potencial para que ésta reciba incentivos por carbono"

Presentada por la alumna:

Pacheco <small>Apellido paterno</small>	Aquino <small>materno</small>	Guadalupe <small>nombre(s)</small>							
		Con registro: <table border="1"><tr><td>A</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td><td>4</td><td>8</td></tr></table>	A	1	2	0	2	4	8
A	1	2	0	2	4	8			

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA
Directora de tesis

Dra. Eivira Duran Medina

Dr. Rafael Felipe del Castillo Sánchez

Dr. Gabriel Ramos Fernández

Dr. David Barton Bray

Dr. Jose Antonio Benjamin Ordóñez Díaz

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Rafael Pérez Pacheco



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
CIIDIR
UNIDAD OAXACA
IPN

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional, por brindarme la oportunidad de seguir preparándome y realizar la Maestría en Ciencias en las instalaciones del CIIDIR-Oaxaca.

A la comunidad de Ixtlán de Juárez por permitirme realizar recorridos de campo y obtener información valiosa para realizar esta investigación.

Al Comisariado de Bienes Comunales (especialmente al C. Pedro Torres Pérez y al Contador Luis Alberto Pérez Ruíz), a los integrantes del Consejo de Vigilancia y al personal de Servicios Técnicos Forestales (especialmente al Ing. Julio Aurelio Ruíz Aquino) y a numerosas personas que dieron su apoyo e información para recabar los datos de este estudio.

A la Comisión Nacional Forestal, por las facilitarnos la imagen SPOT 2010, para realizar esta investigación.

A la Dra. Elvira Durán Medina, por todas sus enseñanzas y su disposición en las asesorías otorgadas durante la realización de esta investigación, por ayudarme en la fase de campo, por brindarme sus consejos y por ser parte esencial en mi formación académica.

Al Dr. Rafael Felipe del Castillo Sánchez, al Dr. Gabriel Ramos Fernández y al Dr. David Barton Bray por sus asesorías y por sus valiosos comentarios para mejorar esta investigación.

Al Dr. José Antonio Benjamín Ordoñez Díaz (Servicios ambientales y cambio climático A.C.), a la Dra. María de Jesús Ordoñez Díaz (Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM) y a la Bióloga Itsel Fernanda Jiménez Álvarez, por su valiosa asesoría para la estimación del contenido de carbono en los apartados correspondientes de esta investigación.

Al M. en C. Amado Poblano Vásquez, por la asesoría brindada en temas de contabilidad.

Al Biólogo Raúl Rivera, por su valiosa asesoría brindada para la elaboración de la cartografía utilizada en este trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme los recursos económicos necesarios para realizar esta investigación y por la beca complementaria del programa de Apoyo para Mujeres Indígenas Becarias CONACYT.

Al proyecto SIP 20131162 "Bases para la conservación de abejas nativas sin aguijón en Oaxaca", por apoyarme económicamente para cubrir parte de los trabajos de campo en el bosque. AL programa PIFI por otorgarme una beca para realizar trabajo de campo.

Al proyecto "Institutional Change and Local Forest Governance: Shaping the Mexican Community Forestry Sector 1999-2012. UCMEXUS-CONACYT, CIIDIR-Oaxaca/Universidad de California, por apoyarme con fondos económicos para la fase de campo, que permitió generar la cartografía.

DECIDATORIA

A Dios, por la vida, por su amor infinitito, por ser mi fortaleza y por acompañarme en cada momento de mi vida.

A mis padres, Wilfrido Pacheco Hernández y Agueda Aquino Sánchez, por ser la gran motivación de mi vida, por brindarme su apoyo y gran amor incondicional.

A mis hermanos, Angélica, Gabriel y Adán, por brindarme sus consejos y por compartir conmigo momentos maravillosos en familia.

A mis amigos y amigas, por todos sus consejos, por los momentos mágicos vividos y por hacer de mi vida un sendero sorprendente.

A mis compañeros y compañeras del CIIDIR, que me acompañaron durante este maravilloso proyecto que es la realización de una Maestría en Ciencias, por todos sus consejos, su apoyo y por compartir momentos de alegría.

GLOSARIO

Área de manejo: Esta área comprende la superficie forestal de la comunidad.

Área de producción: Es la superficie que tiene potencial de aprovecharse para extracción de madera.

Área de aprovechamiento: Es la superficie que se interviene durante un ciclo de corta.

Cadena de custodia: se refiere a la verificación de todos los pasos y elementos en la cadena productiva de un producto forestal primario y de productos elaborados, durante su transporte, procesamiento y distribución, desde el bosque hasta su uso final.

Certificación: Es el proceso de verificación independiente del manejo forestal a un nivel requerido por un estándar dado. La certificación se ha desarrollado en gran medida en respuesta a un consenso internacional, siendo el manejo forestal sustentable la base fundamental de tal proceso.

ICA: El incremento es el crecimiento de una masa forestal en un período de tiempo determinado. El incremento en volumen de cada subrodal, se obtuvo al dividir las existencias reales por hectárea entre el promedio de edad.

Línea Base: La línea base constituye el escenario hipotético más probable, que representa lo que hubiera ocurrido si el proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio no se llevara a cabo. En términos generales, establece el nivel de emisiones y captura de gases de efecto invernadero que tendría lugar si no se ejecutan las actividades propuestas por el proyecto.

Mitigación: atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento.

Paisaje: Porción del espacio geográfico que constituye, a una escala determinada, un conjunto o sistema formado por elementos interconexiónados tanto abióticos como bióticos (incluyendo al hombre) que se encuentran en constante transformación y que se organizan como un sistema (geosistema) que pueden ser delimitados sobre la superficie terrestre de forma más o menos precisa.

Rodal: Unidad forestal básica. Es un área que comprende un cultivo más o menos homogéneo en términos de edad, composición de especies y condición.

RUC: Alude a un sistema de recursos naturales o hechos por el hombre que es lo suficientemente grande como para volver costoso (pero no imposible) excluir a destinatarios potenciales de los beneficios de uso. El acceso a un RUC puede limitarse a un solo individuo o empresa, o bien a múltiples individuos o grupos de individuos que usan el sistema de recursos al mismo tiempo.

Subrodal: Subdivisiones de un rodal.

SIGLAS

CONAFOR: Comisión Nacional forestal.

CBC: Comisariado de Bienes Comunales.

CV: Consejo de Vigilancia.

FSC: Forest Stewardship Council (Consejo de Administración Forestal).

GEI: Gases de efecto invernadero.

MVR: Monitoreo Reporte y Verificación.

PSAH: Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos.

REDD+: Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques.

RUC: Recurso de Uso Común.

CONTENIDO GENERAL

Tema	Página
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I. GENERALIDADES SOBRE LA TESIS	11
INTRODUCCIÓN	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	14
HIPÓTESIS.....	14
OBJETIVOS.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
CONTEXTO GENERAL DE LA TESIS.....	21
ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	28
LITERATURA CITADA.....	29
CAPÍTULO II. ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN LOS BOSQUES COMUNITARIOS DE IXTLÁN DE JUÁREZ	33
RESUMEN	33
INTRODUCCIÓN	34
METODOLOGÍA.....	36
Mapa de la cobertura y usos de suelo.....	36
Estimación de carbono en las distintas coberturas y usos de suelo.....	43
RESULTADOS.....	44
Mapa de la cobertura y usos de suelo.....	44
Estimación de carbono en las distintas coberturas y usos de suelo.....	47
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	47
Aproximación metodológica.....	47
Mapa de la cobertura y usos de suelo.....	49
Estimación de carbono.....	50
CONCLUSIONES.....	51
LITERATURA CITADA	51
CAPÍTULO III. DINÁMICA DEL CARBONO EN EL ÁREA DE APROVECHAMIENTO FORESTAL EN IXTLÁN DE JUÁREZ	55
RESUMEN	55
INTRODUCCIÓN	56
METODOLOGÍA.....	58
Sitio de estudio.....	58
Estimación del potencial de captura de CO ₂ en el área de manejo.....	59
Estimación del almacén de carbono en el área de manejo.....	60
Análisis de la dinámica del carbono en el área de aprovechamiento.....	61
RESULTADOS.....	62
Potencial de captura y el almacén de carbono.....	62
Dinámica del carbono en el área de manejo forestal.....	64
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	65
Almacén y captura de carbono en el área de manejo	67

Valor económico del almacén de carbono.....	68
Metodologías para la estimación del carbono.....	69
CONCLUSIONES.....	70
LITERATURA CITADA.....	70
CAPÍTULO IV. COSTO DE CONSERVACIÓN DE RESERVAS DE CARBONO FORESTAL	75
RESUMEN	75
INTRODUCCIÓN	76
METODOLOGÍA.....	77
RESULTADOS.....	79
Valor de los almacenes de carbono.....	79
Áreas y actividades de conservación.....	79
Organización para realizar actividades de conservación del bosque.....	81
Costos de las actividades de conservación.	83
Balance entre apoyos recibidos y costos por las actividades de conservación.....	84
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	85
Valor económico de los almacenes de carbono.....	86
Actividades y organización social para la conservación del bosque.....	86
Costos de las actividades de conservación.....	87
Balance entre apoyos recibidos y costos por las actividades de conservación.....	90
CONCLUSIONES.....	91
LITERATURA CITADA.....	92
CAPÍTULO V. FACTIBILIDAD DE IXTLÁN DE JUÁREZ PARA RECIBIR INCENTIVOS POR CARBONO FORESTAL	96
Las reservas de carbono.....	98
Capturar carbono en sus bosques.....	99
Costos de conservación.....	100
¿Porque Ixtlán debe recibir incentivos?	102
CONCLUSIONES.....	105
LITERATURA CITADA.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Número	Título	Página
2.1	Etapas para la elaboración de mapas sobre coberturas de bosque y usos del suelo con un enfoque técnico participativo.....	37
2.2	Agrupación y equivalencias de las categorías que se identificaron en campo, en los índices de carbono y en la clasificación final de la imagen SPOT de 2010, para la comunidad de Ixtlán.....	43
2.3	Índices de carbono forestal por clase de cobertura vegetal y uso de suelo.....	44
2.4	Cantidad de carbono arbóreo almacenado por cada categoría del mapa de coberturas y usos del suelo.....	47
3.1	Clasificación del predio comunal de Ixtlán de Juárez	58
3.2	Captura de carbono en los rodales del área de manejo para producción maderable de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.	62
3.3	Carbono almacenado en el área de manejo forestal de la comunidad de Ixtlán de Juárez.	63
3.4	Dinámica de carbono aéreo, dentro del área de aprovechamiento forestal de Ixtlán.....	64
4.1	Cantidad de carbono almacenado en áreas de conservación.	79
4.2	Costos de conservación en los diferentes tipos de bosque, durante el periodo 2010-2012.....	84
4.3	Apoyos recibidos por la comunidad y el costo de conservación de almacenes de carbono durante el periodo 2010-2012.	85
5.1	Incentivos internacionales y nacionales por carbono.....	101
5.2	Atributos para recibir pago por servicios ambientales relacionados con el carbono forestal.	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Título	Página
1.1	Estructura de la comunidad agraria de Ixtlán de Juárez.	12
1.2	Ubicación de Ixtlán de Juárez.	21
1.3	Historia del manejo forestal de Ixtlán de Juárez.....	22
1.4	Clasificaciones del predio comunal de Ixtlán de Juárez, para fines del análisis realizado en cada capítulo.	27
2.1	Ruta seguida para la clasificación de la imagen SPOT 2010.	42
2.2	Mapa de coberturas y tipos de suelo de Ixtlán de Juárez del año 2013 (parte 1).....	45
2.3	Mapa de coberturas y tipos de suelo de Ixtlán de Juárez del año 2013 (parte 2).....	46
3.1	Ubicación de Ixtlán de Juárez.	58
3.2	Área de manejo forestal, indicando el área de aprovechamiento (2006-2014) con sus diferentes anualidades.	59
3.3	Dinámica de carbono en el área de aprovechamiento.....	65
3.4	A) acomodo de residuos del aprovechamiento forestal de forma perpendicular para evitar la erosión, B) Reforestación con especies nativas de la región, C) Masas forestales jóvenes en las áreas de manejadas.....	66
4.1	Estructura de la comunidad agraria de Ixtlán de Juárez. Color gris intenso, señala a los órganos relacionados con las actividades en los bosques en conservación.....	82
5.1	a) Modelo para las reducciones de emisiones mediante incentivos b) Escenarios para Ixtlán de Juárez con y sin incentivos.	103
5.2	Aspectos relacionados con el tema de cambio climático y bosques comunitarios.....	105

RESUMEN

Se analizó el carbono forestal en la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, y el potencial para que ésta reciba incentivos por carbono; para esto se cuantificó el almacén de carbono forestal del predio de la comunidad (19,310.14 ha), mediante la utilización de un SIG-participativo y el uso de índices de contenido de carbono. Además, se estimaron los almacenes de carbono y potencial de captura de CO₂ en el área de manejo forestal, utilizando datos de existencias reales e incremento corriente anual. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de los costos de conservación de los almacenes de carbono; para esto se realizaron entrevistas informales y una revisión documental. Se encontró que el manejo del territorio comunal, favorece las cuentas de carbono; debido a que la comunidad realiza un manejo forestal sustentable en 3,469.25 ha (17.9%) de bosque de pino-encino; pero también porque realiza conservación activa de los bosques de pino-encino, bosque mesófilo y selvas altas perennifolias que se encuentran en 13,750.28 ha (71% del predio comunal). A través de conservación activa y buen manejo del bosque, Ixtlán mantiene un gran almacén de carbono forestal que se estimó equivale a 2,449,072.82 MgC. Además, se estimó que en el área de manejo forestal existen 590,487.61 MgC y se tiene un potencial de captura de 1.36 MgC ha⁻¹ año⁻¹. Las áreas destinadas a conservación almacenan aproximadamente 2,131,550.67 MgC; y para mantener dicho almacén se realizan diversas actividades, las cuales tienen un costo promedio anual de \$1,217,578.80. Las conclusiones principales de este trabajo, fueron que Ixtlán está preparada para recibir incentivos por carbono. Actualmente, Ixtlán a través de sus acciones de conservación y de manejo, está cuidando su almacén de carbono forestal, pero también está capturando carbono en sus bosques. Por lo tanto, es necesario que la comunidad negocie incentivos, para que siga contribuyendo a mitigar el cambio climático.

Palabras clave: *bosques comunitarios, almacenes de carbono, captura de carbono, costos de conservación, incentivos económicos.*

ABSTRACT

An analysis of forest carbon in Ixtlán de Juárez, Oaxaca, and the feasibility of receiving incentives for carbon capture.

Forest carbon and the potential to receive incentives for carbon capture were analyzed in the community of Ixtlán de Juárez, located in Oaxaca, México. Initially, the quantity of forest carbon stock in the total community area (19,310.14 ha) was estimated. A participatory GIS and carbon content index were used. Using data on timber stocks (existencias reales) and current annual increase carbon stocks and carbon capture potential were estimated for forest management area. Additionally, based on informal interviews and a review of documents a cost analysis for conservation of forest carbon stock was made. Results show that the community has favorable carbon accounts due to the fact that the community carries out sustainable forest management on 3,469.25 ha (17.9% of community lands) and preserves 13,750.28 ha (71% of community area) of Pinus-Quercus forests, mountain cloud forest and tropical perennial forests are in active conservation Through both sustainable forest management and active conservation Ixtlán maintains a large stock of forest carbon equal to 2,449,072.82 MgC. It is estimated that in the forest management areas the carbon stock is 590,487.61 MgC and the carbon capture potential is 1.36 MgC ha⁻¹ año⁻¹. The conservation areas store approximately 2,131,550.67 MgC. To maintain these carbon stocks diverse activities are carried out that represent an annual investment of MX \$1,217,578.80. The principal conclusion of this thesis is that Ixtlán is prepared to receive forest carbon incentives. Currently, through its actions in conservation and management it is showing good stewardship of its forest carbon stocks and is also capturing carbon. Therefore, it is necessary for the community to negotiate incentives so that it may continue to mitigate global climate change.

Key words: *Community forests, forest carbon stocks, carbon capture, forest conservation costs, carbon economic incentives.*

CAPÍTULO I. GENERALIDADES SOBRE LA TESIS

INTRODUCCIÓN

El tema del carbono atmosférico, es uno de los que actualmente tienen mayor relevancia en la agenda ambiental, esto se debe a la preocupación por el notable incremento de este gas de efecto invernadero en la atmósfera y porque científicamente tiene relación con el cambio climático global (IPCC, 2007). El incremento de dióxido de carbono (CO₂) también tiene importancia en el campo de la economía global, ya que de acuerdo al diagnóstico “La Economía del Cambio Climático” (Stern, 2006), los costos de las pérdidas por las catástrofes ocasionadas por el cambio climático serán mayores a los costos de inversión por disminuir las emisiones de CO₂. Por lo anterior, actualmente se está revalorando el papel que la conservación y el manejo de los ecosistemas forestales pueden tener como parte de las estrategias globales de mitigación del cambio climático.

Los bosques brindan distintos servicios ambientales, entre los que figuran las capacidades de almacenar y capturar CO₂, por lo que al promover ambas funciones, los bosques podrían contribuir a revertir los impactos derivados del cambio climático. Lo anterior implica promover que los bosques mantengan su integridad ecológica, ya sea a través de la conservación o mediante prácticas de manejo tendientes a la sustentabilidad. En países en desarrollo, como México, donde la gente local tiene una fuerte dependencia e interacción con los bosques, los esfuerzos de manejo para mantener los almacenes de carbono y para la captura de CO₂, debe involucrar a los actores locales (Skutsch, 2011). Molnar *et al.* (2004) reconocen que la certeza legal sobre la tenencia de la tierra en gran parte de los bosques del mundo no siempre está bien definida, sobre todo en países subdesarrollados. Sin embargo, las tendencias globales de los últimos años se han encaminado a dar más derechos de propiedad, acceso y manejo a la gente local. Una ventaja que México tiene en éste sentido, es que como respuesta a demandas por tierra durante la revolución de 1910, se experimentó un proceso de devolución y asignación de derechos sobre la tierra y con ello se creó la propiedad social (en la figura de comunidades y ejidos), inclusive en terrenos forestales (Bray y Merino-Pérez, 2003). Décadas después, el marco legal también proveyó derechos sobre los bosques a los dueños de tierras de propiedad social en áreas

forestales (Bray *et al.*, 2012). Así, en la actualidad, al menos el 60% de los bosques pertenecen a comunidades indígenas o ejidos (Bray *et al.*, 2006; Madrid *et al.*, 2009); y genéricamente se les ha denominado bosques comunitarios de México (*sensu* Bray *et al.*, 2005). Por lo que al hacer políticas públicas para el sector forestal se deben incluir a las personas que viven y son dueños legales de la tierra y los bosques. Esto debido a que conforme la Ley Agraria, los dueños de los bosques comunitarios son directamente responsables de tomar decisiones sobre su manejo; para lo cual deben seguir un esquema legal de gobernanza (Figura 1.1), el cual no les impide que pueden establecer otros órganos, instituciones, reglas y acuerdos que ayude a implementar los acuerdos.



Figura 1.1 Estructura de la comunidad agraria de Ixtlán de Juárez. Sombreado guinda corresponde a los órganos de toma de decisiones que establece la Ley Agraria y el sombreado azul corresponde a adecuaciones internas para atender el manejo del bosque y sus empresas forestales. Fuente: Programa de Manejo Forestal. 2003-2013.

La propiedad social forestal permite que la gente local goce de beneficios del bosque, pero también les compromete a su cuidado, en ambos casos, la asamblea tiene la responsabilidad de decidir sobre medidas de manejo del bosque y la manera en que se van a ejecutar (gestión legal, recursos humanos, materiales y económicos). Así, es importante reconocer que el manejo del bosque, al igual que el de cualquier ecosistema, independientemente de quien lo realice, implica un costo (Meffe *et al.*, 2002). El costo por mantener el carbono forestal, por reducir emisiones de carbono e inducir su captura en los bosques, debería ser pagado por quien se beneficie de tener aire más limpio y por quienes contaminan. Este asunto es muy polémico y existe una

amplia discusión sobre la complejidad que conlleva la “compra o venta” de carbono (Izco y Burneo, 2003; Stern, 2006). Como para realizar la compra o venta de carbono se necesitan estimaciones de la cantidad de carbono almacenado o el potencial de captura que tengan los bosques, el mercado demanda estimaciones cuantitativas de carbono. Sin embargo, la cuantificación del carbono es un tema de alta controversia, porque hasta ahora no hay metodologías y aproximaciones técnicas fáciles y baratas que permitan reducir la incertidumbre en las estimaciones y que sean factibles para la aplicación en las comunidades forestales. En el esquema del mercado de carbono, los interesados en involucrarse en la venta-compra de bonos de carbono tienen la necesidad de establecer un nivel de referencia (o línea base); es decir, estimación cuantitativa del carbono al comenzar un arreglo “mercantil” de captura de carbono. Asimismo, se requiere evaluar la adicionalidad de carbono que ocurre en un bosque, en determinado periodo de tiempo.

Hay un amplio consenso en que hacer las cuentas de carbono no es fácil y la discusión se ha exacerbado a partir de la discusión que ha generado la iniciativa global de reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+); Bucki *et al.*, 2012). El problema con las cuentas de carbono no se trata de tecnicismos y su medición no es un asunto trivial, sino que quizá son algunos de los retos técnicos centrales que más incertidumbre conllevan, sobre todo porque se buscan llegar a metodologías sencillas, baratas y que se puedan generar en tiempos cortos (Ordoñez *et al.*, 2008), pero que además traten de involucrar a los habitantes de los bosques (McCall, 2011). Esto, debido a que la cuantificación del carbono no debe implicar un costo mayor a la cantidad de dinero que podría otorgar por capturarlo (Bray *et al.*, 2012).

Con este esquema de información, se desarrolló la tesis “Análisis del carbono forestal en la comunidad de Ixtlán de Juárez y el potencial para que ésta reciba incentivos por carbono”; el cual tiene como elementos centrales: hacer cuentas de carbono (almacén y captura) en el predio en general, y en el área de manejo forestal, y contabilizar los costos que implica el cuidado y manejo de los bosques de la comunidad. Aunque Ixtlán de Juárez recibe incentivos del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) de CONAFOR, por cuidar una parte de sus bosques, los resultados mostraron que la comunidad cuida intencionalmente los almacenes de carbono forestal y también

se captura carbono en sus bosques manejados. Por lo que este estudio mostro la contribución de Ixtlán de Juárez se podría insertar en los mecanismos de apoyo por conservar carbono forestal, en esquemas de conservación casi estricta, y por captura de carbono.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Existe una preocupación mundial sobre el cambio climático, esto ha dado lugar a que se diseñen estrategias a nivel global, para disminuir los gases de efecto invernadero, como es el caso del CO₂. Dentro de estas estrategias, los bosques juegan un papel importante por su capacidad para almacenar carbono y capturar CO₂. A partir de esta consideración, se han generado algunos esquemas para incentivar a los dueños de los bosques y motivarlos a que realicen actividades de conservación, con el fin de que induzcan la captura de carbono y mantengan carbono almacenado en sus bosques. Por consiguiente, es necesario que los dueños de territorios forestales conozcan cuanto carbono almacenan y capturan sus bosques; y así, poder negociar y obtener beneficios a través de los incentivos y contribuir a la mitigación del cambio climático. La comunidad de Ixtlán de Juárez posee una gran superficie de bosques (19,310.14 ha) y tiene interés de conocer qué posibilidades tienen para entrar a un esquema de incentivos de carbono. Para esto, necesita estimar la cantidad de carbono en sus bosques y saber cuánto pueden capturar; no sin antes contar con un diagnóstico básico de las cuentas de carbono en el predio comunal. Un estudio como el desarrollado en esta tesis constituye una primera evaluación de estimación del almacén de carbono, el potencial de captura, las actividades que esto implica y sus costos. Sin embargo, como los bosques de la comunidad de Ixtlán no presentan problemas de deforestación y degradación, no parece cumplir con requisitos que se han establecido para considerarle entre las áreas forestales prioritarias a incentivar; esto llevo a la discusión de los vacíos en los esquemas de incentivos para los casos de buen manejo forestal, y a la discusión de otras alternativas de compensación.

HIPÓTESIS

El manejo del territorio de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, permite mantener de manera intencional las reservas de carbono y capturar carbono en sus bosques, lo que justifica que pueda recibir incentivos por este servicio ambiental.

OBJETIVOS

General

Cuantificar el almacén de carbono y el potencial de captura en los bosques de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, a partir de una metodología viable en el contexto de la comunidad; así como estimar los costos de conservar dicho almacén. Esto, con el fin de determinar la factibilidad de que la comunidad reciba incentivos por carbono forestal.

Específicos

- Cuantificar el almacén de carbono forestal en el predio de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, a través del uso de una metodología basada en un SIG-participativo y el uso de índices de contenido de carbono.
- Estimar los almacenes de carbono y el potencial de captura de CO₂ en el área de manejo forestal, con el propósito de reconocer si en dicha área hay contribución positiva al balance de carbono.
- Reconocer las actividades de conservación forestal y estimar el costo que implica cuidar los almacenes de carbono.
- Analizar la factibilidad de que la comunidad de Ixtlán de Juárez reciba incentivos por almacenar y capturar carbono por parte de las distintas estrategias para mitigar el cambio climático global.

MARCO TEÓRICO

Ecológico

Todos los ecosistemas naturales que están conservados o manejados de manera adecuada mantienen integridad funcional por lo que pueden proveer servicios ambientales. Estos servicios, constituyen el conjunto de condiciones y procesos naturales (incluyendo especies y genes) que la sociedad puede utilizar para cubrir necesidades u obtener bienestar. Dentro de los cuales se pueden mencionar a la biodiversidad, la estabilidad del clima, la contribución de ciclos básicos (agua, carbono y otros nutrientes), la polinización de plantas silvestres y cultivadas, y la conservación de

suelos, entre otros (Torres y Guevara, 2002). Los servicios ambientales se generan de la estructura, interacciones y flujos equilibrados entre los componentes de los ecosistemas. La captura de carbono se logra gracias al proceso de fotosíntesis, el cual ocurre en las partes verdes de las plantas donde, mediante una serie de reacciones químicas; la energía solar, junto con el dióxido de carbono y el agua, se convierten en energía bioquímica (teniendo como base la molécula de glucosa y otros carbohidratos). Estos productos, representan la principal fuente de energía para el resto de la cadena trófica (Serrano *et al.*, 1995). En el caso de los árboles, la glucosa generada con la fotosíntesis puede formar grandes cadenas para formar macromoléculas de celulosa, que son las que forman la madera y otras estructuras (ramas, frutos, flores, follaje) y además ayudan a satisfacer demandas fisiológicas, logrando incrementos en diámetro y altura (Castellanos *et al.*, 1991).

De esta forma, el árbol puede crecer durante décadas y su tronco funciona como un gran almacén de celulosa, y por tanto de carbono. Pero no todo el CO₂ asimilado es transformado a biomasa, una parte es regresado a la atmósfera por medio de la respiración que se lleva a cabo durante los procesos fisiológicos de la planta (Oliva y García-Oliva, 1998). El carbono está capturado, durante el tiempo en que el carbono constituye alguna estructura de la planta o el suelo y hasta que es enviado nuevamente a la atmósfera. Cuando el carbono se libere a la atmósfera ya sea por descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de biomasa, el CO₂ fluye para regresar al ciclo del carbono (De Jong *et al.*, 2004). Además, Oliva y García-Oliva (1998) mencionan que existe una importante incorporación de carbono al suelo, la cual se da por dos vías principales: por el mantillo y por la biomasa radicular. Por lo tanto, el ciclo del carbono es un conjunto de cuatro depósitos interconectados: la atmósfera, la biosfera terrestre, los océanos y los sedimentos. Estos depósitos, son fuentes que pueden liberar el carbono, o sumideros que son los que absorben carbono de otra parte del ciclo. Los mecanismos principales del intercambio del carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Ciesla, 1996).

Por lo anterior, la conservación y manejo adecuado de los bosques, que hace que se los árboles crezcan y se mantengan por varias décadas o cientos de años, pueden hacer reducir las concentraciones de dióxido de carbono a la atmósfera, contribuyendo

de esta manera a la mitigación del cambio climático (Montoya, 1995; Ordoñez, 1999). Los bosques pueden ser sumideros pero también fuentes de carbono, esto dependerá de cómo y con qué propósito sean manejados y cómo sean utilizados sus productos (Chaturveni, 1994).

