



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la
conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología
en Chiapas, México

por

Eleni Marinidou

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2009

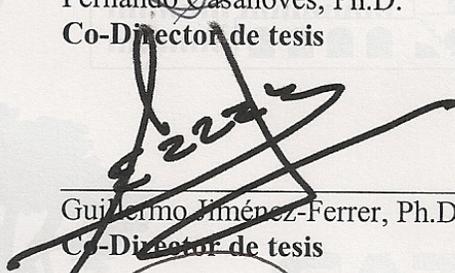
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

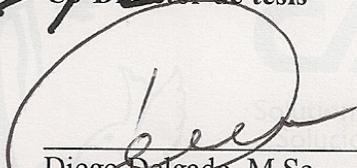
FIRMANTES:



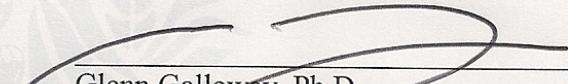
Fernando Casanoves, Ph.D.
Co-Director de tesis



Guillermo Jiménez-Ferrer, Ph.D.
Co-Director de tesis



Diego Delgado, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Eleni Marinidou
Candidata

Dedicatoria

*A la vida, a la belleza
y a un ser humano que las valore más*

*no habrá regulación ecológica sin justicia social,
negarlo limita el bienestar
hasta de los (que se creen) más afortunados*

EM

Agradecimientos

A mis padres Σταύρος y Φωτεινή, mi hermana Ζωγραφιά y a mi demás familia por todo lo que tengo y soy.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por apoyarme a estudiar y realizar este trabajo.

Al Proyecto "Estudio de gases de efecto invernadero en áreas de pasturas en la Selva lacandona, Chiapas, MX (SEMARNAT-CONACYT-ECOSUR)" por su apoyo en el trabajo de campo.

Al Instituto Inter-Americano para la Investigación en Cambio Global (IAI) CRN II 2015, apoyado por la *US National Science Foundation* (GrantGeo-0452325) por su apoyo económico.

A Guillermo Jiménez-Ferrer por incentivar me a estudiar, por ser mi amigo, guía y apoyo en este camino, y mi conexión con los dioses mayas y la “banda” de la Selva. A mis profesores y Fernando Casanoves y Diego Delgado por dirigirme con sus valiosos y orientadores comentarios. Especialmente, a Bryan Finegan por creer en mis ideas y por asesorarme en la parte ecológica pero también en todo el proceso de trabajo.

Doy las gracias por sus enseñanzas, su esfuerzo para un buen trabajo, su amistad, hospitalidad, comida, etc. a los promotores Obdulio Gutiérrez Gutiérrez y Armando Marroquín Santizo de la comunidad Amatitlán, a Antonio Espinosa Hernández e Irma Espinosa López de la Democracia, a Genaro Jiménez Vásquez y Roberto Pérez Jiménez de Nueva Argentina, a Gustavo y Belisario Gómez Sánchez de Nueva Sabanilla, y a Sabino Núñez Gómez y Cupertino Pérez Pérez del Plan de Río Azul.

A V. Hugo Brenes programador del programa de bosques de CATIE y a Lorenzo Hernández López asistente técnico y Miguel Martínez Icó taxónomo del herbario, ambos de ECOSUR (unidad san SCLC), que de forma muy amable colaboraron en partes importantes del estudio.

A mi compañera de campo y amiga Filomena, a Gabriel y otros colegas del campamento de la CONANP de la REBIMA, y la gente de la comunidad de la Democracia, como Marilú y su familia, por los momentos gratos que compartimos.

A Neptalí Ramírez, Kees Prins y Ney Ríos por ofrecer en momentos oportunos su tiempo y conocimientos, desinteresadamente.

A los amigos de CATIE con los que compartimos experiencias y pláticas hermosas y enriquecedoras: especialmente a Serg, los Tatos y Micheles, Leo, Belensín, mi Clis, Adri y Susanita, Sonia, Faustini, Carol, Rafa, Jime y Sofi, Raquel, Sidaly, Elías, Astridsi, Íngole, Añuska y Sandina, la última también por apoyarme con la corrección del documento.

A mi familia Ceromaldad, Rapanui, Hassan Berggren “spicygroove”, Miurph, Piolín, ZapaTania, RadiaClaus, mi LaraLíos, Chevo, Marina, Jefe Cejas JC, a los miembros de Fraktal y a todos los fractales de SanCris y de otros sitios que cuidaron la vaga y la hicieron sentir en casa.

Biografía

La autora nació el 21 de enero de 1974 en la ciudad de Kavala, Grecia. Terminó el bachillerato con especialización en computación en Kavala, Grecia. En años posteriores viajó en varios países y tuvo experiencia en diferentes trabajos, como en agricultura biodinámica en Holanda. Realizó sus estudios en la Universidad Autónoma de Chapingo de México donde obtuvo el título de ingeniera Agroecólogo en 2005 con tema de tesis “Diagnóstico integral del área de influencia del Plan Balancán – Tenosique en Tabasco”, que formó parte de su trabajo en el diagnóstico y planeación participativa de la misma región. Desde el 2003 ha estado trabajando principalmente en estados del sur de México, como Oaxaca, Tabasco y Chiapas en capacitación y empoderamiento en temas sociales, de organización, de ingeniería en tecnologías alternativas, de producción ecológica y de productos alternativos locales. El presente año (2009) terminó sus estudios de maestría en Agroforestería Tropical en el Centro Agronómico Tropical, Costa Rica con tema de tesis “Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología en Chiapas, México”. Se interesa en el desarrollo integral sustentable, en los proyectos interdisciplinarios y en la participación local. Se puede contactar al email: mareleni@gmail.com.

Contenido

Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Biografía	VI
Contenido	VII
Resumen	XI
Summary	XIII
Índice de cuadros	XV
Índice de figuras	XVII
Lista abreviaturas	XIX
Glosario	XX
1. Introducción	1
1.1 Objetivos del estudio	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
2. Marco conceptual	4
2.1 Generación de servicios ambientales en los sistemas productivos	4
2.1.1 Servicios ambientales no locales ofrecidos por el componente arbóreo	4
2.1.1.1 Regulación climática	6
2.1.1.2 Conservación de la biodiversidad	8
2.1.2 Dificultad y alternativas en la adopción de los sistemas silvopastoriles	9
2.1.3 Propuestas anteriores para la estimación del aporte de la cobertura arbórea a los servicios ambientales	11
2.2 Ecología funcional y servicios ambientales	14
2.2.1 ¿Por qué ecología arbórea funcional?	14
2.2.2 Rasgos funcionales, características ecológicas y medidas de la cobertura arbórea que influyen en la generación de servicios ambientales	15
2.2.2.1 Rasgos funcionales relacionados con el valor de las especies para el secuestro de carbono y la regulación climática	16
2.2.2.2 Rasgos funcionales y características ecológicas relacionados con el valor de las especies para la conservación de la biodiversidad.....	18

2.2.2.3	<i>Dimensiones de los individuos que afectan el potencial del valor ecológico de las especies y de la cobertura arbórea.....</i>	22
2.3	<i>¿Por qué usar una metodología participativa en la investigación?</i>	24
2.4	<i>Importancia e historia de la Selva Lacandona</i>	26
2.4.1	La importancia ecológica internacional de la Selva Lacandona	26
2.4.2	Importancia social y ecológica de la Selva Lacandona para México	27
2.4.3	Breve historia de los impactos en la Selva Lacandona	28
2.4.4	La ganadería en la Selva Lacandona y los sistemas silvopastoriles	30
3.	 Materiales y métodos.....	32
3.1	 <i>Área de estudio</i>	32
3.1.1	Aspectos fisiográficos.....	34
3.1.2	Aspectos sociales	35
3.2	 <i>Bases metodológicas.....</i>	36
3.3	 <i>Selección de las comunidades en el área de estudio</i>	38
3.4	 <i>Formación de promotores-técnicos</i>	38
3.5	 <i>Protocolo de muestreo</i>	39
3.5.1	Diferenciación del terreno en usos de suelo homogéneos	40
3.5.2	Selección de las parcelas de muestreo	40
3.5.3	Muestreo de la cobertura arbórea.....	41
3.6	 <i>Protocolo para la estimación de valor funcional ecológico arbóreo.....</i>	42
3.6.1	Índice ecológico de especies arbóreas para cada servicio ambiental.....	43
3.6.1.1	<i>Índice funcional para el secuestro de carbono.....</i>	44
3.6.1.2	<i>Índice funcional para la conservación de la biodiversidad.....</i>	44
Provisión de alimento para la fauna silvestre	44	
Provisión en hábitat y/o conectividad para la fauna silvestre.....	45	
Valor de existencia de las especies arbóreas en el sitio.....	46	
Conservación de la biodiversidad como servicio combinado.....	49	
3.6.2	Estimación del valor ecológico de los árboles.....	49
3.6.2.1	<i>Valor de los árboles en relación con el carbono.....</i>	50
3.6.2.2	<i>Valor de los árboles en relación con la biodiversidad.....</i>	52
3.6.3	Valor ecológico de la cobertura arbórea	53
3.7	 <i>Análisis y comparación del valor ecológico de los árboles y de los sitios</i>	54

4.	Resultados	55
4.1	<i>Características generales de los sitios y su cobertura arbórea.....</i>	<i>55</i>
4.1.1	Importancia y estructura de los usos de suelo.....	55
4.1.2	Presencia y dimensión de especies arbóreas.....	58
4.2	<i>Valor funcional de especies por servicio ecológico</i>	<i>58</i>
4.2.1	Carbono.....	58
4.2.2	Biodiversidad.....	59
4.3	<i>Relación del valor ecológico de los individuos con sus variables</i>	<i>63</i>
4.4	<i>Valor de servicio ecológico por cobertura arbórea y por uso de suelo</i>	<i>66</i>
4.4.1	Influencia de los componentes dimensional y funcional al valor ecológico de la cobertura arbórea	67
4.4.1.1	Carbono	67
4.4.1.2	Biodiversidad.....	69
4.4.1.3	<i>Influencia del número de los individuos y del área basal al valor ecológico de la cobertura arbórea para ambos servicios ambientales..</i>	<i>71</i>
4.4.2	Comparación de valores para los servicios ambientales entre diferentes usos de suelo	72
4.4.2.1	Carbono	72
4.4.2.2	Biodiversidad.....	73
4.5	<i>Valor de las parcelas de los productores</i>	<i>75</i>
5.	Discusión	76
5.1	<i>Participación de promotores en el muestreo para la estimación del valor ecológico de las parcelas productivas</i>	<i>76</i>
5.1.1	Sobre la formación de promotores.....	76
5.1.2	Sobre el muestreo de la cobertura arbórea.....	77
5.2	<i>Sobre el uso de los modelos para la estimación del valor ecológico de la cobertura arbórea.....</i>	<i>78</i>
5.2.1	Consideraciones sobre la construcción de los modelos.....	78
5.2.2	Consideraciones sobre los resultados de los modelos	79
5.2.2.1	Carbono	79
5.2.2.2	Biodiversidad.....	80
5.2.3	Comparación con la propuesta de estimación de los servicios ambientales con base en el índice ecológico por usos de suelo.....	82
5.3	<i>Utilidad de la estimación del valor ecológico de la cobertura arbórea; acercamiento al pago por servicios ambientales</i>	<i>84</i>
6.	Conclusiones	88
7.	Recomendaciones	90

8. Bibliografía.....	91
Anexo 1. Cartas descriptivas y guiones de los talleres.....	109
Anexo 2. Taller teórico I. Árboles y generación de servicios ambientales.....	143
Anexo 3. Taller teórico II. Bases teóricas para la toma de datos en campo	147
Anexo 4. Manual para la toma de datos en campo	151
Anexo 5. Formulario para la toma de datos en campo.....	158
Anexo 6. Mejores especies encontradas en el sitio por servicio ofrecido	160
Anexo 7. Valor ecológico de las parcelas de los productores	164

Marinidou, E. 2009. Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología en Chiapas, México. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. p. 164

Resumen

Servicios ambientales, como la regulación climática y la conservación de la biodiversidad, han sido estimados principalmente en términos de cambio de uso del suelo, sin contemplar características de los árboles. Este estudio fue realizado en cinco comunidades en el sureste de la Selva Lacandona, Chiapas, México, región de importancia geoestratégica debido a su frontera con Centroamérica y a sus recursos naturales, así como por ser un importante sumidero de carbono, y formar parte del corredor biológico Mesoamericano. Una metodología fue desarrollada para permitir que el pago para servicios ambientales se enfoque más en el valor funcional del árbol; mientras, el empoderamiento de gente local y la valoración de la cobertura arbórea se facilitaron con la formación de promotores para el muestreo. El valor de las especies fue estimado combinando rasgos funcionales y características ecológicas, y de la cobertura arbórea ponderando el valor de las especies por las dimensiones individuales de los árboles. Para el valor de las especies relacionado al carbono, se tomó en cuenta solo el rasgo de densidad de madera, mientras con respecto a la biodiversidad – considerándola como el producto de tres componentes: provisión de alimento y hábitat, y valor de la existencia – énfasis se dio a una variedad de rasgos como disposición de alimento durante períodos secos, fenología de copa o capacidad de dispersión, y en características ecológicas, como si la especie es introducida o está bajo algún tipo de amenaza. Mayor valor para el carbono mostraron especies de las familias Sapindaceae y Sapotaceae, así como algunas de las familias Caesalpinaceae, Myrtaceae, Papilionaceae y Rosaceae, y menor mostraron especies de las familias Bombacaceae, Caricaceae y Cochlospermaceae. Por su alto valor para el servicio-combinado a la biodiversidad destacaron *Brosimum alicastrum*, *Manilkara staminodella* e *Hymenaea courbaril*; y por sus valores más bajos, *Bernoullia flammea*, *Trichospermum mexicanum*, *Cordia alliodora* y *Heliocarpus appendiculatus*. La mayoría de los usos de suelo tuvieron gran variación de valores por lo que el uso de una clasificación basada en ellos no generó buenas estimaciones del valor ecológico del sitio, meta que sí fue lograda con la

densidad y el tipo de la cobertura arbórea. Como fue de esperar, el valor de la cobertura arbórea para el servicio de carbono fue más correlacionado con el área basal y para el servicio de biodiversidad, con el valor funcional de las especies. El conocimiento de las dimensiones de los árboles o el valor funcional de las especies fue más importante en parcelas con densidad arbórea y área basal altas. Con la medición directa de los árboles se generaron resultados confiables, mientras con la colaboración de promotores-campesinos se fortalecieron las capacidades locales en el tema de los servicios ambientales y se logró reducir costos y dependencia técnica externa.

Palabras clave: pago por servicios ambientales, valor ecológico, valor de existencia, promotores locales, pequeños productores, Selva Lacandona

Marinidou, E. 2009. Estimation of tree cover contribution to climate regulation and biodiversity conservation: a methodology design and application in Chiapas, México. Thesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. p. 164

Summary

Climate regulation and biodiversity conservation services have been principally estimated in terms of land use change, without taking tree characteristics into account. This study was carried out in five communities in Mexico's southeastern Lacandon Forest, a geostrategic important region due to its frontier with Central America and natural resources, as well as for being an important carbon sink and part of the Mesoamerican biological corridor. A methodology was developed to permit environmental service payments more focused on tree functional value; while empowerment of people and land evaluation were facilitated by training local promoters for sampling. Tree species value was estimated by combining functional traits and other attributes, and tree cover value, by weighting species value by the dimensions of individuals. For carbon-related species value, wood density was the only trait taken into account, while regarding biodiversity – considering it as the product of three components: food and habitat provision for wildlife, and existence value – emphasis was given to a variety of traits, like food provision during dry periods, crown phenology or dispersal capacity, and attributes such as whether the species is introduced or threatened. High carbon-related value was shown by species of the Sapindaceae and Sapotaceae, as well as some of the Caesalpinaceae, Myrtaceae, Papilionaceae and Rosaceae families; and low value by species of the Bombacaceae, Caricaceae and Cochlospermaceae families. For their high biodiversity-combined value *Brosimum alicastrum*, *Manilkara staminodella* and *Hymenaea courbaril* were distinguished; and for their low values, *Bernoullia flammea*, *Trichospermum mexicanum*, *Cordia alliodora* and *Heliocarpus appendiculatus*. Most of the land uses had high variation in value, so that the use of a classification based on them didn't generate good estimations of ecological value, a goal that was however achieved using tree density and type. As expected, tree cover value for the carbon service was correlated with basal area and for the biodiversity service, with species ecological value. Knowledge of tree dimensions and species ecological value was more important in sites with high tree density

and basal area. The direct measurement of trees generates trustworthy results, while with promoter-farmers collaboration local capacities in environmental services matter were strengthened and costs and external technical dependency were reduced.

Keywords: payment for environmental services, ecologic value, existence value, local promoters, small farmers, Lacandon Forest

Índice de cuadros

Cuadro 1. Servicios ambientales “no locales” ofrecidos por el componente arbóreo ...	6
Cuadro 2. Índices de carbono (C) y biodiversidad (BD) para diferentes usos de suelo	12
Cuadro 3. Caracterización de la madera por rangos de densidad	17
Cuadro 4. Relación potencial de los rasgos funcionales (RF) y las características ecológicas (CE) con el valor de las especies arbóreas para la conservación de la biodiversidad.....	21
Cuadro 5. Relación potencial de los rasgos funcionales (RF), características ecológicas (CE) y medidas de los árboles con los servicios ambientales (SA)	23
Cuadro 6. Propuesta metodológica para el estudio y niveles de participación.....	37
Cuadro 7. Acciones de capacitación para la formación de promotores.....	39
Cuadro 8. Selección del tamaño de la muestra	41
Cuadro 9. Variables y métodos para la medición de la cobertura arbórea	42
Cuadro 10. Criterios para la ponderación de los rasgos funcionales y características ecológicas (RF y C) en la estimación del valor de existencia de las especies.....	48
Cuadro 11. Categorías de dimensión de los árboles	50
Cuadro 12. Categorías de dap para la estimación del carbono	50
Cuadro 13. Métricas entre los modelos “base” Cdens y funcional C para la estimación de la biomasa aérea y el secuestro de carbono	51
Cuadro 14. Métricas dimensionales para la estimación de diferentes servicios a la biodiversidad	53
Cuadro 15. Cobertura (ha) de los usos de suelo estudiados en el área	56
Cuadro 16. Correlación del valor de los individuos para el carbono, estimado con el modelo comparativo base (Cdens) y el propuesto en este estudio (C), con sus dimensiones dap, altura (H) y volumen (vol), y la densidad de madera (d) o el valor funcional de la especie a la que pertenecen (VC).....	64
Cuadro 17. Correlación (Spearman) del valor de los individuos para los servicios a la biodiversidad (SBD): provisión de alimento (AL), hábitat (HB), valor de	

existencia (EX) y la biodiversidad en su totalidad (BD) con sus dimensiones dap, altura (H) y diámetro de copa (dC), y el valor funcional de la especie a la que pertenecen relativo a cada servicio (VF).....	65
Cuadro 18. Correlación (Spearman) de los valores de cobertura arbórea para el servicio de carbono, estimados con el modelo base (Cdens) y el propuesto en este estudio (C), con sus componentes dimensionales número de individuos y área basal (AB), y la sumatoria de la densidad de madera (d) o del valor funcional de las especies (VC).....	67
Cuadro 19. Correlación (Spearman) de los servicios a la biodiversidad (SBD): provisión de alimento (AL), hábitat (HB), valor de existencia (EX) y la totalidad del servicio a la biodiversidad (BD) con sus componentes: número de individuos (#Ind), área basal (AB), área de copa (aC) y sumatoria del valor funcional de las especies relativo a cada servicio (VF)	69
Cuadro 20. Valores medios para el servicio de carbono por uso de suelo, estimados en este trabajo y otros estudios (toneladas ha ⁻¹).....	80
Cuadro 21. Comparación del valor de carbono y de la biodiversidad entre usos de suelo con los modelos del presente estudio y los propuestos por Murgueitio et ál. (2003).....	83
Cuadro 22. Precios aproximados para el servicio de fijación de carbono (\$US ton ⁻¹ C)	85
Cuadro 23. Pago por el servicio de la conservación de la biodiversidad por uso de suelo, basados en el índice ecológico de Murgueitio et al. (2003) y montos propuestos por Ibrahim et ál. 2007a y Pagiola et ál. 2007	86