Económico

En tiempos del cambio climático y de economía global, el trabajo “La Economía del Cambio Climático” (Stern, 2006), evidenció que se debe invertir en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), porque el capital está en riesgo y con ello, la estabilidad económica mundial. Además, porque sale “más barato” invertir en esto, que cubrir los costos por los desastres ocasionados por el cambio climático, que ponen en alto riesgo a las inversiones en distintos sectores.

Desde la celebración de la “Cumbre de la Tierra” en Río de Janeiro en 1992, se enfatizó que a fin de alcanzar la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales es necesario generar estructuras que internalicen los costos y beneficios de los sistemas de mercado (Montoya *et al.*, 1995). Las inversiones con miras a revertir el problema de GEI se ha hecho mediante pagos y/o incentivos que se han otorgado desde 1997, a partir de que se firmara el Protocolo de Kioto. En este protocolo se establecieron metas a las naciones industrializadas que consistían en transitar paulatinamente a esquemas de reducción de emisiones de GEI, pero en el proceso se pagaría para neutralizar las emisiones de CO₂ que no se pudieran evitar. Los pagos se destinaron principalmente a países en desarrollo, con la condición de que realizaran actividades de reforestación, buscando que se capturará el CO₂ de la atmósfera (ONU, 1998). El esquema de pagos del Protocolo de Kioto no logro las metas deseables y no fue fácil de implementar, por lo que han continuado la discusión y los intentos de tratar, a través de esquemas de mercado, mitigar el problema que induce el cambio climático global. La teoría de la economía ambiental ha provisto argumentos a distintas estrategias encaminadas a conservar la funcionalidad de los ecosistemas; para lo cual se insiste en la importancia de crear un marco político que establezca condiciones e incentivos para alentar cuidar los ecosistemas y equilibrar la desigual distribución de costos y beneficios. Así como para evitar impactos negativos sobre las poblaciones locales (Toledo, 1998).

Una discusión central ha sido cuanto pagar por la captura de carbono y el tema no se ha agotado; sin embargo, hay acuerdos de fijar precio a los almacenes y a la captura de carbono, que hasta ahora son variables. La discusión de fijar precio al cuidado del bosque, entre los muchos elementos, considera el reconocimiento de su importancia en cuanto al tema del carbono. Sin duda se trata de una discusión más general de lograr que se establezca un valor económico a los beneficios que la naturaleza, hasta ahora brinda de forma gratuita. También se ha insistido en la necesidad de concientizar a la sociedad sobre lo que podría implicar la pérdida de elementos y funciones ecológicas que son sustento de la actividad económica y de su propio bienestar (Constanza *et al.*, 1997).

La estrategia de pago por servicios ambientales que tiene como objetivo incentivar a los dueños de los recursos naturales para que los manejen de tal manera que aseguren la provisión de los diversos servicios ambientales (González y Riascos, 2007). En México, los primeros programas gubernamentales para el pago por servicios ambientales hidrológicos, surgieron de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y Probosque (entidad del gobierno del estado de México), y se diseñaron para incentivar a las comunidades, dueñas de los bosques. La CONAFOR, desde el año 2003, ha destinado 192 millones de pesos para apoyo directo de los beneficiarios (CONAFOR, 2006), los cuales provienen del Fondo Forestal Mexicano. Dichos incentivos operaron a través de tres programas: el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), el Programa para el Desarrollo de Mercados por la Protección de la Biodiversidad, y el Programa para Captura de Carbono y Mejoramiento de los Sistemas Agroforestales de Cultivos Bajo Sombra (CABSA; INE, 2007).

Actualmente, se está construyendo una nueva estrategia de compensación, llamada REDD+, la cual busca la reducción de emisiones de CO₂ por deforestación, degradación forestal y el aumento de las reservas de carbono en los países en desarrollo (SEMARNAT-CONAFOR, 2010). El fin de este mecanismo es mitigar el cambio climático recompensando económicamente a los países en desarrollo para que dejen de talar sus bosques (CIFOR *et al.*, 2009). Este programa ha tardado varios años

en diseñarse, y aún no se implementa; no obstante, ha despertado la expectativa de numerosas comunidades en Oaxaca y otras partes del país, quienes individualmente o en colectivo han tenido que aprender el complicado tema de los bosques, el carbono, el cambio climático y los incentivos (CSMSS, 2013).

Social e institucional

Hardin (1968), mencionó que cuando existe un bien que es para todos, es de esperarse que todos quieran utilizarlo y esto puede llevarse a cabo durante un tiempo determinado; sin embargo, llegará un momento en el cuál se supere la capacidad de carga del bien y esto llevará a una tragedia (agotar el recurso). Por su parte, Ostrom (2000), resuelve el problema para las situaciones de degradación del ambiente y de explotación de los recursos naturales de uso común (RUC) que se encuentran en riesgo de agotarse. Propone que para evitar una tragedia se deben incrementar las capacidades de los participantes para “gobernar” el acceso al recurso. Ostrom (2000), mostró que los RUC pueden mantenerse a largo plazo, cuando se cumplen 8 principios de diseño: 1) Límites claramente definidos; 2) Congruencia entre las reglas de apropiación y de abastecimiento y las condiciones locales; 3) Acuerdos de elección colectiva; 4) Monitoreo; 5) Sanciones graduales; 6) Los mecanismos para la resolución de conflictos; 7) Reconocimientos mínimos de derecho a organización; 8) Entidades anidadas.

En México, se cuenta con numerosos casos de propiedad social forestal que cumplen con los principios de Ostrom (2000) antes mencionados, por lo que los bosques comunitarios de México (~60% de bosques y selvas, sensu Madrid *et al.*, 2009), tiene gran relevancia como modelo que evita la tragedia de los comunes, pero también porque puede contribuir a la mitigación del cambio climático (Bray *et al.*, 2012, Bray, 2013). Esto, siempre y cuando se establezcan reglas sobre el acceso, manejo y cuidado del bosque; además de permitir a los miembros de la misma expresar sus puntos de vista sobre el acceso y la repartición de los beneficios del bosque.

Sobre este esquema es que numerosas comunidades forestales de la Sierra Norte de Oaxaca, mediante acciones de manejo de sus bosques, están contribuyendo al

mantenimiento de la cobertura forestal y a mantener la funcionalidad de procesos ecosistémicos. Esto hace que se puedan encontrar “paisajes sostenibles” donde hay bajas tasas de deforestación, expansión de la cobertura forestal y existen múltiples procesos institucionales que promueven la preservación de la estructura, composición y función de los ecosistemas; es decir, que los paisajes forestales estén “bien” (Bray, 2007, Vleet, 2013), porque se ha estado trabajando por varios años, de manera intensa y organizada para ello.

Sustentabilidad

Los primeros indicios sobre sustentabilidad ocurrieron en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente Humano que se dio lugar en Estocolmo, Suecia en el año 1972. Durante esa conferencia se habló de la protección del medioambiente, la búsqueda de relaciones comunes entre aspectos ambientales y temas económicos relacionados con el capital, el crecimiento y el empleo. En el año 1983, las Naciones Unidas crean la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo; uno de los resultados más significativos que salieron de los informes emitidos por esta comisión fue la de identificar, por primera vez, la importancia de evaluar cualquier acción o iniciativa desde tres enfoques: el económico, el ambiental y el social. Pero fue hasta 1987, que se definió al desarrollo sustentable como “la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras” (Calvente, 2007).

Dentro del manejo para la sustentabilidad, se puede realizar el manejo adaptativo modificado que considere el contexto ecológico, socioeconómico e institucional, buscando escenarios idóneos de ganar-ganar. Es importante que durante este manejo se realice una evaluación antes, durante y después, como una herramienta fundamental de poder corregir acciones y saber si las metas se van cumpliendo (Meffe *et al.*, 2002). Esto con la consideración de que el manejo no es un fin, sino un proceso y la sustentabilidad, es una meta deseable (a veces idealizada) que puede encaminar distintas acciones de manejo.

CONTEXTO GENERAL DE LA TESIS

Ixtlán de Juárez

Ubicación

La comunidad de Ixtlán de Juárez, se localiza al Noroeste de la ciudad de Oaxaca, en la región denominada “Sierra Norte”. El área del predio de la comunidad de Ixtlán de Juárez se ubica en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud Norte 17° 18'16" N 96° 20'00" W y Latitud Oeste 17° 34'00" N 96°31'38" W (Figura 1.2) (CIJ, 2003).

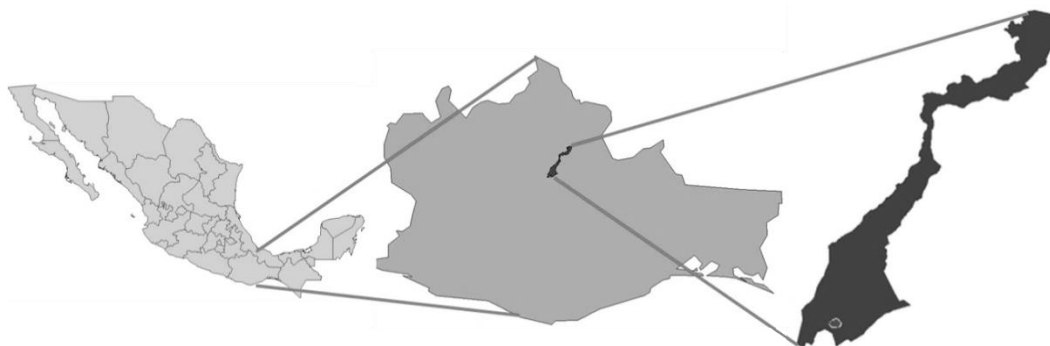


Figura 1.2. Ubicación de Ixtlán de Juárez. El círculo blanco indica la ubicación del único asentamiento humano dentro del predio comunal.

Clima y vegetación

En el predio de la comunidad se presentan cuatro tipos de clima, según la clasificación de Köppen modificado por E. García (1987): 1) C(w"1)(w)b(i'')g, templado subhúmedo con lluvias en verano, este tipo de clima se presenta el extremo sur del predio que va de los 1,000 a 1,800 msnm, dentro de esta área se distribuyen bosque de encino caducifolio y selva baja caducifolia. 2) C(w"2)(w)big, templado subhúmedo con lluvias en verano, este tipo de clima se presenta de la región media al sur del territorio comunal, aproximadamente de los 1,800 a 2,600 msnm. En esta área se encuentra el bosque de encino-pino y bosque de pino-encino. 3) C(m)(w'')b(i'')g: Templado húmedo con lluvias en verano. Este tipo de clima se localiza en la mayor parte del área que ocupa el bosque de pino-encino y bosque mesófilo de montaña, se ubica desde los 2,600 msnm hasta los 3,100 msnm, y hacia el norte a menores elevaciones de 2,000 msnm. 4) Af(m)w'(e): Clima cálido húmedo con lluvia todo el año, en este clima se

distribuye la selva alta perennifolia en el extremo norte del predio y abarca hasta casi 200 msnm (CIJ, 2003).

Antecedentes de manejo forestal

Los antecedentes de aprovechamiento forestal de los bosques de Ixtlán data de 1940; al inicio de este periodo el aprovechamiento fue realizado por personas ajenas a la comunidad. Durante la década de los 70's del siglo pasado, numerosas comunidades forestales se organizaron para evitar el otorgamiento de nuevas concesiones forestales, de esta manera se reclamaron sus derechos sobre los bosques; como resultado de este proceso, se dio fin al periodo de las concesiones forestales (Bray y Merino 2003). Con las modificaciones a la Ley Forestal en 1990, la comunidad obtuvo el reconocimiento legal para poder encargarse del proceso de extracción de la madera. Así, en 1992 se realizó un inventario forestal para la elaboración del primer Programa de Manejo Forestal para el ciclo de corta 1993-2003 (Figura 1.3). En este programa de manejo se contempló el uso del método silvícola de "árboles padre" (MDS) y el de selección (MMOBI), en su modalidad de árboles individuales. En el periodo de 1992 a 2003, el método de selección se aplicó a 2,317 ha y el método de árboles padre a 997 ha.

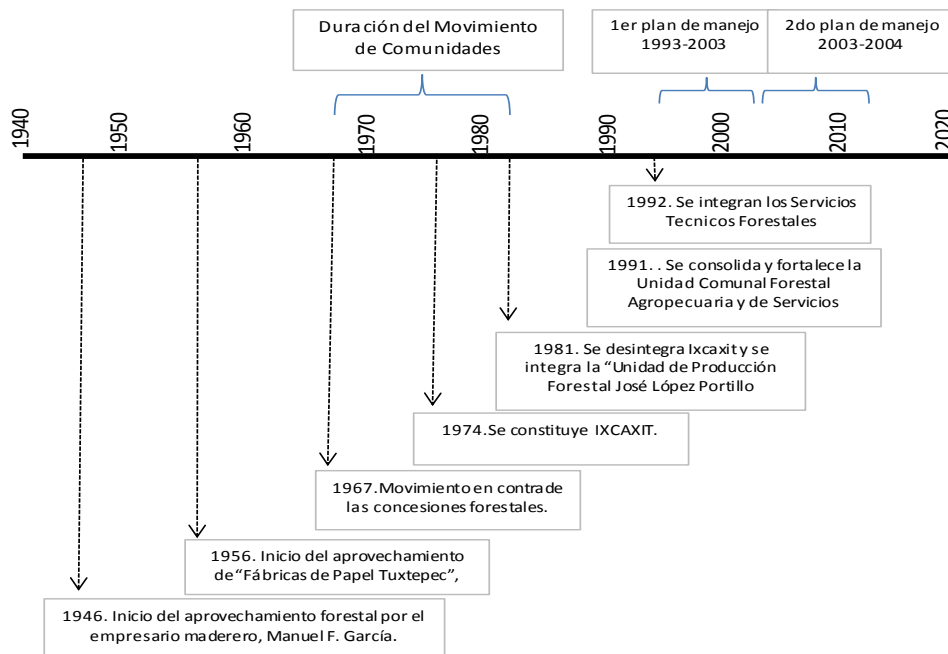


Figura 1.3. Historia del manejo forestal de Ixtlán de Juárez (CIJ, 2003; Sastre, 2008).

En el plan de manejo de 2003-2013 se cambió el método silvícola, pasando de árboles padre y selección, al de selección grupal en franjas, conocido como matarraza. El método de selección grupal en franjas, consiste en trazar franjas de aproximadamente 3.5 ha, que tienen una longitud máxima de 700 m y un ancho de 60 a 40 m, y retirar totalmente el arbolado dentro de estas franjas (CIJ, 2003; Sastre, 2008). Después de un año de aplicación del programa se presentaron afectaciones por la plaga del muérdago verdadero; por lo que la comunidad se dedicó al saneamiento y dejó de aprovechar el volumen indicado en el documento y no se tramitaron las autorizaciones pertinentes. En el 2006, se realizaron las gestiones para obtener nuevamente las autorizaciones; pero debido al tiempo transcurrido y al cambio en el marco legal, fue necesario hacer un nuevo documento que comprende el periodo de 2006-2014.

La comunidad de Ixtlán de Juárez, tiene una posibilidad promedio de 24,000 m³; pero abastece su mercado con un promedio de 18,000 m³. En el programa de manejo actual, la comunidad interviene casi 150 ha anuales, de las cuales extrae un promedio diario de 52 m³ de trozo primario y 22 m³ de trozo secundario. Con estos volúmenes, produce 17,500 pies tablas diarios en sus aserraderos. El consumo de madera en rollo es estimado en 1,100 m³ al mes para los dos aserraderos para producir 500 m³ de madera aserrada (Sastre, 2008, J. Aurelio R. A., comunicación personal, 2013). La producción de pino se distribuye como sigue: el 95% del volumen se transforma en tabla y el 25% para vigas. En cuanto al encino, el 95% del volumen que se extrae se usa para pilotes y el resto para leña. El 50% de madera en tabla se comercializa, y el resto, desde 2006, se emplea en la fábrica de muebles de la comunidad. Con este proceso, se asegura darle valor agregado, y desde 2008 se comercializa por TIP muebles, por lo que la comunidad además de la certificación ante el FSC por buen manejo del bosque, también tiene la certificación por la cadena de custodia (Sastre, 2008).

Gobernanza

El régimen de propiedad de Ixtlán de Juárez es la comunidad agraria, esta forma de tenencia de la tierra, se refiere a aquellos núcleos de población agrarios cuyas tierras están formalmente reconocidas en una resolución presidencial de reconocimiento y titulación de bienes comunales, en el caso de Ixtlán es el 19 de agosto de 1986. La

comunidad, conforme lo establece la Ley Agraria, tiene como órgano máximo de autoridad a la Asamblea de comuneros, pero aún mantiene el sistema de usos y costumbres como una estructura tradicional de organización y gobierno comunitario.

La Asamblea de comuneros y el Estatuto Comunal son el eje de la gobernanza. La Asamblea es el espacio de elección de los integrantes del Comisariado de Bienes Comunales (CBC) y del Consejo de Vigilancia, los cuales serán los representantes agrarios de la comunidad por un periodo de tres años. Asimismo, la asamblea establece una Comisión Asesora y un grupo de guardabosques. También en Asamblea, se realiza la revisión de cuentas de las empresas forestales comunitarias, de tal manera que la gestión de las mismas y el manejo de los bosques son transparentes; además se discute la distribución de ganancias, delimitación de uso del suelo y cambios en los métodos de aprovechamiento forestal. Las funciones de los representantes agrarios se encuentran plasmadas en la Ley Agraria, y conforme a ésta, el estatuto comunal.

El Consejo de Vigilancia se encarga de vigilar que todos los aspectos relacionados con las empresas de la comunidad y el Comisariado de Bienes Comunales (CBC) funcionen adecuadamente. En el estatuto comunal, también se señala que los miembros del CBC son los encargados de la ejecución de los acuerdos tomados en la Asamblea, así como la representación y gestión administrativa de la comunidad. Sus funciones más importantes incluyen la administración de los bienes de la comunidad, la convocatoria de las asambleas y tequios. El CBC cuenta con el respaldo de la Comisión Asesora, el cual analiza los problemas, propone posibles soluciones a algún problema, estas soluciones son llevadas a la Asamblea para su discusión y validación, esto para agilizar el proceso de toma de decisiones.

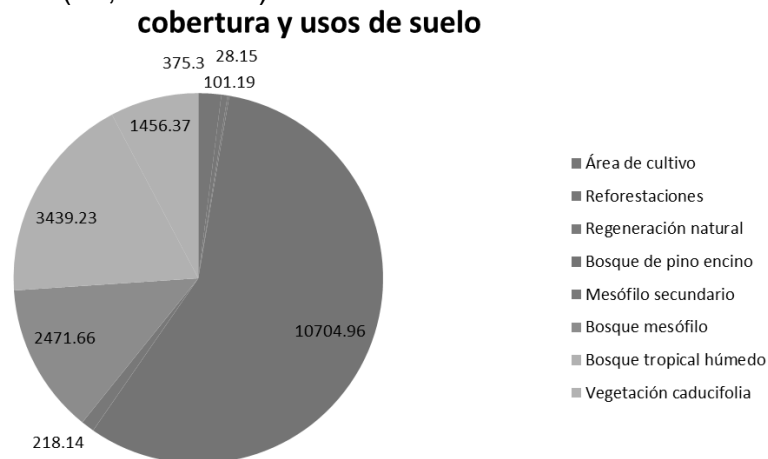
El sistema de usos y costumbres se ejecuta a través de cargos y mediante el establecimiento de derechos y obligaciones. Los derechos incluyen la posesión de tierra para construir su vivienda, préstamos por parte del Comisariado de Bienes Comunales, derecho a la extracción de leña, a morillos y árboles en pie, además representan una ventaja en el momento de solicitar empleo dentro de la comunidad. Asimismo los comuneros activos; es decir que cumplen con sus obligaciones, tienen derecho a recibir las utilidades que generan las empresas forestales comunitarias cada año. Por otro

lado, las obligaciones incluyen el cumplimiento de cargos así como la participación en los tequios que convoque el Comisariado de Bienes Comunales. Para poder ser comunero, la condición indispensable, es ser hijo de un comunero, o que el comunero herede sus derechos. Actualmente se le ha dado la oportunidad a la mujer para que se integren como comuneras y de esta manera también sean partícipes en la toma de decisiones (CIJ, 2003; CI, 2007; Sastre, 2008). Además de los cargos, también existe el tequio, el cual es muy importante debido a que es un mecanismo de trabajo comunitario gratuito que forma parte de la tradición organizativa de Ixtlán, y con el cual se realizan diversas actividades dentro del bosque, como es el combate de incendios, acomodo de acordonamientos en las áreas de aprovechamiento, reforestaciones y limpieas generales de la comunidad (CIJ, 2003; CI, 2007; Sastre, 2008).

Delimitación de superficies

En este apartado se muestran las diversas clasificaciones del predio comunal de Ixtlán de Juárez, para fines del análisis realizado en cada capítulo de esta tesis (figura 1.4).

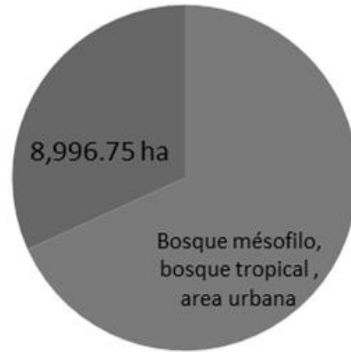
Capítulo II. Para este capítulo, se identificaron las siguientes coberturas y usos de suelo en todo el predio comunal (19,310.40 ha).



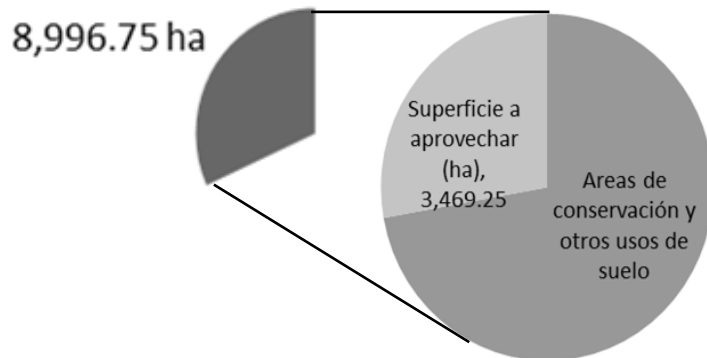
Capítulo III. En este capítulo, el área de análisis fue la superficie forestal de 8,996.75 ha, el análisis de la dinámica se realizó en la superficie a aprovechar que corresponde a 1,211.37 ha.

Predio Comunal

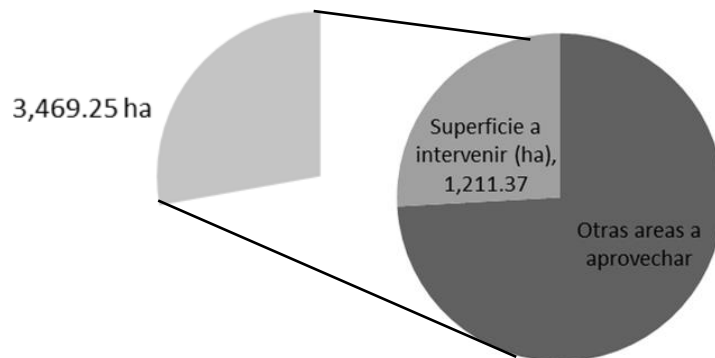
■ Superficie forestal (ha)



Superficie forestal



Superficie a aprovechar



Capítulo IV. En este capítulo, se identificaron las áreas de conservación en todo el predio forestal, las cuales comprenden bosques mesófilos, selvas altas y bosques de pino-encino.

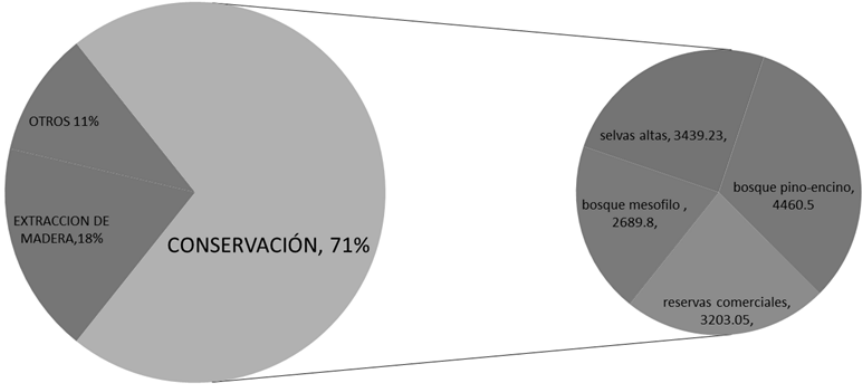


Figura 1.4. Clasificaciones del predio comunal de Ixtlán de Juárez, para fines del análisis realizado en cada capítulo.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis está estructurada en 5 capítulos:

El primero es el presente capítulo, de introducción general de la tesis, se muestran los objetivos, la hipótesis y el marco teórico en donde se encuentra el trabajo de investigación y el contexto relacionado con la comunidad donde se desarrolló el trabajo.

En el capítulo II se elaboró un mapa de vegetación y mediante la aplicación de índices de contenido de carbono se estimó el almacén de carbono en el predio comunal de Ixtlán de Juárez.

En el capítulo III, se estimó la cantidad de carbono almacenado y el potencial de captura de carbono en el área de manejo forestal, con el fin de demostrar que durante el proceso de aprovechamiento de madera se mantienen almacenes de carbono y se induce captura de CO₂.

En el capítulo IV se analizaron los costos por las actividades de cuidado del bosque que la comunidad realizó durante los años 2010, 2011 y 2012, a fin de reconocer el costo que implica cuidar los almacenes de carbono.

El capítulo V corresponde a una síntesis de los capítulos anteriores, enfocada a mostrar la factibilidad de la comunidad de Ixtlán de Juárez, para recibir incentivos por carbono forestal. Esto en consideración de que tiene un territorio de vocación forestal, donde hay bosques que almacenan y capturan carbono; pero también hay la intención social, la gobernanza y la organización comunitaria; así como la experiencia técnica para tal fin.

Todos los capítulos se diseñaron para leerse de manera independiente, sobre todo los capítulos II, III y IV; por lo tanto, en ellos puede encontrarse información un tanto repetitiva en la sección de sitio de estudio. Asimismo, cada capítulo presenta bibliografía de manera autónoma.

LITERATURA CITADA

Bray, D.B. y L. Merino-Pérez. 2003. El Balcón, Guerrero: A case study of globalization benefiting a forest community. Pp. 65-80, En: T.A. Wise, H. Salazar y L. Carlsen (Eds.). *Confronting Globalization: Economic Integration and Popular Resistance in México*. Kumarian Press, Bloomfield, CT.

Bray, D.B., L. Merino-Pérez y D. Barry. 2005. Forest and conservation policies and their impact on forest communities in México. Pp.49-69, En: D.B. Bray, L. Merino y D. Barry (Eds.). *The Community Forests of México, Managing for Sustainable Landscapes*. University of Texas Press, Austin, Texas.

Bray, D.B., C. Antinori y J.M. Torres-Rojo. 2006. The Mexican model of community forest management: the role of agrarian policy, forest policy and entrepreneurial organization. *Forest Policy and Economics* 8 (4): 470-84.

Bray, D.B., L. Merino y D. Barry. 2007. El manejo comunitario en sentido estricto: las empresas forestales comunitarias. Pp. 21-49, En: D.B. Bray, L. Merino y D. Barry (Eds.). *Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales*. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, México D.F.

Bray, D.B., E. Duran M. y O.A. Molina-González. 2012. Beyond harvests in the commons: multi-scale governance and turbulence in indigenous/community conserved areas in Oaxaca, México. *International Journal of the Commons* 6 (2): 151–178.

Bray, D.B. 2013. When the State Supplies the Commons: Origins, Changes, and Design of México's Common Property Regime. *Journal of Latin American Geography* 12 (1): 33-55.

Bucki, M., et al. 2012. Assessing REDD+ performance of countries with low monitoring capacities: the matrix approach. *Environmental Research Letters* 7: 1–13.

Calvente, A.M. 2007. *El concepto moderno de sustentabilidad*. Universidad Abierta Interamericana. 7 p.

Castellanos, J., J.M. Maass y J. Kummerow. 1991. Root biomass of a dry deciduous tropical forest in México. *Plant and Soil* 131: 225-228.

Chaturveni, A.N. 1994. Sequestration of atmospheric carbon in India's forest. *Ambio* 23: 461.