Índice de figuras

Figura 1. Servicios ambientales “no-locales” (en el área oscura) generados por el sistema productivo	5
Figura 2. Escala de incidencia del aprendizaje	25
Figura 3. Rueda de aprendizaje (Prins 2006a)	26
Figura 4. Áreas protegidas y localidades en la Selva Lacandona	30
Figura 6. Distribución de los valores de las métricas dimensionales de cobertura arbórea por uso de suelo (US) (gráfico de cajas Box-Plot). Para las abreviaturas de los US ver el Cuadro 15. Hay solo una muestra de PL. Se muestran las medias y medianas (punto negro y línea perpendicular en el medio de la caja), los cuantiles 0.25 y 0.75 (límite bajo y superior de la caja), los cuantiles 0.05, y 0.95 (límite de las líneas verticales) y valores extremos (puntos individuales).....	57
Figura 7. Porcentaje de los tipos de VC (valor funcional de especies basado en el punto medio de las categorías de densidad de madera) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro)	59
Figura 8. Porcentaje del valor funcional de las especie con respecto al servicio de alimentación (VAL) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro)	60
Figura 9. Porcentaje del valor funcional de las especies con respecto a la provisión de hábitat (VHB) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro)	61
Figura 10. Porcentaje de categorías del valor de existencia de las especies (VEX) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro). En el eje x se observa el promedio (mVEX) de las categorías de valor, agrupadas en intervalos de 10 puntos, excepto de la primera y las dos últimas categorías	62
Figura 11. Porcentaje del valor funcional de las especies con relación al servicio de la biodiversidad (VBD) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro). El eje x muestra el promedio de las clases de valores, agrupados en intervalos de 10 puntos (mVBD).....	63

Figura 12. Regresiones del valor ecológico de los individuos para el servicio del carbono, estimado con el modelo base (Cdens) y el propuesto en este estudio (C), con relación a sus dimensiones dap, altura (H) y volumen (vol), y la densidad de madera de las especies a las que corresponden (d).....	64
Figura 13. Regresiones del valor de los individuos relativo a los subservicios de biodiversidad: alimentación (AL), hábitat (HB) y valor de existencia (EX), con sus dimensiones dap, H y diámetro de copa (dC), y su valor funcional (VF).....	66
Figura 14. Regresiones del valor de la cobertura arbórea para el servicio de carbono, estimado con el modelo base (Cdens) y el propuesto en este estudio (C), con relación al número, área basal (AB) y la suma del valor funcional (VC) de los individuos, en el área de la parcela de muestreo (PM) y en el área real	68
Figura 15. Regresiones de los modelos estimadores de los servicios de la cobertura arbórea a la biodiversidad (BD), con relación al número, área basal (AB) y sumatoria del valor funcional (VF) de los individuos en las parcelas de muestreo.....	70
Figura 16. Valor ecológico de la cobertura arbórea (CA): a y b) en el área real de las parcelas de los productores con relación al carbono (C) y la biodiversidad (BD); c y d) sin valores extremos bajos	71
Figura 17. Distribución de los valores para el servicio de fijación carbono (toneladas ha ⁻¹) en los diferentes usos de suelo (US), del modelo propuesto (C) y del modelo usado como base de comparación (Cdens) (gráfico de cajas Box-Plot).....	72
Figura 18. Distribución de valores de los diferentes usos de suelo (US): a) para los tres subservicios de la biodiversidad, alimentación (AL), hábitat (HB) y valor de existencia (EX), y b) para el servicio a la biodiversidad (BD) (gráficos de cajas Box-Plot).....	73
Figura 19. a) Distribución de valores (llevados a una escala de 0 a 1) para los servicios de carbono (C) y biodiversidad (BD) en los diferentes usos de suelo (US) (gráfico de cajas Box-Plot); b) Biplot obtenido por análisis de componentes principales de la relación entre los usos de suelo y los servicios ecológicos de carbono (C), biodiversidad (BD), alimentación (AL), hábitat (HB) y valor de existencia (EX)	74

Lista abreviaturas

aC: área de copa

AL: servicio de alimentación para la BD

BD: biodiversidad

BM: biomasa

C: carbono

CA: cobertura arbórea

CO₂: bióxido de carbono

d: densidad de madera

dap: diámetro a la altura del pecho

dC: diámetro de copa

DIM (AL, HB, EX): escala de dimensión usada en la estimación del valor del individuo para la alimentación, el hábitat y el valor de existencia del individuo

EX: valor de existencia dentro de la BD arbórea, como servicio a la BD

FEB: factor de expansión de biomasa

H: altura total

HB: servicio de hábitat para la BD

MO: materia orgánica

PSA: pago por servicios ambientales

REBIMA: Reserva de la Biósfera de Montes Azules, Chiapas, México

SA: servicios ambientales

SSP: sistemas silvopastoriles

US: uso de suelo

VF (C, AL, HB, EX y BD): valor funcional de la especie referido a cada uno de los servicios

Glosario

Área de protección de flora y fauna: área que contiene hábitat de cuyo equilibrio y preservación depende la existencia de especies de flora y fauna silvestres, y que su aprovechamiento puede ser autorizado a las comunidades que allí habitan (DOF 2008)

Monumento natural: área de administración federal, que contiene elementos naturales que por su carácter único o especial requieren de protección absoluta (DOF 2008)

Paisaje fragmentado: paisaje con usos agropecuarios donde la vegetación original se ha reducido a un 10 - 60% (McIntyre y Hobbs 1999)

Pasturas degradadas: pasturas que principalmente por el sobrepastoreo han perdido su productividad, y han sido invadidas por una variedad de arvenses y/o malezas

Pago por servicios ambientales: remuneración, por parte de la sociedad o grupos interesados, para externalidades ambientales que están generadas en sistemas productivos

Reserva de la biosfera: área biogeográfica relevante a escala nacional; incluye uno o más ecosistemas no alterados o que requieren ser conservados o restaurados, y donde habitan especies endémicas o en peligro mencionadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (DOF 2002, 2008)

Servicio ambiental: flujos y transformaciones de materia, energía e información del capital natural que benefician la calidad del ambiente e indirectamente a la humanidad (Constanza et ál. 1998)

Sistemas silvopastoriles: sistemas de producción pecuaria donde por lo menos una especie leñosa perenne (en este estudio: arbórea) interactúa ecológicamente con los componentes tradicionales (especies forrajeras herbáceas y animales) (Pezo e Ibrahim 1996). Por razones convencionales y pensando que los animales domésticos los aprovechan, usos de suelo como bosques ribereños y acahuales se incluyen en este término

1. Introducción

El crecimiento acelerado de la población y de los niveles de consumo, así como las inadecuadas formas de uso de la tierra, como la ganadería extensiva en el área de estudio, han provocado el deterioro ecológico del planeta (MEA 2003). Especialmente, por la drástica disminución de la superficie forestal y la presión que reciben los bosques remanentes, se ha visto la necesidad – sin menospreciar la conservación del bosque original – de apoyar la conservación de los recursos naturales aumentando la cobertura arbórea en el agro-paisaje; por ejemplo, cambiar los sistemas de ganadería extensiva a sistemas silvopastoriles (SSP). Esta opinión se apoya en diversos estudios realizados en América Latina que han mostrado el potencial del componente arbóreo en los sistemas productivos para facilitar los flujos de los procesos biofísicos, promover la biodiversidad en el paisaje (Harvey et ál. 2006, Sáenz et ál. 2007), apoyar en la regulación climática a través del secuestro de CO₂ (Andrade 1999, Rosa 2003) y disminuir la erosión de suelo, mejorando así la calidad del servicio hídrico (Hamilton y King 1983, Bruijnzeel 2004).

La transformación de los sistemas de ganadería extensiva tradicional en SSP, solo por el beneficio ecológico proporcionado, no es fácilmente aceptada por los productores ganaderos, por el hecho de que las altas densidades de cobertura arbórea pueden mermar la productividad de las pasturas (Esquivel 2007), además de implicar mayores costos de inversión y diferente manejo (Navarro 2005). Enfrentando esta realidad y para crear un balance económico de las externalidades ecológicas ofrecidas por la cobertura arbórea, se ha propuesto el pago a los productores por los servicios ambientales generados (PSA) (WB 2002; UNDP 2005, 2008). En México y específicamente en el estado de Chiapas, existe experiencia en el PSA por captura de carbono en varios sistemas agroforestales, sin embargo es menos difundida para los SSP (Soto-Pinto et ál. 2007). Las metodologías hasta ahora propuestas, para la estimación de los servicios ambientales (SA), tienen indicadores como la densidad arbórea, el tipo de bosque (Brown et ál. 1989, Chave et ál. 2005) o el uso de suelo (Murgueitio et ál. 2003, Ibrahim et ál. 2007b), pero no contemplan ni la diversidad ni los rasgos funcionales o las características de las especies y su potencial diferenciado para generar SA; por ejemplo, frutos para la provisión de alimento y densidad de copa para la provisión de hábitat y conectividad.

La investigación se llevó a cabo en cinco comunidades del municipio de Maravilla Tenejapa, en la Selva Lacandona (SL), sureste de Chiapas, México. La SL, según De la Maza, citado por INE (2000), representa la región de mayor biodiversidad en el trópico de América Septentrional y constituye uno de los corredores biológicos más importantes de la región de Mesoamérica del Norte, conectando la selva de la península de Yucatán con la Selva Maya de Guatemala (CONABIO 2004). En el presente estudio se propone una metodología para estimar el valor ecológico de la cobertura arbórea en SSP, que combina las dimensiones de los árboles y la densidad arbórea en el sitio, con los rasgos funcionales de las especies presentes, relativos a cada SA de interés. Asimismo, con el doble propósito de empoderar a los productores sobre el asunto ambiental y facilitar la evaluación de las tierras de la región en el futuro, en la metodología propuesta se contempla la inclusión de gente local, formando promotores informados sobre la importancia de los árboles en la generación de servicios ambientales, y capacitados para su medición en campo.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Desarrollar una herramienta metodológica participativa para estimar el valor ecológico de la cobertura arbórea en sistemas silvopastoriles, en una zona de la REBIMA de la Selva Lacandona, Chiapas, México, con el fin de evaluar su capacidad para generar servicios ambientales y promover el mejoramiento del paisaje agropecuario.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Formar promotores locales, involucrados activamente en el estudio y la problemática ambiental, y capacitados para que puedan efectuar muestreos periódicos.
2. Caracterizar la estructura y composición de la cobertura arbórea en tierras con SSP y otros usos de suelo en el área de estudio.
3. Identificar los rasgos funcionales de las especies arbóreas que contribuyen a los servicios ambientales de regulación climática y conservación de la biodiversidad.

4. Construir un índice ecológico de especies arbóreas, con base en sus rasgos funcionales y otras características, relacionados con su potencial para generar cada servicio ambiental de interés.
5. Estimar la capacidad del componente arbóreo de cada terreno ganadero para generar servicios ambientales, con base en los rasgos funcionales de las especies y sus dimensiones individuales.

2. Marco conceptual

2.1 Generación de servicios ambientales en los sistemas productivos

Diversos estudios han demostrado el potencial de un ecosistema productivo y específicamente de su componente arbóreo para ofrecer una variedad de Servicios Ambientales (SA) (Groot et ál. 2002, Beer et ál. 2003, MEA 2003). Según Beer et ál. (2003), los principales servicios ambientales que pueden proveer los sistemas agroforestales son: 1) el mejoramiento del suelo del sistema productivo, como ciclaje de nutrientes y aporte de materia orgánica (Esquivel et ál. 1998); 2) la conservación de la calidad y cantidad del agua (Mahecha 2002, Ríos et ál. 2008); 3) la regulación climática con el secuestro del CO₂ de la atmósfera (López 1998, Ávila et ál. 2001); y 4) la conservación de la biodiversidad (BD) en paisajes fragmentados (Harvey et ál. 2003, Harvey et ál. 2006, Pérez et ál. 2006). Por su lado, la Evaluación de los Ecosistemas de Milenio (MEA 2003) sugiere que la biodiversidad misma es la fuente de varios servicios ecosistémicos, clasificados en cuatro grandes grupos: *de base* (como ciclaje de nutrientes y protección del suelo); *de regulación* (como purificación de agua y regulación climática); *de provisión* (como agua, recursos genéticos y alimentos); y *cultural* (como los servicios estéticos y educacional). Cabe destacar, que se ha tratado de quitar a lo posible la visión antropocéntrica de este estudio, haciendo referencia a los servicios generados para el bien al ambiente y al ecosistema planetario y no directamente para el bien humano; aunque, se entiende que los servicios a la humanidad sería una consecuencia del bienestar ecosistémico general.

2.1.1 Servicios ambientales no locales ofrecidos por el componente arbóreo

En este estudio, los servicios ambientales (SA) generados por el componente arbóreo de un ecosistema productivo se diferencian entre *locales* cuyo valor está internalizado por lo que en este estudio no son tomados en cuenta, y *no locales* que sí nos interesan y que representan externalidades cuyo valor sería adecuado (re)conocer para retribuirlo a los productores que apoyen con su provisión (Figura 1).

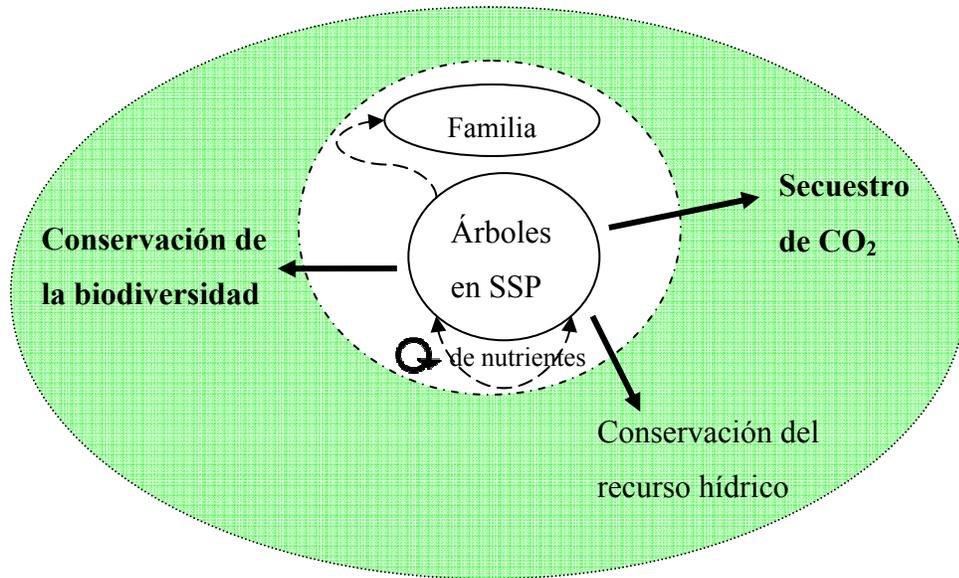


Figura 1. Servicios ambientales “no-locales” (en el área oscura) generados por el sistema productivo

Los servicios *locales* se consideran internalizados en el sistema parcela – familia, o porque son bienes aprovechables directamente por el productor y su familia, o porque son servicios de base que contribuyen a la productividad o a la resiliencia del sistema productivo como es el ciclaje de nutrientes.

Los SA *no locales* son los que están ofrecidos hacia afuera, que benefician a la sociedad a nivel regional, nacional o mundial, como la regulación climática por medio de secuestro del CO₂, la conservación de la biodiversidad, y la regulación y protección del recurso hídrico (Cuadro 1); coincidiendo en que estos son los SA más reconocidos en una variedad de estudios (WB 2002, CCAD-PNUD/GEF 2002, Groot et ál. 2002, MEA 2003, Beer et ál. 2003).

De estos tres, el servicio al recurso hídrico no se incluyó en este estudio por la dificultad de estimarlo con base solamente en la cobertura arbórea y también porque la zona está excluida del programa de pagos por servicios hídricos (PSA-H) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (DOF 2003).

Asimismo, el presente estudio no contempló la tecnología utilizada, como maquinaria e infraestructura por formar parte de otro tipo de investigación, y tampoco el tipo de pastura-

cultivo, por representar gusto y beneficio del productor – aunque no se puede negar su efecto al ambiente¹.

Cuadro 1. Servicios ambientales “no locales” ofrecidos por el componente arbóreo

<i>Servicio ambiental</i>	<i>Escala de impacto</i>	<i>Forma de servicio</i>
<i>Regulación climática</i>	mundial	– secuestro de CO ₂
<i>Conservación de la biodiversidad</i>	nacional y mundial	– provisión de alimento para fauna silvestre* – provisión de hábitat y conectividad – valor de existencia
<i>Conservación del recurso hídrico</i>	nacional y regional	– disminución de azolve y de contaminación de aguas cuenca abajo

En este estudio se analizaron solo los servicios a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad.

* Con “fauna silvestre” nos limitamos a los vertebrados silvestres, por ser un grupo de mayor vulnerabilidad y porque un grupo faunístico mayor tendría prácticamente infinitas posibilidades de alimentación y hábitat en cualquier especie arbórea.

2.1.1.1 Regulación climática

En los últimos años se ha incrementado el interés mundial sobre el cambio climático y las causas y efectos de este fenómeno. Se ha reconocido que este problema se debe a la presencia de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, de los cuales el CO₂ es de los más importantes, propiciando elevación de la temperatura media anual e irregularidades en la cantidad y localización de las precipitaciones. Este proceso está impactando en ecosistemas y comunidades biológicas y hay indicios de cambios en la biodiversidad, procesos también asociados al problema de la deforestación y quemas agrícolas. Además, se estima que el fenómeno disminuirá la productividad agrícola en las regiones tropicales y subtropicales,

¹ Para el índice ecológico, Murgueitio et ál. (2003), diferenciaron entre pasturas mejoradas y degradadas. Bajo posterior análisis, resultó que este no sería buen indicador ya que las pasturas mejoradas se degradan con el tiempo y tienen relativamente alto costo de monitoreo en relación con el SA generado (Ibrahim 2006).

reducirá la cantidad y la calidad del agua en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas y aumentará la incidencia de enfermedades. Hay dos tipos de solución a este problema, que pueden ser aplicadas al mismo tiempo; la primera de *adaptación*: producir y vivir con menos emisiones y gasto energético (que no es objeto de este estudio), y la segunda de *mitigación*: contribuir a la captura y almacenamiento o transformación de los GEI, como es el secuestro de CO₂ con el aumento de la cobertura arbórea (Informe Brundtland 1987, Agenda 21 1992, FAO 2002, WB 2002, MEA 2003, UNDP 2005, IPCC 2007).

La cobertura arbórea es capaz de secuestrar el carbono (C) del CO₂ y fijarlo en su biomasa y así contribuir a la regulación climática. Varios estudios reportan que la cantidad de carbono fijado en los SSP depende de la densidad arbórea, pero también de las diferentes especies arbóreas involucradas, por presentar éstas diferentes rasgos funcionales como tasa de crecimiento y densidad de madera (Nyberg y Hogberg, Jackson y Ash, y Rhoaders et ál., citados por Beer et ál. 2003). Se distingue que la capacidad de cada especie arbórea de secuestrar carbono en su biomasa a través del tiempo está en función de su tasa de crecimiento, mientras que la cantidad ya almacenada se estima en función de su volumen (área basal y altura) y su densidad de masa. El carbono ya fijado es el que se está tomando en cuenta en los diversos esquemas de PSA con desembolsos finitos (FAO 2002, WB 2002, Murgueitio et ál. 2003), aunque gracias a la posición expresada en el Protocolo de Kioto sobre el MDL, se ha tratando implementar políticas que amplíen el tiempo de los pagos (UNDP 2005, Pagiola y Platáis, citados por Pagiola et ál. 2007).

2.1.1.2 Conservación de la biodiversidad

En el trópico húmedo, la disminución de la matriz boscosa, causada principalmente por el aumento del área destinada a usos productivos, impacta en la biodiversidad (Laurence et ál. 2002), tanto en la existencia de los propios árboles (los componentes principales que le constituyen), como en la fauna que sustentan con la provisión de alimento y hábitat. Por esto, en el presente estudio, la conservación de la biodiversidad está caracterizada en términos de tres subservicios: de alimentación y de provisión de hábitat y/o conectividad para la fauna silvestre, y del valor de existencia o valor intrínseco de las especies arbóreas por su simple existencia y no por los servicios que ofrecen a otras especies ni a la sociedad, sean de producción, uso o de belleza escénica (Cuadro 1).

La cobertura arbórea (CA) en las áreas productivas es una buena alternativa para conservar y mejorar la matriz de paisaje, proporcionando potencialmente hábitat, alimento, pero también conectividad entre parches de bosques fragmentados (Beer et ál. 2003). Cabe destacar que la incorporación de árboles no se debe considerar como sustituto de la conservación de los bosques naturales remanentes, pero solo como una herramienta complementaria para la protección y conexión de los todavía existentes (Beer et ál. 2003). Esta actividad, sería de especial significancia en la SL por su localización e importancia dentro del corredor mesoamericano.

Numerosos estudios demuestran la importancia en la provisión de servicios para la biodiversidad de algunos usos de suelo como son los bosques ribereños, la vegetación secundaria, las cercas vivas y las pasturas con alta densidad arbórea (Harvey et ál. 2003, Estrada y Coates-Estrada 2005, Santivañez 2005, Chacón y Harvey 2006), a pesar de las diferencias en su composición de especies; por ejemplo en pasturas se reporta un menor número de especies dependientes del bosque primario (Cárdenas et ál. 2003, Hernández et ál. 2003, Tovar 2004). También, existen estudios sobre la diversidad arbórea con relación a sus funciones para la parcela y para el productor (Esquivel et ál. 2008, Sánchez et ál. 2005), sin embargo, no se ha hecho una combinación y diferenciación entre la diversidad y las funciones de las especies arbóreas que pueden apoyar en la conservación de la biodiversidad.

Diferentes especies arbóreas tienen diferentes funciones biológicas en el ecosistema (Lavorel y Garnier 2002, Díaz et ál. 2006); por ejemplo, hay especies que proveen de follaje perenne y denso siendo propicias para hábitat de aves y pequeños o grandes mamíferos, y hay otras que

proveen néctar, polen, otras semillas y frutas. Además, los árboles, aparte de los servicios que están dando para la fauna silvestre, tienen un valor intrínseco por su existencia misma dentro del sistema y la conservación de la biodiversidad (solo de árboles). Según una recopilación de Schroth et ál. (2004), los principales criterios para la conservación de la biodiversidad relacionados con la cobertura arbórea son:

- maximización de la diversidad florística y estructural del sistema
- inclusión de especies nativas, especialmente las que producen flores, frutos, o recursos importantes para la vida silvestre
- minimización de podas en el manejo

Para dar un ejemplo, se comparan los criterios del estudio de Schroth et ál. (2004) con los del presente estudio. Así, se tiene que los criterios, segundo – sobre producción – y tercero, apuntan sobre la provisión de servicios a la fauna; mientras, el segundo criterio – referente a especies nativas – habla sobre el valor de existencia de los individuos. De esta manera, hay árboles que ofrecen “solo un” servicio a la biodiversidad y otros, que ofrecen diferentes o más que uno de estos bienes y servicios a la vez. Ampliando la escala, y de acuerdo con el primer criterio de Schroth et ál. (2004), un ecosistema resiliente para el servicio de conservación de la biodiversidad, difícilmente podría ser monoespecífico, pero debería contener varias especies que pudieran cumplir con todas estas funciones.

2.1.2 Dificultad y alternativas en la adopción de los sistemas silvopastoriles

Aunque el aumento de la cobertura arbórea puede beneficiar al ambiente, por otro lado puede perjudicar la producción de los bienes, que es el principal objetivo del agro-ecosistema. Por ejemplo, en estudios realizados en SSP de tres zonas geográficas (Costa Rica, Nicaragua y Colombia), Sáenz et ál. (2007) estimaron la CA óptima del dosel para la conservación de las aves (42 especies de aves) en un promedio de 68.2%; mientras que Esquivel (2007) calculó que un incremento de la CA mayor de 20% afecta negativamente en la productividad de las pasturas establecidas para ganado, en cualquier época de año seca o húmeda, aunque en la época seca los resultados son todavía más contundentes.

En Chiapas, la implementación de los SSP, en comparación con otros sistemas agroforestales, es el que más restricciones técnicas y sociales ha mostrado (Soto-Pinto et ál. 2007). Según

Navarro (2005), la principal dificultad que enfrentan los productores en la adopción de los SSP y especialmente en la introducción del componente arbóreo – no arbustivo – es el tiempo de espera hasta que los árboles empiecen a producir ingresos. A largo plazo, aunque algunas especies de árboles podrían ofrecer provisiones a los productores, las ganancias potenciales no podrían sustituir las ganancias de la productividad ganadera.

En un mundo donde la mayoría de los procesos de producción tanto primaria como industrial no contemplan las externalidades negativas ecológicas, no se puede pretender que algunos (otra vez serían en su mayoría los campesinos pobres) produzcan los servicios ambientales requeridos para mantener o restaurar la resiliencia del sistema tierra (MEA 2003) sin ninguna recompensa (FAO 2002, Pagiola 2005, Pagiola y Platais, citados por Pagiola et ál. 2007).

Pensando en lo anterior, en la zona rural los productores tienen derecho de administrar su tierra de la forma que ellos consideran más productiva y de acuerdo a sus usos y costumbres (DOF 2009). Pero si en sus terrenos incluyen un componente que produzca bienes y servicios hacia el exterior de su sistema productivo, a escala regional o nacional como el caso del agua, o a escala mundial como sería la conservación de la biodiversidad y la regulación climática, esto debería ser valorado y de alguna forma retribuido o alentado.

Para enfrentar esta realidad, una de las soluciones que se están llevando a cabo es el Pago a los productores por la generación de Servicios Ambientales (PSA), ya sea por el cambio de uso del suelo de sus terrenos productivos, por el aumento de la densidad arbórea y por la aplicación de manejos más sustentables (WB 2002, Murgueitio et ál. 2003, UIC 2004, Soto-Pinto et ál. 2007, UNDP 2008). El PSA es una forma de apoyar a la conservación, basado en el doble principio de la filosofía económica, que los que reciben bienes o servicios deberían pagar por ellos y los que los proveen deberían ser compensados (Pagiola y Platais, citados por Pagiola et ál. 2007).

En los últimos diez años, esta corriente se ha visto aceptada por la política del Banco Mundial y varios países, al reconocer y compensar financieramente a los proveedores de los SA; acción con la cual se espera que, en viceversa, impacte directa o indirectamente en la protección y mejoramiento del ambiente (WB 2002). Estudios en fincas ganaderas en Nicaragua mostraron que el PSA influyó a la disminución de usos de suelo sin árboles (52 – 68%) y al incremento de usos de suelo como potreros con alta densidad de árboles (24%) y cercas vivas (160%) (Pagiola et ál. 2007).

2.1.3 Propuestas anteriores para la estimación del aporte de la cobertura arbórea a los servicios ambientales

Entre los dos servicios ambientales de interés ofrecidos por la cobertura arbórea, no se han desarrollado métodos directos de valoración para la conservación de la biodiversidad, pero solo para la regulación climática. Estas últimas, se basan en ecuaciones alométricas de estimación de la biomasa, por especie, con variables el volumen del árbol (dap y altura total) y el rasgo funcional de la densidad de madera (Andrade 1999, Ruiz 2002), o por tipo de bosque (Brown et ál. 1989, Chave et ál. 2005).

Una propuesta alternativa para facilitar el PSA, ofrecieron Murgueitio et ál. (2003) que crearon un índice ecológico (IE), mediante un taller con expertos, combinando un índice de carbono (C) (basado en una equivalencia de 10 ton = 1 punto) con otro de biodiversidad (BD) construido con base en el índice de C, subiendo o bajando puntos de acuerdo a la opinión de los expertos. Los valores en estos índices varían por la diferenciación de los tipos de uso de suelo (US) (28 usos), clasificados principalmente por el tipo de cobertura y la densidad arbórea: ± 30 árboles ha⁻¹ (Murgueitio et ál. 2003). Con base en estos índices crearon una línea base (*baseline*) de los sistemas productivos para pagos al productor por hectárea, por cada aumento que se lograra a través de los años. En el Cuadro 2 se muestran los principales usos de suelo con interés para el presente estudio.

Cuadro 2. Índices de carbono (C) y biodiversidad (BD) para diferentes usos de suelo

<i>Usos de suelo</i> *	<i>Índices</i>	
	<i>C</i>	<i>BD</i>
Pastura degradada o cultivo de granos y tubérculos	0.0	0.0
Pastura natural sin árboles	0.1	0.1
Pastura mejorada sin árboles	0.4	0.1
P. natural baja densidad de árboles (< 30 árboles 5 cm dap ha⁻¹)	0.3	0.3
Pastura mejorada baja densidad de árboles	0.6	0.3
Pastura natural alta densidad de árboles	0.5	0.5
P. mejorada con alta densidad árboles	0.7	0.6
Cerca viva (CV) nueva o con poda frecuente (≥ 2 año⁻¹)	0.3	0.3
CV multiestrato o rompeviento (≥ 4 m ancho de copa y 4 m de h)	0.5	0.6
Plantación de maderables en monocultivo	0.8	0.4
Plantación de maderables diversificada	0.7	0.7
Café (o plátano) sin sombra	0.2	0.3
Café con sombra	0.7	0.6
Sistema silvopastoril intensivo	1.0	0.6
Vegetación secundaria (en México acahuales)	0.8	0.6
Bosque ribereño	0.7	0.8
Bosque secundario intervenido	0.9	0.8
Bosque secundario	1.0	0.9
Bosque primario	1.0	1.0

Fuente: Murgueitio et ál. (2003)

* En negritas los encontrados en el área del presente estudio.

Los índices mencionados generalizan los servicios ambientales producidos por el US y la densidad de la cobertura arbórea presente (± 30 árboles ha^{-1}), sin tomar en cuenta su diversidad y composición taxonómica y funcional. Aunque, se ha comprobado que sistemas multiestrato como los barbechos mejorados, sistemas taungya y cafetales con sombra funcionan como sumideros de carbono y favorecen la regulación climática (Soto-Pinto et ál. 2007) a través del incremento de la densidad de árboles, no solo ésta sino también la riqueza de las especies arbóreas (Sáenz et ál. 2007) así como su composición florística (Santivañez 2005) se correlacionan, por ejemplo, con la riqueza de las especies de aves existentes. Aunque, la riqueza de especies dependientes del bosque es menor en los sistemas agroforestales con baja densidad de árboles que en los bosques naturales (Harvey et ál. 2006, Sanfiorenzo 2007), usos de suelo lineales como cercas vivas y bosques ribereños han mostrado ser particularmente importantes para la conservación de la biodiversidad por la conectividad potencial que ofrecen en paisajes fragmentados (Chacón y Harvey 2006), que no forma parte del presente estudio.

Por otro lado, se conoce que algunos rasgos funcionales y/o características de los árboles están estrechamente relacionados con su capacidad de proveer SA específicos (Díaz y Cabido 2001, Lavorel y Garnier 2002); aunque no se ha estimado a qué grado influyen en estos SA. La primera idea se explica pensando que áreas de pastoreo con la misma densidad arbórea pero con diferentes especies – por ejemplo, *Eucalyptus globulus* (Eucalipto, que no da frutos para la fauna silvestre) versus *Mangifera indica* (Mango, que sí da) o versus un área con árboles de uso múltiple (AUM) diversos como: *Inga* spp. (Chalum), *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Ficus* spp. (Ficus), *Cordia alliodora* (Bojón), *Brosimum alicastrum* (Ax´) – no ofrecen el mismo servicio de alimentación, y por lo tanto tampoco para la conservación de la biodiversidad. Asimismo, la cantidad del servicio a la regulación climática depende, no solo del volumen de la madera, sino también del rasgo funcional de densidad de madera de las especies involucradas. Por otro lado, parcelas con los mismos árboles – en especies y abundancia – pero con diferente nivel de crecimiento, tampoco ofrecerían la misma cantidad para ninguno de los servicios mencionados.

2.2 Ecología funcional y servicios ambientales

2.2.1 ¿Por qué ecología arbórea funcional?

Hooper y Vitousek (1997) indican que el funcionamiento ecosistémico no depende del número de las especies presentes, si no de los rasgos funcionales (RF) de estas especies. Además, Díaz et ál. 2007 sostienen que, aparte de los factores abióticos y la forma de uso de la tierra, la diversidad funcional es el factor más influyente al funcionamiento de un ecosistema. Precisamente, éstas son las ventajas para preferir la ecología funcional en estudios de ecología aplicada, donde los rasgos funcionales de las especies son más importantes que su clasificación estrictamente taxonómica.

La diversidad funcional se define por el valor y la abundancia relativa de los rasgos funcionales presentes en una comunidad (Díaz et ál. 2001, Jax 2005); mientras, los rasgos funcionales son características de especies, relacionadas con factores o procesos de funcionamiento de un ecosistema dado (Díaz y Cabido 2001).

En ecología funcional, las especies pueden ser agrupadas (o diferenciadas) en tipos ecológicos funcionales con base a sus RF, de diferentes formas dependiendo de los objetivos de cada estudio (Lavorel et ál. 1998). Así, un tipo funcional se caracterizaría por especies con RF similares por la respuesta que dan frente a un factor o ciertas condiciones del sistema, o en tipos funcionales con RF similares por los efectos que provocan sobre los procesos ecológicos y el funcionamiento del sistema (Lavorel et ál. 1998, Díaz y Cabido 2001, Lavorel y Garnier 2002, Cornelissen et ál. 2003). Por ejemplo, los tipos de especies con madera de baja densidad muestran ciclos bio-geoquímicos y respuestas a la perturbación y competencia más rápidas que los tipos de especies con madera de densidad alta.

En la presente investigación, interesan los RF más relevantes para caracterizar tipos ecológicos funcionales de especies arbóreas, por su efecto en la provisión de servicios ambientales “no locales” de secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad, dentro de una escala sistémica nacional o mundial.

2.2.2 Rasgos funcionales, características ecológicas y medidas de la cobertura arbórea que influyen en la generación de servicios ambientales

Las especies difieren en su contribución potencial al funcionamiento de los ecosistemas y por consecuencia a los servicios ambientales; lo cual puede ser inferido indirectamente por sus rasgos funcionales (RF) (Loreau y Hector 2001, Quetier et ál. 2007).

Por ejemplo, especies arbóreas con follaje denso podrían ofrecer más oportunidades de hábitat que especies de follaje ralo y otras, que producen frutas o follaje comestible para vertebrados, más oportunidades de alimentación (Lavorel et ál. 1998, Cornelissen et ál. 2003, Pausas y Lavorel 2003, Louault et ál. 2005, Mayfield et ál. 2006). El valor de las especies por su existencia puede ser inferido por RF, fácilmente medibles, que indican indirectamente su dificultad de existir, sobrevivir, crecer y competir con otras especies, como su tipo de dispersión, sistema reproductivo y densidad de madera; además, en el presente estudio se propone el uso de algunas caracterizaciones extrínsecas de la especie, que llamaremos características ecológicas (CE), como por ejemplo su estado de amenaza, que indican directamente este valor (Apartado 2.2.2.2).

Combinando los valores de las clases de los rasgos funcionales y de las características ecológicas relacionadas a un servicio ambiental, es posible valorar una especie, dentro de un índice funcional que refleje su potencial de ofrecer el SA de interés. La clasificación de las especies arbóreas por su contribución a los SA puede ofrecer criterios de selección de especies para cubrir necesidades determinadas. De esta manera serían unas las especies que mostrarían mayor potencial en la fijación de carbono y otras, las de mayor aporte a la conservación de la biodiversidad.

Para estimar la contribución de un individuo a los SA en un momento determinado (valor ecológico del individuo), aparte del valor funcional de la especie a la que pertenece es necesario conocer sus dimensiones, como: altura (H), diámetro a la altura del pecho (dap) y diámetro de la copa (dC), que influyen la magnitud de este valor, por la simple deducción de que un individuo joven ofrece menos recursos que un individuo de la misma especie de mayor tamaño.

Finalmente, se considera que con la suma de los valores ecológicos de los individuos de una comunidad o cobertura, se puede estimar el valor de la cobertura arbórea de un sitio al

momento del muestreo para su posible remuneración (PSA). La forma de estimación del valor de la cobertura arbórea propuesta, es equivalente al escalamiento desde los rasgos funcionales a nivel de individuos hasta el rasgo agregado a nivel de comunidad o población, definido por Violle et ál. (2007) con el nombre “parámetro funcional de comunidad” (PFC):

$$PFC = \sum_{i=1}^{n_i} A_i * ET_i$$

donde n_i es el número de las especies muestreadas en la comunidad, A_i es la abundancia relativa de las especies i en la comunidad, y ET_i es el rasgo de efecto de las especies i en la comunidad. El cálculo de PFC requiere del uso de funciones integradoras, algunas complejas y otras, simples aditivas cuando los efectos así lo son; por ejemplo, en el caso de estimación de la biomasa aérea en pie de una comunidad, que es la suma de la biomasa de los individuos. Pero, más allá del PFC, compuesto por los rasgos y su frecuencia, que proponen los autores mencionados, en el presente estudio se busca el valor ecológico de la comunidad que integra lo anterior con las métricas dimensionales de los individuos de la misma.

2.2.2.1 Rasgos funcionales relacionados con el valor de las especies para el secuestro de carbono y la regulación climática

En éste estudio, cuando se habla del carbono almacenado en la CA, se refiere solo a la biomasa arbórea que se encuentra arriba del suelo, por esto de aquí en adelante, cuando se cita el C, se habla solo del C de la parte aérea. El C se estima como una fracción de la biomasa de materia seca arriba del suelo (ton de MS) con valores que varían entre 0.43 – 0.53, usando un valor promedio convencional $C/BM = 0.5$ (IPCC 2003, FAO 2005).

La biomasa total de un sitio depende principalmente de la cantidad y el volumen (diámetro – altura total) de los individuos presentes, y su densidad de madera (d en gramos por centímetro cúbico) como rasgo funcional más importante (Brown et ál. 1989, Brown 1997). Como la densidad de madera de las especies muestra diferentes grados de variación por sitio y clima, algunos autores agrupan las especies en entre tres (Bárcenas y Dávalos 1999, García et ál. 2003) a cinco clases (Bárcenas 1995), aunque no existe concordancia de los rangos entre autores (Cuadro 3).