CI. 2007. *Estatuto comunal. Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, 50 p.

Ciesla, W. 1996. *Cambio Climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto*. Roma. 147 p.

CIFOR. 2009. *Manual para la cobertura de REDD+*. Center for International Forestry Research, Programa UN-REDD, Unión Europea, Inglaterra. 8 p.

CIJ. 2003. *Programa de manejo forestal para la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. Comunidad de Ixtlán de Juárez /Técnica Informática Aplicada S.A. (TIASA), Oaxaca, México, 231 p.

CONAFOR. 2006. *Desarrollo Forestal Sustentable en México, Avances 2001-2006*. Comisión Nacional Forestal, México. 92 p.

Constanza, R., et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

CSMSS. 2013. *Iniciativa comunidades, territorios y cambio climático. Una Propuesta Social para REDD+: Hacia una Estrategia incluyente para el estado de Oaxaca*. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sustentable, México D.F.

De Jong, B.H.J., O. Macera y T. Hernández-Tejeda. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. Pp. 369-380. En: J. Martínez y A. Fernández B (Eds.). *Cambio climático: una visión desde México*. SEMARNAT-INE. México D. F.

García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Offset Larios. México, D.F. 246 p.

González, T.Á. y E. Riascos A. 2007. Panorama latinoamericano del pago por servicios ambientales. *Gestión y Ambiente* 10 (2): 129-144.

Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. *Science* 162 (3859): 1243-1248.

INE. 2007. *Taller: Pago por Servicios Ambientales en México: Situación Actual y Objetivos de Futuro*. Memoria del taller. 23 p.

IPCC. 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra, Suiza. 114 p.

Izco, X. y D. Burneo. 2003. *Herramientas para la valoración y manejo forestal sostenible de los bosques sudamericanos*. Programa de Conservación de Bosques Oficina Regional para América del Sur • UICN-Sur. Quito, Ecuador. Pp. 11-56.

McCall, M. 2011. Local Participation in mapping, measuring and monitoring for community carbon forestry. Pp.31-44, En: M. Skutsch. *Community forest monitoring for the carbon market. Opportunities under REDD*. Earthscan, London.

Madrid, L., J.M. Núñez, G. Quiroz y Y. Rodríguez. 2009. La propiedad social forestal en México. *Investigación ambiental* 1 (1): 179-196.

Meffe, G.K., L.A. Nielsen, R.L.K Night y D.A. Schenborn. 2002. *Ecosystem Management Adaptive, Community-Based Conservation*. ISLAN PRESS. Washington, DC. 333 p.

Molnar, A., S.J. Scherr y A. Khare. 2004. *Who Conserves the World's Forests? A New Assessment of Conservation and Investment Trends*. Forest Trends, Washington, D.C. 83 p.

Montoya, G., et al. 1995. *Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas*. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4. México, D.F. 50 p.

Oliva, M. y F. García-Oliva. 1998. *Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global*. Educación Química 9 (3): 136-142.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 1998. *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Kioto. 24 p.

Ordóñez, J.A.B. 1999. *Captura de carbono en un bosque templado, el caso de San Juan Nuevo Michoacán*. SEMARNAP. Primera edición. México D.F. 74 p.

Ordóñez, J.A.B. 2008. *Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la Región Purépecha*. Instituto de Ecología, UNAM. México D.F. Tesis de Doctorado. 140 p.

Ostrom, E. 2000. *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. UNAM-CRIM-FCE. México. 395 pp.

Sastre, M.S. 2008. *Análisis de la gestión forestal comunitaria y sus implicaciones sociales en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México*. Tesis Licenciatura. UNSIJ. 290 p.

SEMARNAT-CONAFOR. 2010. *Visión de México sobre REDD+ hacia una estrategia nacional*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional Forestal. 56 p.

Serrano, L., J. Pardos A., F. Pugnaire I. y F. Domingo. 1995. Absorption of radiation, photosynthesis, and biomass production in plants. pp. 243-256. En: M. Pessaraki (Ed.). *Hand book of plant and crop physiology*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.

Skutsch, M. 2011. *Community forest monitoring for the carbón market. Opportunities under REDD*. Earthscan, London. 188 p.

Stern, N. 2006. *Stern Review on the Economics of Climate Change*. Recuperado de www.sternreview.org.uk. (Consultado el 18 de septiembre del 2012).

Toledo, A. 1998. *Economía de la biodiversidad*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental 2. Pp. 61-130.

Torres, R.J.M. y S. Guevara A. 2002. *El Potencial de México para la producción de Servicios Ambientales: Captura de Carbono y Desempeño Hidráulico*. En Gaceta Ecológica. INE – SEMARNAT, México. pp. 40-59.

Vleet, V.E. 2013. *From Passive to Active Community Conservation: A Study of Forest Governance in a Region of the Sierra Norte of Oaxaca, México*. Tesis de maestría. Florida International University. 212 p.

CAPÍTULO II. ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN LOS BOSQUES COMUNITARIOS DE IXTLÁN DE JUÁREZ.

RESUMEN

El manejo sustentable de los bosques puede contribuir a mitigar el cambio climático. México está entre los países con mayor cobertura forestal, donde más del 60% de los bosques están en núcleos agrarios –que son terrenos de propiedad social. En éste tipo de propiedad, los dueños de los bosques, comuneros y ejidatarios, al ser legalmente responsables de su manejo y cuidado, tienen un papel crucial para cuidar los almacenes de carbono forestal, reducir las emisiones de carbono a la atmósfera e inducir la captura mediante practicas de manejo. Para esta tarea, algunas instancias gubernamentales nacionales, internacionales y los mercados voluntarios emergentes están desarrollando distintos esquemas de incentivos, los cuales demandan de contar con la llamada línea base o el estado inicial del bosque antes que comienza un incentivo. Este trabajo consistió en hacer una estimación del carbono en la comunidad indígena de Ixtlán de Juárez en el Estado de Oaxaca, a partir de usar mapeo técnico-participativo del bosque e índices de contenido de carbono. Se encontró que en los terrenos de la comunidad, que comprenden 19,310.14 ha, se mantiene un almacén de carbono forestal de 2,449,072.82 MgC. La metodología empleada fue relativamente sencilla de implementarse, rápida, de bajo costo, y se construyó con la participación activa de la gente local. Tuvo además la ventaja de ser de fácil comprensión para la gente local y permitió generar un referente cuantitativo para la línea base, con el cual se podrían iniciar proyectos que mantengan y favorezcan las cuentas de carbono a nivel de éste núcleo agrario. Asimismo, permitirá que se pueda complementar o afinar a futuro para mejorar la exactitud en las estimaciones e incursionar en el mercado de carbono.

Palabras clave: *imagen spot, mapeo técnico participativo.*

INTRODUCCIÓN

La situación ambiental actual ha posicionado a los bosques como ecosistemas estratégicos para la mitigación del cambio climático, debido a su función de almacenar y capturar CO₂. En México, el 60% de los bosques y selvas están en terrenos de propiedad social; en la modalidad de ejidos y comunidades (Madrid *et al.*, 2009). La estimación de la cantidad de carbono que existe en bosques de ejidos y comunidades, ayudaría a sus dueños a tener referentes, para negociar incentivos por cuidar los almacenes de carbono o por incrementar la captura de CO₂, y así contribuir a la mitigación del cambio climático. Tanto las instancias gubernamentales nacionales, internacionales y los mercados voluntarios emergentes de carbono demandan tener información sobre la línea base o el estado inicial del carbono de un bosque antes de comenzar a dar un incentivo (Minag y McCall, 2006; SEMARNAT-CONAFOR, 2010). Esto, como una manera de poder hacer a futuro monitoreo, reporte y verificación (MRV) de los cambios en las cuentas de carbono en áreas que se estén apoyando.

Ambos, línea base y MRV son requisitos que han generado investigación y una fuerte discusión en cuanto a las aproximaciones metodológicas que pueden generar mayor confiabilidad (Bucki *et al.*, 2012). Existen distintos métodos de estimación de carbono, la utilización de cada uno de ellos depende de la precisión que se requiera y de la cantidad de recurso económico que se destine para su cuantificación. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ha generado algunas pautas para desarrollar metodologías para la cuantificación del carbono forestal. Estos lineamientos están organizados en tres niveles. En el nivel I, se realizan estimaciones de la cubierta forestal a nivel nacional, y con ellas se generan datos de contenido de carbono; con esta aproximación se llega a cuentas de carbono que tienen una alta incertidumbre, pero que permiten dar panoramas generales. Los niveles II y III (aplicables a nivel nacional o regional), presentan mayor detalle en las estimaciones de las reservas de carbono y de las emisiones, y se basan en la combinación de inventarios de la masa forestal en parcelas, mapeo satelital e índices de contenido de carbono (IPCC, 2006). El nivel III, más adecuado para escalas locales o regionales, permite obtener datos de carbono con alta precisión (Asner, 2009). Aunque las cuantificaciones de carbono con esta aproximación son más deseables, no

todos los países cuentan con las capacidades tecnológicas, recursos humanos y pueden cubrir los costos que implica trabajar con éste nivel (Bucki *et al.*, 2012).

De contar sólo con estimaciones del Nivel I, dada la incertidumbre de las estimaciones, podría dificultarse el arreglar esquemas de incentivos por carbono de montos altos (Gibbs *et al.*, 2007; Angelson *et al.*, 2009). Sin embargo, a nivel de predios relativamente pequeños, como son gran parte de los bosques comunitarios, la aproximación del nivel II puede ser válida; toda vez que es comparativamente sencilla, barata, en relación al nivel I, y se puede generar en tiempos cortos (Ordoñez *et al.*, 2008). De esta manera, el costo de cuantificar el carbono forestal en un predio comunal, no necesariamente implicaría mayor costo que el monto del incentivo que podría recibir por capturarlo. Asimismo, con esta aproximación se podría involucrar a los habitantes de los bosques lo cual es altamente deseable (Meffe *et al.*, 2002; McCall 2011; CSMSS, 2013). Las metodológicas de estimación de carbono forestal, sencillas, rápidas, baratas y reproducibles, podrían servir a muchas comunidades y ejidos forestales de México, que carecen de capacidad técnica para generar sus balances de carbono y establecer sus líneas base de carbono. Asimismo, a partir de la línea base, las comunidades podrían establecer esquemas de MRV, y conforme un manejo adaptativo (Meffe *et al.*, 2002), monitorear si a través de los años cumplen los escenarios deseables que maximicen las metas locales y globales relacionadas con el carbono forestal.

Las estrategias de incentivos de carbono, como es REDD+ o el mercado voluntario, deberían permitir el uso de metodologías sencillas, aunque estas sean de relativa baja precisión (Bucki *et al.*, 2012). Esto, con el fin de no continuar aplazando las acciones de captura de CO₂, tratando de obtener cuantificaciones más precisas, que no están al alcance de las comunidades. Debido a la emergencia que representa el cambio climático, urge empezar a contribuir con acciones de mitigación.

El mapeo técnico-participativo, que integra el uso de la tecnología de los sistemas de información geográfica con el conocimiento local del territorio, y ha sido probada en bosques comunitarios de Asia y África (Minang y McCall, 2006; McCall 2011), podría ser aplicado a los bosques comunitarios de México. Considerando lo anterior, este trabajo tuvo como meta la cuantificación del almacén de carbono forestal en la comunidad indígena de Ixtlán de Juárez, a partir de usar una aproximación del nivel II

(basada en usar datos de tipos de bosque, su superficie e índices de carbono forestal), conjuntamente con un mapeo técnico-participativo. De esta manera, la comunidad podría empezar a explorar mercados que pudieran incentivar sus estrategias de mantener el almacén de carbono forestal e inducir la captura.

METODOLOGÍA

Sitio de estudio

El estudio para este capítulo se enfocó al total del predio comunal de Ixtlán de Juárez, que comprende 19,310. 14 ha (Figura 1.2).

Mapa de la cobertura y usos de suelo

La cuantificación del almacén de carbono forestal en la comunidad de Ixtlán, se obtuvo con dos etapas de análisis; inicialmente se generó un mapa de coberturas de vegetación y usos de suelo, y posteriormente, a partir de las categorías y áreas generadas con el mapa, se hicieron cálculos del contenido de carbono a nivel de cada categoría del mapa.

Mapeo técnico-participativo las coberturas y usos del suelo

La elaboración de un mapa de coberturas de vegetación y usos del suelo de Ixtlán se hizo a partir de un Sistema de Información Geográfica Participativo, que consistió en el análisis de una imagen de satélite SPOT de 2010 e información georeferenciada de campo (Minang y McCall, 2006). Se siguió un proceso de VII fases (tabla 2.1), desarrollado por Duran *et al.* (2013), para estudios análogos en otras comunidades forestales del estado de Oaxaca.

Tabla 2.1. Etapas para la elaboración de mapas de coberturas de bosque y usos del suelo con un enfoque técnico participativo (Fuente: Duran *et al.*, 2013).

Etapas	Técnico	Gente local	Producto o Resultado
I. Involucramiento de actores locales	Presentación en la comunidad de metas del proyecto, cortes de la cartografía oficial y de las imágenes de satélite en el predio comunal oficial. Se solicita anuencia para realizar los recorridos guiados en la comunidad y se establecen compromisos de reconocer su participación y de devolución de resultados de productos del estudio	Da su opinión, hace preguntas y se organizan para nombrar a los guías. La autoridad o líder supervisa los avances de campo.	Permiso para la investigación e involucramiento activo de gente local.
II. Área de análisis	Información digital oficial del polígono comunal	Verificación en algunas mojoneras y recorridos por linderos accesibles	Delimitación del predio.
III. Categorías de la cartografía	Consulta de leyenda de INEGI y categorías de interés desde la perspectiva del proyecto	Se le pregunta sobre los distintos tipos de bosque que se reconoce en la comunidad	Leyenda
IV. Obtención de Referentes Geográficos	Puntos de GPS, formatos de campo y bocetos	Narrativos, descripciones de los guías locales sobre historia de manejo o uso del paraje.	Campos de entrenamiento.
V. Clasificación de imágenes	Uso de campos de entrenamiento, clasificación supervisada y proceso post-clasificadorio	G. Pacheco Aquino es habitante de la comunidad de Ixtlán	Mapas preliminares y finales
VI. Validación	Cotejo con puntos de campo o generados a partir de fuentes alternas	Presentación a la comunidad y discusión de su veracidad	Edición de mapas finales y generación de estadísticos
VII. Devolución de resultados	Se hace una exposición técnica del desarrollo del proyecto y los productos generados. Y se hace un cartel de divulgación para que la gente pueda conocer todas las fases del proyecto.	Hace preguntas y trata de conocer la importancia de los resultados y los alcances prácticos que pueden darles. Deciden donde poner los mapas	Conclusión del proyecto

Involucramiento de actores locales

Antes de iniciar el estudio, se presentó el proyecto a las autoridades de la comunidad (Comisariado, Consejo de Vigilancia y la empresa de los Servicios Técnicos Forestales; STF), para contar con su anuencia, pedir apoyo para realizar los recorridos en el predio comunal y discutir los mapas preliminares.

Polígono comunal e imágenes de satélite

Se obtuvo la perimetral de la comunidad de Ixtlán de Juárez en el Registro Agrario Nacional y se editó con el programa ARCGIS 9.2 (ESRI, 2006), dejándole un área de 1 km, después de los límites de la comunidad. En campo, se hicieron recorridos en distintos puntos del predio comunal para verificar sus límites. Considerando la poligonal, se obtuvo el corte de una imagen SPOT de 2010 (tomada en época de secas) de 10 m de resolución, la cual fue proporcionada por la CONAFOR. Esta imagen, junto con la información de campo fueron los principales insumos para generar un mapa de vegetación mediante un proceso de clasificación en el SIG.

Toma de puntos de control en campo

Previamente se revisaron las cartas topográficas de INEGI (E14D28, E14D29, E14D38, E14D39) a fin de identificar accesos a la comunidad y a áreas de interés, con lo que se diseñaron “transectos” de verificación, que incluyeron las áreas de manejo para el aprovechamiento de madera, ecoturismo, conservación, agricultura y uso urbano. A lo largo de dichos transectos se tomaron puntos de referencia sobre las distintas coberturas y usos del suelo. Los informantes locales ayudaron a completar las descripciones al proporcionar información sobre el manejo y características de la vegetación o uso del suelo en el punto de referencia. Esta actividad implicó 30 días efectivos de trabajo de campo y se generaron 296 puntos georeferenciados, con sus respectivas descripciones *in situ* y bocetos (sketch maps) de los distintos parajes observados. Debido a la inaccesibilidad en gran parte de la zona tropical del predio, donde desde hace 20 años ya no hay asentamientos humanos (parajes *La duu* y *Cuaje*), se recurrió a dos informantes clave (antiguos habitantes). A los informantes se les realizaron entrevistas informales (Russell, 2006); las cuales se basaran en un guion

de preguntas que pretendieron reconocer la superficie los usos del suelo durante el tiempo en que hubo asentamientos (número de familias, sistemas productivos y extensión de las áreas agrícolas), el tiempo transcurrido desde que se abandonaron. De esta manera, se hicieron inferencias de los bosques secundarios que ahora se desarrollan en donde estuvieron los poblados y las parcelas. La información se ubicó espacialmente a partir de georeferenciar los asentamientos en el mapa topográfico de INEGI y recorrer las veredas antiguas de acceso. Para la parte del selva baja caducifolia y encinares caducifolios, que actualmente presenta poca actividad antrópica, se entrevistó a personas que antes tuvieron parcelas agrícolas en dichas áreas. Dada su cercanía al asentamiento humano actual, la información de las entrevistas se corroboró o complementó con datos de campo generadas durante un recorrido a lo largo del transecto correspondiente a éstas coberturas.

En campo, las descripciones de cobertura se hicieron conforme las categorías que INEGI reconoce en su cartografía temática, incluyendo los estados secundarios. En total fueron 14 categorías: bosque mesófilo secundario, área de cultivo, zona urbana, bosque de encino, bosque de encino pino, bosque de pino encino, bosque de pino, bosque mesófilo, selva alta perennifolia, reforestación de pino, regeneración natural, selva baja caducifolia, encinar caducifolio secundario. Algunas coberturas (primarias y secundarias) y usos del suelo, se pudieron reconocer en campo pero no rebasaban los 100 m² en extensión, por lo que no se pudieron representar cartográficamente debido a la escala del mapa (1:50,000). En el cual, se representaron las coberturas prevalecientes.

Pre-procesamiento de las imágenes de satélite

A la imagen SPOT 2010 se le corroboró la corrección radiométrica y se le hicieron geométricas y topográficas. La corrección geométrica se hizo con georeferenciación de la imagen, utilizando mapas vectoriales de caminos obtenidos de INEGI. Para lo cual se hizo un re-muestreo de pixeles, obteniendo como máximo un error cuadrático medio permisible de 0.15 (Chuvieco, 2002). La corrección topográfica se hizo con el método propuesto por Teillet *et al.* (1982), con el fin de eliminar las sombras en las zonas

montañosas. Estas correcciones se realizaron en el programa PCI Geomática versión 7.0.

Clasificación de la imagen

El proceso de clasificación de las imágenes incluyó varias etapas que se resumen en la Figura 2.1, y se describen a continuación:

Inicialmente, la imagen de satélite se trabajó en falso color, para resaltar contrastes en la vegetación, y se usó la información georeferenciada de campo como campos de entrenamiento. Se hizo una clasificación supervisada, cuidando que los índices de separabilidad fueran mayores a 1.98 y que en las gráficas de dispersión (scatterplot) las elipsoides de agrupamiento de las clases fueran independientes. Para este proceso se usó el programa PCI Geomática versión 7.0.

Debido a la dificultad para separar espectralmente algunas clases de cobertura y usos de suelo, se optó por agruparlos: La categoría de bosques de pino-encino agrupo a cuatro tipos de bosques (pino-encino, encino-pino, pino y encino); mientras que la categoría de bosques caducifolios agrupó a la selva baja caducifolia secundaria y al encinar caducifolio. Una vez los campos de entrenamiento fueron ajustados a las nuevas categorías se hizo una clasificación supervisada, para la cual se usó el algoritmo de máxima similitud. La imagen clasificada resultante se validó usando 300 puntos aleatorios, lo que dio un índice de Kappa preliminar de 0.69.

Con este procedimiento la imagen clasificada presentó seis clases (bosque mesófilo secundario, bosque de pino-encino, bosque mesófilo, reforestación, bosques caducifolios, área de cultivo y zona urbana), más una clase nula; que el programa no identificó, dentro de las clases previamente definidas. Esta clase se trabajó mediante un proceso post-clasificadorio.

Proceso post-clasificadorio

En el proceso post-clasificadorio se continuó con una clasificación bayesiana, que consistió en una reclasificación de superficies que el programa no pudo reconocer, para la cual se utilizó el modelo digital de elevación de terreno (DEM), así como literatura

consultada, la carta temática de INEGI de usos del suelo y vegetación, y datos obtenidos durante los recorridos de campo. Se revisó la selva alta, la cual no se reconoció en el proceso de clasificación supervisada, debido a la nubosidad que existía en la imagen SPOT. Así la selva alta se delimitó en la porción norte-noreste del predio, a partir del criterio de ubicarle en el rango de elevación entre 200 y 1,150 msnm (Villaseñor, 2010). De igual manera, en la porción suroeste del polígono de la comunidad, en colindancia con las inmediaciones del Río Grande (conforme las observaciones de campo), se delimitó el bosque caducifolio, que la clasificación previa tampoco reconoció; para ello, se utilizó el criterio de 1,500 a 1900 msnm. La clase de regeneración natural se delimitó manualmente, debido a que el programa no pudo diferenciarla de los bosques de pino-encino. El proceso post-clasificadorio se realizó en el programa ARCGIS versión 9.2 (ESRI, 2006).

Posteriormente, con la unión de las imágenes de la clasificación supervisada y la que resultó del proceso post-clasificadorio, se generó una clasificación pre-final con todas las clases de cobertura y usos de suelo, más la clase nula. Para poder eliminar la clase nula de la clasificación pre-final, se realizó una unión entre la clasificación pre-final, resultado del proceso post-clasificadorio y una nueva clasificación hecha a la imagen spot original mediante una clasificación de máxima similitud; pero sin clase nula. A la clasificación resultante de esta unión, se le aplicó un filtro para homogeneizar las clases, con lo que se obtuvo una clasificación final con todas las clases de cobertura y usos de suelo, sin clase nula.

A la clasificación final, nuevamente se le realizó un proceso de validación, que implicó comparar 300 puntos aleatorios generados dentro del área de interés, contra la clasificación final (Congalton y Green, 1999). El análisis de confiabilidad de la imagen clasificada se basó en la revisión de la matriz de confusión (Chuvienco 2002), y nuevamente se calculó la exactitud total observada y el índice de Kappa. Este último, alcanzó un valor de 0.88, lo que sugirió que el proceso de clasificación hasta esta etapa ya era confiable (Mas y Ramírez, 1996). Finalmente, la imagen final se editó en el programa ARCGIS 9.2 para obtener el mapa con sus clases de cobertura y usos de suelo.

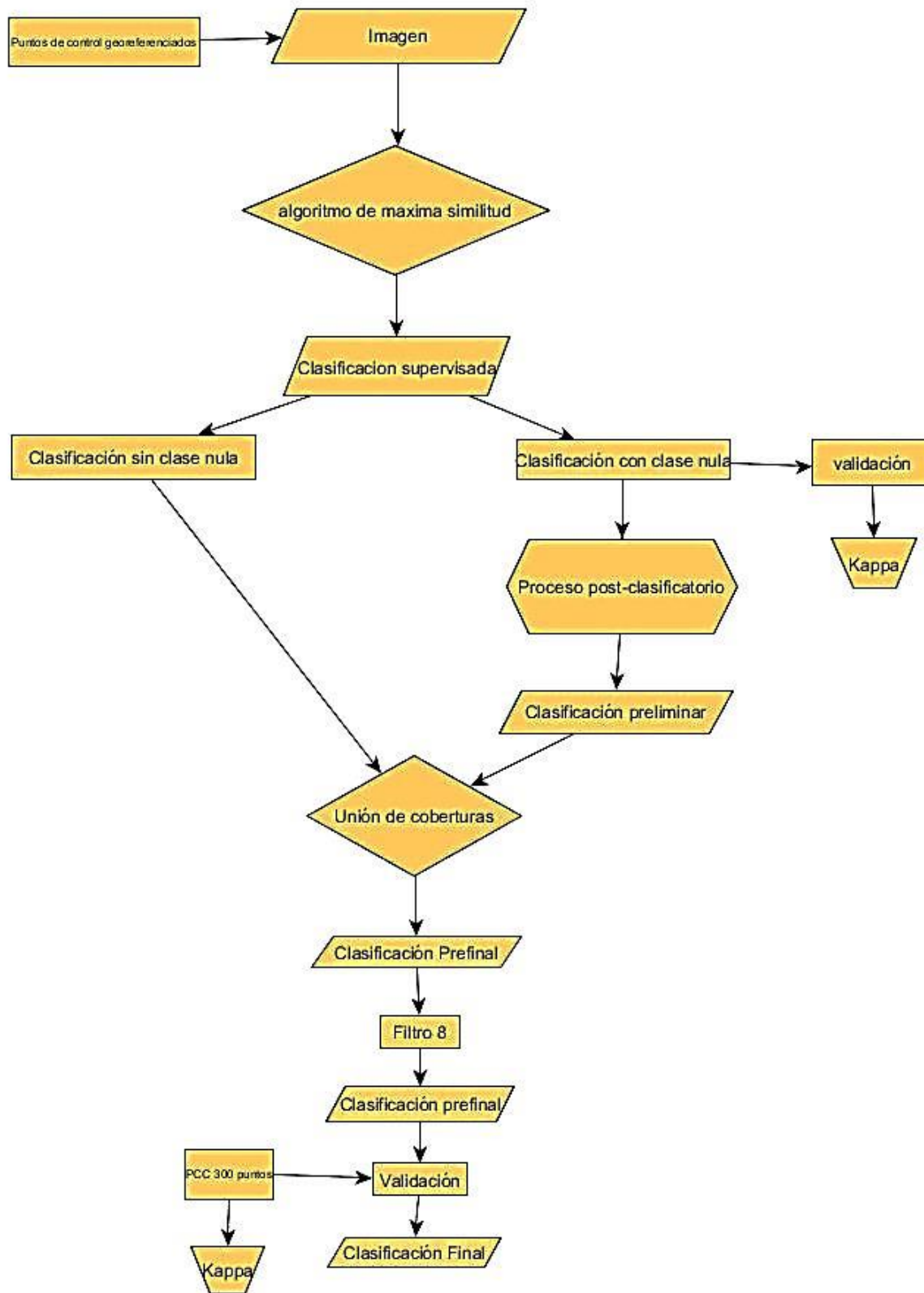


Figura 2. 1. Ruta seguida para la clasificación de la imagen SPOT 2010.

Estimación de carbono en las distintas coberturas y usos de suelo

Se hizo una revisión exhaustiva de literatura sobre los índices de contenido de carbono. Las distintas categorías de cobertura y usos de suelo del mapa, se agruparon debido a dificultades de clasificación, y a su vez estas clases se ajustaron de acuerdo con las clases de índices de contenido de carbono disponibles en la literatura (Tabla 2.2) (Hughes *et al.*, 1999; Ordóñez, 2004; Ordoñez *et al.*, 2008; Álvarez-Arteaga *et al.*, 2013).

Para estimar el contenido de carbono de los bosques templados de Ixtlán, se usaron índices de carbono generados en bosques análogos de otras partes del país (Tabla 2.3). Específicamente, el índice que se usó para calcular el contenido de carbono en el bosque mesófilo secundario de Ixtlán (bosques de alrededor de 15 años), se generó en el municipio de Usila, Oaxaca, que se encuentra a pocos kilómetros de los bosques de Ixtlán. Asimismo, para estimar el contenido de carbono de las selvas deciduas y encinares caducifolios de Ixtlán, se ocupó el índice de selva decidua.

Tabla 2.2. Agrupación y equivalencias de las categorías que se identificaron en campo, en los índices de carbono y en la clasificación final de la imagen SPOT de 2010, para la comunidad de Ixtlán.