Cuadro 3. Caracterización de la madera por rangos de densidad

Clasificación	Rango de densidad relativa ($g\ cm^{-3}$)			
	otros autores *			en este estudio
muy suave			≤ 30	< 30
suave	< 0.50	< 0.45	$0.30 - 0.45$	$0.30 - 0.44$
mediana	$0.50 - 0.60$	$0.45 - 0.69$	$0.45 - 0.54$	$0.45 - 0.59$
densa	> 0.60	≥ 0.70	$0.55 - 0.69$	$0.60 - 0.74$
muy densa			≥ 0.70	≥ 0.75

* Los tres tipos de clasificación son propuestos por Bárcenas y Dávalos (1999), García et ál. (2003) y Bárcenas (1995), por orden de columna respectivamente.

Otro rasgo que influye a la estimación de la BM aérea total, aunque en mucho menor grado, es el factor de expansión de biomasa (FEB) que muestra la relación entre la BM aérea total con la BM comercial o del fuste, estando altamente correlacionado con la segunda (Brown 1997, Brown 2002).

$$FEB = \frac{BM_{total}}{BM_{fuste}} = \frac{BM_{fuste} + BM_{copa}}{BM_{fuste}}$$

Pero, el FEB no es realmente un rasgo funcional sino una característica que cambia con la edad del árbol, comúnmente es más grande en árboles pequeños y decrece exponencialmente hasta tener valores constantes en árboles de volumen más grande (Brown 2002); aun así, como está directamente relacionado con la biomasa del fuste, árboles de mayor biomasa fustal, mostrarían también mayor BM total. El FEB se estima generalmente mediante modelos alométricos, con valores que oscilan entre 1.07 y 2.57 para especies en potreros de Nicaragua (Ruiz 2002), 1.4 – 1.9 entre especies de bosques de clima húmedo (Segura 2005) y entre 1.44 en bosques secundarios de clima húmedo y 1.56 en plantaciones (Fonseca et ál. 2009), considerando un valor promedio de 1.6 (Ruiz 2002, Segura 2005).

En el presente estudio, no se tomó en cuenta la BM debajo del suelo que es la suma de la BM radicular más la BM que está almacenada como materia orgánica MO en el suelo. La biomasa radicular depende directamente y puede ser inferida de la BM total del árbol arriba de suelo

con una relación promedio de 0.22 - 0.26 y rangos que varían entre 0.11 y 0.33 para bosques tropicales (Sanford y Cuevas, citados por Brown 1997, Cairns et ál. 1997), aunque puede llegar hasta 30% en los bosques secundarios dependiendo de la abertura de la copa y la edad del bosque (Lugo, citado por Brown 1997). Algunos rasgos de las especies arbóreas que podrían ser útiles para estimar el carbono almacenado como MO en el suelo son: la densidad específica foliar y la fuerza tensil foliar, propuestos por varios autores (Cornelissen et ál. 2003, Louault et ál. 2005, Díaz et ál. 2006, Wright et ál. 2006, Fernández 2007). Cabe hacer mención, que estos rasgos podrían también ser relacionados con la capacidad de recarga de acuíferos, ya que con una mayor cantidad de MO, se mejora la estructura de suelo, hay más porosidad y se permite una mejor infiltración de agua (Bruijnzeel 1990).

2.2.2.2 Rasgos funcionales y características ecológicas relacionados con el valor de las especies para la conservación de la biodiversidad

La contribución de los árboles en la conservación de la biodiversidad, desde el punto de vista de su estimación para los PSA, es asumida pero poco estudiada. En el presente estudio, está caracterizada en términos de tres servicios: dos de provisión a otras especies, de alimentación y de hábitat y/o conectividad para la fauna silvestre, y uno que indica el grado de conservación de las especies arbóreas mismas, llamado “valor de existencia” o valor intrínseco de las especies, no por ofrecer algo a otra especie, sino por su existencia misma en el sitio con relación a sus iguales (otras especies arbóreas).

Para la alimentación de la fauna silvestre se toma en cuenta la variedad en la producción de frutos, semillas, follaje-forraje, recursos florales (Thiollay 1995, Lavorel et ál. 1998, Cornelissen et ál. 2003, Pausas y Lavorel 2003, Louault et ál. 2005, Mayfield et ál. 2006) y la provisión de estos en épocas críticas por la escasez en recursos (Foster 1990), que para la región de estudio es la época de secas. Para algunas especies la producción de fuentes alimenticias es conocida, en otros casos se puede conocer indirectamente por alguna característica que sea atrayente para los vertebrados como pulpa dulce, alto valor nutritivo, palatabilidad y referencias de ser preferidos por animales domésticos lo que induce a que son también comestibles por vertebrados silvestres (Howe y Smallwood 1982, observaciones personales de la autora) (Cuadro 4).

Entre los rasgos funcionales de la cobertura arbórea y que más afectan a la disposición de hábitat y conectividad para la fauna silvestre se consideraron la densidad y la perennidad foliar

de la copa (Lavorel et ál. 1998, Cornelissen et ál. 2003), con el supuesto que árboles caducifolios y ralos ofrecen menor potencial para percha, escondite o construcción de nidos, por lo que son menos preferidos por la fauna silvestre (Cuadro 4). No se encontró información que sostenga los criterios anteriores, pero hay estudios que hablan del uso de la copa por vertebrados (Pérez-Rivera 1985), medianos (Faller-Menéndez 2005) y grandes mamíferos para su escondite o descanso, y la importancia de volumen del follaje del dosel para la diversidad de aves en bosques agroforestales (Thiollay 1995).

El “valor de existencia” es el valor que tienen las especies arbóreas por su simple existencia y no por los servicios que ofrecen a otras especies ni a la sociedad, sean de producción, uso o de belleza escénica. Por ejemplo, un oso polar o una hormiga tienen valor por su simple existencia aunque nunca fueran utilizados o admirados por los seres humanos. Autores como Groom et ál. (2006) indican que este valor se entiende por como sentiríamos si algún día estas especies se extinguieran; por esto este valor puede ser muy relativo por el punto de vista antropocéntrico, ya que a algunas personas no les importaría y otras les darían un nivel de importancia y “valor” igual o diferenciado.

En el presente estudio se consideró que solo las especies nativas en el bosque original de la región de estudio tienen valor de existencia para la conservación de la biodiversidad, y que de éstas tienen mayor valor las especies amenazadas, las de mayor potencial de alcanzar el dosel superior, las más vulnerables por ser preferidas para su uso (presión destructiva), las de menor probabilidad de dispersión, reproducción y crecimiento rápido. Aunque, no hay estudios anteriores sobre el valor de existencia de los árboles, hay algunos estudios que afirman la relación entre rasgos funcionales y abundancia de individuos en el área o lo que es opuesto, indican su vulnerabilidad. Por ejemplo, Finegan y Delgado (2000) en potreros con regeneración natural en Costa Rica encontraron que aunque la riqueza de especies dispersadas por vertebrados fue mayor, la mayoría de los individuos encontrados fueron especies dispersadas por viento.

Así, el valor de existencia de una especie puede inferirse por algunas rasgos o indicadores directos de éste, que llamaremos características ecológicas, como: si es introducida, amenazada y bajo presión destructiva por su uso, escogidos por su relevancia y facilidad de evaluación, y por sus rasgos funcionales como densidad de madera, altura máxima potencial alcanzable, tipo de dispersión y sistema reproductivo (Lavorel et ál. 1998, Finegan y Delgado

2000, Cornelissen et ál. 2003, Pausas y Lavorel 2003, Mayfield et ál. 2006). De esta forma, se consideró que especies introducidas como *Mangifera indica*, *Musa* sp., *Citrus* sp. y *Delonix regia* no tienen valor de existencia en el sitio por no ser especies del bosque local primario, y que las que pertenecen a cualquier categoría de amenaza al hacer estimación directa de la vulnerabilidad tienen el valor máximo. La vulnerabilidad se consideró relacionada con la presión que recibe del hombre, que es la suma de las preferencias por su madera, fibras, leña, palmito en el caso de las palmas u otros productos que se obtienen a través de métodos destructivos; la leña se consideró como un uso medianamente destructivo por provocar lesiones y eventualmente enfermedades o drástica disminución del vigor del árbol pero de manera indirecta. Sobre los rasgos funcionales, se consideraron de menor valor las especies con densidades de madera baja que tienen mayores probabilidades de crecimiento volumétrico rápido y que por lo tanto se espera sean especies pioneras abundantes en los sitios; las especies que no tienen el potencial de llegar a un nivel de altura de dosel superior, las que no necesitan dispersores biológicos externos, y las monoicas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Relación potencial de los rasgos funcionales (RF) y las características ecológicas (CE) con el valor de las especies arbóreas para la conservación de la biodiversidad

<i>Servicio</i>	<i>RF y CE</i>	<i>Criterio</i>
Alimentación	Oferta de alimento	Todos los alimentos son importantes para diferentes especies de vertebrados. No se da importancia a la cantidad o tamaño de alimento pero sí a la variedad de oferta
	Alimento en época crítica	Especial énfasis se da para la producción de alimento en épocas de escasez de recursos
Hábitat y conectividad	Densidad de copa	Especies de fauna silvestre prefieren árboles con copas densas para su percha y escondite
	Perennidad de follaje	La densidad de copa toma mayor importancia durante los meses en que las especies arbóreas guardan su follaje
Valor de Existencia	Nativa / Introducida	Solamente las especies nativas se valoran por su existencia en el sitio
	Amenaza	Especies en cualquier estado de amenaza tienen máximo valor de existencia
	Presión destructiva	Valor indirecto; la existencia de especies con alto uso (destructor) en parcelas productivas significaría una disminución de la presión que sufren en el bosque original
	Densidad de madera	Especies con densidad de madera alta requieren más recursos en materia y tiempo para alcanzar el mismo volumen que especies de densidad de madera baja
	Altura máxima potencial alcanzable	Especies que no alcanzan los niveles de dosel superior en el bosque original tienen menor valor de existencia
	Tipo de dispersión	Especies autócoras no tienen problemas de dispersión. Potencialmente, mayor dificultad presentan especies que requieren agentes de dispersión escasos
	Sistema reproductivo	Especies dioicas, necesitan obligatoriamente de la existencia de otro individuo de la misma especie dentro del radio de alcance de sus agentes de polinización, lo que potencialmente disminuye la tasa reproductiva en sitios de población baja

2.2.2.3 Dimensiones de los individuos que afectan el potencial del valor ecológico de las especies y de la cobertura arbórea

La capacidad de la cobertura arbórea de un área para generar SA depende de los diferentes rasgos de las especies presentes pero también de las dimensiones de los individuos: altura (H), dap y diámetro de copa (dC). Aunque éstas están correlacionadas su relación puede cambiar – especialmente, en sistemas productivos y por los daños que los árboles sufren de animales y humanos, por lo que es necesario tomar en cuenta más de un tipo de dimensión para reflejar el tamaño del árbol en relación con cada SA.

La influencia de los diferentes tipos de dimensión en el valor ecológico de un individuo varía por cada servicio ambiental. El volumen del árbol – estimado por el dap y la H – es proporcional a la cantidad de carbono almacenado. Para la alimentación, el dap refleja la etapa de desarrollo del árbol y el dC la condición y tamaño de la copa donde los recursos alimenticios se producen. Los tipos de medidas del árbol más relacionados con el servicio de hábitat y conectividad son el dC, por reflejar el volumen de la copa donde la fauna silvestre puede tener refugio (Thiollay 1995), y la H porque influye en la atracción de animales depredadores o frugívoros, como la Cotinga piquiamarillo (*Carpodectes antoniae*) (Stiles y Skutch 1989) y otras aves (Thiollay 1995), que prefieren las alturas para su movimiento. El dap y la H se consideran como las más influyentes del valor de existencia, pensando en las dificultades superadas y los recursos requeridos por las especie para llegar al volumen o la etapa de desarrollo alcanzada (Cuadro 5).

Finalmente, en escala de área toma importancia la suma del valor funcional de las especies existentes ponderada por las dimensiones de los individuos, tomando en cuenta la densidad arbórea por unidad de área.

Cuadro 5. Relación potencial de los rasgos funcionales (RF), características ecológicas (CE) y medidas de los árboles con los servicios ambientales (SA)

SA	Tipo de efecto funcional	Medidas del individuo	RF y CE de la especie	Fuentes consultadas sobre RF y CE*	
Regulación climática	Fijación de Carbono	dap	densidad de madera	Cornelissen et ál. 2003, Díaz et ál. 2006	
		altura	factor de expansión de biomasa	Brown 1997, Díaz et ál. 2006	
Conservación de la biodiversidad	Alimento para la fauna silvestre		fruto	Mayfield et ál. 2006, Wright et ál. 2006	
		dap	semilla	Pausas y Lavorel 2003, Mayfield et ál. 2006, Wright et ál. 2006	
		diámetro de copa	follaje (forrajero)	Pausas y Lavorel 2003, Louault et ál. 2005	
			recursos florales	Mayfield et ál. 2006	
			alimento en época de secas	-	
	Hábitat y conectividad	altura	densidad de copa	Lavorel et ál. 1998	
		diámetro de copa	perennidad	-	
	Valor de Existencia			nativa / introducida	DOF 2002
				amenaza	DOF 2002, IUCN 2007
		dap		presión destructiva	-
altura			densidad de madera	-	
			altura máxima	-	
			tipo de dispersión	Finegan y Delgado 2000, Cornelissen et ál. 2003, Pausas y Lavorel 2003, Mayfield et ál. 2006	
		sistema reproductivo	Lavorel et ál. 1998, Cornelissen et ál. 2003		

* Los autores citados no necesariamente, relacionan los rasgos mencionados con este tipo de efecto funcional.

2.3 ¿Por qué usar una metodología participativa en la investigación?

Partiendo del ideal de un proceso de desarrollo sustentable, aparte del económico, se reconoce que hay que cumplir con tres retos fundamentales: a) la conservación de la biodiversidad y de los procesos ecológicos que sostienen a los ecosistemas del planeta, b) la participación social, y c) la educación – capacitación y proporción de información para su conocimiento a la ciudadanía; de acuerdo con algunos de los planteamientos que los pueblos indígenas hicieron a los estados nacionales de la región latinoamericana desde los principios del siglo XXI (Leff et ál. 2005). Aquí se indaga sobre la importancia y las formas que se pueden incluir el segundo y tercer incisos en la puesta en marcha de un proyecto.

El involucramiento de representantes y técnicos comunitarios, con los OGs y ONGs, entidades académicas y fuentes financieras, es necesario desde el nivel organizativo de un proyecto de desarrollo, la identificación de problemas y hasta su puesta en marcha y evaluación (Nascimento 1998, Sinclair y Walker 1999, Vaz 2000, Jiménez-Ferrer y Soto-Pinto 2004, Haggar 2005, Somarriba 2005, Soto-Pinto et ál. 2005, Brum 2006, Soriano 2006). Finalmente, como no siempre puede haber técnicos que acompañen un proceso, la gente local es la que tiene que apropiarse de éste, cosa que primero requiere que las propuestas respondan a problemas de la realidad actual y sean adaptables (Bunch 2006).

Pero solo si los interesados tienen acceso a la información y los conocimientos relacionados, el involucramiento y la apropiación aspirados pueden ser efectivos. El conocimiento es una fuente de poder o privilegios y el acceso diferencial contribuye a las disparidades entre grupos sociales (Thrupp 1989) que no viene acorde al desarrollo sustentable que se está buscando. Para los proyectos agroforestales, no se trata solo de cambiar el uso de suelo, sino de entrar en una lógica de manejo sustentable de los recursos naturales por lo que es fundamental el logro de conocimientos y la creación de una conciencia ambiental (Aguilar et ál. 2001). Hasta ahora, gente local y sus organizaciones han participado en equipos mixtos de trabajo para la realización de inventarios y bancos de datos de sus territorios que han servido en proyectos de desarrollo (Leff et ál. 2005). De la misma forma, el conocimiento proporcionado a representantes de grupos sociales ha ayudado a que ellos valoraran por sí mismos y contribuyeran en la valoración objetiva de sus recursos por actores externos (Jiménez-Ferrer y Soto-Pinto 2004).

La adopción de un nuevo proyecto por los productores, por las comunidades y en mayor escala por una región, empieza de forma paulatina, porque el(la) productor(a) no posee el conocimiento y no quiere sacrificar trabajo, tiempo y espacio en algo que no ha visto previamente funcionando en su sitio. Para que los productores minimicen los riesgos y las incertidumbres asociadas a los nuevos paradigmas es importante que reciban toda la información necesaria antes de implementar cualquier proyecto en sus tierras (Alonzo et ál. 2001 y Pattanayak et ál. 2003).

En el proceso inicial, es clave la formación y participación de líderes comunales capacitados “promotores” para promover un proyecto en sus propias comunidades (Soto-Pinto et ál. 2005). De esta forma, el escalamiento de la información y las acciones se lleva acabo de forma más natural por medio de redes informales (familia y vecinos) (Prins 2006b) o formales, como la Red Selva de ganadería alternativa en Chiapas creada con este propósito el 2006 (Jiménez-Ferrer et ál. 2007), tomado poco a poco dimensiones mayores (Figura 2). Actualmente, varios grupos de trabajo pioneros señalan que llevando un aprendizaje mutuo basado en intereses comunes se produce una sinergia recíproca que genera conocimientos prácticos más eficaces y adaptables a las condiciones culturales y ecológicas de las comunidades involucradas (Haverkurt y Hernández, citados por Leff et ál. 2005).

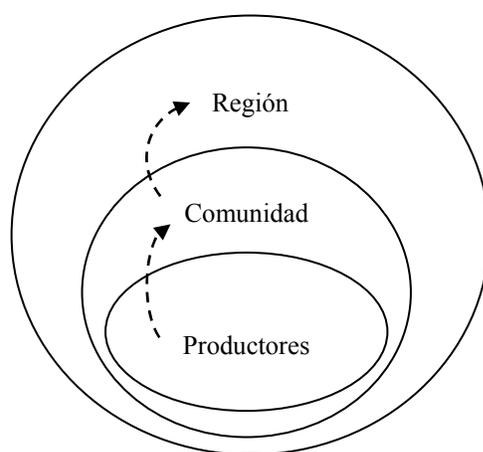


Figura 2. Escala de incidencia del aprendizaje

Entre las metodologías participativas de capacitación que han dado pauta a estos procesos de cambio están: los talleres de capacitación participativa, el intercambio de experiencias

(campesino a campesino), las parcelas demostrativas de las escuelas de campo (ECAs) y la investigación-acción participativa (FAO 1995, Soto-Pinto et ál. 2005, Hagggar 2005, Brum 2006, Prins 2006a, Méndez 2006, Soriano 2006). El curso de ésta última es representativa de los procesos participativos; inicia con algunos productores-investigadores con curiosidad innata que prueban la “nueva técnica” en pequeña escala, si en el nuevo ciclo productivo se obtengan resultados positivos la adoptan y se llevan acabo mayores acciones (Prins 2006b, 2006c) (Figura 3).

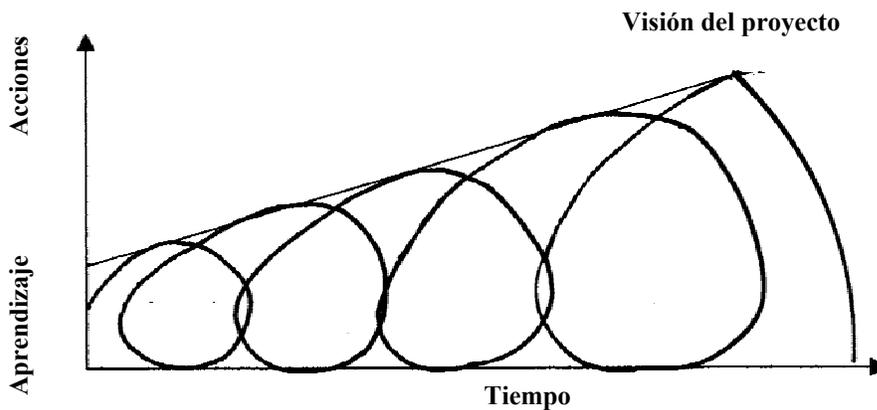


Figura 3. Rueda de aprendizaje (Prins 2006a)

En un proyecto de desarrollo sustentable, sea para la reforestación en zonas agropecuarias, así como para generar ingresos complementarios para los campesinos, y aunque los costos podrían ser considerables – el proceso tiene que ser acompañado por formadores de promotores, contar con materiales educativos adecuados, herramientas e infraestructura para llevar a cabo talleres de capacitación participativa – sería indispensable la inclusión de la gente local, su capacitación – educación y proporción de información, por ser tanto la finalidad como el medio del éxito de un proyecto (Aguilar et ál. 2001).

2.4 Importancia e historia de la Selva Lacandona

2.4.1 La importancia ecológica internacional de la Selva Lacandona

La Selva Lacandona (SL) ubicada en Chiapas, México, forma una pequeña porción del Corredor Biológico Mesoamericano, aproximadamente un 2% de los 760,000 km² que lo

conforman. La SL misma, constituye uno de los corredores biológicos más importantes de la región de Mesoamérica del Norte, conectando la selva de la península de Yucatán con la Selva Maya de Guatemala (CONABIO 2004), ésta última considerada como la selva tropical perennifolia continua más extensa del continente después de la Amazonía.

Por la concentración de diversidad biológica en los ecosistemas de la Selva Lacandona y su núcleo la REBIMA, la CI (2004), la ha considerado una de las dieciocho áreas con mayor biodiversidad del trópico húmedo de América y uno de los ocho sitios prioritarios para la conservación en la Mesoamérica del norte. Asimismo, junto con Gran Petén y la laguna de Tigre, la Selva Lacandona es una de las tres Áreas Clave para la BD dentro del corredor de la selva Maya (CONABIO 2004, CI 2004). Según INE (2000), las especies de anfibios y reptiles presentes en la Selva Lacandona y el Petén de Guatemala y Belice constituyen una misma fauna; mientras Paynter (1957) y González-García, citado por INE (2000) reportan una especie de ave endémica y 28 especies amenazadas o en peligro de extinción. Sobre árboles, Martínez et ál., citados por INE (2000), solo para la zona de Chajul en el sur de la REBIMA, reportan un total de 194 especies, de las cuales 23 se encuentran amenazadas, en peligro de extinción o son endémicas.

2.4.2 Importancia social y ecológica de la Selva Lacandona para México

La Selva Lacandona, además de ser una región cultural y socialmente importante, ofrece recursos ecológicos: hídricos e hidroeléctricos, escénicos, forestales, de biodiversidad y genética. Por su importancia ecológica y social se cataloga en las 152 Regiones Terrestres Prioritarias de México (CONABIO 2005).

La SL contiene un importante y complejo sistema hidrológico, que representa el 53% de la cuenca del Río Usumacinta y una pequeña porción del río Grijalva. Estos dos ríos forman la región hidrológica de mayor extensión en México (11,550,700 ha) y el séptimo más grande del mundo (Martínez, citado por INE 2000), con un escurrimiento medio anual de 85 billones de m³, que representa el 30% de los recursos hidrológicos superficiales del país y el 56% de la energía hidroeléctrica generada a nivel nacional (Toledo y Carrillo, citados por INE 2000). Como Ortiz y Toledo (1998) señalan, su macizo forestal es lo que permite la regulación hidrológica regional, mantiene la humedad de los suelos y controla la erosión.

Por otro lado, la accidentada topografía ha influido en la existencia de una gran complejidad y

diversidad de ecosistemas, siendo considerada una de las regiones de mayor diversidad de flora y fauna silvestres de México (Ortiz y Toledo 1998, INE 2000). La Selva Lacandona es uno de los dos corredores biológicos del estado de Chiapas, conectando el Área Natural Protegida (ANP) El Ocote con otras ocho áreas naturales protegidas incluidas en su territorio, cinco pequeñas de 2.5-12 mil ha, dos medianas de 60 y 100 mil ha y una grande, la REBIMA con aproximadamente 330 mil ha. En ésta última existen el 90% de las especies de invertebrados asociadas con el bosque tropical perennifolio de México, así como 70 especies aparentemente exclusivas de esa región; 11% de la herpetofauna, y el 24.8% del total de mamíferos de México en menos del 0.5% del territorio nacional, lo cual la convierte en la región con mayor riqueza de mamíferos del país (INE 2000).

En el territorio conviven siete grupos étnicos mayas: tzeltales, tzotziles, choles, tojolabales, zoques, mames, lacandones o caribes, y los mestizos. Es una zona geopolíticamente estratégica por su posición en la frontera sur del país, pero también de muy alta conflictividad política por aspectos de irregularidad en la tenencia de la tierra de comunidades-ejidos indígenas y mestizas existentes dentro del territorio que se declaró como reserva (REBIMA), la alta presencia militar, los despojos y la resistencia indígena con la presencia del EZLN “Ejército Zapatista de Liberación Nacional” (Vos 2002).

2.4.3 Breve historia de los impactos en la Selva Lacandona

No obstante la importancia de la Selva Lacandona por su gran riqueza cultural y natural, ha sido y sigue siendo principal y fuertemente afectada por la aplicación de programas no acordes a la realidad socioambiental de la zona (INE 2000). El crecimiento acelerado de la población, la migración, los incendios, y las actividades extractivas y agropecuarias, principalmente la ganadería que está en auge, han provocado la drástica disminución de la superficie forestal y su deterioro ecológico especialmente en las zonas de amortiguamiento, así como en partes dentro de la REBIMA. Vos (2002) comenta que por la intervención humana la SL ha sufrido en el último medio siglo cambios mayores que en los 500 años anteriores.

La destrucción masiva de la SL inició en el siglo XIX, con la Ley de Baldíos (1863), que alentó a empresas privadas penetrar la selva para explotar maderas preciosas de *Swietenia macrophylla* (caoba) y *Cedrela odorata* (cedro), entre otros. La deforestación de la selva siguió en el siglo XX, y se incrementó en las décadas de los 50's y 60's, cuando los gobiernos

estatal y federal implementaron una política de colonización y ganaderización de la Selva Lacandona para dar solución a las necesidades de familias provenientes de los estados de Veracruz y Guerrero, como de etnias maya de las tierras altas del Estado de Chiapas (CONABIO 2004), otorgando generosos préstamos y otros apoyos para desmontar nuevas áreas o para convertir otras en pastizales (Ortiz y Toledo 1998). En 1974 con el gobierno de Luis Echeverría Álvarez, se creó por decreto presidencial la empresa paraestatal COFOLASA “Compañía Forestal de la Lacandona SA” que siguió con la explotación de madera (Guerrero 2003).

El interés y la “preocupación científica” empujó al gobierno a establecer en 1978 la REBIMA, la primera Reserva de la Biosfera en México, con una extensión de 331,200 ha (Figura 4). Esta acción tuvo una gran falla sociocultural, ya que no tomó en cuenta los derechos de los pueblos indígenas que ya vivían en estas tierras (INE 2000). Tampoco tuvo resultados ecológicos positivos, porque no hubo un plan de manejo, no se detuvo a la explotación maderera de COFOLASA, ni la ganaderización de la región que ya contaba – y sigue contando – con muchos incentivos. Si entre los años 1860 y 1960 se deforestaron 665 mil hectáreas de las 1.3 millones que existían; entre los años 1954-1989 se reporta la destrucción de más del 30% de la superficie arbolada que quedaba en la Selva Lacandona (INE 2000) y entre los años 1979-1993 el 41% (Gobierno de Chiapas 2006).

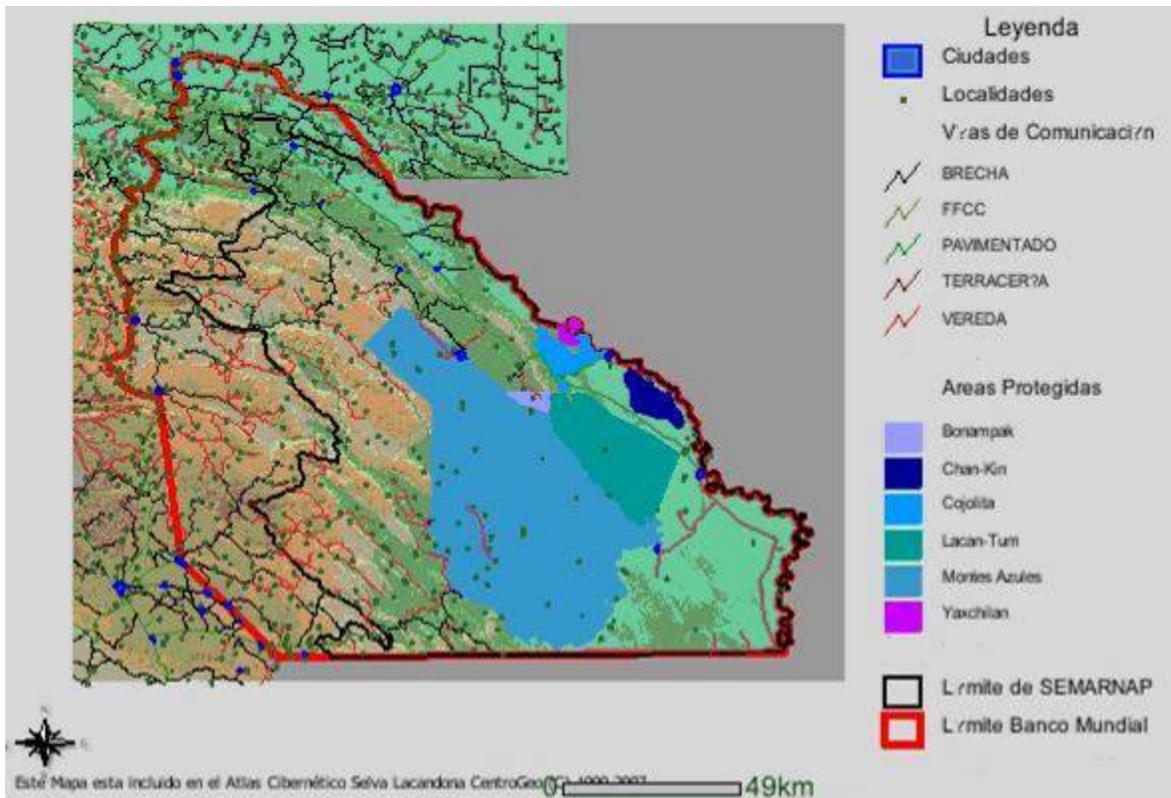


Figura 4. Áreas protegidas y localidades en la Selva Lacandona

En años posteriores, durante el periodo de 1992 a 1998, en la periferia de la REBIMA y dentro de la SL, fueron establecidas otras seis zonas de protección estatales y una comunal con una superficie total de 123,660 ha: el Área de Protección de flora y fauna Chankin (12,184 ha), Monumento Natural Bonampak (4,357 ha), Reserva de la Biosfera Lacan-Tun (61,873 ha), Áreas de Protección de flora y fauna Nahá (3,847 ha), Metzabok (3,368 ha), Monumento Natural Yaxchilán (2,621 ha), y por acuerdo de la Comunidad Lacandona la Reserva Comunal de la Sierra Cojolita con 35,410 ha (Figura 4) (INE 2000).

2.4.4 La ganadería en la Selva Lacandona y los sistemas silvopastoriles

Actualmente, la ganadería bovina es una de las principales actividades productivas en la Selva Lacandona. Precisamente, la crisis ecológica y social de la región junto con los apoyos del gobierno derivó en que la ganadería bovina sea una de las mejores alternativas para solventar la economía de las familias campesinas. Sin embargo, los modelos de desarrollo, el dinamismo de esta actividad en la SL y en otras partes del trópico del mundo se ha basado en sistemas

ganaderos extensivos, uno de los usos de la tierra con mayor impacto negativo al ambiente, que aparte de baja productividad e inequidad social, han contribuido en la emisión de GEI (bióxido de carbono y metano) a la atmósfera y la deforestación, y por consecuencia a la pérdida de biodiversidad (FAO 2005).

El resultado es que la REBIMA y los bosques remanentes de la SL han disminuido su capacidad para la conservación de los recursos naturales, por su área restante restringida y por el aislamiento que tienen entre sí (CONABIO 2005), sin posibilidades de crear más áreas protegidas, principalmente por la presión poblacional de las comunidades existentes (INE 2000, Vos 2002).

Conociendo las particularidades de la región, como solución ha sido contemplado por varias instituciones gubernamentales (Gobierno del Estado de Chiapas, CONANP), educativas (ECOSUR, U. A. Chapingo), redes locales (RED de ganaderos Silvopastoriles) y ONG (AMBIO), juntar esfuerzos para cambiar el uso productivo predominante de la tierra de pasturas extensivas en usos de suelo más amigables para el ambiente por medio del aumento de la cobertura arbórea (Jiménez-Ferrer et ál. 2007). La propuesta para lograr lo anterior es la transformación del paradigma de producción mencionado hacia SSP que mantienen la producción pecuaria bajo sombra arbórea, potencializando la generación de servicios ambientales.

3. Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

La Selva Lacandona se localiza en el oriente del estado de Chiapas, extremo sureste de México, con latitud N: 16° 04' 12'' a 17° 26' 24'' y longitud W: 90° 22' 48'' a 92° 02' 24'' (CONABIO 2005). Tiene una superficie de 12,988 km² o 1.3 millones de ha (*Figura 5*; CONABIO 2005, INE 2000), aunque estudios posteriores indican que cuenta con solo 960,000 de ha, aproximadamente (Hernández 2005). Se considera como el área de influencia de la Reserva de la Biosfera de Montes Azules (REBIMA) con 331,200 ha (INE 2000) que se encuentra en su centro.

El estudio se llevó a cabo en cinco comunidades de la microrregión Amatlán, municipio de Maravilla Tenejapa, en la parte sur de la Selva Lacandona; ubicadas en alturas que llegan de los 200 a 300 msnm, con 250 a 550 habitantes, y todas cercanas a algún tributario del río Jataté. Entre las características que las diferencian están que la comunidad Amatlán se ubica en la zona de amortiguamiento de la REBIMA y muchos de sus habitantes son mestizos originarios del estado de Veracruz; mientras las otras cuatro: La Democracia, Plan del Río Azul, Nueva Argentina y Nueva Sabanilla se ubican en el “Área de Aprovechamiento Sustentable” de la reserva, con acceso a la carretera principal por medio de un puente solo desde el año 2005, y la mayoría de sus habitantes son originarios de otras regiones de Chiapas y hablan dialectos mayas como tzol y tojolabal.

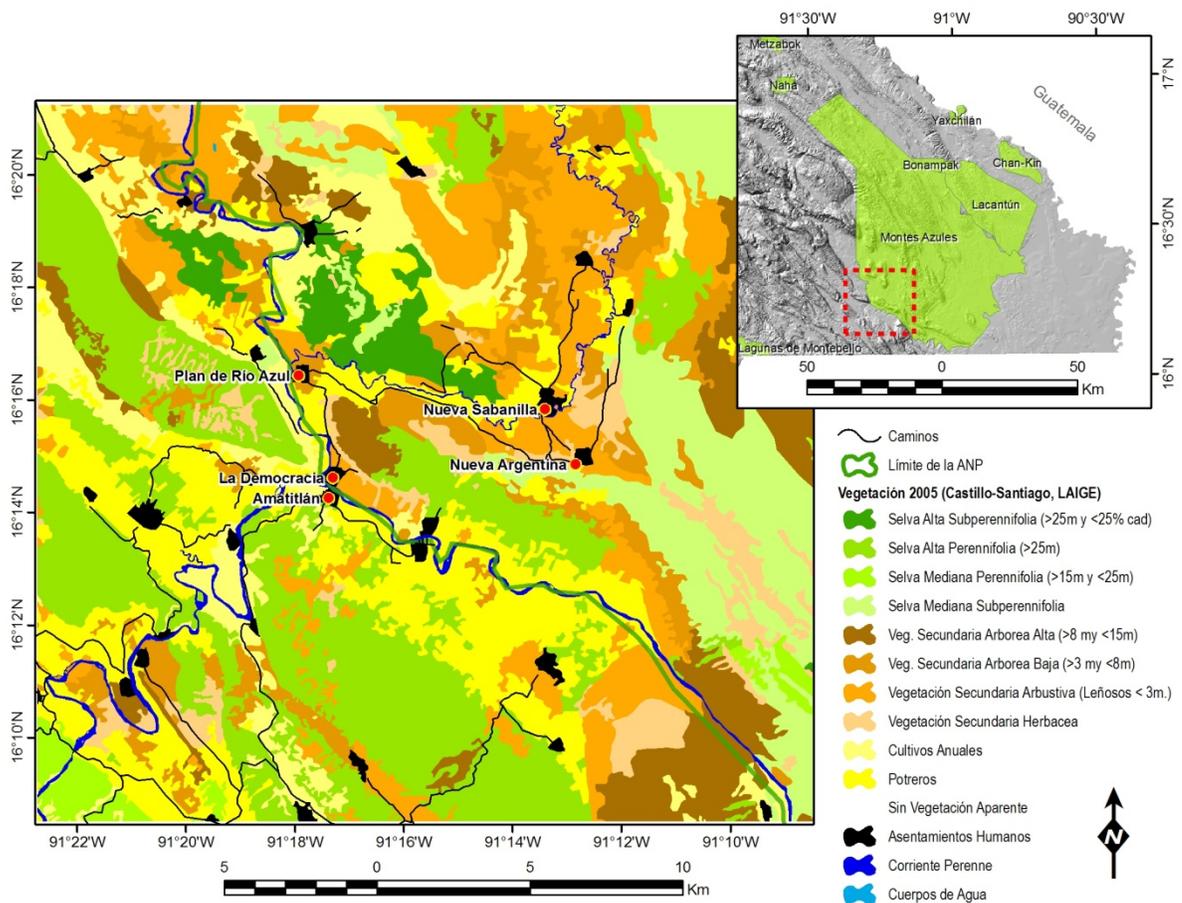


Figura 5. Ubicación geográfica de la Selva Lacandona

Fuente: estudios de ECOSUR SCLC, Chiapas, México.

3.1.1 Aspectos fisiográficos

El clima predominante en la región es tropical húmedo con una temperatura promedio anual entre 22 y 26 °C, con baja oscilación térmica anual, dividida a lo largo en dos grandes zonas térmicas; una hacia el límite internacional con Guatemala con temperaturas de 24-26 °C, y la otra hacia la sierra con 22-24 °C. La precipitación promedio anual va desde los 1,000 mm en el sur, hasta arriba de los 3000 mm en el norte. La estación lluviosa se extiende desde fines de mayo-principios de junio hasta octubre-noviembre. Existe también un porcentaje menor de lluvias invernales provocadas por masas de aire frío provenientes del norte (Vásquez-Sánchez y Ramos 1992).

La Selva Lacandona se sitúa sobre pliegues montañosos con una orientación noroccidental, constituidos principalmente por calizas de edad cretácica; con mayores elevaciones hacia el sur en contacto con el sistema montañoso conocido como macizo de Chiapas, reduciendo gradualmente al noreste hasta desaparecer en la planicie costera de Tabasco (López y Ramos, citados por Geocentro 2007). Con base en la información de García-Gil y Lugo, citados por Geocentro (2007) se encuentran cuatro formas de relieve principales: el montañoso estructural, el sistema de colinas y lomeríos, el pie de monte y el sistema fluvial. Las comunidades del estudio están situadas sobre tierras del sistema fluvial que tiene importancia solo en el extremo suroriental de la región, cerca de donde fluye el río Lacantún. Los sedimentos de la planicie aluvial son principalmente arenas y arcillas.