Categoría en sitio	Categoría índice de carbono	Categoría en mapa 2013
Zona urbana	--	Zona urbana
Área de cultivo	Agricultura	Área de cultivo
Reforestación de pino	Plantación	Reforestación
Regeneración natural	Plantación	Regeneración natural
Bosque de encino	Bosque de encino	Bosque de pino-encino
Bosque de encino pino	Bosque de encino-pino	
Bosque de pino encino		
Bosque de pino	Bosque de pino	
Bosque mesófilo secundario	Vegetación secundaria ¹	Bosque mesófilo secundario
Bosque mesófilo	Bosque mesófilo	Bosque mesófilo
Selva alta perennifolia	Selva perenne	Selva alta perennifolia
Selva baja caducifolia	Selva deciduas	Bosque caducifolio
Encinar caducifolio		

Tabla 2.3. Índices de carbono forestal por clase de cobertura vegetal y uso de suelo.

Categoría en imagen spot 2010	Categoría para contenido de carbono	Índice de contenido de carbono (MgC ha⁻¹)
Área de cultivo	Agricultura ³	0.5
Reforestación y regeneración natural	Plantación ²	4.0
Bosque de pino encino	Bosque de pino encino ⁴	115.7
Bosque mesófilo secundario	Vegetación secundaria ¹	106.0
Bosque mesófilo	Bosque mesófilo ⁴	138.0
Selva alta perennifolia	Selva perenne ²	223.0
Bosque caducifolio	Selva decidua ²	54.0

(Hughes *et al.*, 1999¹; Ordóñez, 2004²; Ordóñez *et al.*, 2008³; Álvarez-Arteaga *et al.*, 2013⁴)

La estimación del carbono en Ixtlán se hizo teniendo como referencia el mapa de coberturas y usos del suelo, y se multiplicó la superficie de cada cobertura de bosques por el índice de contenido de carbono correspondiente. Mediante una sumatoria se calculó el total de MgC forestal que existen el predio de la comunidad de Ixtlán.

RESULTADOS

Mapa de la cobertura y usos de suelo

El mapa de coberturas y usos de suelo de la comunidad de Ixtlán Juárez, mostró que el 95% del predio mantiene cobertura arbolada (Figura 2.2 y 2.3), en su mayoría en categorías prevalentemente primarias. La cobertura prevaleciente fue el bosque de pino-encino (10,704.96 ha), que representó el 56.95% de la superficie de la comunidad. Otra parte importante correspondió a los bosques tropicales (selva alta perennifolia y bosque mesófilo de montaña (32.6%). El resto de coberturas de vegetación nativa ocupó una superficie relativamente menor (8.43%). Aunque en Ixtlán aún se cultiva la milpa, la superficie de cultivos es baja (375.3 ha) y se limita a las cercanías del asentamiento humano.

Tipos de coberturas y usos de suelo de Ixtlán de Juárez

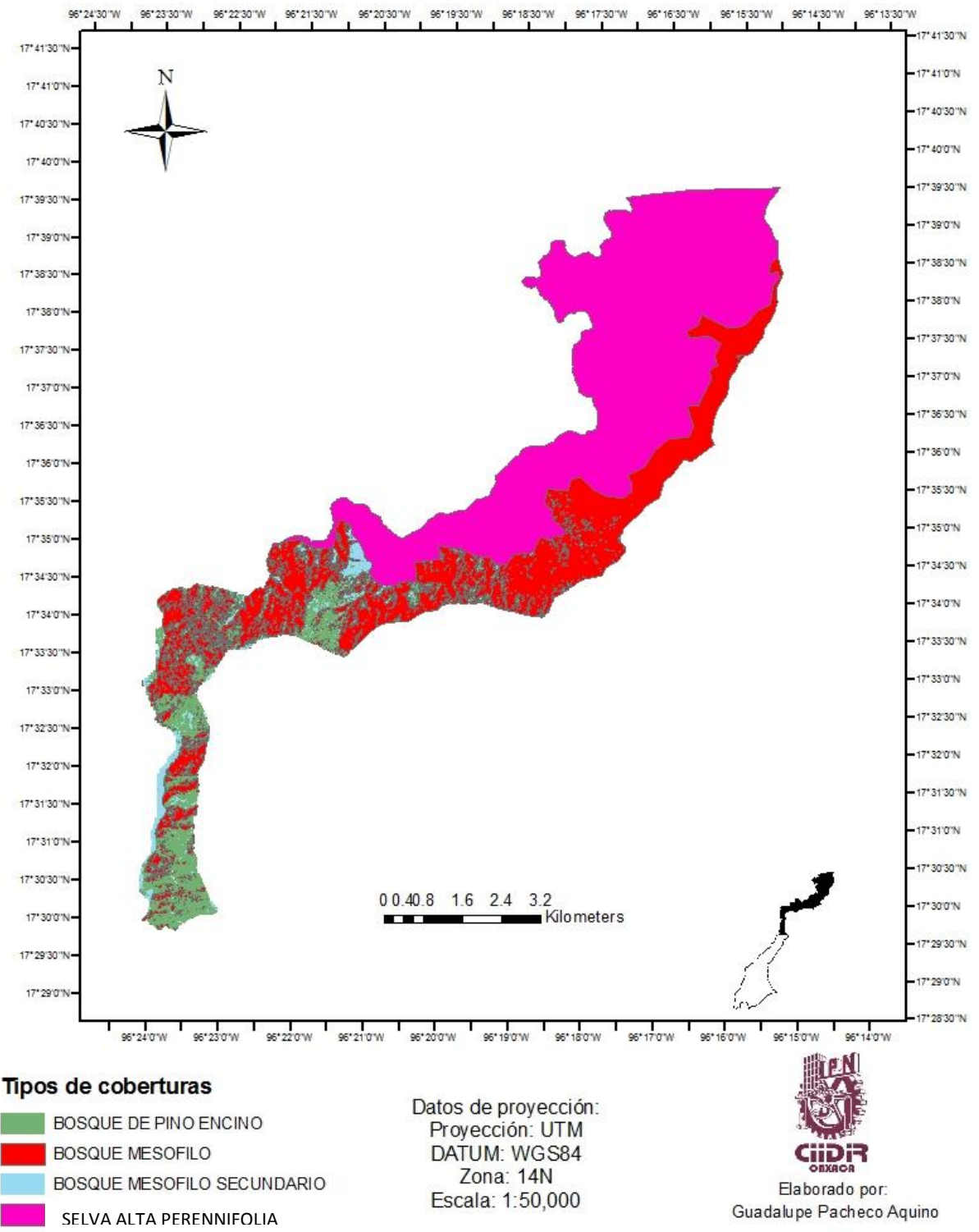


Figura 2.2 Mapa de coberturas y tipos de suelo de Ixtlán de Juárez del año 2013 (parte 1).

Tipos de coberturas y usos de suelo de Ixtlán de Juárez

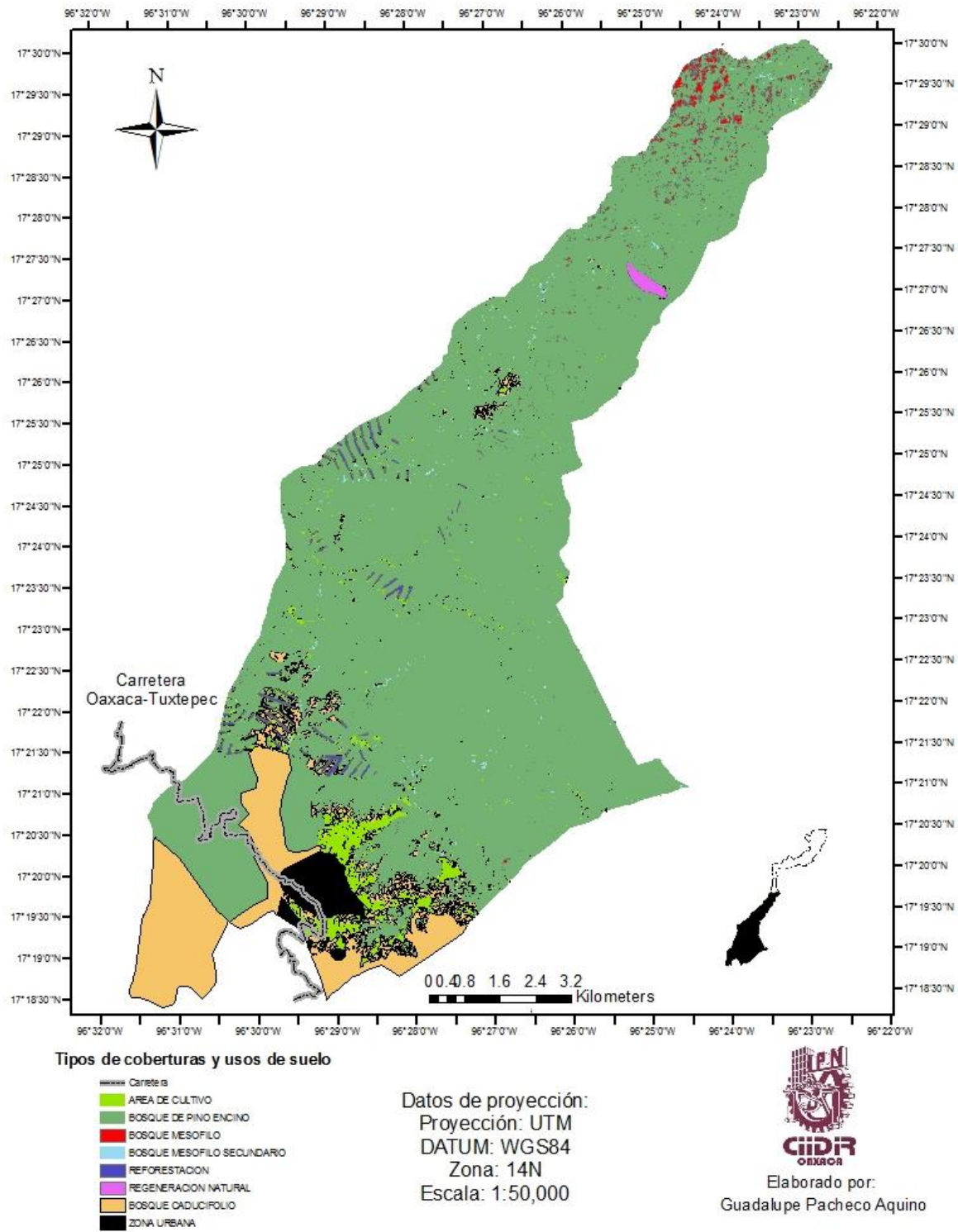


Figura 2. 3. Mapa de coberturas y tipos de suelo de Ixtlán de Juárez del año 2013 (parte 2).

Estimación de carbono en las distintas coberturas y usos de suelo

El almacén de carbono forestal en la comunidad de Ixtlán equivale a 2,449,072.82 MgC (Tabla 2.4). El 50.57 % de éste carbono se encontró en la cobertura de pino-encino, el 31.32% en selvas altas perennifolias y el 14.87% en los bosques mesófilos. Las áreas de cultivo, los bosques caducifolios, los sitios de regeneración natural y las reforestaciones almacenaron sólo el 3.2% del carbono que se estimó en la comunidad. No se incluyeron la totalidad de las reforestaciones realizadas en los últimos 3 años, debido a que no se pudieron reconocer en la imagen de satélite y estuvieron por debajo del área mínima cartografiable, es posible que su contribución al almacén de carbono de la comunidad se esté subestimando. Dada la importancia que tienen las reforestaciones para el balance de carbono, su contribución al almacén y la captura de carbono se analiza de manera más adecuada en el capítulo III de la tesis.

Tabla 2.4. Cantidad de carbono arbóreo almacenado por cada categoría del mapa de coberturas y usos del suelo.

Tipo de bosque	Área (Ha)	%	Carbono (MgC)	%
Área de cultivo	375.30	2.00	187.65	0.01
Reforestaciones	101.19	0.54	404.75	0.02
Regeneración natural	28.15	0.15	112.61	0.005
Bosque de pino encino	10,704.96	56.95	1,238,564.13	50.57
Mesófilo secundario	218.14	1.16	23,122.84	0.94
Bosque mesófilo	2,471.66	13.15	341,088.52	13.93
Selva alta perennifolia	3,439.23	18.30	766,948.07	31.32
Bosque caducifolio	1,456.37	7.75	78,644.25	3.21
TOTAL	18,795.67	100	2,449,072.82	100

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Aproximación metodológica

La cuantificación del almacén de carbono forestal en la comunidad indígena de Ixtlán de Juárez, a partir de la metodología empleada consistente en el uso de imágenes de satélite, información de campo e índices de contenido de carbono, fue una estimación conforme a los estándares internacionales (IPCC, 2006) y tuvo la ventaja de ser relativamente fácil de implementar. Al no tratarse de un estudio regional, fue posible

contar con información de campo, lo que aumento la confiabilidad de las categorías del mapa, y la afinidad de las coberturas con los índices de contenido de carbono empleados. Situación que no ocurre cuando la estimación de carbono se hace en superficies mayores y no es posible incorporar soporte detallado de campo a lo que capturan los sensores remotos y el manejo que se le puede dar a través de los sistemas de información geográfica (Escandon *et al.*, 1999; Labrecque *et al.*, 2006; Márquez, 2007). La estimación del almacén de carbono que se ha hecho para el caso de Ixtlán no es precisa, pero lamentablemente no se tienen referentes para establecer el margen de incertidumbre.

Aunque esta situación no es deseable, se trata de un problema general en la contabilidad del carbono forestal (Bucki *et al.*, 2012). Una manera de reducir la incertidumbre en la estimación del almacén de carbono es mediante el establecimiento de parcelas permanentes en la mayor amplitud de condiciones que presentan los bosques de un predio, esto con el fin de que con la medición periódica de árboles se pueda ir afinando la contabilidad del carbono, y se logre su monitoreo a futuro. Dado que en condiciones de heterogeneidad, difícil acceso y alta biodiversidad como se presenta en Ixtlán, el establecimiento de sitios de monitoreo es costoso y demanda hacer seguimiento temporal de varios años (Garcidueñas, 1987; Ayala-López *et al.*, 2001; Schlegel, 2001; Pimienta de la Torre *et al.*, 2007; González, 2008; Vallejo *et al.*, 2008). Por ello es que quizá la manera más viable para el establecimiento de parcelas es apoyando para que la comunidades se involucren para monitorear carbono (Dam y Trines, 2011; McCall, 2011; Danielsen *et al.*, 2013).

Otra manera en que se está intentando resolver el problema de la incertidumbre en la cuantificación del carbono es mediante el uso de insumos como son las imágenes radar y de microondas, que utilizan mayores longitudes de onda para penetrar en el dosel vegetal. Un ejemplo de estas tecnologías son las imágenes CLASlite y LIDAR que tiene una alta precisión y reducen considerablemente el número de parcelas que se instalan en campo, el problema es que esta tecnología es altamente costosa, depende de la estructura y composición del bosque, y aún se está afinando (CCAD, 1998; Ayala-López *et al.*, 2001; Asner *et al.*, 2010; Asner, 2011). Dado que estas metodologías “más confiables” son caras, costosas, sofisticadas, y aún se está lejos de que estén

disponibles para fines prácticos, donde se tienen propiedades de pocos cientos o miles de hectáreas, como es el caso de los bosques comunitarios de México; es que la aproximación empleada en este trabajo fue una opción aceptable para Ixtlán, pero podría serlo para muchas otras comunidades o ejidos forestales.

Mapa de la cobertura y usos de suelo

El mapa mostró que la comunidad tiene una gran porción de superficie arbolada, donde predominan los bosques de pino-encino. En el mapa no se observaron áreas deforestadas en los bosques mesófilos, selvas altas ni bosques templados que no estén dentro de las áreas de producción maderable. El área de producción comprende sólo bosques de pino-encino, donde anualmente se “deforestan” 150 ha para la extracción de madera. Sin embargo, el cambio en la cobertura es una acción legal y planificada que cuenta con autorización de la SEMARNAT, se realiza bajo estricta supervisión técnica y se corrige en el corto plazo con regeneración natural y reforestaciones.

Un aspecto importante a considerar en esquemas de incentivos como REDD+, es la degradación de bosques (CONAFOR 2010); sin embargo, las imágenes de satélite casi no permiten reconocer dicho fenómeno, aunque no ocurre así con la deforestación (Herold *et al.*, 2011). En el caso de Ixtlán, con base en el reconocimiento de campo se puede afirmar que no existen áreas degradadas en las selvas altas y los bosques mesófilos, o en los bosques templados por efecto del manejo forestal o la extracción de leña, pero si se presenta en la porción suroeste del polígono de la comunidad, en gran parte de las 1,456 ha donde se encuentra los bosques caducifolios. Este sitio mantiene apenas el 3.2% del almacén de carbono, pero dadas sus condiciones es quizá donde la comunidad tiene el mayor potencial de realizar actividades de captura de carbono. Así, es que el mapa de coberturas, junto con el conocimiento local podría constituir poderosos soportes para la toma de decisiones en asuntos del carbono. Específicamente el mapa al haber sido elaborado por alguien local, es factible de corregirse y actualizarse cuando sea necesario. Por tanto, si la comunidad logra apropiarse de este producto puede usarle como una herramienta para discutir acciones relacionadas con el carbono, al tiempo que podría servirle como su línea base.

Estimación de carbono

La estimación del carbono forestal de la comunidad de Ixtlán aquí presentada (2,449,072.82 MgC), es un primer intento de cuantificación sobre la base de la cobertura actual. Se trata de una línea base muy alta, debido a que gran parte de la superficie se encuentra bajo conservación y hay buen manejo forestal (Bray, 2010), aun considerando que sólo es carbono aéreo y no está considerando el carbono en suelo, el cual podría incrementar del 30 al 80% dependiendo del tipo de bosque y manejo, esto de acuerdo a algunas estimaciones de almacenes carbono (Ordoñez *et al.*, 2008). No obstante, se trata de un referente para la comunidad que puede ser de utilidad para comparar con los almacenes de carbono de otros sitios, para implementar un sistema de monitoreo y sobre todo, para iniciar negociaciones para recibir incentivos o compensaciones por cuidar el almacén de carbono forestal. Considerando que la línea base de carbono para bosques en conservación como los de Ixtlán se puede afinar con una proyección de análisis de cambio en las coberturas, que muestre que ese carbono se ha mantenido desde años atrás (Brown *et al.*, 2007), se ha generado un mapa sobre los procesos de cambio en las coberturas que han ocurrido en la comunidad en los últimos diez años (Durán *et al.*, 2013). Dicho mapa exhibe que la comunidad ha mantenido sus bosques con pocos cambios, e inclusive ha ganado cobertura. La línea base de Ixtlán lamentablemente no es relevante para estrategias como REDD+, que privilegian la adicionalidad del carbono y para esto pretenden apoyar áreas que han sido mal manejadas (deforestadas y degradadas) para así poder reforestar y hacer crecer bosques (Gayoso y Schlegel, 2001; Shoch *et al.*, 2013). En Ixtlán, por lo contrario, se encuentra un círculo virtuoso de conservación y buen manejo, con un gran almacén de carbono. Este almacén de carbono, se cuida de manera intencional por la gente local, a través del manejo sustentable para extracción de madera, el cuidado de la cobertura para provisión de agua, ecoturismo y la conservación. Aunque se reciben incentivos gubernamentales, la integridad del paisaje regional y la contribución de las comunidades forestales en la mitigación del cambio climático son muy importantes. Sin embargo, aún comunidades como Ixtlán podrían capturar carbono en áreas con: bosques caducifolios, que se encuentran degradadas, bosques mesófilos secundarios, áreas con regeneración natural y áreas con aprovechamiento de madera donde los

turnos son de 40 a 50 años, y permiten capturar carbono y almacenarlo en la biomasa por varias décadas.

CONCLUSIONES

El aporte principal de este trabajo es metodológico, debido a que se obtuvo una línea base de la cantidad de carbono actual, de manera rápida, sencilla y barata. Sin embargo, no es una metodología última, precisa, ni altamente confiable; por lo tanto, será necesario implementar un manejo adaptativo y seguir realizando estudios para afinar metodologías. Ante la emergencia del cambio climático, es necesario realizar estimaciones sencillas en donde se incluya a las comunidades y permita realizar acciones a la brevedad posible. Con las decisiones de la comunidad de hacer manejo sustentable, cuidado del bosque y conservación activa, desde un nivel local, Ixtlán se está sumando a los esfuerzos del cambio climático. No obstante que la línea base de carbono es alta, la comunidad de Ixtlán aún presenta áreas donde puede capturar carbono y almacenarlo por varias décadas. El mapa de coberturas generado es una herramienta con la que la comunidad puede apoyarse para encaminar acciones a dicho propósito, para establecer parcelas permanentes de monitoreo y cubrir el requisito de MRV que demandan los esquemas de mercados de carbono que existen.

LITERATURA CITADA

Álvarez-Arteaga, G., N.E. García C., P. Krasilnikov y F. García-Oliva. 2013. Carbon storage in montane cloud forests in sierra norte of Oaxaca, México. *Agrociencia* 47: 171-180.

Angelson, A., et al. 2009. *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD): An Options Assessment Report Prepared for the Government of Norway*. Meridian Institute. 100 p.

Asner, G.P. 2009. Tropical forest carbon assessment: integrating satellite and airborne mapping approaches. *Environmental research letters* 4: 1-11.

Asner, G.P., et al. 2010. High-resolution forest carbon stocks y emissions in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (38): 1-20.

Asner, G.P. 2011. Painting the world REDD: addressing scientific barriers to monitoring emissions from tropical forests. *Environmental research letters* 6: 1-3.

Ayala-López, R.S., B.H. De Jong y H. Ramírez-Maldonado. 2001. Ecuaciones para estimar biomasa en la meseta central de Chiapas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7 (2): 153-157.

Bray, D.B., E. Duran M. y O.A. Molina-González. 2012. Beyond harvests in the commons: multi-scale governance and turbulence in indigenous/community conserved areas in Oaxaca, México. *International Journal of the Commons* 6 (2): 151–178.

Brown, S., et al. 2007. Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12: 1001-26.

Bucki, M., et al. 2012. Assessing REDD+ performance of countries with low monitoring capacities: the matrix approach. *Environmental Research Letters* 7: 1–13.

Chuvieco, E. 2002. *Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio*. Editorial Ariel. Barcelona, España. 586 pp.

CSMSS. 2013. *Iniciativa comunidades, territorios y cambio climático. Una Propuesta Social para REDD+: Hacia una Estrategia incluyente para el estado de Oaxaca*. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sustentable, México D.F.

Congalton, R.G. y K. Green. 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Lewis Publisher. Florida E.U. 137 p.

Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. 1998. *Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) por los bosques de Costa Rica*. Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA), Central American Protected Area System (CAPAS). 50 p.

Danielsen, F., et al. 2013. Community monitoring for REDD+: international promises and field realities. *Ecology and Society* 18 (3): 41.

Dam, P. y E. Trines. 2011. Can carbon compete with the loggers in Papua New Guinea? Pp. 158–168, En: M. Skutsch (Ed.). *Community forest monitoring for the carbon market*. Earthscan, London, UK.

Duran, E., R. Rivera y F. Gumeta. 2013. *Informe Técnico de proyecto "Institutional Change and Local Forest Governance: Shaping the Mexican Community Forestry Sector 1999-2012*. Sección: Análisis cartográfico de Tendencias de Deforestación. UCMEXUS-CONACYT, CIIDIR-Oaxaca/Universidad de California.

Escandon, C. J., et al. 1999. *Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos Landsat TM en Jusnajib, La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso*. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México. 40:7184.

ESRI. 2006. ArcGIS Help (9.2). Environmental Systems Research Institute, Inc., New York, EUA.

Garcidueñas, M.A.R. 1987. *Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de Pinus montezumae L.* Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. México. 252 p.

Gayoso, J. y B. Schlegel. *Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono.* Universidad Austral de Chile. Valdivia. 15 p.

Gibbs, H.K., S. Brown, J.O. Niles y J. Foley A. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2:1-13.

González, Z. M. 2008. *Estimación de la biomasa aérea y la captura de Carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H. E. Moore, Pinus oocarpa var. ochoterenai Mtz. y Quercus spp. en el norte del Estado de Chiapas, México.* Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 81 p.

Herold M., et al. 2011. Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance and Management* 6 (13): 1-7.

Hughes, R.F., J.B. Kauffman y V.J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of México. *Ecology* 80: 1892-1907.

IPCC. 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Intergovernmental Panel on Climate Change. Japan. 12 p.

Labrecque, S., R.A. Fournier, J.E. Luther y D. Piercey. 2006. A comparison of four methods to map biomass from Landsat-TM and inventory data in western Newfoundland. *Forest Ecology and Management* 226:129-144.

Madrid, L., J.M. Núñez, G. Quiroz y Y. Rodríguez. 2009. La propiedad social forestal en México. *Investigación ambiental* 1 (1): 179-196.

Márquez, D.J. 2007. *Estimación de carbono arbóreo por medio de imágenes del satélite spot en la región de Tlaxco, Tlaxcala.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. 79 p.

Mas, J.F. e I. Ramírez. 1996. *Mejoramiento de las clasificaciones espectrales de cubiertas de suelo por medio de un sistema de información geográfica.* Boletín, núm. especial 4. Instituto de Geografía, UNAM, México. pp. 111-122.

Meffe, G.K., L.A. Nielsen, R.L.K Night y D.A. Schenborn. 2002. *Ecosystem Management Adaptive, Community-Based Conservation*. ISLAN PRESS. Washington, DC. 333 p.

Minang, P.A. y M.K. Mccall. 2006. *Participatory GIS and local knowledge enhancement for community carbon forestry planning: an example from Cameroon*. Participatory learning and action. Pp. 85-91.

Ordóñez, J.A.B. 2004. *Índices de contenido y captura de carbono en áreas forestales. Densidades de carbono*. INEGI. Recuperado de http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/fuente_datos.pdf (Consultado el 10 de agosto del 2012).

Ordoñez, J.A.B., et al. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacán, México. *Forest Ecology and Management* 7 (255): 2074–2084.

Pimienta de la Torre, D. de J., et al. 2007. Estimación de biomasa y contenido de Carbono de *Pinus cooperi* Blanco en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13 (1): 35-46.

Russell, B.H. 2006. *Research Methods in Anthropology: Qualitative and Quantitative Approaches*. Alta Mira Press. 803 p.

Schlegel, B. 2001. *Estimación de la biomasa y Carbono en bosques del tipo forestal siempreverde*. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. pp. 1-13.

Shoch, D., J. Eaton y S. Settelmyer. 2013. *Manual de Metodologías REDD VCS para Desarrolladores de Proyectos*. Conservation International. Pp. 18-20.

SEMARNAT-CONAFOR. 2010. *Visión de México sobre REDD+ hacia una estrategia nacional*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional Forestal. 56 p.

Teillet, P.M., B. Guindon y D. Goodenough G. 1982. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing* 8: 84–106.

Vallejo, A., W. Oyantcabal, P. Rodríguez-Noriega y L. Pedroni. 2008. Preguntas frecuentes sobre metodologías de línea base y monitoreo para proyectos forestales MDL. Pp. 29-42, En: Salinas Z. y P. Hernández (Eds.). *Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía*. Turrialba, C. R. CATIE.

Villaseñor, J.L. 2010. *El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 40 p.

CAPITULO III. DINÁMICA DEL CARBONO EN EL ÁREA DE APROVECHAMIENTO FORESTAL EN IXTLÁN DE JUÁREZ, OAXACA.

RESUMEN

Aunque se tiene la idea de que existe incompatibilidad de lograr balances positivos de carbono en bosques sujetos a extracción de madera, este trabajo mostró que es posible. Se realizó una primera estimación del carbono almacenado y el potencial de captura en el área de manejo forestal de la comunidad de Ixtlán de Juárez. Para ello se usaron las existencias reales y el ICA del área de manejo forestal (8,996.75 ha), la cual se integra de 24 rodales. Dentro de esta área, existen 1211 ha que se han estado aprovechando durante el último plan de manejo forestal (2006-2014), y el resto son 7,786 ha de bosques que no se encuentra bajo aprovechamiento forestal actualmente, y se componen de áreas conservadas, reservas comerciales y otras áreas de producción maderable. Se estimó que el promedio de captura de carbono en el área de manejo es de $1.36 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; por lo tanto, se pueden capturar $15,961.10 \text{ MgC año}^{-1}$ en toda el área de manejo. Para fines de ingresar a un mercado voluntario se pueden comprometer las 7786 ha, que no están bajo aprovechamiento, dentro de las cuales se tiene el potencial de capturar $10,588.96 \text{ MgC año}^{-1}$, mismo que equivalen a $38,208.37 \text{ MgCO}_{2e} \text{ año}^{-1}$, que en el mercado voluntario podrían generar a la comunidad ingresos de hasta US\$ 382,083.7 anuales. En esta misma superficie se tiene ya almacenado $801,786.98 \text{ MgC}$; por lo tanto, el promedio de carbono almacenado para bosques de pino-encino es de $102.98 \text{ MgC ha}^{-1}$. Aunque Ixtlán es ampliamente reconocido por su buen manejo forestal, los incentivos por carbono podrían mejorar aún sus prácticas de manejo forestal.