El clima de la región favorece los procesos de alteración de los minerales del suelo y la rápida degradación de la materia orgánica. Estos procesos, que dan origen a los suelos de la selva y permiten la resiliencia del sistema, son fácilmente modificados con los desmontes y las quemadas. Al remover la vegetación el suelo puede cambiar; disminuye la materia orgánica, cambia la circulación del agua en el perfil y aumenta la acidez. En la Selva Lacandona, se han reconocido diversos tipos de suelos asociados a las formas del relieve, clasificadas según FAO en litosoles, cambisoles, luvisoles, acrisoles, gleisoles, fluvisoles, rendzinas y vertisoles (Vásquez-Sánchez y Ramos 1992).

La red hidrográfica superficial incluye corrientes perennes e intermitentes de primer, segundo y tercer orden, que van en dirección noroeste-sureste. Los principales ríos son el Usumacinta, localizado al noroeste y el Grijalva al extremo suroeste. Otros ríos que destacan son: el Jataté,

Perlas, Lacantún y Lacanjá, todos tributarios del Usumacinta, convirtiéndose así en una de las cuencas hidrográficas más importantes de Mesoamérica (Hernández 2002, Geocentro 2007).

Por la variabilidad en altura y precipitación, en la Selva Lacandona se encuentra una amplia gama de tipos de vegetación: subtipos de selva tropical, alta y mediana perennifolia y subperennifolia y selva baja; así como superficies importantes de subtipos de bosque templado, de coníferas y latifoliadas, y bosque mesófilo de montaña (García-Gil y Lugo, citados por Geocentro 2007). Los tipos de vegetación más representativos en las comunidades de estudio son la selva alta perennifolia en la que se encuentra caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro rojo (*Cedrela odorata*), y la selva mediana perennifolia en la que destaca el bari (*Calophyllum brasiliense*) (Hernández y Miranda, citados por Hernández 2002). Los tipos de vegetación secundaria o perturbada más frecuentes son los *acahuales*¹ en diversas etapas de regeneración, los cultivos de subsistencia y las plantaciones de cultivos perennes en el sotobosque de la selva (INEGI, citado por Geocentro 2007).

3.1.2 Aspectos sociales

La población de la Selva Lacandona se estima en 493,797 habitantes (año 2000) ubicados en alrededor de 500 localidades en la zona de amortiguamiento de la REBIMA y algunas dentro de esta, la mayoría de origen indígena compuesta por varios grupos étnicos (Gobierno de Chiapas 2006). El 81% de los municipios de la Selva Lacandona tienen índices de desarrollo humano (IDH) bajos y muy bajos, clasificándola como la segunda en México con IDH más bajo (CDI-PNUD 2006).

Existen tres regímenes de la tierra: el comunal, el ejidal y el privado, que se tienen que tomar en cuenta en las propuestas de acciones para el desarrollo (Vásquez-Sánchez y Ramos 1992). La principal actividad económica de la gente es la agricultura de subsistencia (maíz, frijol); seguida por la ganadería (bovinos y ovinos) y el cultivo de café. También se destaca el cultivo de chile, calabaza, yuca, ajonjolí, plátano y caña de azúcar; así como la recolección de hule y palma, y la explotación forestal (INEGI, citado por Geocentro 2007).

¹ Pequeños parches de bosque remanente perturbado dentro de terrenos productivos, resultado del sistema agrícola tradicional de roza, tumba y quema, o no desmontados pero altamente intervenidos.

Por tamaño de superficie, la actividad más importante es la ganadería extensiva con pastizales que ocupan gran parte del territorio en el norte y occidente de la región. La ganadería en las comunidades de estudio en Maravilla Tenejapa y las comunidades de región Cañadas – San Quintín, Ocosingo se practica en laderas y es más rústica, mientras que en las regiones de Marqués de Comillas, Frontera Corozal y Benemérito de las Américas el proceso de ganaderización ha sido más dinámico, ocupa zonas planas de grandes extensiones y tiene mayor relevancia económica (cría y engorda de becerros al destete) con destino principal los mercados locales y regionales del sureste de México (Jiménez-Ferrer et ál. 2008). En general, en la Selva Lacandona existe un creciente proceso de degradación de las áreas donde se practica el pastoreo, sin embargo no hay estudios que precisen la magnitud de éste problema.

3.2 Bases metodológicas

En la presente investigación se basó parte en el trabajo en gabinete y parte en el trabajo de campo con la colaboración de gente local. El especial énfasis dado en la participación de los primeros interesados – los productores – cumplió con dos objetivos: formar promotores locales, involucrados activamente en el estudio y la problemática ambiental, y capacitados para que puedan efectuar muestreos periódicos. Por esta razón, para la parte del trabajo de campo se establecieron procedimientos de medición de fácil aplicación. Las principales fases de la investigación, así como si estas incluyeron la participación de la gente local (MP) o fueron metodologías convencionales (MC), se observan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Propuesta metodológica para el estudio y niveles de participación

<i>Fases de investigación</i>	<i>Objetivos</i>	<i>MC*</i>	<i>MP*</i>	<i>Herramientas</i>
Selección del área de estudio	- Selección de comunidades	X		Entrevistas informales con agentes de desarrollo
	- Selección de promotores		X	Recorrido de campo Exposición del proyecto en consejo local y juntas ejidales
Formación de promotores - investigadores	- Concientización sobre los árboles y los SA		X	Exposición en junta ejidales
	- Capacitación para el muestreo de árboles	X	X	Taller participativo Acompañamiento y corrección
Muestreo de la cobertura arbórea	- Delimitación de manejo local relacionadas con los SA	X	X	Consulta con promotores
	- Selección de los terrenos a muestrear		X	Consulta con promotores
	- Identificar especies arbóreas y tomar dimensiones	X	X	Muestreo, verificación en campo Verificación de especies arbóreas por informantes clave y botánico
Caracterización funcional de las especies arbóreas	Identificar los rasgos funcionales de especies y establecer las escalas de valor para cada uno	X		Revisión de literatura científica
			X	Entrevistas con informantes clave
Estimación del valor ecológico de la cobertura arbórea	Conocer el valor de una parcela para el PSA	X		Trabajo de gabinete, aplicación de modelos matemáticos
Presentación de resultados	Compartir conocimientos adquiridos con base en la herramienta sobre:			Discusión y retroalimentación con:
	- utilidad de la ecología funcional	X		- comité de tesis, expertos
	- facilidad en el muestreo - facilidad en su aplicación		X	- promotores y productores ganaderos

* MC: metodología convencional

MP: metodología participativa

3.3 Selección de las comunidades en el área de estudio

El estudio se realizó en 50 parcelas productivas de cinco comunidades del área de estudio, escogidas por cumplir con los siguientes criterios:

- Tener como principal actividad la ganadería (por ser la actividad con mayor impacto en la región)
- La participación en proyectos del Fondo Bioclimático (AMBIO)
- El interés en participar a futuro en proyectos de servicios ambientales
- El potencial de la comunidad para suministrar SA y/o provocar impacto a la REBIMA

Las comunidades se seleccionaron con base en un reconocimiento previo del área de estudio y entrevistas con los principales actores y agentes interesados en el desarrollo de la zona, gente de la REBIMA, del Proyecto Estudio de los Gases de Efecto Invernadero en áreas de pasturas degradadas en la Selva Lacandona, Chiapas México (SEMARNAT-CONACyT), de la RED de ganaderos silvopastoriles de la Selva y el Fondo Bioclimático de AMBIO.

La selección se consolidó después de exponer el proyecto en la asamblea del Consejo Asesor de la REBIMA y en las juntas ejidales de cada comunidad propuesta, y haber tenido su aprobación. Asimismo, se aprovechó de los mismos espacios de reunión comunitarios (juntas ejidales) de las comunidades preseleccionadas para explicar los objetivos del estudio a los productores e invitar a dos potenciales promotores de cada una a involucrarse.

3.4 Formación de promotores-técnicos

La aplicación incluyente de la investigación requirió de una etapa inicial de formación de diez promotores locales. La formación se llevó a cabo con talleres participativos teóricos y prácticos, centrados en la sensibilización y concientización de los promotores sobre importancia mundial - local de los SA y en su capacitación técnica para la toma de datos en campo. El contenido general de los talleres se indica en el Cuadro 7. También, se documentaron los detalles para llevar a cabo cada taller en cartas descriptivas y guiones (Anexo 1).

La invitación a dos potenciales promotores en cada comunidad para involucrarse se hizo explicando los objetivos del estudio en espacios de reunión comunitarios (juntas ejidales) de

las comunidades preseleccionadas, y bajo ciertos requisitos: que tengan escolaridad mínima para leer y escribir, y experiencia en la identificación de especies arbóreas locales.

Cuadro 7. Acciones de capacitación para la formación de promotores

Nombre del Taller	Objetivos	Herramientas
1. Taller teórico de concientización sobre SA	Mostrar la problemática e importancia de la cobertura arbórea para la generación de servicios ambientales	Presentación en PowerPoint (Anexo 2)
2. Taller teórico sobre muestreo de la cobertura arbórea	Capacitación teórica para la realización del muestreo de árboles en campo	Presentación en PowerPoint (Anexo 3)
3. Taller práctico sobre muestreo de la cobertura arbórea	Demostración completa de la toma de datos en campo; incluye: diferenciación de los usos de suelo, selección de áreas de muestreo y medición de árboles	Manual (Anexo 4) Formatos (Anexo 5)
4. Taller de validación de conocimientos prácticos	Acompañamiento en la toma de datos en campo para aclarar dudas y métodos de medición	Muestreo realizado por los promotores

3.5 Protocolo de muestreo

Los promotores – investigadores seleccionaron diez terrenos de productores de su comunidad, con el prerequisite que estos fueran destinados principalmente a la producción ganadera y que mostraran una variedad de coberturas y diversidad arbórea. El protocolo del muestreo consideró los siguientes pasos:

- Diferenciación de los terrenos productivos en usos de suelo homogéneos
- Selección de las parcelas de muestreo
- Muestreo de la cobertura arbórea e identificación de especies
- Verificación de las especies y de sus mediciones

Con la información del muestreo realizado por los promotores, se organizaron dos bases de datos, una con el número y las áreas de los usos de suelo en cada terreno productivo, y otra con los árboles y sus medidas (nombre común y científico del árbol, dap, altura y diámetro de copa).

3.5.1 Diferenciación del terreno en usos de suelo homogéneos

Se hizo un croquis de cada terreno, y mediante transectos se verificaron los diferentes usos de suelo existentes y sus áreas, considerando la densidad y diversidad de árboles ≥ 10 cm de dap. Los usos de suelo predominantes fueron potreros con más de 30 árboles (PA+), potreros con pocos árboles ≤ 30 (PA-), bosques ribereños (BR) y cercas vivas (CV); también, se encontraron usos de suelo sin árboles ≥ 10 cm dap (PS), acahuales (AC), cafetales con sombra (CF) y plantaciones con árboles mixtos (PL), y fueron los que se analizaron en este estudio.

3.5.2 Selección de las parcelas de muestreo

En cada uso de suelo (US) se formaron parcelas de muestreo (PM) del tamaño de una *cuerda* ($20 \text{ m} * 20 \text{ m} = 400 \text{ m}^2$), medida conocida por los productores de la región; excepto en áreas con ≤ 30 árboles donde se realizó censo y en áreas grandes con pocos árboles, donde los promotores tuvieron la tendencia de muestrear el 10% del área total del sitio. En general, el número de repeticiones (n) de las PM fue proporcional al tamaño del área (Cuadro 8). Especialmente, para las cercas vivas y los bosques ribereños cuyos anchos no alcanzaba los 20 m, se tomaron dos pseudo-repeticiones ($2 * 10 \text{ m} * 20 \text{ m} = 400 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Para el caso de las cercas vivas se consideró que una franja de 1,000 m lineales y 10 m de ancho equivale a 1 ha de muestreo.

Cuadro 8. Selección del tamaño de la muestra

<i>Uso de suelo (US)</i>		<i>Parcela de muestreo (PM)</i>	
<i>Área</i>	<i>dimensión (ha)*</i>	<i>repeticiones (#)</i>	<i>tamaño (ha)*</i>
<i>muy pequeña</i>	< 1	1 muestra	0.04
<i>pequeña</i>	1 – 3	2	0.08
<i>mediana</i>	3 – 5	4	0.16
<i>grande</i>	> 5	6	0.24

* Sólo para cercas vivas, 1 ha = una franja de 1,000 m lineales de cerca viva por 10 m de ancho.

3.5.3 Muestreo de la cobertura arbórea

Para facilidad, se muestrearon individuos de árboles con $dap \geq 10$ cm, como representativos de la vegetación existente en la parcela de muestreo. Variables que inicialmente se pensó tomar, como poda de las ramas de los árboles y retiro de materia seca (limpia), se excluyeron por falta de uso en las comunidades de estudio. Las variables y la metodología utilizadas para la medición de la cobertura arbórea se muestran en el Cuadro 9. Detalles sobre el muestreo se encuentran en la carta descriptiva del taller de capacitación práctica (Anexo 1). La toma de datos por los promotores se sistematizó mediante formatos preestablecidos (Anexo 5) y la información al final fue validada mediante un esfuerzo de un 10% del área muestreada (1 de cada 10 parcelas).

Las especies se identificaron por su nombre común, marcando con cintas las desconocidas, y la consistencia de sus nombres en las comunidades de estudio se verificó con el apoyo de informantes clave escogidos entre los promotores. Verificación adicional se realizó con el apoyo de un taxónomo del herbario de ECOSUR, unidad San Cristóbal de Las Casas, Chiapas (ECO-SC-HE). Paralelamente, se consultó a los informantes clave sobre algunos rasgos funcionales y características ecológicas de los árboles, como densidad de madera, perennidad de follaje y presión por uso.

Cuadro 9. Variables y métodos para la medición de la cobertura arbórea

<i>Variable</i>	<i>Método</i>
nombre del árbol	identificación de las especies arbóreas con su nombre común, o anotación de especie parecida y características sobresalientes
diámetro a la altura de pecho (dap) de cada eje	medición directa con cinta diamétrica
altura total	en los talleres con clinómetro y cinta métrica y en la toma de datos real por observación visual
diámetro promedio de copa	promedio de 1-3 diámetros con cinta métrica

3.6 Protocolo para la estimación de valor funcional ecológico arbóreo

Después de la identificación y medición de los individuos, los pasos que se siguieron para estimar el valor ecológico de las especies y de la cobertura arbórea para cada servicio ambiental de interés, almacenamiento de carbono y conservación de la biodiversidad, constituida por alimentación, hábitat y valor de existencia, fueron:

- Estimar el valor funcional ecológico de las especies, combinando el valor de clases categóricas de sus rasgos funcionales y características ecológicas, relativos a los diferentes servicios ambientales potencialmente ofrecidos (Índice ecológico de especies arbóreas).
- Estimar métricas dimensionales de los individuos arbóreos, combinado el valor de clases de dos de sus dimensiones (dap, altura, y diámetro de copa), relativas a cada servicio ambiental de interés.
- Estimar el valor ecológico de los individuos arbóreos, ponderando el valor funcional ecológico de la especie a la que pertenecen por sus métricas dimensionales.
- Estimar el valor ecológico de la cobertura arbórea de un sitio sumando el valor ecológico de los individuos arbóreos.

Para llevar a cabo lo anterior propuesto se organizó una base de datos para los índices ecológicos de las especies con sus rasgos funcionales y características ecológicas, relacionadas con los servicios ambientales mencionados. Una base de datos más se organizó, combinando la base de datos del muestreo de los árboles y sus dimensiones con el valor ecológico funcional de las especies.

3.6.1 Índice ecológico de especies arbóreas para cada servicio ambiental

Se propuso construir un índice ecológico en una escala de valores absolutos con intervalo de 1 a 100, que relaciona las especies arbóreas con el potencial que tienen para generar un servicio ambiental determinado, que en este estudio fueron el almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad. El valor funcional de cada especie, dentro de los índices ecológicos para cada SA, se estimó combinando los valores de las clases de diferentes rasgos funcionales (densidad de madera, densidad y perennidad de follaje, recursos alimenticios, altura máxima potencial alcanzable, sistema de dispersión y tipo de reproducción) y características ecológicas (tales como si recibe presión destructiva por su uso, si está amenazada y si es introducida). Para esto se usaron ecuaciones que se construyeron con la sumatoria o multiplicación del valor promedio de cada clase de valores, multiplicados por un valor de “peso” y ponderados, dependiendo del SA de interés. Más adelante se muestra en forma detallada como se construyeron los índices para cada servicio ambiental.

Los valores de los rasgos funcionales y las características ecológicas de las especies identificadas se investigaron en varias fuentes bibliográficas de literatura científica y algunos se consultaron también con informantes clave. En casos de controversia en la literatura (ej. perennidad de follaje, densidad de madera, sistema reproductivo) se prefirieron las fuentes regionales. Para la densidad de madera se usaron las fuentes de Tamarit (1996), Martínez y Martínez-Pinillos (1996), Barajas et ál. (1997), Bárcenas y Dávalos (1999), Zavala (2000), Cordero y Boshier (2003), y Chave et ál. (2006). Las características ecológicas de las especies, de si estas son introducidas o amenazadas se consultaron en las listas de IUCN (2007) y en el DOF (2002), siendo preferida la segunda por ser nacional. Para los usos “destructivos”, se consultó a los promotores y se realizó revisión de literatura de Pennington y Sarukhán (2005) y Cordero y Boshier (2003). Para la densidad de copa se usaron los conocimientos de la investigadora y se consultó a Pennington y Sarukhán (2005). Para la perennidad de follaje se

formaron tres clases (perennifolias, subperennifolias, caducifolias) por la duración promedio en la que las especies pierden su follaje, nombradas como tal en Croat (1978), Cordero y Boshier (2003), y Pennington y Sarukhán (2005). Para la producción de diferentes tipos de alimento y su estacionalidad, la altura máxima potencial alcanzable y el sistema reproductivo se consultó a Croat (1978), Pennington y Sarukhán (2005) y las bases de datos del Jardín Botánico de Missouri (<http://www.tropicos.org>). El tipo de dispersión se consultó en Croat (1978) y Pennington y Sarukhán (2005).

3.6.1.1 Índice funcional para el secuestro de carbono

Para estimar el valor funcional de una especie arbórea en el servicio potencial de secuestro de carbono (VC) se usó solo el rasgo de densidad de la madera. Como en la literatura los datos sobre densidad de madera (d) varían, se formaron cinco clases ($D_m = 1, \dots, 5$): muy suave ($< 0.30 \text{ g cm}^{-3}$), suave ($0.30 - 0.44 \text{ g cm}^{-3}$), mediana ($0.45 - 0.59 \text{ g cm}^{-3}$), densa ($0.60 - 0.74 \text{ g cm}^{-3}$) y muy densa ($\geq 0.75 \text{ g cm}^{-3}$) (Cuadro 3). El valor funcional (VC) de cada especie por su aporte en el secuestro de carbono, se estimó con base en la distancia del valor promedio de la clase a la que corresponde su densidad de madera (D_m) con respecto al valor promedio de las otras clases ($D_m + 0.5$), y multiplicando por un factor $i = 100 / 5.5$ para llevarlo a la escala propuesta:

$$VC = \frac{D_m + 0.5}{5.5} * 100 \quad (1)$$

Así, dentro de la escala de valores absolutos de 1 a 100, se obtuvieron cinco categorías de valor funcional para carbono ($VC = 27, 46, 64, 82$ y 100), con menor valor las especies de madera más liviana como *Ceiba* sp., y con mayor valor las de madera más densa, como *Acosmium panamensis*.

3.6.1.2 Índice funcional para la conservación de la biodiversidad

La estimación del índice o valor funcional de una especie frente a la conservación de la biodiversidad se hizo combinando tres subservicios: provisión de alimento, provisión de hábitat y valor de existencia.

Provisión de alimento para la fauna silvestre

El valor de una especie arbórea por su provisión en alimento (VAL) se estimó por medio de cuatro rasgos, la provisión en fruto (Fr), semilla (Sm), forraje/follaje (Hj) y recursos florales

(Fl), y cuatro más por la producción de cada alimento en la época de secas (SqFr, SqSm, SqHj, SqFl) (Cuadro 4, Apartado 2.2.2.2). Todos los rasgos fueron valorados en escala binaria (0: no ofrece alimento para vertebrados o no lo ofrece en la época de secas y 1: sí lo ofrece), pero el rasgo de Sq para cada tipo de alimento ofrecido se ponderó por la mitad del valor asignado para cada recurso. En una escala de valores absolutos de 1 a 100, las especies que ofrecen un tipo de alimento se consideraron aproximadamente 8 veces más valiosas de las que no ofrecen ningún alimento registrado, y así sucesivamente para cada un tipo de alimento agregado, ponderando la diversidad de diferentes tipos de alimento con un factor $i = 4$ y elevándolo a la potencia $j = 1.455$. Además, para evitar valores nulos, tomando en cuenta que las especies arbóreas con puntaje cero para todo tipo de alimentos según los criterios planteados, aunque indirectamente, siempre ofrecen servicio alimenticio a los vertebrados¹, se añadió un punto en el modelo (+1).

$$VAL = \left(\left(Fr + Sm + Hj + Fl + \frac{SqFr + SqSm + SqHj + SqFl}{2} \right) * 4 \right)^{1.445} + 1 \quad (2)$$

Así, se formaron doce clases de valor funcional de especies para el servicio de alimentación, donde las que ofrecen los cuatro tipos de recurso en la época de secas, como *Inga jinicuil*, tuvieron valor máximo (VAL =100); mientras, las especies que ofrecen menor cantidad de los diferentes tipos de recursos alimenticios, como *Ficus* sp., o no los ofrecen en la época de secas, como *Bursera simarouba*, tuvieron menor valor, y las que no ofrecen ningún recurso alimenticio, como *Blepharidium guatemalense*, tuvieron el valor mínimo (VAL = 1).

Provisión en hábitat y/o conectividad para la fauna silvestre

El valor de una especie arbórea por su capacidad potencial en proporcionar hábitat y conectividad para la avifauna (VHB) se estimó combinado los valores de dos rasgos: densidad de copa (Dc) y perennidad de follaje (Pn) (Cuadro 4, Apartado 2.2.2.2). Para la densidad de copa se usó una escala ordinal (1 – 3), dando mayor valor (3) a las especies de copa densa. Para la perennidad de follaje se consideraron tres clases: caducifolias, las que pierden sus hojas de 4 ó más meses (1); subperennifolias, las que pierden sus hojas por cortos períodos hasta 3 meses (2), y perennifolias (3). Para obtener el VHB se ponderaron los valores de las

¹ Por ejemplo, el follaje y las semillas de los árboles, aunque no sean directamente alimento para los vertebrados, sí lo son para los insectos, que estos a su vez alimentan a los vertebrados.

clases de rasgos de tal forma que cada clase subsecuente de densidad de follaje tuviera tres veces el valor de la clase anterior y las especies subperennifolias y perennifolias 2 y 3 veces el valor de las caducifolias, respectivamente. Los valores se ponderaron por un factor $i = 100/27$, para llevarlos dentro del intervalo de la escala propuesta.

$$VHB = \frac{3^{Dc-1} * Pn}{27} * 100 \quad (3)$$

De esta forma, se formaron siete clases del valor funcional de especies para el servicio potencial de provisión de hábitat, dentro de una escala de valores absolutos de 4 a 100. Así, especies perennifolias con follaje denso, como *Mangifera indica*, tuvieron el máximo valor (VHB = 100) y especies caducifolias con follaje ralo, como *Cordia alliodora*, tuvieron el valor mínimo (VHB = 4).

Valor de existencia de las especies arbóreas en el sitio

El valor de la existencia (VEX) se estimó por la combinación de los valores de tres características ecológicas: especie introducida (Int), nivel de amenaza (Am) y presión que recibe por el hombre (Pr); y cuatro rasgos: densidad de madera (Dm), altura máxima alcanzable (Hmx), tipo de dispersión (Ds) y sistema reproductivo (Rp) (Cuadro 4, Apartado 2.2.2.2). Las primeras dos fueron filtros, asignando valor cero (0) a las especies introducidas y el valor máximo (100) a las reportadas en cualquier nivel de amenaza; el mismo valor que se asignaría a cualquier especie que presentara nivel de clase máximo para todos sus rasgos y características ecológicas, aunque en el presente estudio ninguna los alcanzó.

La presión destructiva por uso se estimó por la suma de las preferencias sobre su madera u otros productos y sobre su leña, obteniendo cuatro categorías: sin uso (0), leña (1), madera u otro uso “destructivo” (2), y madera y leña (3). Para la densidad de madera se usaron las mismas categorías y distancias que para el secuestro de C (Apartado 3.6.1.1). Las especies, por su altura máxima potencial alcanzable, se categorizaron en tres clases: hasta 1/3 de la altura máxima alcanzada por los árboles del bosque original o hasta los 15 m (1), hasta 2/3 o 30 m (2) y arriba de los 30 m (3) y la distancia entre ellas se estimó por sus medias (Hmx – 0.5). La dificultad de dispersión se categorizó en tres clases, especies autócoras o anemócoras sin puntaje (0), especies dispersadas por aves y mamíferos (1) y especies dispersadas solamente por aves y mamíferos grandes, por considerarlos más escasos (2). Para sus distancias, aparte de la primera que se quedó sin puntaje, se aplicó (Ds + 1) para que así la

última categoría tuviera medio puntaje más que la anterior. Para el sistema reproductivo se usó una clasificación binaria (0: no dioicas / 1: dioicas).

El valor de cada rasgo se dividió por el valor máximo de clase y se ponderó por un factor que consideró su peso en el cálculo del valor de existencia. El rasgo la densidad de madera tuvo la mayor ponderación por hacer estimación directa del crecimiento de las especies, mientras la capacidad de dispersión y el sistema reproductivo recibieron la menor ponderación por tener, especialmente el último, un efecto incierto a la vulnerabilidad de las especies (Cuadro 10). El valor obtenido se dividió por un factor $i = 2.27$ igual a la suma de los valores mínimos y la combinación de los rasgos se ponderó con un factor $j = 2.84$, obteniendo así una escala de valores absolutos de 0 a 100 para VEX.

$$VEX = \left(\frac{a \left(\frac{Dm+0.5}{5.5} \right) + b \left(\frac{Hmx-0.5}{2.5} \right) + c \left(\frac{Pr}{3} \right) + d \left(\frac{Ds+1^*}{3} \right) + eRp}{2.27} \right)^{2.84} \quad (4)$$

Nota: a, b, c, d y e se explican en el Cuadro 10.

* Si $Ds = 0$, entonces no se suma 1

Con este modelo, se obtuvieron setenta seis clases de valor absolutos, incluyendo las especies amenazadas, como *Astronium graveolens*, de valor máximo (VEX = 100) e introducidas, como *Mangifera indica*, de valor mínimo (VEX = 0). Dentro de este índice, especies que reciben alta presión destructiva en el bosque natural por su uso, de crecimiento lento por ser de madera densa, que alcanzan alturas de dosel medio-alto, y que para su dispersión necesitan mamíferos medianos a grandes, como *Hymenaeae courbaril* (VEX = 71), tuvieron mayor valor de existencia que especies con baja presión por su uso, baja densidad de madera, que no superan el nivel de dosel bajo y autócoras, como *Cochlospermum* sp. (VEX = 2).

Cuadro 10. Criterios para la ponderación de los rasgos funcionales y características ecológicas (RF y C) en la estimación del valor de existencia de las especies

<i>RF y CE</i>	<i>Ponderador</i>	<i>Peso</i>		<i>Criterio</i>
Int	filtro	-	-	Especies introducidas tienen nulo valor de existencia
Am	filtro	-	-	especies que se encuentran en un estado de amenaza tienen valor máximo
Dm	<i>a</i>	$b + c + d + e + 1$ $2b + 1$	6.5	es la suma de todos los demás pesos más un punto, equivalente al valor de los pesos de Ds y Rp juntos
Hmx	<i>b</i>	$c + d + e$	2.5	especies que alcanzan el nivel de altura de dosel superior tienen el mismo valor de existencia que las que están en los niveles máximos de Pr, Ds y Rp
Pr	<i>c</i>	$1.5 (d + e)$	1.5	especies al nivel máximo de Pr superan las que están en nivel máximo de Ds y Rp por medio punto, equivalente a la mitad del valor de las que están en nivel máximo de Ds y Rp juntos
Ds	<i>d</i>	$2e$ $(1 = d + e)$	2/3	especies con máximo nivel de dificultad en Ds tienen dos veces el valor de las especies dioicas
Rp	<i>e</i>	<i>e</i>	1/3	Con la menor ponderación

Conservación de la biodiversidad como servicio combinado

El valor potencial de una especie arbórea para proveer servicios para la biodiversidad (VBD) se estimó sumando el valor que tiene frente a los tres subservicios mencionados, creando un índice de servicio a la biodiversidad (IBD) de 1 a 100. Este es un indicador del valor funcional de una especie con relación a la biodiversidad, aunque para los modelos de estimación finales que combinan el valor funcional con las dimensiones de los árboles, se usa cada componente de este valor (VAL, VHB y VEZ), por separado.

$$VBD = \frac{VAL+VHB+VEZ}{3} \quad (5)$$

3.6.2 Estimación del valor ecológico de los árboles

El valor de la cobertura arbórea de cada terreno productivo, relativo a la generación de servicios ambientales, se estimó de la siguiente forma:

El valor ecológico de un individuo se estimó ponderando el valor funcional de la especie por sus métricas dimensionales (DIM) al momento de la toma de datos en campo. Las DIM, una para cada SA, se crearon para facilitar futuros muestreos y, de la misma forma que los valores ecológicos funcionales de las especies, combinando los valores categorizados de dos tipos de dimensión relacionados (Cuadro 5). Para las categorías de dap (Catdap) se formaron clases cada 20 cm, para las categorías de la altura total (CatH) se usó la relación 1/3, 2/3 y 3/3 de los 45 m que es el máximo que alcanzan los árboles en la zona de estudio y para el diámetro de copa se formaron cuatro clases arbitrariamente (CatdC) (Cuadro 11). Solo para el dap en el modelo del carbono, por la importancia de su potencia y para evitar errores grandes, se formaron clases cada 10 cm (CatdapC) (Cuadro 12).

Cuadro 11. Categorías de dimensión de los árboles

<i>Categoría</i>	<i>dap</i>	<i>H</i>	<i>dC</i>
1	10	≤ 15	≤ 1.5
2	10.1 – 30	15.1 – 30	1.6 – 5
3	30.1– 50	> 30	5.1 – 10
4	50.1 – 70	-	> 10
5	> 70	-	-

Cuadro 12. Categorías de *dap* para la estimación del carbono

<i>Categoría</i>	1	2	3	...	16
dap	10 – 14.9	15 – 24.9	25 – 34.9	...	155 – 159.9

Con la suma de valor de los individuos se obtuvo el valor de la parcela de muestreo y extrapolando por su área se obtuvo el valor del uso de suelo. Finalmente, el valor de cada terreno se calculó con la suma de los valores de los usos de suelo existentes.

3.6.2.1 Valor de los árboles en relación con el carbono

Para calcular el valor de los individuos arbóreos con relación al carbono fijado (C en toneladas) se probaron modelos de estimación de la biomasa aérea (BM en kilogramos de MS) que usan datos de *dap* (en centímetros), altura total (H en metros) y densidad de madera (d en gramos por centímetro cúbico); considerando fracción C / BM fija = 0.5. Los modelos fueron: dos logarítmicos y uno lineal para bosques de clima húmedo (Brown et ál. 1989 y Chave et ál. 2005) y otro lineal con coeficiente multiplicador constante F = 0.06 para árboles de hoja ancha, que asume conicidad del fuste estable para diferentes tamaños del árbol (Cannell, citado por Chave et ál. 2005) y con $\beta = 1$, tomando en consideración que puede ser $\beta < 1$ pero no se sabe cuánto (Chave et ál. 2005) (6a-d).

$$C_{Brown} = \exp(-2.409 + 0.9522 * \ln(dap^2 * H * d)) * \frac{0.5}{1000} \quad (6a)$$

$$C_{Chave} = \exp(-2.977 + \ln(dap^2 * H * d)) * \frac{0.5}{1000} \quad (6b)$$

$$C_{Chave} = 0.0509 * dap^2 * H * d * \frac{0.5}{1000} \quad (6c)$$

$$C_{dens} = 0.06 * \left(\frac{\pi}{4} * dap^2 * H * d\right)^\beta * \frac{0.5}{1000} = 0.0471 * dap^2 * H * d * \frac{0.5}{1000} \quad (6d)$$

De los anteriores, el último modelo C_{dens} (6d) subestimó los valores por individuo resultantes en el área de estudio y se seleccionó como “base” para la construcción del modelo funcional propuesto. El modelo funcional C (6) para estimar la cantidad de carbono secuestrado por los árboles se obtuvo con el valor funcional para la fijación del carbono (valor categorizado de la densidad de madera VC) y la métrica dimensional (DIMC). La DIMC compuesta por $CatdapC$ y $CatH$, y el VC se ponderaron de forma que se refleje el valor y la distancia real de las medias entre categorías (Cuadro 13).

$$C = 0.0471 * (10 * CatdapC)^2 * 15 * (CatH - 0.5) * \frac{0.825}{100} * VC * \frac{0.5}{1000} \Rightarrow$$

$$C = 0.583 * CatdapC^2 * (CatH - 0.5) * VC * \frac{0.5}{1000} \Rightarrow \quad (6)$$

Cuadro 13. Métricas entre los modelos “base” C_{dens} y funcional C para la estimación de la biomasa aérea y el secuestro de carbono

<i>Modelo</i>	<i>Factor</i>	<i>DimAB</i>	<i>DimH</i>	<i>Densidad de madera</i>
base (6d)	0.0471	dap ²	H	d
funcional y categórico (6)	0.0471	(10 * CatdapC) ²	15 * (CatH - 0.5)	$\frac{0.825}{100} * VC$
=	0.5832	CatdapC ²	CatH - 0.5	VC

Las abreviaturas Cat... se refieren a las categorías de dap para carbono (Cuadro 12) y de altura (Cuadro 11); d para densidad de madera y VC para el valor funcional de la especie para el carbono.

3.6.2.2 Valor de los árboles en relación con la biodiversidad

El valor funcional ecológico de los individuos se estimó ponderando el valor funcional de la especie correspondiente por su métrica dimensional (DIM). Las DIM se modelaron combinando los valores categóricos de dos de las dimensiones Cat(dap, H y dC) (Cuadro 11), escogidas por su relación al servicio de interés (Cuadro 5), respetando la distancia real entre las medias de cada categoría. Para la transformación de las medidas de los árboles a DIM se fijó arbitrariamente una relación de 10 veces entre valor máximo / mínimo para las DIMAL y DIMEX, y 40 veces para la DIMHB.

- Provisión de alimento para la fauna silvestre

Como la mayoría de los usos de suelo son potreros, el dap de los árboles no corresponde siempre al tamaño de la copa. Así, la DIM de alimentación se construyó con base en ambas medidas (dap y dC) por igual. Además, pensando que los árboles alcanzan una etapa de desarrollo para la producción de recursos alimenticios máxima y puedan seguir creciendo sin aumentarla pero a veces hasta disminuirla, se creó una DIMAL_{capmax}, donde desde la penúltima clase de DIMAL se alcanzan los valores máximos (Cuadro 14).

$$AL = DimAL_{capmax} * VAL \quad (7)$$

- Provisión en hábitat y/o conectividad para la fauna silvestre

La DIM de hábitat tuvo una relación cúbica con respecto a las medidas del árbol (cuadrática por el diámetro de copa X la altura), pensado en un crecimiento continuo, más grande el árbol mayor su valor DIM (Cuadro 14).

$$HB = \frac{DimHB * VHB}{4} \quad (8)$$

- Valor de existencia de los árboles en el sitio

La DIM del valor de existencia tuvo base en la raíz cuadrática del volumen del árbol. Asimismo, de la misma forma que para la DIMAL, considerando que después de una etapa de crecimiento el valor del árbol queda estático, aunque en la realidad puede disminuir ya que se acerca a su muerte, se creó una DIMEX_{capmax} en donde valores de categorías de DIMEX mayores se acercan al valor máximo (Cuadro 14).

$$EX = DimEX_{capmax} * VEX \quad (9)$$

Cuadro 14. Métricas dimensionales para la estimación de diferentes servicios a la biodiversidad

<i>dimensión</i>	<i>Dimdap</i> [*]	<i>DimH</i>	<i>DimdC</i>	<i>Dim</i>
AL	$Catdap - 1$	-	$CatdC$	$Dimdap * DimdC$
AL_{capmax}				$1.45 * DimAL \left(1 - \frac{DimAL}{50}\right)$
HB	-	$CatH - 0.5$	$CatdC^2$	$DimH * DimdC$
EX	$(Catdap - 1)^2$	$CatH - 0.5$	-	$(Dimdap * DimH)^{0.5}$
EX_{capmax}				$\frac{2}{100} * DimEX \left(1 - \frac{DimEX}{60}\right)$

* Para la primera categoría de Catdap se usó un filtro llevándola a 0.5 veces del valor de la siguiente.

Las abreviaturas Catdap, CatH y CatdC, se refieren al valor de cada categoría de dimensión (Cuadro 11).

La abreviatura capmax hace referencia a las escalas creadas para AL y EX, donde la capacidad máxima de servicio se alcanza antes de llegar a la dimensión DIMAL y DIMEX máxima.

- Valor de los árboles con relación a la biodiversidad

El valor de los árboles encontrados en el sitio con relación a la conservación de la BD se estimó con el promedio de los valores de los tres subservicios (7-9).

$$BD = \frac{AL + HB + EX}{3} \quad (10)$$

3.6.3 Valor ecológico de la cobertura arbórea

Con la suma del valor de los individuos (n) se obtuvo el valor de la parcela de muestreo para cada servicio ambiental.

$$C_{PM} = \sum_i^n C_i$$

y

$$AL_{PM} = \sum_i^n AL_i \quad HB_{PM} = \sum_i^n HB_i \quad EX_{PM} = \sum_i^n EX_i$$

$$BD_{PM} = \sum_i^n BD_i \quad \text{o} \quad BD_{PM} = \frac{\sum_i^n AL_i + \sum_i^n HB_i + \sum_i^n EX_i}{3}$$

3.7 Análisis y comparación del valor ecológico de los árboles y de los sitios

Para poder comparar con estudios anteriores y ofrecer las bases para comparación con estudios posteriores, se analizó la influencia de los componentes dimensional y funcional al valor ecológico de los individuos y de la cobertura arbórea (CA), relacionados a cada servicio ambiental (SA), mediante correlaciones de Spearman, usadas para relaciones categóricas o no lineales (Di Rienzo et ál. 2009), y visualmente con gráficas de regresión (Excel). Para la cobertura arbórea se analizaron las correlacionadas dadas en tres tamaños de área: en la parcela de muestreo (PM), en el área de cada sitio muestreado (real) y en 1 ha, los dos últimos valores estimados por extrapolación.