Palabras clave: *Almacén de carbono, Captura de carbono, incentivos por carbono, manejo forestal.*

INTRODUCCIÓN

Se tiene la percepción de que los bosques manejados para aprovechamiento de madera no pueden alcanzar balances positivos en las cuentas de carbono, pero no necesariamente es así. También es equivocada la percepción de que la extracción de madera de los bosques equivale a deforestación. Aunque está fundamentada la preocupación sobre la deforestación, que es una de las principales causas de emisión de CO₂ a la atmósfera (IPCC, 2007), se debe generar evidencia que muestre que el manejo forestal sustentable puede inducir equilibrios o favorecer las cuentas de carbono. Esto, a través de asegurar que en las áreas de aprovechamiento se combinen bosques en conservación y otros destinados a extracción de madera, pero también cuidando que la cantidad de CO₂ emitida al cortar árboles se vuelva a fijar o inclusive se capturen cantidades adicionales. Para ello, después del aprovechamiento se debe inducir la regeneración natural o reforestar (Tipper, 1998; Schmithüsen, 2013). Asimismo, es importante tener presente que la extracción de madera no necesariamente implica emisiones inmediatas de CO₂, ya que la transformación de madera en muebles o para usos que la mantendrán sin degradarse o quemarse por una o más décadas, evita que el carbono contenido se libere en corto plazo (Montoya, 1995; Ordoñez, 1999).

Se cree que el aprovechamiento de los bosques con planes de manejo bien fundamentados, y cuando la extracción de madera se complementa con intensas actividades de conservación y reforestación, podrían ayudar a reducir entre el 20 y 50% de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Brown, 1999 y IPCC, 2007). Conforme lo anterior, el buen manejo forestal resulta fundamental para lograr la meta de que los bosques del mundo pueden ser sumideros de carbono en los próximos años (Griscom *et al.*, 2009). La comunidad de Ixtlán de Juárez realiza extracción legal de madera desde hace más de 20 años, y con base en distintos indicadores, se considera que el aprovechamiento se hace conforme un manejo forestal que cuida la capacidad productiva y la integridad ecológica del bosque, por lo que contribuye a que gran parte del paisaje de la Sierra Norte, tienda a la sustentabilidad (Bray *et al.*, 2010; Van Vleet, 2013). Asimismo, desde el año 2001, Ixtlán ha mantenido la certificación internacional por buen manejo forestal,

otorgada por el Forest Stewardship Council (FSC, 1998) y además, tiene bajo conservación 6,086.53 ha de bosques tropicales (selvas altas y bosques mesófilos). El manejo forestal y las acciones de conservación que se realizan en Ixtlán operan conforme el enfoque del manejo participativo (*sensu* Meffe *et al.*, 2002) y bajo una fuerte base social, a partir de la existencia y funcionamiento de sólidas instituciones locales de gobernanza (*sensu* Ostrom, 1980). Aunado a lo anterior, la comunidad cuenta con un sistema eficiente de rendición de cuentas y un esquema de sanciones y resolución de conflicto, que son producto de la “comunalidad” (*sensu* Martínez, 2010) y el gran capital social con que se cuenta (Mathews, 2010).

Aunque el manejo del bosque tiene fines comerciales, no busca maximizar las ganancias en el corto plazo, sino que tiene como fin ayudar a la economía de la comunidad a través de generar empleos y cubrir demandas sociales. El entendimiento de esto, junto con un conocimiento técnico ha hecho que la comunidad realice constantes inversiones en el bosque, enfocadas a mejorar la calidad comercial de la madera, incrementar la superficie forestal, promover la regeneración y la pronta recuperación de subrodales intervenidos; así como en cuidar y ampliar la infraestructura de caminos. Aunque el manejo del bosque está a cargo de los dueños (comuneros), éste se hace con estrictos estándares técnicos a través de la empresa comunal de “Servicios Técnicos Forestales” (Sastre, 2008). Los planes de manejo son elaborados por profesionales de la propia comunidad, a partir de los inventarios forestales que realiza la gente local. El plan de manejo forestal vigente (2006-2014) permitió disponer de un acervo de información altamente confiable, que tenía información básica con la cual fue posible hacer estimaciones de carbono forestal. Así, este trabajo tuvo como meta conocer dinámica del carbono en el área de manejo forestal Ixtlán de Juárez, Oaxaca, y mostrar que el buen manejo forestal en áreas de extracción de madera permite lograr balances positivos de carbono. Para ello, se cuantificó el almacén de carbono y el potencial de captura de carbono, los resultados además constituyen un referente o línea base del carbono forestal, a partir de la cual se podría hacer el monitoreo del carbono a futuro, lo cual es esencial para negociar apoyos o incentivos ante instancias nacionales e internacionales.

METODOLOGÍA

Sitio de estudio

El estudio se realizó en Ixtlán de Juárez, que es una comunidad zapoteca que se ubica en la región Sierra Norte de Oaxaca, entre las coordenadas Latitud Norte 17° 18' 16" N 96° 20' 00" W y Latitud Oeste 17° 34' 00" N 96° 31' 38" W (figura 3.1).

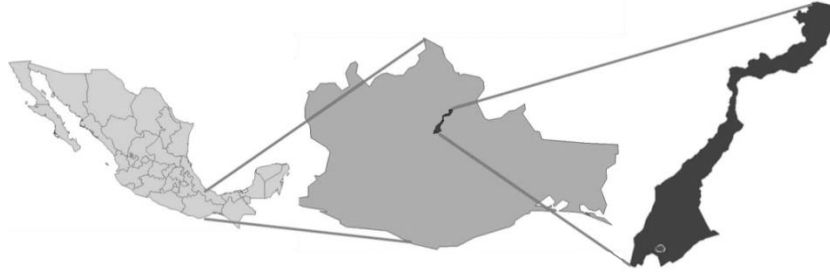


Figura 3.1. Ubicación de Ixtlán de Juárez.

El predio comunal comprende un total de 19,310.14 ha, de las cuales 8,996.75 ha (46.6%) son reconocidas por la comunidad como su área de manejo forestal (superficie forestal). Dicha área se divide a su vez en 24 rodales, los cuales a su vez se subdividen en 466 subrodales; pero específicamente, la superficie aprovechable es de 3,469.25 ha (área de producción). Dentro de esta área, conforme el plan de manejo vigente (2006-2014), se están aprovechando sólo 136 subrodales, en una superficie a intervenir de 1,211.37 ha (área de aprovechamiento) (6.2 %) del total del territorio (tabla 3.1) (Figura 3.2). El aprovechamiento se está realizando con dos métodos: extracción selectiva o matarraza.

Tabla 3.1. Clasificación del predio comunal con fines de aprovechamiento forestal.

Superficie total (ha)	Superficie forestal (ha)	Superficie a aprovechar (ha)	Superficie a intervenir (ha)
19,310.14	8,996.75	3,469.25	1,211.37

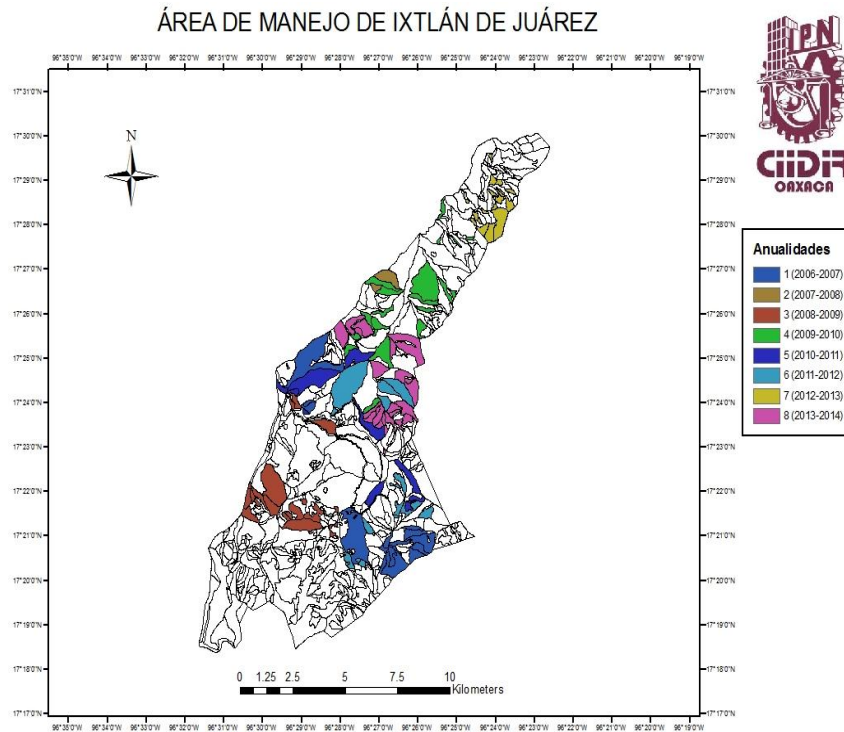


Figura 3.2. Área de manejo forestal, indicando el área de aprovechamiento (2006-2014) con sus diferentes anualidades.

El área de manejo forestal se ubica en un gradiente de elevación de va desde 1000 a 3100 msnm, donde prevalecen los climas templado húmedo y templado subhúmedo (Köppen modificado por E. García 1987). Aunque en todos los rodales se desarrollan bosques de pino, pino-encino y encino-pino, desde hace 30 años se vienen haciendo reforestaciones y manejo que favorecen al género *Pinus*, en especial a *Pinus patula*. (Figura 3.2), donde extrae principalmente la madera del genero *Pinus* y en menor cantidad la de *Quercus*.

Estimación del potencial de captura de CO₂ en el área de manejo

El potencial de captura de CO₂, se estimó en los 23 rodales del área de manejo, excluyendo al rodal E, debido a que en este se encuentra la zona urbana. Se ocuparon los datos del incremento corriente anual (ICA) de cada uno de los 466 subrodales del área de manejo. Dicha información se obtuvo del plan de manejo forestal vigente (2006-2014). El potencial de captura de CO₂, se calculó mediante la ecuación 1 (Ordóñez, 2008):

Ecuación 1:

$$PCC = I. C.A. * \delta * CC$$

Dónde:

PCC= Potencial de captura de carbono ton CO₂ ha⁻¹ año⁻¹

I.C. A. = Incremento corriente anual m³ ha⁻¹ año⁻¹

δ = densidad de la madera por género en Mg m³⁻¹

CC= contenido de carbono (valor por defecto IPCC, 2003) 0.5 Mg Mg⁻¹

Posteriormente, los datos se concentraron en una hoja de cálculo de Excel para representar los datos por rodal, y estimar el potencial de captura en tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente. Esto debido a que esta es la unidad con la que las reducciones de emisiones resultantes de la actividad de proyectos forestales son contabilizadas en forma de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE's) y negociadas en mercados internacionales de carbono. Un CRE corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), calculada en base al potencial de calentamiento global de este gas. Una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO_{2e} (obtenido en razón de los pesos moleculares 44/12). Por lo tanto, para saber la cantidad de CO_{2e} emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se debe multiplicar esta por 3.67 (Rügnitz, *et al.*, 2009). Se hizo una estimación de la captura de carbono en toda el área de manejo; pero también se hizo la estimación en los 330 subrodales que no se intervinieron en los últimos 8 años, que es lo que comprende el plan de manejo forestal vigente (2006-2014), esto con el fin de conocer, cual es el máximo de superficie y Mg de carbono que puede comprometer la comunidad, para ingresar a un mercado voluntario de carbono.

Estimación del almacén de carbono en el área de manejo

El carbono almacenado se determinó en los 23 subrodales que comprenden el área de manejo. El carbono se estimó a partir de las existencias reales (valor promedio ponderado en m³ ha⁻¹) de madera en pie, en cada uno de los 330 subrodales; es decir, no se estimó el carbono almacenado en los 136 subrodales bajo aprovechamiento. Para estimar el almacén de carbono, se usó la ecuación 2 (Ordóñez, 2008), la cual hace la estimación del almacén de carbono a nivel de especie, pero en éste caso, ante

la carencia de información, se calculó a nivel de los dos géneros dominantes en el bosque (*Pinus* y *Quercus*), sobre los que se centra el aprovechamiento de madera:

Ecuación 2:

$$CAER = E. R. * \delta * CC$$

Dónde:

CAER= carbono almacenado por especie y por rodal

E. R. = Existencias reales en $m^3 ha^{-1}$

δ = Densidad de la madera para cada especie expresada en $Mg m^{3-1}$

CC= contenido de carbono ($0.5 Mg Mg^{-1}$ fue el valor por defecto según el IPCC, 2003)

Los valores de densidad de la madera para *Pinus* fue $0.512 Mg m^{3-1}$ y para *Quercus*, $0.684 Mg m^{3-1}$ (Ordóñez *et al.*, 2013). El valor del carbono almacenado, se calculó para cada subrodal, y con su sumatoria se obtuvo el carbono total contenido en cada rodal.

Análisis de la dinámica del carbono en el área de aprovechamiento

La dinámica del carbono en los 136 subrodales que conforman el área de aprovechamiento del plan de manejo forestal vigente (2006-2014) de Ixtlán, se analizó estimando el almacén de carbono antes de la extracción de madera (carbono inicial), el carbono de la madera extraída (carbono extraído) y el carbono residual, que quedó después del aprovechamiento. Se ocuparon los datos de existencias reales, volumen removido y volumen residual, del plan de cortas. Los cálculos se hicieron con la ecuación 2, considerando los dos géneros dominantes en el bosque (*Pinus* y *Quercus*). También se estimó el carbono capturado en las áreas que se aprovecharon en el periodo 2006-2013, para esto se ocupó el valor del potencial de captura de carbono expresado en $MgC ha^{-1} año^{-1}$ para cada subrodal que se encuentra en el plan de cortas. Este valor se multiplicó por la edad de cada masa forestal, de acuerdo al año de intervención y, posteriormente, se multiplicó por la superficie de cada subrodal. Los datos de carbono inicial, carbono removido, carbono residual y carbono capturado, se tabularon y se representaron en una grafica para conocer como se ha comportado la cantidad de carbono durante el último plan de manejo forestal.

RESULTADOS

Potencial de captura y almacén de carbono forestal

Con base en los datos del ICA de los rodales, la edad y la extensión de los rodales, se encontró que en el área de manejo forestal (AMF) de la comunidad de Ixtlán está ocurriendo captura de carbono. El promedio de captura estimado fue de 1.36 ± 0.09 MgC ha⁻¹ año⁻¹, y a partir de este valor, se calculó que la captura anual de carbono es de 15,961.10 Mg año⁻¹ para las 8,996.75 ha que comprende el AMF (Tabla 3. 2). En las 7,786 ha, que no se han intervenido durante el último plan de manejo forestal vigente (2006-2014), la captura de carbono es de 10,588.96 Mg año⁻¹. Por lo tanto, estas áreas son las que potencialmente la comunidad pueden ingresar a un mercado voluntario de carbono.

Tabla 3.2. Captura de carbono (MgC ha⁻¹ año⁻¹) en los rodales del área de manejo para producción maderable de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Rodal	Superficie (ha)	Edad promedio	Carbono capturado promedio (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Carbono capturado (MgC año ⁻¹)	MgCO _{2e} año ⁻¹
1	774	65	1.41	4380.45	16,076.25
2	1,010.25	62	1.39	1463.10	5,369.58
3	220	69	1.43	321.89	1,181.34
4	234.75	57	1.42	340.73	1,250.48
5	172.25	56	1.40	249.42	915.37
6	290.5	59	1.21	388.14	1,424.47
7	267	65	1.37	352.03	1,291.95
8	173.25	72	1.20	223.16	819.00
9	110.25	69	1.28	135.25	496.37
10	483.75	62	1.28	681.18	2,499.93
11	655.25	52	1.30	905.06	3,321.57
12	216.5	62	1.35	308.37	1,131.72
13	142	58	1.35	195.82	718.66
14	26.75	46	1.34	35.43	130.03
15	784.25	73	1.27	1043.31	3,828.95
16	930.75	72	1.45	1358.65	4,986.25
17	466.5	64	1.48	692.15	2,540.19
18	945.25	61	1.40	1294.23	4,749.82
19	273.5	76	1.51	412.08	1,512.33
20	292.5	60	1.27	415.70	1,525.62

21	298.75	69	1.45	440.76	1,617.59
22	177	65	1.46	257.46	944.88
23	51.75	79	1.20	66.73	244.90
24	Zona urbana				
Promedio		64	1.36		2,546.84
Total	8,996.75			15,961.10	58,577.24

En el área de manejo forestal (AMF) también existe un almacén de carbono, que se estima equivale a 801,786.98 MgC, con un valor promedio de 102.98 ± 26.18 MgC ha⁻¹ para bosques de pino-encino. Aunque todos los rodales son dominados por bosques templados, dada las diferencias de edad y estructura de la masa forestal, la cantidad de carbono almacenado fue variable entre los rodales. Por ejemplo, el rodal 2 (998.43 ha) tiene almacenadas 115,404 MgC, mientras que en el rodal 14 (26.75 ha) el carbono almacenado es de 1,258.53 MgC (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Carbono almacenado en el área de manejo forestal de la comunidad de Ixtlán de Juárez.

Rodal	Superficie (ha)	Edad promedio	Carbono almacenado (MgC)
1	711.74	64	78,544.25
2	998.43	62	115,404.03
3	211.62	69	14,962.41
4	234.75	57	19,051.54
5	172.25	56	14,814.60
6	280.05	59	29,283.11
7	240.52	65	20,052.43
8	169.69	72	22,713.43
9	110.25	69	11,218.71
10	246.25	62	27,366.53
11	518.50	52	51,457.95
12	219.00	62	34,522.49
13	142.00	58	10,670.17
14	26.75	46	1,258.53
15	671.81	73	64,684.06
16	806.06	72	91,864.39
17	381.62	64	43,166.74
18	734.11	61	67,582.27
19	262.37	76	24,424.07

20	270.75	60	21,083.58
21	74.99	69	7,261.37
22	250.37	65	22,001.05
23	51.75	79	8,399.27
24	Zona urbana	0	0
Suma	7786		801,786.98
Promedio		64	102.98

Dinámica del carbono en el área de manejo forestal

La extracción de madera, conforme el plan de manejo forestal vigente, ha sido constante en los últimos 8 años, y se ha concentrado en 1,211.37 ha. Se estima que la extracción de madera removió en promedio el 60% de las existencias de carbono aéreo del total existente en el área de aprovechamiento (extracción selectiva o matarraza), se encontró que ocurrió captura de carbono en años posteriores al aprovechamiento (Tabla 3.4). Esto, debido a que la comunidad interviene inmediatamente reforestando las áreas donde se derribaron árboles. A pesar de que con las matarrazas no queda carbono residual, se encontró que la tasa de captura de carbono puede alcanzar niveles comparables a lo que ocurrió con el método de selección.

Tabla 3.4. Dinámica de carbono aéreo, dentro del área de aprovechamiento forestal de Ixtlán.

Anualidad	Superficie (ha)	Carbono inicial (MgC)	Carbono removido (MgC)	Carbono residual (MgC)	Carbono capturado (MgC)	Relación carbono inicial-carbono capturado (%)
1 (2006-2007)	429.5	28,520.99	5,297.40	23,223.59	4,287.34	15.03
2 (2007-2008)	102.32	10,015.79	1,973.43	7,609.78	2,051.33	20.48
3 (2008-2009)	115.35	12,276.30	10,847.54	1,428.77	856.18	6.97
4 (2009-2010)	108.59	11,396.87	11,396.87	0.00	655.93	5.76
5 (2010-2011)	106.38	14,975.18	14,975.18	0.00	465.63	3.11
6 (2011-2012)	114.78	12,899.44	11,079.06	1,820.39	342.12	2.65
7 (2012-2013)	110.27	18,927.79	9,264.12	9,663.68	164.42	0.87
8 (2013-2014)	124.18	10,502.20	10,502.20	0.00	0.00	0.00
Total	1211.37	119,514.57	75,335.79	43,746.20	8,822.95	

La intensidad de aprovechamientos de madera en cada anualidad es variable, por lo que reduce el carbono de cada subrodal de manera distinta, y no siempre proporcional

a su superficie (Figura 3.3). Así, el carbono residual de un rodal va desde cero hasta casi el 80% de las existencias de carbono después del aprovechamiento; sin que necesariamente éste determine la cantidad de carbono capturado. La cantidad de carbono actual en los subrodales intervenidos en cada anualidad, dependió del tiempo que ha transcurrido desde que se hizo el aprovechamiento (Figura 3.3). El porcentaje de carbono actual (2013), en los sitios de las últimas ocho anualidades se recuperó entre el 15 y 20%.

Dinámica de carbono

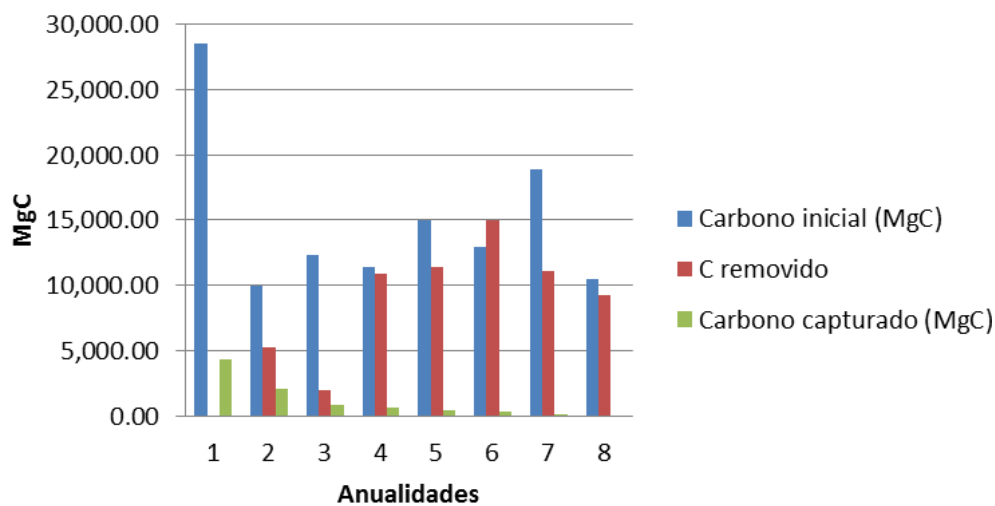


Figura 3.3. Dinámica de carbono en el área de aprovechamiento.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La extracción de madera se cuenta entre las principales causas de degradación de bosques, junto con los incendios y la extracción de leña (Griscom *et al.*, 2009) y se estima que al menos 20% de las emisiones de carbono son debidas a la degradación forestal. Por ello, se tiene la idea de que las áreas de extracción de madera no son viables para inducir captura de carbono, a niveles que superen el carbono extraído.

Pese a que de manera cotidiana se usan diversos productos derivados de la madera, la percepción social relaciona la extracción de madera con destrucción de los bosques (Bray *et al.*, 2010). Sin embargo, existen sistemas de aprovechamiento forestal que no necesariamente inducen altas emisiones de carbono, tales como aquellos casos de

buen manejo forestal certificados con estándares internacionales como lo es el de la certificación de FSC (Forest Steward Council, 1998). El aprovechamiento de madera de los bosques de Ixtlán ha sido reconocido como ejemplar (Bray *et al.*, 2010; Mathews, 2010) y mantiene la certificación del FSC desde hace 10 años (Sastre, 2008); sin embargo, hasta ahora no se había hecho un análisis de la dinámica del carbono de las áreas de extracción de madera de la comunidad. Los resultados presentados proveen por primera estimación del tamaño del almacén de carbono (existencias y el residual) y cifras de su captura.

También muestran que el área no es homogénea en cuanto al almacén y captura de carbono; asimismo, exhiben que con ambos métodos de extracción de madera (selectiva y matarraza) la tasa de captura de carbono puede tener niveles comparables. Los cuales se están alcanzando por las intensas y pertinentes acciones de manejo para proteger el suelo de la erosión e incorporarle materia orgánica, e inmediato reforestar. Esto se hace en un plazo menor de un año de la extracción y consiste en dejar las ramas finas y acomodarlas a manera de franjas perpendiculares a la pendiente (Figura 3.4).



Figura 3.4. A) acomodo de residuos del aprovechamiento forestal de forma perpendicular para evitar la erosión, B) Reforestación con especies nativas de la región, C) Masas forestales jóvenes en las áreas de manejadas.

Ixtlán también está intentando realizar prácticas de lo que denominan manejo forestal mejorado (Griscom *et al.*, 2009) dentro de su área de aprovechamiento. Sin embargo, de contar con fondos o incentivos podría modificar acciones para reducir el impacto de la extracción, por ejemplo, el reducir carriles de arrime y arrastre e incluso implementar un nuevo método de transporte de la madera (por ejemplo, cable aéreo).

Almacén y captura de carbono en el área de manejo

En los bosques de Ixtlán, el promedio de carbono forestal de la parte aérea, almacenado en el área de manejo fue de 102.98 MgC ha⁻¹. Este valor es cercano a 115.7 MgC ha⁻¹, valor promedio reportado por Ordoñez *et al.* (2008) para bosques de pino-encino, utilizando ecuaciones alométricas que consideran la biomasa del fuste, follaje y ramas. Cabe mencionar, que este fue el valor con el cual se realizaron estimaciones para conocer el almacenamiento de carbono en bosques de pino-encino, en el capítulo II. Por lo tanto, podría considerarse, que este valor es adecuado para utilizarlo como un índice que ayude a calcular almacenes de carbono en mayores extensiones de bosques de pino-encino. Sin embargo, el valor calculado está por debajo del valor de 195 MgC ha⁻¹ reportado por Álvarez y Rubio (2013); quienes utilizaron el modelo CO₂Fix, el cual asume que la masa forestal está compuesta por una sola especie de pino. En el caso de este trabajo, hay la ventaja de que se incluyeron datos del género *Quercus*, ya que dentro de las masas forestales representan un porcentaje considerable. Asimismo; el valor estimado en este trabajo, es menor a 216 MgC ha⁻¹, valor reportado por Olguín *et al.* (2003). Aunque en este caso, la diferencia se puede atribuir a que la estimación incluyó variables para el suelo.

Se observó que alrededor del valor promedio hubo mucha variación, la cual es posible que sea producto de variaciones de pendiente, exposición o microclima; así como a diferencias en la edad de cada rodal, características estructurales y composición de especies. Sin embargo, tratándose de bosques manejados es probable que reflejen variaciones en el sistema de manejo silvícola aplicado o por fenómenos de perturbación natural o inducida en el pasado (Garcidueñas, 1987; Acosta-Mireles *et al.*, 2002; González, 2008; Ordoñez *et al.*, 2008). Asimismo, la cantidad de carbono está influenciado por el método de aprovechamiento y los tratamientos silvícolas como el aclareo (Rodríguez–Ortíz, 2011). Estas variaciones pueden relacionarse con el criterio metodológico; pero, otra razón quizá es de tipo histórica, relacionada con el manejo de los bosques de la comunidad décadas atrás, cuando la extracción se hizo por la empresa FAPATUX, quien tuvo la concesión y se caracterizó por explotar severamente los bosques de toda la región (Bray *et al.*, 2005; Mathews, 2010).

La captura de carbono promedio fue de $1.36 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, el valor es menor a los valores reportados en otros estudios, por ejemplo, Fragoso (2003) reportó $1.65 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para especies de pino en bosques del Parque Nacional "Pico de Tancítaro, Hidalgo. Esto se puede deber a la edad promedio de los bosques de la comunidad, es de 64 años, y en la literatura se señala que en bosques maduros la tasa de captura es de $1\text{-}2 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Lugo y Brown, 1992; Grace *et al.*, 1995; Luysaert *et al.*, 2008). Conforme el valor promedio de captura de carbono, se estima que el área de manejo forestal de Ixtlán (8,996.75 ha) podrían capturar $15,961.10 \text{ Mg año}^{-1}$ y dentro de la misma área; pero sin considerar el área de aprovechamiento, se tiene almacenado hasta ahora $801,786.98 \text{ MgC}$. Específicamente, en el área de aprovechamiento se ha capturado $8,822 \text{ MgC}$, de acuerdo al promedio de potencial de captura que es de $1.36 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Conforme a estos datos, la comunidad, podría comprometer áreas que no están bajo aprovechamiento forestal (7786 ha), debido a que en el área de aprovechamiento la dinámica es diferente pues se extrae madera y se reforesta, y lo que busca el mercado de carbono aparte de capturar CO_2 , es la permanencia por un determinado tiempo, lo cual va a depender del tipo de esquema en el cual se ingrese, ya sea mercado voluntario, MDL, REDD+ (en construcción) y otros (Rendón *et al.*, 2009; Angelsen, 2013; Finanzas carbono, 2013). Por lo tanto, en áreas que no están bajo aprovechamiento actualmente (reservas forestales, áreas de conservación y otras áreas de producción maderable) se pueden capturar $38,208.37 \text{ MgCO}_{2e} \text{ año}^{-1}$. Pero, también la comunidad puede ingresar sus áreas que están en aprovechamiento a un mercado de carbono, ya que como se muestra en este trabajo se está capturando y almacenado carbono, aunado a que la madera extraída se transforma en tablas y muebles, con lo cual se está logrando que se almacene carbono por más tiempo.

Valor económico del almacén de carbono

De acuerdo a los resultados, se observa que los bosques de la comunidad pueden capturar $38,208.37 \text{ MgCO}_{2e} \text{ año}^{-1}$, lo cual equivaldría a \$ 382,083.7 dólares anuales (\$4,974,729.77 pesos) por venta de bonos de carbono en un mercado voluntario en el cual el precio por tonelada de MgCO_{2e} es de 10 dólares (Lobos *et al.*, 2005; Bray, 2012).

Esta cifra posiblemente no supera el ingreso por la venta de madera, pero si está por encima del pago que la comunidad recibe por el PSAH. Con este potencial de ingreso económico por captura de carbono es posible que la comunidad pudiera aumentar su valoración y expectativas de lo que representan sus áreas de manejo forestal, y sin duda serían ingresos que podrían generar numerosos beneficios sociales, ambientales y económicos, que hasta ahora no son concebidos. Aunque hay escépticos del esquema de incentivos; Griscom *et al.* (2009) sugiere que la información de líneas base y el MRV que se está efectuando en casos de carbono que ya están operando, muestran los incentivos podrían ser una opción para hacer manejo forestal mejorado y así reducir emisiones de carbono que generan numerosas prácticas de aprovechamiento de madera y fomentar la captura de carbono.

Metodologías para la estimación del carbono

Aunque la metodología empleada fue una buena herramienta para conocer la cantidad de carbono almacenada en los bosques maduros del área de manejo forestal de Ixtlán, es posible que al usar existencias de madera para los cálculos, podría sobreestimar la cantidad de carbono en las áreas aprovechadas en los últimos 8 años, ya que en arboles maduros el fuste contiene casi el 90% de biomasa, respecto a las ramas y follaje (Castellanos *et al.*, 1996; Avendaño *et al.*, 2007; González, 2008; Flores, 2010). Sin embargo, cabe reconocer que esto no sucede en reforestaciones o masas forestales jóvenes, donde el porcentaje de biomasa oscila entre 65% (Návar *et al.*, 2001; Pacheco *et al.*, 2007; Jiménez; 2010).

Existen muchas metodologías para estimar carbono y actualmente se están haciendo esfuerzos de trabajo en afinar las metodologías, pero la tarea no es fácil (Bucki *et al.*, 2012). Dada la situación de emergencia que representa el cambio climático y sus consecuencias, no se debería esperar a que se llegue a un método infalible de estimación de carbono, para actuar; sino que se debe empezar usando metodologías accesibles, sencillas y prácticas (Bucki *et al.*, 2012; Meffe *et al.*, 2002). Sin embargo, es necesario seguir realizando investigaciones, porque existe una gran necesidad de contar metodologías más integrales y con menos incertidumbre para cuantificar el

contenido de carbono en los bosques manejados de Oaxaca, y de prácticamente todo el país. Esto a fin de reconocer mejor los balances de carbono que se generan con distintos métodos de extracción, en rodales de distintas edades y características estructurales, así como en los diferentes almacenes de carbono (mantillo, suelo, raíces, estrato herbáceo y arbustivo).

En el entorno de la comunidad de Ixtlán, existen decenas de comunidades que también aprovechan madera de manera legal (SEMARNAT), y cuentan con planes de manejo forestal donde se tienen contabilizadas existencias de sus masas forestales y datos del ICA, por lo tanto una metodología como la que aquí se empleó podría ser relativamente fácil de transferir, para que dichas comunidades también pudieran conocer sus existencias de carbono.

CONCLUSIONES

Con este trabajo se hicieron por primera vez estimaciones del almacén y la captura de carbono en el área de manejo forestal de Ixtlán. Esto fue posible debido a que la comunidad en su plan de manejo forestal proporcionó la información clave para aplicar una metodología que es relativamente sencilla y práctica.

De acuerdo a las estimaciones, el almacén de carbono en el área de manejo forestal para la extracción de madera corresponde con niveles estimados para otros bosques manejados similares en México.

Los niveles de captura de carbono en el área donde también se extrae madera, son tales que su venta en mercados de bonos de carbono podrían generar ingresos superiores a los que recibe la comunidad por servicios hidrológicos.

LITERATURA CITADA

Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velázquez-Martínez y J. D. Etchevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca. *Agrociencia* 36 (6): 725-736.

Álvarez, S. y A. Rubio. 2013. Línea base de carbono en bosque mixto de pino-encino de la Sierra Juárez, Oaxaca, México. Aplicación del modelo co2fix v.3.2. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19 (1): 125-137.

Angelsen, A., et al. 2013. *Análisis de REDD+: Retos y opciones*. CIFOR, Bogor, Indonesia. Pp. 284-285.

Avendaño, H.D., M. Acosta M., F. Carrillo A. y J. D. Etchevers B. 2007. *Estimación de la biomasa y Carbono en árboles de Abies religiosa Schl. et Cham., mediante ecuaciones alométricas*. Memoria del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. 28 al 31 de Octubre. Morelia Michoacán, México. Pp. 1-9.

Bray, D.B. 2012. Carbon and Community Development: An Experiment in Oaxaca. *Grassroots Development* 33: 15-21.

Bray, D.B., D. Barry, S. Madrid, L. Merino e I. Zúñiga. 2010. *El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático: las comunidades nos muestran el camino*. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. Folleto. 21 p.

Brown, S. 1999. *Opportunities for mitigating carbon emission through forestry activities*. Winrock International para el Banco Mundial. 5 p.

Castellanos, J.F., et al. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia* 30 (1): 123-128.

CIJ. 2003. *Programa de manejo forestal para la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. Comunidad de Ixtlán de Juárez /Técnica Informática Aplicada S.A. (TIASA), Oaxaca, México, 231 p.

Dixon, R., et al. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263:185-190.

FAO. 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales*. 12 p.

Finanzas Carbono. 2013. *Elegibilidad de Proyectos Voluntarios*. Recuperado de <http://finanzascarbono.org/mercados/mercado-voluntario/acerca/elegibilidad/> (Consultado el 15 de diciembre del 2013).

Flores, N. P. 2010. *Impacto del proceso de declinación sobre la productividad primaria neta en bosques de Abies religiosa*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo de México. 74 p.

Fragoso, P.I. 2003. *Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancítaro Michoacán México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. 77 p.

FSC. 1998. *Manejo forestal sostenible en México*. México D. F. Número 1, año 1.

García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Offset Larios. México, D.F. 246 p.

Garcidueñas, M.A.R. 1987. *Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de Pinus montezumae L.* Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. México. 252 p.

González, Z. M. 2008. *Estimación de la biomasa aérea y la captura de Carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H. E. Moore, Pinus oocarpa var. ochoterenai Mtz. y Quercus spp. en el norte del Estado de Chiapas, México.* Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 81 p.

Grace, J., et al. 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science* 270.

Griscom, B., et al. 2009. *The Hidden Frontier of Forest Degradation. Review of the Science, Policy and Practice of Reducing Degradation Emissions.* The Nature Conservancy. Arlington, VA. 76 p.

IPCC. 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.* Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza. 104 p.

INEGI. 2006. *Anuario estadístico de Oaxaca 2006.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee06/estatal/oax/index/htm> (Consultado el 20 de mayo del 2013).

Jiménez, C.C. del R. 2010. *Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y Carbono en la parte aérea de Pinus hartwegii Lindl., en el Parque Nacional Izta-Popo.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 55 p.

Lobos A. G., et al. 2005. El Mercado de los Bonos de Carbono (“bonos verdes”): Una Revisión. *Interamerican Journal of Environment and Tourism* 1(1): 42-52.

Lugo, A. y S. Brown. 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 54:239-255.

Luyssaert, S., et al. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213-215.

Mathews, A. 2010. *Instituting Nature. Authority, Expertise, and Power in Mexican Forests.* The MIT Press, London.

Martínez, L. J. 2010. *Eso que llaman comunalidad.* CONACULTACAMPO-Fundación Harp Helú-Secretaría de Cultura-Oaxaca, Oaxaca.

Montoya, G., et al. 1995. *Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas*. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4. México, D.F. 50 p.

Návar, J., N. González y J. Graciano. 2001. *Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones forestales de Durango*. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Pp. 1-11.

Olguín, M., O. Maser y A. Velázquez. El potencial de captura de carbono en mercados emergentes. En: A. Velázquez, A. Torres y G. Bocco (Eds.). *Las enseñanzas de San Juan*. INE-SEMARNAT, México, 2003. Pp. 489-511.

Ordóñez, J.A.B., O. Maser y V. Jaramillo. 1998. *Estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea, mantillo, suelos y raíces de los bosques de pino-encino en El Carricito, en la Sierra Madre Occidental*. Instituto de Ecología, UNAM. México.

Ordóñez, J.A.B. 1999. *Captura de carbono en un bosque templado, el caso de San Juan Nuevo Michoacán*. SEMARNAP. Primera edición. México. D.F. 74 p.

Ordóñez, J.A.B, B.H.J de Jong y O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en los bosques de Nuevo San Juan: Aplicación del modelo dinámico CO2Fix en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Michoacán, México. *Madera y Bosques* 7 (2): 27-48.

Ordóñez, J.A.B y O. Maser. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7 (1): 3-12.

Ordóñez, J.A.B. y H. Medrano-Farfán. 2003. Estimación preliminar del contenido de carbono en los bosques de San Pedro Jacuaro, Michoacán. Comisión Forestal del Estado de Michoacán. *Bosques y Selvas de Michoacán* 1 (2): 20- 23.

Ordóñez, J.A.B. 2004. *Índices de contenido y captura de carbono en áreas forestales. Densidades de carbono*. INEGI. Recuperado de http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/fuente_datos.pdf (Consultado el 10 de agosto del 2012).

Ordóñez, J.A.B. 2008a. *Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la Región Purépecha*. Instituto de Ecología, UNAM. México D.F. Tesis de Doctorado.140 p.

Ordoñez, J.A.B. 2008b. Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias* 90: 37-42.

Ordóñez, J.A.B., et al. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacán, México. *Forest Ecology and Management* 7 (255): 2074-2084.

Ordóñez, J.A.B. 2012. *Carbono Almacenado en los Bosques de la Región Purépecha en Michoacán, México*. Editorial Académica Española. México, D. F. 135 p.

Ordóñez, J.A.B., et al. 2013. *Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura. En Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. Capítulo VI*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Coordinación del Programa de Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. 412 p.

Pacheco, E.F., et al. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (3): 251-254.

Rendón, T.O.R., et al. 2009. *Criterios e indicadores para proyectos REDD, Proyecto 'Fortalecimiento de Capacidades para Pagos por Servicios Ambientales (carbono y biodiversidad) en la Amazonia Peruana'*. Universidad de Leeds, Reino Unido. 40 p.

Rodríguez-Ortíz, G., et al. 2011. Does thinning affect aboveground biomass accumulation in a *pinus patula* plantation?. *Agrociencia* 45: 719-732.

Rojas, B.R.G. 2011. *Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, en el área natural protegida Marismas Nacionales, Nayarit, México*. Tesis de Licenciatura. UNAM. 65 p.

Rügnitz, M.T., M. Chacón L. y R. Porro. 2009. *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Primera edición. Lima, Perú. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) - Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.

Sastre, M.S. 2008. *Análisis de la gestión forestal comunitaria y sus implicaciones sociales en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México*. Tesis Licenciatura. UNSIJ. 290 p.

Schmithüsen, F. 2013. La sostenibilidad aplicada en el sector de las actividades forestales cumple 300 años. *UNASYLVA* 64(1):3-12.

Tipper, R.1998. Update on carbon offsets. *Tropical Forest Update* 8 (1): 2-5.

Vega, L. 2008. *Importancia económica de las Áreas Naturales Protegidas como sumideros de carbono en México*. Versión abreviada y actualizada del documento: "Valor económico potencial de las Areas Naturales Protegidas federales de México como sumideros de carbono". The Nature Conservancy, México. 7 p.

Vleet, V.E. 2013. *From Passive to Active Community Conservation: A Study of Forest Governance in a Region of the Sierra Norte of Oaxaca, México*. Tesis de maestría. Florida International University. 212 p.

CAPITULO IV. EL COSTO DE LA CONSERVACIÓN DE LOS ALMACENES DE CARBONO FORESTAL, EN IXTLÁN DE JUÁREZ, OAXACA, MÉXICO.

RESUMEN

El 60% de los bosques de México están en terrenos que son propiedad de miles de comunidades y ejidos (Madrid *et al.*, 2009). Estos bosques, sobre la base del manejo que hacen sus dueños, almacenan importantes cantidades de carbono y tienen potencial para su captura; por tanto, pueden ayudar a mitigar los efectos del cambio climático global. Algunos casos, como el de la comunidad indígena de Ixtlán de Juárez, en Oaxaca, son ejemplos alentadores de los esfuerzos locales de conservación y manejo forestal sustentable. Dicha comunidad posee 19,310.14 ha, donde se desarrollan bosques de distintos tipos. El 71% de estos bosques son cuidados intencionalmente por la comunidad. Este estudio determinó las actividades de conservación realizadas por la gente local, entre 2010, 2011 y 2012, y se les estimó su costo. Se hizo un balance anual entre los incentivos que recibió la comunidad de la Comisión Nacional Forestal, a través del pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH), y el costo anual que implicaron las acciones de conservación. El costo promedio anual por conservación fue de \$1,217,578.80; pero éste no fue compensado con el aporte anual del PSAH. Dicho pago tuvo vigencia entre 2006-2013; sin embargo, Ixtlán ha cuidado sus bosques desde décadas atrás, y es probable que absorba sus costos en los siguientes años, lo cual sería una injusticia ambiental. La ausencia de contabilidad básica del costo que implica a las comunidades cuidar sus bosques, les limita para negociar adecuadamente los montos de los incentivos. Por la emergencia ambiental que representa el cambio climático global, se debe cuidar que comunidades como Ixtlán, no se desalienten en sus acciones de conservación, porque ello podría implicar deforestación y más emisiones de carbono a la atmósfera.

Palabras clave: *actividades de conservación, valor económico, incentivos.*

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, tiene grandes repercusiones en la economía mundial. De acuerdo con el diagnóstico sobre “La Economía del Cambio Climático” (Stern, 2006), las pérdidas por las catástrofes debidas a las disrupciones del clima podrían ser mayores, que los costos de inversión por disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), y por ayudar a mitigar ese fenómeno. Los bosques pueden disminuir las concentraciones de CO₂ atmosférico, ya que fijan y almacenan carbono, por lo que se les considera sumideros de carbono. Se cree que un buen manejo de los bosques podría reducir del 20 al 50% de las emisiones de CO₂ (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Masera *et al.*, 2007; Flores, 2010). Sin embargo, los bosques se encuentran vulnerables, debido a que enfrentan una fuerte presión por el cambio de uso de suelo en diferentes partes del mundo. Esto ha dado lugar a la pérdida de millones de hectáreas anuales de bosque en todo el mundo, la mayor parte en las zonas tropicales (FAO, 2006; Angelsen, 2009). Aunque cuidar los bosques del mundo puede ser costoso, esto se justifica porque su valor se estima en al menos 3,8 trillones de dólares (Costanza, 1997).

La conservación de los bosques y su manejo sustentable puede generar en el largo plazo más beneficios sociales y económicos, que su conversión a otros usos de suelo. Por ello, los incentivos a la gente que realiza actividades de conservación y/o que manejan los bosques sustentablemente deberían corresponder a un valor justo (Izco y Burneo, 2003). La importancia de dar un valor económico a los bosques puede ayudar a que se aprecien mejor por entidades encargadas de otorgar incentivos, así como por la sociedad en general.

En México, el 60% de los bosques y selvas están en terrenos de propiedad social; en la modalidad de ejidos y comunidades (Madrid *et al.*, 2009). En ellos, los dueños legales tienen la responsabilidad del manejo para fines de conservación, aprovechamiento y/o restauración. Numerosas comunidades y ejidos realizan actividades dentro de su territorio, con el fin de aprovechar sustentablemente sus recursos naturales y conservar su cobertura. En Oaxaca, gran parte de dichas actividades se realizan por medio de trabajo “voluntario” -tequio- de los comuneros o ejidatarios (Hernández-Díaz 2007), lo cual es una alternativa efectiva y barata para el cuidado del bosque (Chapela, 2002;

Bray *et al.*, 2006). Aunque el tequio no necesariamente implica el pago de jornales, en contabilidad ese trabajo tiene un costo económico, que la comunidad suele absorber.

Ixtlán de Juárez, es uno de los casos más emblemáticos de manejo comunitario, y estableció áreas de conservación a través de acuerdos de Asamblea de comuneros desde casi tres décadas, y aunque no han decidido certificarlas ante la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, para que se reconozcan como Áreas Voluntarias de Conservación, se cuidan de manera permanente. Sin embargo, no fue hasta el 2006 que la comunidad empezó a recibir un apoyo en el esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) que ofrece la CONAFOR, para 2,934.00 ha, lo cual representa el 20.11% del total de las áreas en conservación (STF-Ixtlán, 2011).

El apoyo se extendió hasta 2013, y desde un inicio la comunidad acordó usar esos fondos para cuidar el bosque. Las 14,584.39 ha que corresponden a las áreas de conservación, comprenden en su mayoría bosques mesófilos y selvas altas, donde se albergar una gran diversidad biológica; pero donde también se tienen importantes almacenes de carbono. Hasta ahora, la comunidad de Ixtlán, nunca ha contabilizado cuanto le cuesta realizar las acciones de conservación dentro de dicha área. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo reconocer las actividades de conservación que se realizan a lo largo de un ciclo anual, entre 2010-2012, y estimar su costo. A partir de lo anterior fue posible hacer un balance entre los montos anuales los pagos recibidos por el PSAH y el costo de las actividades de conservación.

METODOLOGÍA

Se calculó la cantidad de carbono contenido en la vegetación, mediante la utilización de un mapa de coberturas, generado a partir de una imagen SPOT 2010 y la utilización de índices de densidad y cantidad de carbono (Ordoñez, 2004; Ordoñez *et al.*, 2008; Álvarez- Arteaga *et al.*, 2013;), multiplicándolo por la superficie en hectáreas de cada tipo de vegetación (capítulo II). Después se estimó el valor de los reservorios de carbono, multiplicando la cantidad de carbono por el valor estimado por tipo de bosque. En el caso de los bosques mesófilos y selvas altas se utilizó el valor de 3,600

dólares/ha (47,013.84 pesos/ha), y para templados se empleó el valor de 3,000 dólares/ha (39,178.2 pesos/ha) (Muñoz, 1994).

Para documentar las actividades de conservación –la organización, ejecución y reporte, los pagos recibidos por el PSAH, y los costos de las actividades, en los tres años analizados-, se realizaron 10 entrevistas informales (Russell, 2006) a autoridades y comuneros con cargos relacionados. Entre ellos estuvieron dos integrantes del comisariado (presidente y tesorero), tres del consejo de vigilancia (presidente, secretario y tesorero), a tres personas de servicios técnicos forestales (gerente, y dos técnicos) y a dos comuneros de más de 50 años, con larga trayectoria en el sistema de cargos y en actividades en el bosque.

Asimismo, se hizo una revisión documental de Estatutos comunales, actas de Asamblea e informes relacionados con actividades en las áreas de conservación. Específicamente, se trató de cotejar la información de las entrevistas y documentar mejor el proceso organizativo para realizar las actividades de cuidado del bosque; es decir, quien las realizó, quien las coordinó y quien reportó. Por otra parte, se revisaron los libros de contabilidad de la comunidad, para conocer los costos de cada una de las actividades de conservación que se realizaron durante 2010, 2011 y 2012.

Los costos obtenidos se concentraron en tablas de contabilidad en una hoja de cálculo de excel. Se tabuló el costo por actividad, tipo de bosque –templado y tropical, como organiza la contabilidad la comunidad- y por concepto –salarios, materiales, organización, etc.-, a fin de estimar su monto total. En caso de encontrar gastos generales -no exclusivos a algún tipo de bosque-, éstos fueron prorrateados, considerando el criterio de la superficie. Para asignar un valor al tiempo invertido en organización de actividades en la Asamblea y en los comités encargados, se utilizó como referencia el salario mínimo de la zona “A” de 2012 (que es de \$7.00 por hora). Esto implicó la multiplicación del número de comuneros en las asambleas por las horas que llevo discutir las actividades de conservación, por el número de asambleas, por el costo del salario de cada hora. En el caso de los tequios –que implicó un trabajo de más desgaste físico y riesgo -, se usó el criterio de salario local (\$250.00 por jornal).

Finalmente, se hizo un balance entre la cantidad de dinero que implicó conservar los bosques, y del dinero recibido como para por el PSAH en cada año analizado.

RESULTADOS

Valor de los almacenes de carbono

En el tabla 4.1, se muestra la estimación de la cantidad de carbono almacenada en la vegetación en las áreas de conservación, las cuales superan los 2 millones de Mg de carbono. Sin embargo, hay que destacar que solo se contabilizó el carbono contenido en los árboles, debido a que estos índices de carbono no contemplan el carbono contenido en el suelo; por lo tanto, se está subestimando la cantidad de carbono almacenada.

Además, se muestra el valor de carbono almacenado en las áreas de conservación, los cuales se calcularon basándose en valores estimados por Muñoz (1994); estos valores son muy superiores, a los 10 dólares que se manejan en el mercado de carbono, por fijar una tonelada de CO₂ (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2001).

Tabla 4.1. Cantidad de carbono almacenado en áreas de conservación.

Tipo de bosque	Superficie (ha)	Factor de densidad de carbono (MgC ha-1)	Total de carbono en vegetación área (MgC)	Valor de carbono almacenado (millones de pesos)
Selva alta	4763.69	223.00	1,062,302.87	36,057.00
Bosque mesófilo	1322.84	138.00	182,551.92	17,451.18
Bosque pino-encino	7663.75	115.70	886,695.88	34,739.14
Total	13,750.28		2,131,550.67	88,247.51

Áreas y actividades de conservación

La comunidad de Ixtlán ha acordado conservar activamente el 71% del terreno comunal, desde hace varias décadas. Esta área incluye: 1,322.84 ha de bosques mesófilos; 4,763.69 ha de selvas altas y 4,460.50 ha de bosques templados -dentro de éstos hay 1,127.98 ha de "área de veneros" que proveen agua que abastece la demanda de la comunidad; además tienen 3,203.25 ha de reservas forestales, donde a futuro se podría realizar aprovechamiento de madera si la comunidad así lo decide

(STF, 2010; STF, 2011). El resto del área, está siendo aprovechada para extracción de madera (20%), agricultura y el asentamiento humano (4%). En las áreas de conservación se realizan diversas actividades a lo largo del año, para asegurar el buen estado de los bosques.

En 2010, en los bosques templados, se hicieron saneamientos de plaga de insecto descortezador y de muérdago –planta parásita- dando especial énfasis al área de veneros. Esta actividad duro varios meses y estuvo a cargo de los servicios técnicos forestales. También se hizo reforestación, y en reforestaciones anteriores se hizo corta de hierbas y arbustos que sombrean a las plántulas y juveniles - *chapeo*, y se dio mantenimiento a los caminos. En este año ocurrió un incendio, el cual fue detectado en sus inicios por los guardabosques y se organizaron brigadas –con guardabosques, técnicos, comuneros y ciudadanos- para su control. No se realizaron actividades en las áreas de bosque tropical (selvas altas y bosques mesófilos) debido a las intensas lluvias y porque se rompió un puente principal de acceso.

En 2011, nuevamente se hizo saneamiento en el bosque templado, en el área de veneros, contra el muérdago y el descortezador. También se colocaron señalamientos dentro del bosque en conservación – carteles metálicos de 3 por 2 m-, advirtiendo de la prohibición para talar árboles, coleccionar productos no maderables y extraer flora o fauna silvestre. En los recorridos donde había acceso vehicular se aprovechó para retirar madera que puede ser combustible para incendios forestales. Dentro del bosque tropical (selva alta y bosques mesófilos) se hicieron 4 recorridos de casi dos semanas de duración cada uno, para dar mantenimiento a las brechas y hacer vigilancia del predio. Se hizo énfasis en las colindancias con comunidades que están muy deforestadas por agricultura y ganadería, para mostrar presencia y verificar que no existieran indicios de cacería o extracción de flora y fauna. En cada recorrido, participaron alrededor de 20 comuneros. Hubieron dos recorridos especiales, uno para acarrear material y otro para reparar un puente principal, que da acceso a la zona tropical, esta actividad implicó la participación de alrededor de 120 comuneros.

En 2012, en el bosque templado, se hizo rehabilitación de brechas corta fuego y se limpiaron las cunetas, particularmente donde cruzan cauces en el área de veneros. Asimismo, se continuó con el combate de muérdago y descortezador. En el área con bosques tropicales se realizaron 3 recorridos con duración de 5 días, para limpiar las brechas, mostrar presencia y verificar que no existieran indicios de cacería o extracción de flora y fauna.

De manera regular, a lo largo del año, los guardabosques hicieron recorridos de vigilancia por las áreas más transitadas del predio, esto con el fin de evitar que gente ajena a la comunidad entre a cortar árboles, extraiga productos del bosque, animales o plantas silvestres. Esta tarea se intensificó en época de secas, para monitorear que surjan incendios forestales. Específicamente, durante la temporada de secas de cada año analizado, se contrató a un velador apostado en la torre de vigilancia ubicada en la parte más alta de la comunidad, con el fin de que detectara y avisara oportunamente la aparición de incendios. También durante el periodo de estudio, los guardabosques dieron mantenimiento a los caminos, las casetas y se encargaron de limpiar desechos inorgánicos en las bordes de caminos forestales. En el área de bosques caducifolios (encinares y selva baja), se hizo un recorrido anual para limpiar linderos, caminos y hacer presencia ante las comunidades colindantes. Dada la superficie (7.74% del predio), los caminos de acceso y la cercanía al poblado, en este recorrido participaron alrededor de 10 comuneros y duró sólo un día.

De acuerdo con informantes clave, con algunas variantes, lo antes descrito es un protocolo que la comunidad anualmente se ha seguido desde hace más de una década, para el cuidado de sus bosques en conservación. Esta descripción excluyó las diferentes actividades que se llevan a cabo en el área de aprovechamiento forestal para la madera.

Organización para realizar actividades de conservación del bosque.

La gobernanza de la comunidad opera conforme lo marca la Ley Agraria (la Asamblea como máximo órgano de toma de decisiones, el comisariado de bienes comunales – CBC- y el consejo de vigilancia -CV) (Figura 4.1). Los acuerdos de la Asamblea son

ejecutados por el CBC y supervisados por el CV. Para numerosos acuerdos internos en el periodo de estudio, la comunidad se apoyó de sus estatutos comunales (CI, 2007). En éstos, al CBC se le mandata las siguientes funciones dentro de los bosques en conservación: 1) Coordinar actividades del grupo de guardabosques. 2) Elaborar programas de manejo de la fauna para conservar el equilibrio ecológico. 3) Implementar acciones para la protección de la zona tropical. Mientras que al CV le toca: 1) Realizar recorridos, conjuntamente con el CBC, para el reconocimiento de los límites y conservación de las mojoneras y 2) Procurar el cuidado y la protección de los recursos naturales.

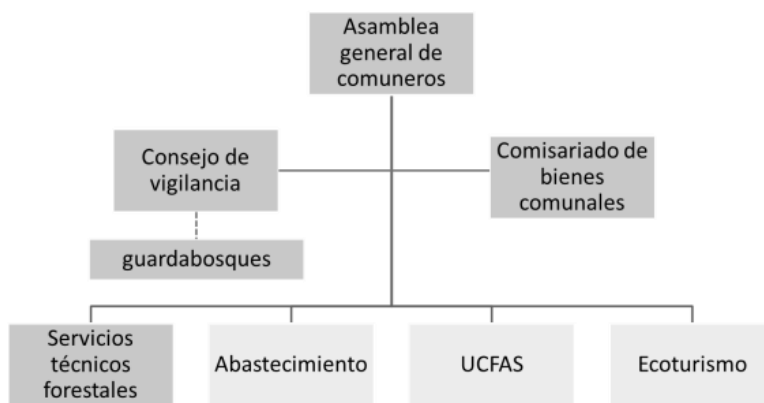


Figura 4.1. Estructura de la comunidad agraria de Ixtlán de Juárez. Color gris intenso, señala a los órganos relacionados con las actividades en los bosques en conservación. Fuente: CIJ, 2013.

Así, para la organización de actividades para el cuidado del bosque entre 2010-2012, además de recurrir a los tres órganos formales -Asamblea, CBC y CV-, se contó con el apoyo de un grupo de guardabosques y de la empresa de los Servicios Técnicos Forestales (Figura 1). La ejecución de las actividades, además de la participación de las instancias anteriores contó con la participación de todos los comuneros, mediante tequio (trabajos no pagados), cargos (comisiones sin pago o sólo con compensación) o como empleados que reciben salario.

El número de comuneros que intervino en cada actividad dependió de la complejidad de la misma. De requerirse, participación adicional para el combate de plagas, o enfermedades forestales, incendios u otra actividad en el bosque, los comuneros fueron “obligados” a participar cuando se les convocó. Ya que el estatuto comunal dice que “son obligaciones de los comuneros, cuidar y conservar la flora y fauna y demás

recursos naturales de la comunidad; participar en el combate de plagas y enfermedades; combatir incendios; además deben de fomentar en familia la conservación y protección de los recursos naturales que existen en el predio” (CI, 2007).

Aunque las actividades son recurrentes, cada año se tomó tiempo de las Asambleas para discutir el plan a ejecutar, conforme las necesidades detectadas. La planeación, ejecución y reporte de las actividades de cada año, durante el periodo de estudio se trató en un promedio de 8 asambleas, en las que cuando menos se destinaron 2 horas para discutir el plan, designar a los encargados de cada actividad, discutir salarios o montos de apoyo, estimación de gastos - de equipo, combustible, monto de pagos a guardabosques asistentes- y acuerdos de como cubrirlos. En los tres años analizados, la comunidad contó con un grupo de 20 guardabosques, que fueron elegidos en Asamblea, y tenían el cargo por 3 años, por la complejidad del cargo a ellos se les dio una compensación y se les pagó seguro social. Asimismo, se asignó cargo obligatorio no remunerado a los comuneros que apoyarían a los guardabosques –regularmente hombres jóvenes.

El informe a la Asamblea se hizo, una vez que éste fue presentado por escrito al comisariado y al consejo de vigilancia y, administrativamente, se rindieron cuentas de los gastos. Esta actividad tuvo una duración aproximada de dos horas al año e implicó la participación de alrededor de 20 personas. Posteriormente, los responsables de las actividades de conservación presentaron su informe de actividades, los participantes, los gastos y el estado en que se encontraron los bosques en conservación a la Asamblea, para lo cual se destinaron al menos dos horas al año. El costo de presentar el informe a las autoridades y a la asamblea se derivó en función del número de participantes y el salario mínimo de las horas-hombre que implicó.

Costos de las actividades de conservación.

De acuerdo con los informantes clave, las actividades antes descritas han sido el protocolo que anualmente ha seguido la comunidad en la última década, para el

cuidado de sus bosques. Varias de las actividades ya se realizaban, a pesar de que por varios años no se contó con fondos externos para cubrir su costo.

La estimación realizada en este estudio fue compleja porque la comunidad carecía de un control específico para las actividades de conservación, y porque varios gastos son generales a actividades de los bosques en conservación y bosques que están bajo aprovechamiento. No obstante, con apoyo de las autoridades y con supervisión e información del tesorero, se pudo hacer la siguiente aproximación de costos para tres años. El costo promedio anual de las actividades realizadas en las áreas en conservación de la comunidad, se estimó en \$1,217,578.80; lo que equivale a un costo promedio de \$83.49 ha⁻¹. El costo en el 2010, fue de \$ 942,611.38, porque las intensas lluvias limitaron la realización de muchas tareas. El costo en 2011 fue de \$1,140,120.47 porque hubo que reparar varios caminos y un puente, también porque se presentó un incendio y se realizaron actividades de saneamiento en el bosque templado. En el año 2012, el costo fue de \$ 1,570,004.56, y además de gastos de control de plagas de muérdago y descortezador en la zona templada, hubo mayor actividad en el área de bosques tropicales. Los gastos mayores corresponden a salarios, principalmente jornales, y fueron seguidos por los gastos de proveer seguro social a los guardabosques (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Costos de conservación en los diferentes tipos de bosque, durante el periodo 2010-2012.

AÑO	TIPO DE BOSQUE			TOTAL
	Bosque tropical (selva alta y bosques mesófilos)	Bosque templado	Bosques caducifolio	
2010	\$0.00*	\$ 912,111.38	\$30,500.00	\$ 942,611.38
2011	\$ 312,939.08	\$ 797,181.39	\$30,000.00	\$ 1,140,120.47
2012	\$ 248,597.20	\$ 1,291,407.36	\$ 30,000.00	\$ 1,570,004.56
SUMA	\$ 561,536.28	\$ 3,000,700.13	\$ 90,500.00	\$ 3,652,736.40

* No hubo actividad, por cuestiones climáticas, que dificultaron el acceso.

Balance entre apoyos recibidos y costos por las actividades de conservación

En el periodo de estudio, la comunidad recibió tres apoyos de la CONAFOR, con fines de cuidar el bosque, el principal fue el del PSAH, y con montos menores contó con fondos de los conceptos de caminos forestales y comités de vigilancia. El balance entre

los apoyos totales que recibieron la comunidad y los costos totales por año de las actividades realizadas en las áreas de conservación mostró que en general, los costos están por arriba del monto que la comunidad recibió por concepto del PSAH (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Apoyos recibidos por la comunidad y el costo de conservación de almacenes de carbono durante el periodo 2010-2012.

Año	Apoyo de CONAFOR			Apoyo total	Costo de actividades de conservación	Balance general
	PSAH	Caminos forestales	Comités de vigilancia			
2010	\$1,282,349.42	\$168,552.74	0.00	\$1,450,902.16	\$942,611.38	\$508,290.79
2011	\$1,177,149.42	0.00	0.00	\$1,177,149.42	\$1,140,120.47	\$37,028.96
2012	\$550,614.52	0.00	\$39,000.00	\$589,614.52	\$1,570,004.56	-\$980,390.04 *
Promedio					\$1,217,578.80	

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Existen diversas metodologías para conocer el valor económico de los servicios que proveen los bosques, la mayoría basado en la disposición de la sociedad a pagar. Para la estos los economistas han adoptado el termino de valor económico total (VET), en cual incluyen valores de uso y de no uso. Entre los valores de uso se distinguen los usos directos y los indirectos; dentro de estos últimos, se encuentran los servicios ambientales (FUCEMA, 2001; Izco y Burneo, 2003). Conforme el valor económico total, el almacén de carbono que se encuentra en los bosques en conservación de Ixtlán de Juárez sería muy alto ya que incluye diversos elementos, como el valor de existencia de uso, de no uso entre otros; pero no se incluyen los costos de mantenimiento de estos servicios ambientales, lo cual podría incrementar su valor. No obstante, es poco reconocida por la sociedad, la importancia que tiene para la estabilidad global, el que el carbono forestal de los bosques de la comunidad no se emita a la atmósfera. Hasta ahora, la mayoría de las estrategias nacionales e internacionales de pago por carbono se sesga a la captura en etapas tempranas del desarrollo forestal, dejando de lado las áreas que mantienen carbono almacenado en bosque maduro. Esto, se debe a que se considera que estos bosques ya no capturan carbono; sin embargo, hay evidencia para

bosques tropicales maduros que muestran que pueden acumular carbono a tasas de 1-2 MgC ha⁻¹ año⁻¹ (Lugo y Brown 1992; Grace *et al.*, 1995; Luysaert *et al.*, 2008).

El almacén de carbono en los bosques conservados de Ixtlán es de más de 2 millones MgC, mismas que podrían emitirse a la atmosfera si la comunidad decidiera convertirlos a pastizales, como ocurre en comunidades vecinas. En ese caso, posiblemente sería más fácil encontrar disposición a pagar la captura, pero estando ya almacenado se les excluye de incentivos o pago por conservación de sumideros de carbono; esto a pesar de que tienen un gran valor económico, social y ambiental.

Actividades y organización social para la conservación del bosque

El Estado de Oaxaca es la entidad con mayor número de Iniciativas Voluntarias de Conservación (AVCs) en México, actualmente en tierras de comunidades y ejidos existen 133 AVCs (~145,586 ha) (http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/listado_areas.php); fecha de consulta: 16 diciembre de 2013).

La conservación de extensas áreas con bosques comunitarios no solo implica el cuidado de una alta biodiversidad, sino que asegura la provisión de otros servicios ambientales (Durán *et al.*, 2012), como es la protección de grandes almacenes de carbono contenido en los árboles y el suelo, y evita adicionar más emisiones de CO₂ a la atmósfera. Para ello, se toman acuerdos internos encaminados a proteger áreas dentro de territorios comunales o ejidales. Ixtlán de Juárez, mantiene 71.4% de su territorio comunal en conservación (13,792.78 ha). Aunque no ha decidido certificar dichas áreas ante CONANP, les da mantenimiento como si fueran una ANP de conservación estricta –impide realizar actividades productivas o de extracción-. Estos tipos de conservación no son pasivos, sino que implican vigilar, actuar y monitorear el estado de los bosques. En los tres años analizados (2010-2012), Ixtlán operó complejos protocolos para la vigilancia y cuidado del bosque, que no solo involucran a gran número de pobladores locales, sino que claramente reconocen a los responsables de organizar, ejecutar y reportar las acciones. Al discutirse en asamblea la ejecución de las tareas, los comuneros están enterados, y también tienen la oportunidad de hacer o adaptar las reglas y obligaciones para tal fin (Ostrom y Nagendra, 2006). Ixtlán

mantiene una estructura organizativa que le permite realizar las actividades de conservación de manera eficiente y efectiva (sensu Meffe *et al.*, 2002). Los resultados sugieren que se hace un manejo efectivo con fines de conservación, que casi equivale a los esquemas de protección de países desarrollados (Hocking *et al.*, 2000; Vleet, 2013). Una explicación de dicha efectividad es que los comuneros participan en la elaboración de sus propias reglas, lo que ayuda a que les respeten y cumplan, y sus acciones en el bosque las hacen a través de empleo, o mediante cargos o tequios. De esta manera, se logra mayor vigilancia de los bosques, lo cual no necesariamente ocurriría si alguna autoridad impone normas sobre los usuarios y contrata guardias (Hayes y Persha, 2010). Así, la participación organizada de actores locales en el cuidado del bosque, y con ello de los almacenes de carbono, es un esquema que podría ayudar a mitigar el cambio climático global (McCall, 2011; CSMSS, 2013). La acción colectiva de cuidado de los bosques de Ixtlán de Juárez, tiene como resultado que el territorio mantenga amplias extensiones de bosques de alto valor para la conservación. Este mismo tipo de involucramiento se presenta en otras comunidades de la misma ecoregión de la Sierra Norte de Oaxaca (Vleet, 2013; Duran *et al.*, 2013, Velasco-Murguía *et al.*, en prensa) o en otras partes del país (Bray *et al.*, 2008, Ellis y Porter, 2010).

Costos de las actividades de conservación

Hasta ahora, la comunidad de Ixtlán no había contabilizado los gastos que le implicaba el cuidado de sus bosques no sujetos a extracción de madera; aunque sí reconocía que tenían un costo económico. Esto, en parte se debe a que las tareas de vigilancia y cuidado del bosque se han realizado desde hace casi tres décadas, siempre con la participación local y dedicando parte de las ganancias de la actividad forestal. La falta de contabilidad del costo de las acciones de vigilancia y cuidado del bosque, no es una omisión sólo de Ixtlán, sino de muchas otras comunidades de su entorno, incluidas aquellas que no aprovechan madera (Vleet, 2013). Hasta antes de que recibieran el incentivo del PSAH, en 2006, Ixtlán absorbió el costo de cuidar el bosque por al menos dos décadas, hasta que se adoptó como una costumbre. La gente de la comunidad asimiló como una obligación y parte de una tradición, el realizar acciones de

conservación; sin embargo, la comunidad fue “aliviada” del alto costo de la conservación, cuando empezó a recibir fondos del PSAH y otros apoyos menores.

La contabilidad básica de una empresa de cualquier giro, reconoce que todas las acciones de manejo tienen un costo, independientemente de si se pagan o no, como es el caso del tequio (Hernández-Díaz, 2007). Como la comunidad de Ixtlán cuida sus bosques con mucha labor de los comuneros –que no es pagada-; esta mano de obra no se percibe y no se contabiliza como un gasto. Cuando la gente presta sus servicios en actividades agrícolas, forestales, de infraestructura o servicios, donde su trabajo tiene un claro esquema de pago; pero no se considera así cuando se trabaja “para el pueblo”, cuando lo mandata la Asamblea. Operando de esta manera, la comunidad de Ixtlán nunca había hecho la contabilidad de gastos que anualmente le implica cuidar sus bosques y, por tanto, también desconocía el balance entre los costos y los incentivos que recibe por cuidar el bosque.

El costo de cuidar el bosque estimado fue de \$83.49 ha⁻¹, lo cual es relativamente bajo, si se compara con el costo de \$13,973.55 ha⁻¹ de cuidar áreas naturales protegidas en Sudáfrica (Wise *et al.*, 2010). Esto puede ser por que la densidad de carbono de las áreas boscosas conservadas es alta; al respecto Botero (2001) menciona que el costo de reducir las emisiones de CO₂, disminuyendo la deforestación y protegiendo los bosques, oscila entre 1-15 dólares/tonelada de carbono. Los bajos costos que tiene Ixtlan, se podrían atribuir a que la comunidad tiene experiencia en la ejecución de recursos económicos de programas gubernamentales, lo cual disminuye los costos de capacitación y organización. Esta situación es diferente, para comunidades que apenas comienzan, donde existen conflictos sociales o donde ni siquiera existe la comunalidad (Martínez, 2010); por lo tanto, los costos pueden ascender hasta US \$325 ha⁻¹ (De Jong *et al.*, 2000).

Rendón *et al.* (2013), documentó un caso en donde los costos de establecimiento, implementación y monitoreo de 6 proyectos REDD+ en Perú, estuvieron entre US\$0.16 a 1.44 ha⁻¹ año⁻¹, con un promedio de US\$0.73 ha⁻¹ año⁻¹. Estos costos, son bajos en comparación a los costos obtenidos para Ixtlán; sin embargo, el autor reconoce que los costos en Perú son estimaciones de 20 años, que podrían estar subestimados al no ser

costos reales. Además de que los proyectos con costos más bajos eran los que realizaban menos actividades dentro de los bosques y además no consideraron los cobeneficios sociales, lo cual es un aspecto importante estrategias de incentivos como por ejemplo REDD+.

Los costos de implementar algún proyecto de conservación o para reducir la deforestación y degradación forestal, varían en función de las actividades que impliquen, las herramientas que se utilicen para hacer el monitoreo y la ubicación del proyecto (Rendón *et al.*, 2013). Sin embargo, se reconoce que los costos de la conservación recaen principalmente en los propietarios de los bosques, quienes son los responsables del manejo a nivel local; por lo tanto, los incentivos podrían alentar a los propietarios para que sigan conservando estos grandes almacenes de carbono (OIMT, 2009).

Ixtlán ha tenido apoyos del PSAH desde 2006; pero se le acaba en 2014, y aparentemente la comunidad planea seguir con el cuidado sus bosques; por lo que es altamente probable que absorba los costos, pero dado que la inversión es alta, no es claro si dicha disposición se mantendrá a futuro. Un escenario probable es que la comunidad pague los costos de cuidar los almacenes de carbono, lo cual sería una injusticia ambiental y no habría claridad de si esta situación se podría sostener a largo plazo. Otra posibilidad es que a futuro la comunidad opte por dejar de conservar, y decida realizar actividades que le ofrezcan un mayor costo de oportunidad; esto no necesariamente aseguraría un balance positivo del carbono.

Ahora que servicios ambientales como la provisión de agua y la captura de carbono son altamente apreciados, y se están abriendo mercados para asegurarlos, no compensar a Ixtlán u otras comunidades que están siendo muy activas, podría poner en riesgo los almacenes de carbono de grandes extensiones de bosques hasta ahora poco impactados (Vleet, 2013). Aunque con el PSAH el gobierno ha intentado frenar deterioro y promover cuidado del bosque, se debe reconocer que los fondos del gobierno no alcanzan, ni alcanzarán para cubrir toda la demanda (Chagoya e Iglesias, 2009), por ello es importante que los incentivos por carbono pronto sean una realidad

para las comunidades y ejidos forestales que cuidan sus bosques, como es el caso de Ixtlán.

Balance entre apoyos recibidos y costos por las actividades de conservación

La contabilidad sugiere que en 2010 los pagos de los apoyos de gobierno, cubrieron los gastos realizados por acciones de cuidado del bosque e incluso existió un excedente, debido a que por causas de las lluvias no hubo acceso al área de conservación de bosque mesófilo y selva alta. En 2011, los montos del PSAH apenas alcanzaron para realizar las actividades; mientras que en 2012 hubo un déficit entre el pago total y el costo de las actividades de conservación, debido a que los apoyos disminuyeron. Por lo anterior, la comunidad realizó las acciones y puso parte del dinero para realizarlas; de esta manera, la comunidad absorbió casi un millón de pesos de los costos. Esto ocurre en otras comunidades, en donde se realiza actividades de conservación y se absorben los costos (Chapela, 2002).

Sin el PSAH, a partir del 2014, Ixtlán se enfrentara a retos para cuidar el bosque, y tendrá que absorber la totalidad de los costos. A la injusticia que esto representa, se le adiciona el que existe una deuda histórica, porque la mayoría de los bosques se han cuidado por cerca de tres décadas, con esquemas de vigilancia por parte de la comunidad, sin que haya recibido dinero. Por ello, es importante reconocer la labor del sector social en la conservación de los bosques, ya que en algunos trabajos solo se reconoce y se destaca que el financiamiento por parte del sector privado, el gobierno, y organizaciones no gubernamentales han logrado la conservación de áreas boscosas (Pérez *et al.*, 2009). Una manera de mostrar la contribución de ejidos y comunidades al cuidado de los almacenes de carbono y a mitigar el cambio climático, es a través de contabilizar la inversión que implica cuidar los bosques. Ante la emergencia que representa el cambio climático, se deberían acelerar las negociaciones que permitan que las empresas nacionales y los gobiernos de países industrializados canalicen fondos, y cuiden que se otorguen pero que se cuiden las salvaguardas sociales, ambientales y ecológicas (SEMARNAT- CONAFOR, 2010), para dar un pago justo e incentivos a las comunidades forestales. Además es importante diseñar políticas públicas que incluyan a comunidades como Ixtlán de Juárez que realizan un manejo

forestal sustentable, inducen conservación de los bosques, y con esto, el carbono almacenado en ellos.

CONCLUSIONES

Conocer cuánto invierte una comunidad para conservar los bosques, servirá para concientizar a los usuarios de los servicios ambientales y a la sociedad en general, de la contribución de las comunidades en el manejo sustentable del bosque, con lo que además se aseguran la captura de CO₂, la provisión de agua, el oxígeno y se protege la biodiversidad. Sin embargo, hay necesidad de tener un mayor control de las cuentas que implica cuidar los almacenes de carbono; mejorar las metodologías para la contabilidad y se necesita internalizar el valor económico de otros servicios ambientales. Ixtlán tiene una gran reserva de carbono en sus bosques y los cuida intencionalmente y como los incentivos recibidos en los últimos cinco años, no son mayores a los costos del cuidado de los bosques, entonces se demostró que la comunidad absorbe gran parte de los costos del cuidado de las reservas de carbono.

Por su estructura de organización, Ixtlán logra hacer un manejo eficiente y efectivo de los almacenes de carbono, y por ello debería tener reconocimiento e incentivos que cubran gastos e incluyan una compensación para que realicen actividades de conservación y contribuyan a la mitigación del cambio climático.

Conservar los bosques puede ser costoso; pero si no se cuidan se podrían perder beneficios como la captación de agua y la retención del suelo, entre otros. La mayoría de las comunidades nunca ha hecho un balance de los costos de cuidar sus bosques y por lo tanto no son conscientes de la inversión que les implica, para esto es necesario llevar a cabo investigaciones que ayuden a las comunidades a valorar el costo de las acciones locales que realizan, para que los bosques nos sigan proporcionando servicios ecosistémicos, como la captura de carbono.

LITERATURA CITADA

Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velázquez-Martínez y J.D. Etchevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca. *Agrociencia* 36 (6):725-736.

Álvarez-Arteaga, G., N.E. García C., P. Krasilnikov y F. García-Oliva. 2013. Carbon storage in montane cloud forests in sierra norte of Oaxaca, México. *Agrociencia* 47: 171-180.

Angelsen, A. 2009. *Avancemos con REDD. Problemas, opciones y consecuencias*. CIFOR. Indonesia. Pp. 53- 54.

Botero, B.J.A. 2001. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de Carbono. Pp.75-91, En: Sánchez M.D. y M. Rosales M. (Eds.). *Memorias de la segunda conferencia de Agroforestería pecuaria en América Latina*.

Bray, D.B., C. Antinori y J.M. Torres-Rojo. 2006. The Mexican model of community forest management: the role of agrarian policy, forest policy and entrepreneurial organization. *Forest Policy and Economics* 8 (4): 470-84.

Bray, D.B., E. Durán, S. Anta, G.J. Martin y F. Mondragón. 2008. A new conservation and development frontier: community protected areas in Oaxaca, México. *Current Conservation* 2: 7-9.

Bray, D.B. 2010. Forest cover dynamics and forest transitions in México and Central America: towards a 'great restoration'? Pp. 85–120. En: Nagendra, H. and Southworth, J. (Eds.). *Reforesting landscapes: linking pattern and process*. Springer, New York.

Chagoya, J.L. y L. Iglesias G. 2009. Esquema de pago por servicios ambientales de la Comisión Nacional Forestal, México. Pp-291-292, En: Sepúlveda C.J.L. y M. Ibrahim. *Políticas públicas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas: como medida de adaptación al cambio climático en América Central*. Primera Edición. Turrialba, CATIE, Costa Rica.

Chapela, F. 2002. *Manejo comunitario de la diversidad biológica en Mesoamérica*. Universidad Iberoamericana. Puebla, México. Primera Edición. Pp. 123-139.

CIJ. 2003. *Programa de manejo forestal para la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. Comunidad de Ixtlán de Juárez /Técnica Informática Aplicada S.A. (TIASA), Oaxaca, México, 231 p.

Comisión para la Cooperación Ambiental. 2001. *México y el incipiente mercado de emisiones de carbono*. Montreal, Canada. 115 p.

Constanza, R., et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

CSMSS. 2013. Iniciativa comunidades, territorios y cambio climático. Una Propuesta Social para REDD+: Hacia una Estrategia incluyente para el estado de Oaxaca. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sustentable, México D.F.

De Jong, B.H.J., R. Tipper y G. Montoya-Gomez. 2000. An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern México. *Ecological Economics* 33 (2): 313–327.

Durán, E., J. Robson, M. Briones, F. Berkes y D. Bray. 2012. Wildlife Conservation on Community Conserved Lands: Experiences from Oaxaca, southern México. Pp: 71-79, En: N. Dudley y S. Solton (Eds.). *Protected Landscapes and Wild Biodiversity Values*. IUCN, Switzerland.

Duran, E., R. Rivera y F. Gumeta. 2013. *Informe Técnico de proyecto "Institutional Change and Local Forest Governance: Shaping the Mexican Community Forestry Sector 1999-2012*. Sección: Análisis cartográfico de Tendencias de Deforestación. UCMEXUS-CONACYT, CIIDIR-Oaxaca/Universidad de California.

CI. 2007. *Estatuto comunal. Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, 50 p.

Ellis, E. y L. Porter-Bolland. 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, México. *Forest Ecology and Management* 256: 1971-1983.

FAO. 2006. La deforestación contribuye al cambio climático. Recuperado de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000385/index.html> (Consultado el 10 de mayo del 2013).

Flores, N.P. 2010. *Impacto del proceso de declinación sobre la productividad primaria neta en bosques de Abies religiosa*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo de México. 74 p.

FUCEMA. 2001. *Valoración económica de los bosques revisión, evaluación, propuestas*. Unión Mundial para la Naturaleza. 30 p.

FSC. 2001. Resumen Público de Certificación de Comunidad Ixtlán de Juárez. Recuperado de <http://www.rainforest-alliance.org/forestry/documents/comunidad-ixtlan.pdf> (Consultado el 20 de mayo del 2013).

Grace, J., et al. 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science* 270.

Hayes, T. y L. Persha. 2010. Nesting local forestry initiatives: revisiting community forest management in a REDD+ world. *Forest Policy and Economics* 12: 545–553

Hernández-Díaz, J. 2007. *Ciudadanías diferenciadas en un estado multicultural: los usos y costumbres en Oaxaca, México*. UNAM-UABJO. Siglo XXI. México D.F. 392 p.

Hocking, M., S. Stolton y N. Dudley. 2000. *Evaluating Effectiveness: A Framework for Assessing the Management of Protected Areas*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 121pp.

Izco, X. y D. Burneo. 2003. *Herramientas para la valoración y manejo forestal sostenible de los bosques sudamericanos*. Programa de Conservación de Bosques Oficina Regional para América del Sur • UICN-Sur. Quito, Ecuador. Pp. 11-56.

Lugo, A. y S. Brown. 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 54:239-255.

Luyssaert, S., et al. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213-215.

Madrid, L., J.M. Núñez, G. Quiroz y Y. Rodríguez. 2009. La propiedad social forestal en México. *Investigación ambiental* 1 (1): 179-196.

Masera, O., et al. 2007. Opciones de captura de Carbono en los sectores forestal y agrícola de México. Pp. 234-300, En: Calva J. L. (Ed.). *Sustentabilidad y Desarrollo Ambiental*. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F. México.

Martínez, L. J. 2010. *Eso que llaman comunalidad*. CONACULTACAMPO-Fundación Harp Helú-Secretaría de Cultura-Oaxaca, Oaxaca.

Meffe, G.K., L.A. Nielsen, R.L.K Night y D.A. Schenborn. 2002. *Ecosystem Management Adaptive, Community-Based Conservation*. ISLAN PRESS. Washington, DC. 333 p.

McCall, M. 2011. Local Participation in mapping, measuring and monitoring for community carbón forestry. Pp.31-44, En: M. Skutsch. *Community forest monitoring for the carbón market. Opportunities under REDD*. Earthscan, London.

Muñoz, P.C. 1994. The Economic Value of Mexican Biodiversity. O'Toole R. y K. Hess Jr. *Incentives for Protecting Northamerican Biodiversity*. Oregon.

OIMT y UICN. 2009. *Directrices OIMT/UICN para la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad en los bosques tropicales productores de madera*. Serie de políticas forestales OIMT núm. 17. Pp. 34-40.

Ordóñez, J.A.B. 2004. *Índices de contenido y captura de carbono en áreas forestales. Densidades de carbono*. INEGI. Recuperado de http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/fuente_datos.pdf (Consultado el 10 de agosto del 2012).

Ordoñez, J.A.B., et al. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacán, México. *Forest Ecology and Management* 7 (255): 2074–2084.

Ostrom, E. y H. Nagendra. 2006. Insights on linking forests, trees and people from the air, on the ground, and in the laboratory. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 19224–19231.

Pérez, G.R.S., I. Arroyo Q. y R. Romero R. 2009. Understanding investment in biodiversity conservation in México. *Biodiversity and Conservation* 18 (5): 1421-1434.

Rendón, T.O.R., et al. 2013. Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+): Transaction Costs of Six Peruvian Projects. *Ecology and Society* 18 (1): 1-17.

Russell, B.H. 2006. *Research Methods in Anthropology: Qualitative and Quantitative Approaches*. Alta Mira Press. 803 p.

SEMARNAT-CONAFOR. 2010. *Visión de México sobre REDD+ hacia una estrategia nacional*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional Forestal. 56 p.

STF-Ixtlán. 2010. *Informe de actividades programa de servicios ambientales hidrológicos*. Servicios Técnicos Forestales de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. 22 p.

STF-Ixtlán. 2011. *Informe de actividades programa de servicios ambientales hidrológicos*. Servicios Técnicos Forestales de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. 19 p.

Stern, N. 2006. *Stern Review on the Economics of Climate Change*. Recuperado de www.sternreview.org.uk. (Consultado el 18 de septiembre del 2012).

Velasco-Murguía, A., E. Duran, R. Rivera y D.B. Bray. En prensa. Cambios en la cobertura arbolada de comunidades indígenas con y sin iniciativas de conservación, en Oaxaca, México. *Investigaciones Geográficas-UNAM* 83:00.

Vleet, V.E. 2013. *From Passive to Active Community Conservation: A Study of Forest Governance in a Region of the Sierra Norte of Oaxaca, México*. Tesis de maestría. Florida International University. 212 p.

Wise, R.M., et al. 2010. Costs of Expanding the Network of Protected Areas as a Response to Climate Change in the Cape Floristic Region. *Conservation Biology* 26 (3): 397–407.

CAPÍTULO V. FACTIBILIDAD PARA QUE IXTLÁN DE JUÁREZ PUEDA RECIBIR INCENTIVOS POR CARBONO FORESTAL

México, para fines de los incentivos de carbono, tiene la fortaleza de tener certeza en la tenencia de la tierra de gran parte de sus bosques, y particularmente destaca por mantener más del 60% de sus bosques bajo propiedad social (Madrid *et al.*, 2009). Bajo este precepto, y el esquema de gobernanza que la Ley Agraria establece, numerosas comunidades rurales hacen uso y manejo de terrenos forestales para satisfacer sus necesidades de consumo, económicas y culturales (OIMT y UICN, 2009) y también numerosas comunidades se han sumado a los esfuerzos de conservación de los bosques y la biodiversidad que albergan (CONANP, 2012). Oaxaca es uno de los estados del país donde se ilustra ampliamente las ventajas del modelo de manejo sustentable y conservación de bosques comunitarios (Duran *et al.*, 2012), pero también es donde se vislumbra un alto potencial para propósitos de captura y reducción de emisiones de CO₂ (Bray, 2012; CSMSS, 2013). Un aspecto fundamental para fines de carbono forestal en el esquema de la iniciativa REDD+, son las salvaguardas sociales, México cuenta con un marco legal y ha firmado numerosos tratados internacionales que podrían resguardar de abusos a los grupos indígenas por cualquier maniobra ambiental, incluyendo esquemas de mercados de carbono (D. Bray com. Personal).

El presente apartado de la tesis corresponde a un capítulo de síntesis, que intenta integrar la información generada en los últimos tres capítulos, junto con el marco conceptual, a fin de discutir la hipótesis inicialmente planteada:

[El manejo del territorio de la comunidad de Ixtlán de Juárez permite mantener de manera intencional las reservas de carbono y capturar carbono en sus bosques, lo que justifica que pueda recibir incentivos por este servicio ambiental]

El manejo del territorio comunal intencionado, favorece las cuentas de carbono; debido a que realiza un manejo forestal sustentable en 3,469.25 ha (17.9%) de bosque de pino-encino; pero también destina 13,750.28 ha (71%) a conservación quasi estricta.

Las áreas en conservación incluyen bosques de pino-encino, bosques mesófilos de montaña, selvas altas perennifolias y matorrales crasicuales, en pequeñas porciones de algunos de los cerros de mayor elevación. Por la superficie que abarcan, porque en su mayoría se trata de vegetación natural en estados maduros y en menor cantidad, se encuentran bosques mesófilos y selvas bajas en condiciones secundarias. El manejo extractivo es mínimo; por lo tanto, las áreas de conservación mantienen grandes almacenes de carbono, pero también pueden tener potencial de captura (Lugo y Brown 1992; Grace *et al.*, 1995; Luysaert *et al.*, 2008). Lograr la conservación de estas áreas, en donde hay 384 comuneros que son propietarios y que en colectivo deben ponerse de acuerdo sobre sus usos y manejo, es posible gracias a la estructura organizativa que confiere la Ley Agraria para la toma de decisiones. Pero, también porque la comunidad tiene un gran capital social que se reconoce en los esquemas de gobernanza local que facilita tomar acuerdos, lo cual permite una amplia participación de sus miembros y ha reducido al mínimo los conflictos internos (CI, 2007; Mathews, 2010).

De esta manera, las acciones de manejo que la comunidad de Ixtlán practica desde hace décadas le ha conducido a mantener actualmente el 98% de sus bosques (Cap. II), y usar el área restante para el único asentamiento humano y un poco de agricultura de temporal. Las decisiones sobre el territorio comunal se vienen realizando con una amplia participación social local a través de las instituciones de gobernanza de la comunidad; pero no se trata de una comunidad cerrada, por el contrario, su fortaleza interna le ha permitido tener apertura a distintos mecanismos de participación de actores externos interesados en promover aprovechamiento sustentable y conservación, incluyendo pagos por servicios hidrológicos (Cap. IV). La comunidad de Ixtlán de Juárez opera con esquemas de gobernanza muy sólidos y tiene experiencia en la gestión de recursos económicos, lo cual, para propósitos de proyectos de carbono forestal, es una ventaja porque da certeza a los organismos que otorgan incentivos en cuanto a que los apoyos se aplicaran correctamente. Además, tiene una capacidad organizativa que permite hacer un manejo sea eficiente y eficaz del territorio comunal (Bray *et al.*, 2010), y opera en esquemas de manejo adaptativo, porque experimenta y evalúa de manera colectiva los resultados de decisiones de manejo que se acuerdan en su Asamblea (Hocking *et al.*, 2000; Meffe *et al.*, 2002).

Las reservas de carbono

El capítulo II, a partir de un mapa de coberturas y usos del suelo e índices de carbono, en las 19,310.14 ha que comprende el predio comunal, generó un estimado del carbono almacenado de 2,449,072.82 MgC, lo cual podría considerarse como una línea base de carbono a la fecha actual. Específicamente en las áreas de conservación, en donde se distribuyen bosques mesófilos y selvas altas se encuentra más de la mitad de dicho almacén (1,244,854.79 MgC). Conforme este capítulo, se determinó que la superficie de bosque de pino-encino es de 10,704.96 ha, en las cuales se estimó que existen 1,238,564.13 MgC. Sin embargo, con la metodología del capítulo III (en donde se utilizaron datos de volumen del inventario realizado por la comunidad) se estimó que en el área de manejo forestal (8,996.75 ha de pino-encino reconocidas en el plan de manejo forestal), existen almacenados 801,786.98 MgC, lo cual representa un promedio de 102.98 ± 26.18 MgC ha⁻¹; este valor es muy cercano al valor de 115.7 ± 18 MgC ha⁻¹ estimado por Ordoñez *et al.* (2008) basándose en ecuaciones alométricas y que se utilizó en la metodología del capítulo II. Las diferencias entre estos valores se pueden deber a que en la segunda metodología solo se ocuparon datos del volumen de madera, dejando a un lado el carbono contenido en ramas y follaje, que en las ecuaciones alométricas si se toman en cuenta; además, durante el mapeo de predio comunal se reconoció una mayor superficie de pino-encino que la reportada en el plan de manejo forestal, por lo tanto existe una diferencia en las superficies. Sin embargo, con estos valores, se pueden validar los datos obtenidos con las metodologías ocupadas en esta investigación. La metodología utilizada en el capítulo III tiene la bondad de haber utilizado datos del inventario realizado para el plan de manejo de la comunidad; por lo tanto, los valores estimados con estos datos, podrían ser más preciso sen cuanto al estado del arbolado de los bosques manejados en la comunidad. Sin embargo, esta aproximación no puede ser usada para estimar el carbono de los bosques tropicales (selva alta, bosque mesófilo), porque no se tienen datos del volumen del arbolado, por ello la metodología del capítulo II resultó más viable.

Las estimaciones aquí presentadas correspondieron a la porción aérea del arbolado, sin considerar el reservorio de carbono en el suelo, y la metodología del capítulo III se limitó al volumen de madera del tronco (excluyó raíces, ramas y follaje); por tanto, en

ambos casos se subestimó la cantidad de carbono contenido en el predio comunal y en el área de manejo forestal de Ixtlán. De usar esta información para fines de negociar bonos de carbono, la comunidad podría recibir menos compensación en relación a lo que realmente captura; sin embargo, mientras no cuente con metodologías más integrales y precisas, no podría negociar por capturas reales. Esta situación no es un problema de la comunidad de Ixtlán, sino que es generalizado y se debe a la dificultad metodológica de estimación del carbono forestal (Bucki *et al.*, 2012). Aunque se insiste que los esquemas de mercado debe considerar este problema, hasta ahora el mercado voluntario de carbono es el que ofrece más apertura.

A pesar de dichos inconvenientes, las estimaciones de carbono aquí presentadas son una primera aproximación para la obtención de una línea base para la comunidad; por lo tanto, puede ser una herramienta valiosa para negociar incentivos ante diferentes instancias; ya sean gobiernos nacionales o internacionales y/o empresas. Además, estos datos se pueden ir afinando mediante la implementación de un manejo adaptativo (Meffe *et al.*, 2002), lo cual permitirá que se obtengan datos más precisos. Ante una emergencia global, es necesario aplicar metodologías sencillas, baratas y que involucren a las comunidades dueñas de los recursos forestales (Bucki *et al.*, 2012; Danielsen, 2013). Como se observó anteriormente; la comunidad cuenta con grandes áreas boscosas que representan un almacén de carbono que a su vez es la misma cantidad de carbono que se liberaría a la atmósfera si no se siguen conservando y manejando sustentablemente los bosques.

Capturar carbono en sus bosques

La principal actividad económica de Ixtlán de Juárez, es el aprovechamiento de madera. Aunque se tiene la idea de que la comunidad es exitosa en cuanto a la producción de madera, debido a que tiene un territorio relativamente grande, en relación a otras comunidades productoras de madera vecinas; lo que ocurre es que tiene un sistema de aprovechamiento intensivo y muy eficiente. Esto se refleja en su aprovechamiento de madera anual, que son aproximadamente 24,000 m³ (pino y encino en madera en rollo al año), que realiza en tan solo 151 ha en promedio al año (0.8 % de su territorio). Los bosques manejados se aprovechan con una planeación estricta, conforme planes de

manejo autorizados por la SEMARNAT y con mucha inversión económica, técnica, recursos humanos y mano de obra (viveros, plantaciones, aclareos, saneamientos, vigilancia, combate a incendios, etc.). Además, de que la comunidad ha buscado realizar un aprovechamiento de impacto reducido; con lo cual logro la certificación forestal de FSC en el 2001 y la mantiene hasta la fecha (Sastre, 2008).

Comúnmente se teme a que la extracción de madera tenga impacto negativo en los bosques, pero no es el caso de esta comunidad, ya que realiza un manejo tendiente a ser sustentable (Bray, 2010). La comunidad tiene un área de manejo de 8,996.75 hectáreas, de bosque de pino-encino, de las cuales 7,655 ha no están sujetas a aprovechamiento forestal en el plan manejo vigente (2006-2014). Dentro de las 7,655 ha se tiene un potencial de captura promedio de $1.36 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; lo que representaría $10,411 \text{ MgC año}^{-1}$, mismo que equivalen a $38,173 \text{ MgCO}_{2e} \text{ año}^{-1}$.

Además, existen 1,211.37 hectáreas de reforestaciones, en donde existe una mayor dinámica de carbono, ya que en los sitios de las primeras ocho anualidades, se han removido $75,335 \text{ MgC}$, pero que a la fecha se ha capturado $8,822 \text{ MgC}$. En esta área de aprovechamiento, existe un flujo constante de CO_2 ; es decir, éste gas se emite a la atmósfera al momento de realizar la extracción de madera, pero cuando se establecen las reforestaciones se induce su captura. Sería fundamental continuar con investigaciones que permitan reconocer las tendencias y establecer cómo lograr un punto de equilibrio entre emisiones y captura, y de qué manera a través de estrategias de manejo se logra adicionalidad. También es importante considerar que aunque la comunidad extrae madera de sus bosques, como parte de ésta se usa para la fabricación de muebles (<http://www.tipmuebles.com/>) y otros productos con vida útil de cuando menos dos décadas; el carbono extraído del bosque, se mantiene almacenado en el producto.

Costos

Una parte central del manejo que realiza la comunidad, son las actividades de conservación dentro de sus bosques templados y tropicales, los cuales representan grandes reservas de carbono distribuidas en el 71% de su territorio. Sin embargo, la conservación de dicho almacén no es gratis, ya que regularmente se realizan diversas

acciones para su cuidado que implican costos directos e indirectos. El capítulo IV estimó dichos costos y mostró que las actividades de conservación que se realizaron para 2010, 2011 y 2012, en las áreas de conservación de Ixtlán implicaron en promedio \$1,217,578.80 anualmente. Durante ese periodo gran parte de esos costos fueron cubiertos con el pago por el PSAH, vigente entre 2006 y 2014. Sin embargo, las actividades de cuidado del bosque han sido parte de la agenda de la comunidad desde antes de que existiera el PSAH, y como dicho apoyo terminará en 2014, es probable que la comunidad vuelva a absorber el costo. Una manera de evitar esto, es iniciar negociaciones, ante las instancias pertinentes o en el mercado voluntario, donde se operan varios tipos de incentivos (Tabla 5.1), de los que ya se benefician particulares y comunidades de distintas partes del país, incluido Oaxaca.

Tabla 5.1 Incentivos internacionales y nacionales por carbono

Iniciativa		Año de implementación	México	Oaxaca	Ixtlán
Internacionales	Mercado Voluntario "Internacional"	1997	SI (Scolel-te; Chiapas)	No	No
	Mercado regulado (MDL)	1997	SI Sierra gorda	No	No
	REDD+ internacional	En construcción	SI (en la lista)	---	No
Nacionales	PSA-CABSA	2004	SI	SI	No
	Mercado Voluntario "Nacional"	2008 (Bray, 2012)	SI (comunidades de SAO)	SI	No
	AATRs REDD+México	2013	SI (Rincón Alto, Mixteca, Uzachi)	SI	No
	REDD+México	En construcción	----	---	No

Conforme los resultados obtenidos que muestran que las áreas de extracción forestal de Ixtlán están capturando carbono, la comunidad tendría posibilidades para incursionar en el mercado voluntario de mercado. Considerando que el valor por $MgCO_{2e}$ es de US\$10.00, y que el potencial de captura de $38,173 MgCO_{2e} \text{ año}^{-1}$ en el área de manejo forestal, Ixtlán podría negociar pagos por captura de cerca de US\$381,730 anualmente. El ingreso por venta de carbono forestal, hasta ahora no se ha vislumbrado en la comunidad, pero podría ser una alternativa para cubrir los costos de actualmente le

implica conservar los bosques. Al mismo tiempo, representa una nueva alternativa económica, sobre la base de cuidar y manejar bien sus bosques, con lo cual podría lograr cubrir metas ambientales y sociales.

¿Porque Ixtlán debe recibir incentivos?

Los bosques de Ixtlán no están en riesgo de ser deforestados o degradados, y por tanto, la comunidad no se considera entre los candidatos a recibir incentivos para evitar emisiones de CO₂. Iniciativas como REDD+, pretenden incentivar áreas en donde ha ocurrido mal manejo de los bosques para que empiecen a hacer acciones favorables en el bosque y frenar o revertir tendencias en las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Figura 5.1a). Sin embargo, no se están considerando incentivos para alentar el buen manejo forestal, como el que hace Ixtlán, que está evitando importantes cantidades de emisiones de CO₂ a la atmósfera. En nuestra perspectiva, está lógica es injusta, y dado que a nivel global se reconoce que existen crisis ambiental, alimentaria, del agua, y que las disrupciones climáticas podría agravarse, no hay garantía de que a futuro podría haber presión en áreas de bosques bien conservados como los de Ixtlán, de manera que los pobladores decidieran cambiar o reorientar los usos del suelo en sus tierras comunales en aras de cubrir necesidades locales.

Actualmente, Ixtlán se desarrolla en un esquema de bajas emisiones (Fig. 5.1b). Sin embargo, potencialmente podría encaminarse a distintos escenarios futuros: A y B (Fig. 5.1b) ante la falta de incentivos, deforestar y aumentar sus emisiones. Si la comunidad se mantiene sin incentivos, quizá mantenga el equilibrio en las emisiones y también haga esfuerzos para seguir en escenarios bajos de emisiones C y D (Fig. 5.1b), lo cual implicaría que la comunidad seguiría con sus prácticas de buen manejo en un contexto de injusticia ambiental; por lo tanto, lo idóneo sería que la comunidad recibiera incentivos, que le alentarán a mantenerse como ahora, con niveles de bajas emisiones, e inclusive neutralizando sus emisiones.

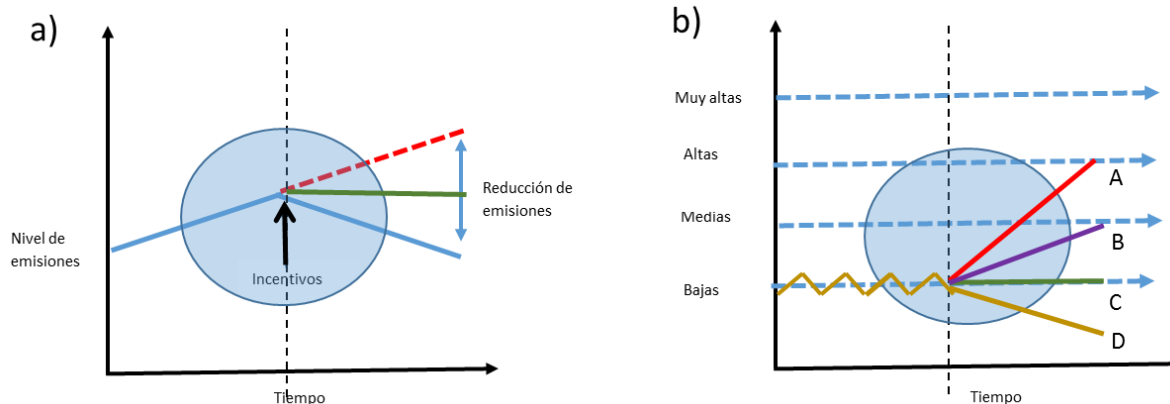


Figura 5.1 a) Modelo para la reducciones de emisiones mediante incentivos b) Escenarios para Ixtlán de Juárez con y sin incentivos. A) Emisiones altas y B) Emisiones medias; C) Neutralizar emisiones D) Emisiones bajas. Fuente: Elaboración propia a partir de la propuesta de ITTO (2012).

Ixtlán ha recibido apoyos durante los últimos 10 años por parte de dependencias gubernamentales como la CONAFOR, CONANP, CONABIO, entre otras. Estos apoyos se han relacionado principalmente con el impulso de la productividad forestal dentro de la comunidad, el PSAH, apoyo para la industria, para saneamiento, para el mantenimiento de caminos, para ecoturismo, para biodiversidad. Sin embargo, hasta ahora nunca ha recibido apoyos por captura de carbono forestal (Tabla 5.2), como ya lo hacen comunidades vecinas colindantes que si están recibiendo apoyos por casi todo lo anterior más apoyos (Bray *et al.*, 2012).

De recibir incentivos, Ixtlán podría consolidarse como un modelo en el mercado de carbono, pero además también tiene el potencial de dar lecciones a otras comunidades forestales, de cómo alcanzar cuentas positivas de carbono y sumarse a las tareas de instrucción, que con incentivos ya realizan otras comunidades de la Sierra Norte, como las de UZACHI.

Con los argumentos que se dan en la tesis es posible aceptar la hipótesis inicial:

[El manejo del territorio de la comunidad de Ixtlán de Juárez permite mantener de manera intencional las reservas de carbono y capturar carbono en sus bosques, lo que justifica que pueda recibir incentivos por este servicio ambiental]

Por lo que consideramos que la comunidad, dado que está cuidando un gran almacén de carbono y está capturando CO₂, está en posibilidades de iniciar gestiones para recibir pagos por carbono forestal.

En la situación actual de Ixtlán no es candidato a los incentivos REDD+, a pesar de que cumple con la mayoría de atributos que se requieren para recibir apoyos (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Atributos para recibir pago por servicios ambientales relacionados con el carbono forestal.

Atributo	Aplica
Captura de carbono	Si
Reducción de emisiones	Si
Mantenimiento de almacenes de carbono	Si
Conservación de biodiversidad	Si
Seguridad en la tenencia de la tierra	Si
Ausencia de conflictos sociales	Si
Capacidad técnica para la estimación de Línea base y MRV	Si
Experiencia en manejo de recursos financieros	Si
Capital social	Si
Legalidad	Si
Gobernanza	Si
Certificación FSC	Si
Deforestación	No
Degradación	No

La “problemática” de la comunidad es no presentar deforestación ni degradación de bosques. Por lo tanto, con este trabajo se exhibe que existe una falla en la construcción de la política de incentivos de REDD+, que hasta ahora es poco discutida en la literatura. La importancia del discutir el caso de Ixtlán, es que podría ayudar a corregir políticas públicas nacionales e internacionales y los esquemas de incentivos para alentar los casos más emblemáticos de buen manejo forestal y con cuentas positivas de carbono que se encuentran en Oaxaca y otras partes de México. Aunque se habla más de los casos no exitosos, los paisajes forestales que tienden a la sustentabilidad existen en México: CONAFOR reconoce decenas de comunidades/ejidos forestales Tipo IV, en el país; se cuentan decenas de comunidades certificadas internacionalmente por buen manejo forestal, con el sello internacional FSC en México, se tienen cientos de Áreas Voluntarias de Conservación en tierras forestales y existen productores organizados e interesados en las cuentas de carbono en sistemas agroforestales como el del café de

sombra. (Anta, 2007; CCMSS, 2010; SAGARPA *et al.*, 2011; CONAFOR-SEMARNAT, 2012). A todos ellos, es altamente probable que los mecanismos de incentivos por carbono forestal en el esquema actual no llegarán, lo cual evidencia la incoherencia de la política pública, cuando por otro lado se clama sobre la urgencia de mitigar el cambio climático global.

Otro aspecto que no se está atendiendo es el establecimiento de sistemas piloto para introducir el pago de los servicios ecosistémicos de los bosques de producción y alentar a donantes potenciales y consumidores de estos servicios a pagar por ellos (OIMT y UICN, 2009). Esta investigación evidenció también la necesidad de abordar de manera más integral el tema del manejo de los bosques como medida de mitigación para el cambio climático (Figura 5.2).

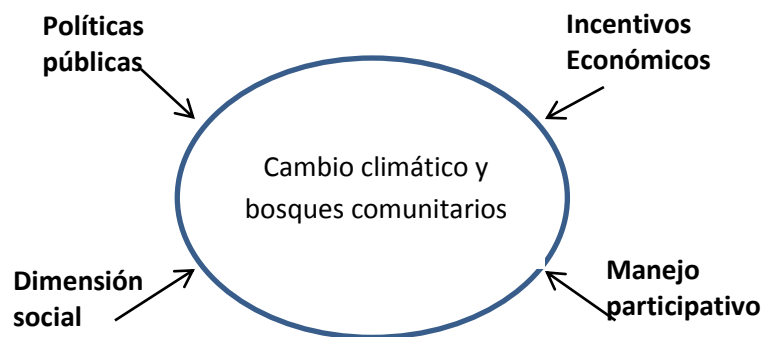


Figura 5. 2. Aspectos relacionados con el tema de cambio climático y bosques comunitarios.

CONCLUSIONES FINALES

El balance de carbono en la comunidad de Ixtlán, junto con las acciones y organización para el manejo y cuidado del bosque ofrecen condiciones para que pueda recibir incentivos por carbono. Los datos generados en este trabajo pueden servir como línea base y estimador de la capacidad de captura de carbono. Por lo tanto, la comunidad debería iniciar la negociación de incentivos, los cuales podrían cubrir el costo de las actividades de conservación para mantener almacenes de carbono y compensar por el buen manejo que se hace del bosque. Se ha dicho que Ixtlán tiende a la sustentabilidad, pero de no haber incentivos de carbono para compensar su

contribución a cuidar un gran almacén de carbono forestal y a la captura de CO₂ en sus bosques, se violaría un principio de sustentabilidad, el de justicia social ambiental. El esquema de manejo de la comunidad está contribuyendo a mitigar una problemática global, por lo que sería justo que los fondos dedicados a reducir el CO₂ atmosférico llegaran a comunidades como esta, porque 1) podrían compensar los costos que representa la conservación de los almacenes de carbono, y 2) reciban incentivos para motivarlas a seguir con sus acciones de conservación y manejo sustentable. Al no presentar deforestación ni degradación de bosques, y ser excluido como candidato a incentivos por carbono, el caso de Ixtlán exhibe que existe una falla en la construcción de la política de incentivos de REDD+, la cual no contempla la compensación e incentivar a comunidades que están haciendo bien la tarea de preservar el carbono de sus bosques y ayudar a que potencien su capacidad de captura.

LITERATURA CITADA

Anta, F.S. 2007. *Áreas naturales de conservación voluntaria*. Estudio elaborado para la Iniciativa Cuenca. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. 23 p.

Bray, D.B., D. Barry, S. Madrid, L. Merino e I. Zúñiga. 2010. *El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático: las comunidades nos muestran el camino*. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. Folleto. 21 p.

Bray, D.B. 2012. Carbon and Community Development: An Experiment in Oaxaca. *Grassroots Development* 33: 15-21.

Bray, D.B., E. Duran M. y O.A. Molina-González. 2012. Beyond harvests in the commons: multi-scale governance and turbulence in indigenous/community conserved areas in Oaxaca, México. *International Journal of the Commons* 6 (2): 151–178.

Bucki, M., et al. 2012. Assessing REDD+ performance of countries with low monitoring capacities: the matrix approach. *Environmental Research Letters* 7: 1–13.

CI. 2007. *Estatuto comunal. Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, 50 p.

CONAFOR-SEMARNAT. 2012. *Logros y perspectivas del desarrollo forestal en México 2007-2012*. Coordinación general de producción y productividad. Jalisco, México. 58 p.

CONANP, 2012. *Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 50 p.

CCMSS. 2010. Listado de Organizaciones mexicanas certificadas en manejo forestal del año 2010. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. México. 14 p. Recuperado de http://www.ccmss.org.mx/descargas/certificados_de_manejo_forestal_2010.pdf (Consultado 20 diciembre del 2013).

CSMSS. 2013. *Iniciativa comunidades, territorios y cambio climático. Una Propuesta Social para REDD+: Hacia una Estrategia incluyente para el estado de Oaxaca*. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sustentable, México, D.F.

Danielsen, F., et al. 2013. Community monitoring for REDD+: international promises and field realities. *Ecology and Society* 18 (3): 41.

Duran E., et al. 2012. Wildlife Conservation on Community Conserved Lands: Experiences from Oaxaca, southern Mexico. In: N. Dudley & S. Solton (Eds.). *Protected Landscapes and Wild Biodiversity*. Volumen 3, Protected Landscapes and Seascapes Series. IUCN, Gland, Switzerland.

Grace, J., et al. 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science* 270.

ITTO. 2012. *REDD+*. Folleto. International Tropical Timber Organization 25 p.

Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. *Science* 162 (3859): 1243-1248.

Hocking, M., S. Stolton y N. Dudley. 2000. *Evaluating Effectiveness: A Framework for Assessing the Management of Protected Areas*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 121pp.

Lugo, A. y Brown S. 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*: 48.

Luyssaert, S., et al. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213-215.

Mathews, A. 2010. *Instituting Nature. Authority, Expertise, and Power in Mexican Forests*. The MIT Press, London.

Meffe, G.K., L.A. Nielsen, R.L.K Night y D.A. Schenborn. 2002. *Ecosystem Management Adaptive, Community-Based Conservation*. ISLAN PRESS. Washington, DC. 333 p.

OIMT y UICN. 2009. *Directrices OIMT/UICN para la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad en los bosques tropicales productores de madera*. Serie de políticas forestales OIMT núm. 17. Pp. 34-40.

SAGARPA et al., 2011. *Plan de innovación de la cafecultura en el estado de Oaxaca*. Oaxaca, México. 131 p.