Para comparar entre usos de suelo (US), se extrapolaron los valores de los diferentes tamaños de las parcelas de muestreo (PM) a 1 ha. Con la comparación entre US se tuvo un panorama general de la potencialidad de los US para generar SA pero destaca que en la zona de estudio, difícilmente se encuentran usos de suelo como BR o CV que alcancen este tamaño (1 ha o 1,000 m lineales para CV). Con estos valores se realizó análisis descriptivo y de distribución de los valores dimensionales y ecológicos con gráficos de caja (Box-Plot). Además, mediante análisis de componentes principales y gráficos Biplot se examinó la relación de los diferentes US con los valores ecológicos de la CA para cada SA.

4. Resultados

Los resultados incluyen una breve caracterización de los usos de suelo y de las coberturas arbóreas. Después, se presenta el índice funcional estimado para las especies encontradas y finalmente el valor ecológico de las coberturas arbóreas y de las parcelas de los productores para los dos SA.

4.1 Características generales de los sitios y su cobertura arbórea

4.1.1 Importancia y estructura de los usos de suelo

Del total de los sitios estudiados (54) solo se tomó en cuenta un 80% (45), rechazando, en la verificación de la toma de datos, los de la comunidad Plan de Río Azul, por haber establecido las parcelas de muestreo de forma incorrecta. Las 45 parcelas restantes, tienen un área total de 212.25 ha, con un tamaño promedio de 4.7 ha, siendo de 20 ha la mayor y 1.5 ha la menor, con 1 a 5 usos de suelo diferentes. Como en esta investigación se dio preferencia en trabajar con productores ganaderos, los potreros con árboles (PA) fue el uso de suelo más importante por área (78.8%), del cual 63% fueron potreros con más de 30 árboles ha⁻¹ (PA+). Los bosques ribereños (BR), acahuales (AC), cafetales (CF), plantaciones (PL) y cercas vivas (CV) sumaron el 15.4%, mientras 5.8% del total del área investigada correspondió a potreros u otros usos de suelo sin presencia de árboles con $dap \geq 10$ cm (PS). En la caracterización y valoración de los usos de suelo, hay que recordar que para algunos se encontró pequeña cantidad de muestras; así, el esfuerzo de muestreo para AC y CF fue bajo ($n = 3$ para ambos) y hubo solo una muestra de PL (Cuadro 15).

Cuadro 15. Cobertura (ha) de los usos de suelo estudiados en el área

Uso de suelo	Comunidad				Total (ha)	n
	Amatitlán	La Democracia	N. Argentina	N. Sabanilla		
PS	-	-	1.00	11.40	12.40	4
PA-	3.80	6.65	18.38	32.85	61.68	22
PA+	60.48	21.81	8.74	14.55	105.58	32
CV	9.46	1.50	0.26	0.70	11.92	23
PL	0.70	-	-	-	0.70	1
CF	-	-	-	4.00	4.00	3
AC	2.50	-	-	5.00	7.50	3
BR	4.56	1.05	0.88	2.00	8.48	34
<i>Total (ha)</i>	<i>81.5</i>	<i>31.00</i>	<i>29.25</i>	<i>70.50</i>	<i>212.25</i>	<i>122</i>

PS: uso de suelo sin árboles con $dap \geq 10$ cm, PA-: potrero ≤ 30 árboles, PA+: potrero > 30 árboles, CV: cerca viva, PL: plantación de árboles mixtos, CF: cafetal con sombra, AC: acahual, BR: bosque ribereño; n: número total de sitios muestreados.

Comparando los usos de suelo por su cobertura arbórea, los BR mostraron la mayor media, aunque también la mayor variación en densidad arbórea y en todas las medidas de dimensión (por ejemplo, 24 – 1,100 individuos y 1.7 – 108.8 m² de AB); habiendo BR que alcanzaron valores muy bajos. En la mayoría de las métricas, siguieron los AC (8.2 – 26.8 m² AB), dos con 300 y 550 árboles ha⁻¹ de tamaño pequeño a mediano y uno con 250 árboles ha⁻¹ de tamaño medio, y los CF (238 – 313 individuos y 9.9 – 14.3 m² AB). La única muestra de PL fue de 250 árboles ha⁻¹ mixtos pequeños (11.9 m² AB). Los PA+ (1 ha) y las CV (1,000 m lineales equivalentes a 1 ha) tuvieron densidad arbórea y dimensión de árboles similar (50 – 500 individuos y 1.7 – 23.1 m² de AB). Cabe destacar, que los valores para CV son relativos al ancho del área de muestreo que se le asigna, en este caso fue el máximo dC de copa encontrado (10 m); mientras, con menos ancho se aumentaría su valor ha⁻¹. Los PA- mostraron las métricas más pequeñas (2 – 30 individuos y 0.05 – 2.1 m² de AB) después de los PS, para los cuales se consideró cobertura arbórea nula (Figura 6).

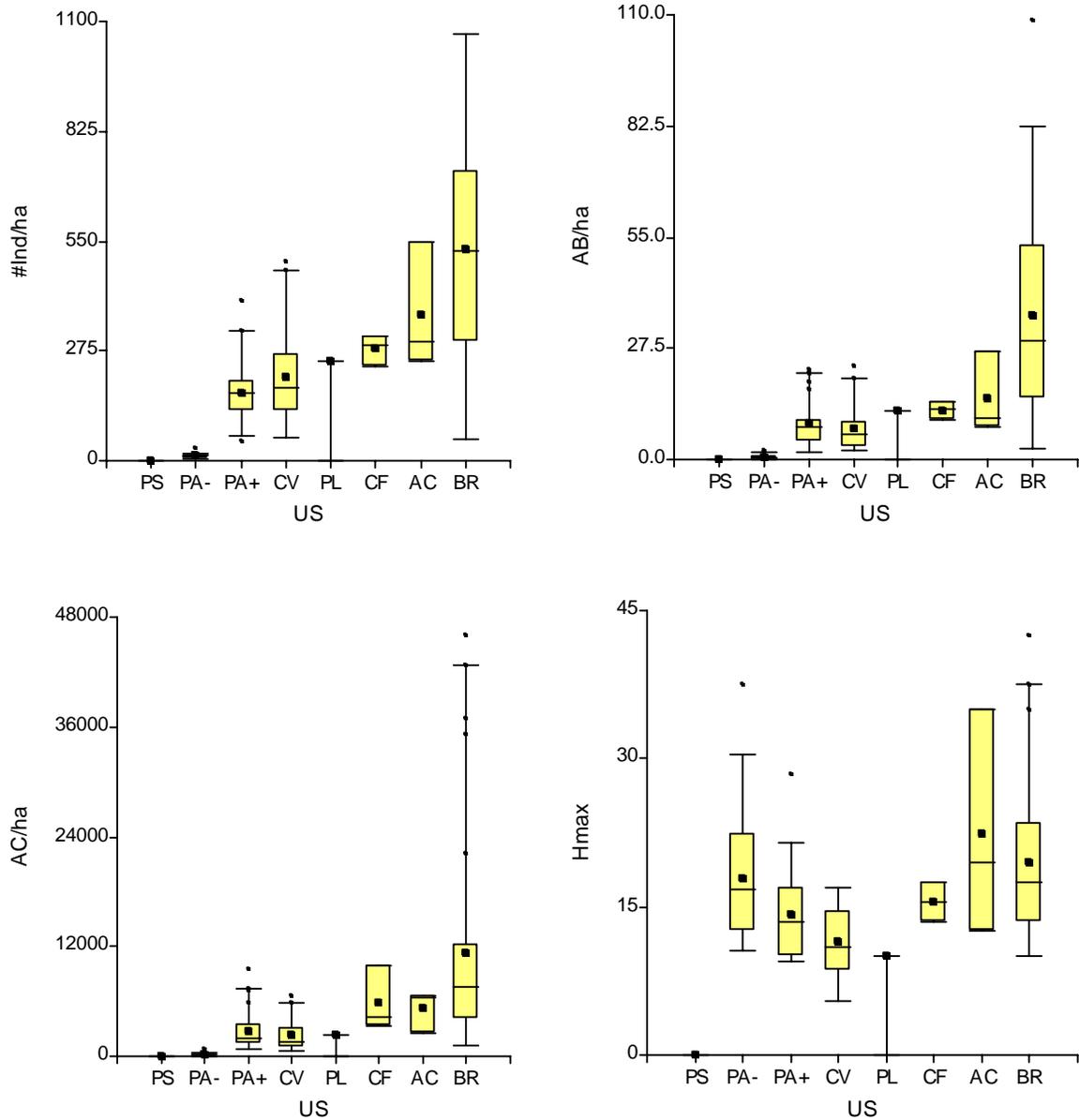


Figura 6. Distribución de los valores de las métricas dimensionales de cobertura arbórea por uso de suelo (US) (gráfico de cajas Box-Plot). Para las abreviaturas de los US ver el Cuadro 15. Hay solo una muestra de PL. Se muestran las medias y medianas (punto negro y línea perpendicular en el medio de la caja), los cuantiles 0.25 y 0.75 (límite bajo y superior de la caja), los cuantiles 0.05, y 0.95 (límite de las líneas verticales) y valores extremos (puntos individuales)

4.1.2 Presencia y dimensión de especies arbóreas

De los árboles muestreados (2,094), representados por 130 especies y 41 familias, tres familias (Papilionaceae, Anacardiaceae y Rubiaceae) y seis géneros (Spondias, Lonchocarpus, Blepharidium, Inga, Cordia y Bursera) fueron los más importantes sumando aproximadamente el 50% del total de los árboles. La mayor AB por área, debido a sus abundancias, mostraron *Spondias* sp. y *Lonchocarpus guatemalensis* con casi 22% del total (111 m²).

La gran mayoría de los árboles (71%) tuvo tamaño pequeño, con dap menor de 25 cm. Las especies que más influenciaron al valor ecológico de la cobertura arbórea, por su gran tamaño, fueron *Ceiba* sp. con más de 1.5 m dap, *Balizia leucocalyx*, *Dialium guianense*, dos especies de *Ficus* y *Pterocarpus* sp. con dap máximo cercano o mayor de 1 m. Igualmente, mayor altura (≥ 35 m) presentaron *Ceiba* sp., *B. leucocalyx*, *Pterocarpus rohrii*, *Platymiscium dimorphandrum*, *Terminalia amazonia* y *Vatairea lundellii*; mientras el mayor diámetro de copa (> 20 m) mostraron *Ficus* sp., *B. leucocalyx* y *Ceiba* sp.

4.2 Valor funcional de especies por servicio ecológico

4.2.1 Carbono

El valor funcional de las especies con relación al carbono (VC) tuvo una clara diferenciación en cinco clases (Apartado 3.6.1.1) por ser medida por los valores categóricos de solo un rasgo: la densidad de madera (modelo 1). De madera muy densa (≥ 0.75 g cm⁻³, VC = 100) fueron especies de las familias Sapindaceae y Sapotaceae, así como algunas de las familias Caesalpinaceae, Myrtaceae, Papilionaceae y Rosaceae (Anexo 6), y de menor densidad fueron especies de las familias Bombacaceae, Caricaceae y Cochlospermaceae. Las especies de madera densa (0.60 - 0.74 g cm⁻³, VC = 82) seguidas por especies con densidad de madera media (0.45 - 0.59 g cm⁻³, VC = 64) tuvieron la mayor frecuencia porcentual entre las especies identificadas en el área, 35.7% y 25%, respectivamente. La frecuencia porcentual de los diferentes tipos funcionales (VC) cambió ligeramente cuando se incluyó su abundancia en el área de muestreo, habiendo pocos individuos de madera muy densa, mientras los de madera liviana (0.30 - 0.44 g cm⁻³, VC = 46) tomaron el segundo lugar (Figura 7).

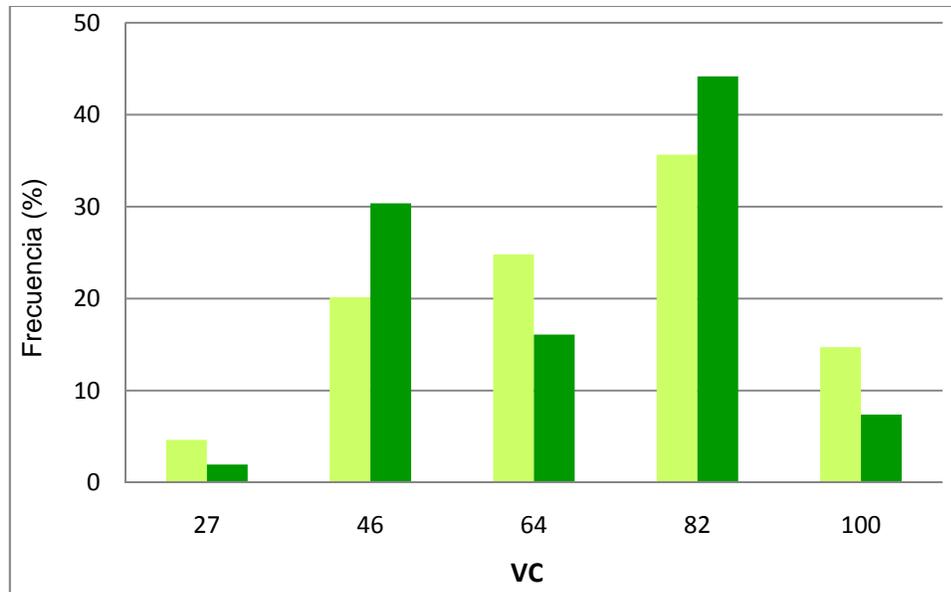


Figura 7. Porcentaje de los tipos de VC (valor funcional de especies basado en el punto medio de las categorías de densidad de madera) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro)

4.2.2 Biodiversidad

Con respecto al valor de la especie relativo al servicio de alimentación (VAL) (modelo 2), la mayoría de las especies encontradas en el sitio tuvieron valores bajos (1 – 14), aunque tomando en cuenta su abundancia ésta relación cambió, a causa de la alta frecuencia de individuos de algunas especies con alto valor alimenticio, como *Spondias* sp. e *Inga* sp. (Figura 8). Otras especies que mostraron alto valor fueron las de los géneros *Brosimum*, *Guarea* y *Mangifera* (Anexo 6), mientras valor mínimo “1” tuvieron especies de las familias *Bignoniaceae*, *Rubiaceae*, *Papilionaceae* y *Tiliaceae* y de los géneros *Astronium*, *Cordia*, *Sapindus*, *Sebastiania* y *Terminalia*, entre otros. El valor mínimo de las especies para la alimentación fue “1” y no “0”, considerando que especies sin algún rasgo positivo que indique recurso alimenticio para vertebrados, les proporcionan alimento indirectamente.

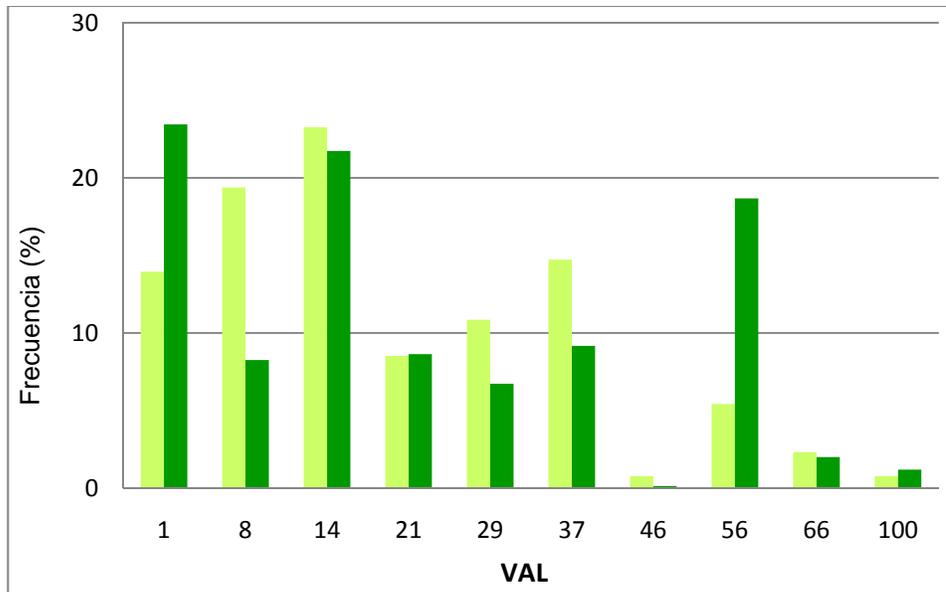


Figura 8. Porcentaje del valor funcional de las especie con respecto al servicio de alimentación (VAL) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro)

Con respecto a la provisión de hábitat, un gran porcentaje de las especies encontradas en el área de estudio (31%) tuvieron el valor máximo (VHB), o sea son siempre verdes y de follaje denso (modelo 3), muchas pertenecientes a las familias Annonaceae, Arecaceae, Magnoliaceae, Moraceae, Nyssaceae y Sapotaceae (Figura 9, Anexo 6). Pero la mayor abundancia de individuos en el área de estudio la mostraron especies de valores pequeños (4 – 22) de las familias Bignoniaceae, Caricaceae, Cecropiaceae y Cochlospermaceae, y algunas especies de las familias Bombacaceae, Boraginaceae, Burseraceae, Euphorbiaceae y Mimosaceae (Figura 9).

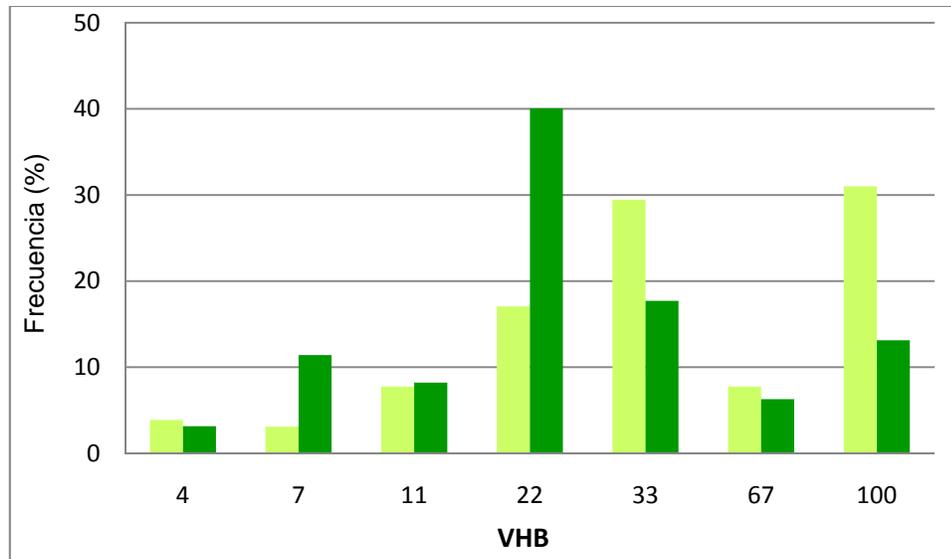


Figura 9. Porcentaje del valor funcional de las especies con respecto a la provisión de hábitat (VHB) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro)

Para observar mejor la distribución del valor de la existencia se muestra el promedio (mVEX) de las clases de valores agrupados en intervalos de 10 puntos, excepto de la primera y las dos últimas clases (Figura 10). Pocas especies de las encontradas recibieron alto valor de existencia (modelo 4), destacando las especies amenazadas con valor máximo (100), y varias especies de la familia Sapotaceae, y *Dialium guianense* e *Hymenaea courbaril* de la familia Caesalpinaceae (Anexo 6); además, estas representaron todavía menor porcentaje dentro del total de los individuos. En ambos casos, prevalecieron especies con valores medianos a pequeños. Aparte de las siete especies introducidas que se les asignó valor “0”, el menor valor tuvieron especies de madera liviana, altura máxima hasta 15 m y, de ninguna presión por uso, dispersadas por aves y pequeños mamíferos y definitivamente dioicas, como *Carica* sp., o usadas solo para leña y autócoras, como *Cochlospermum* sp.

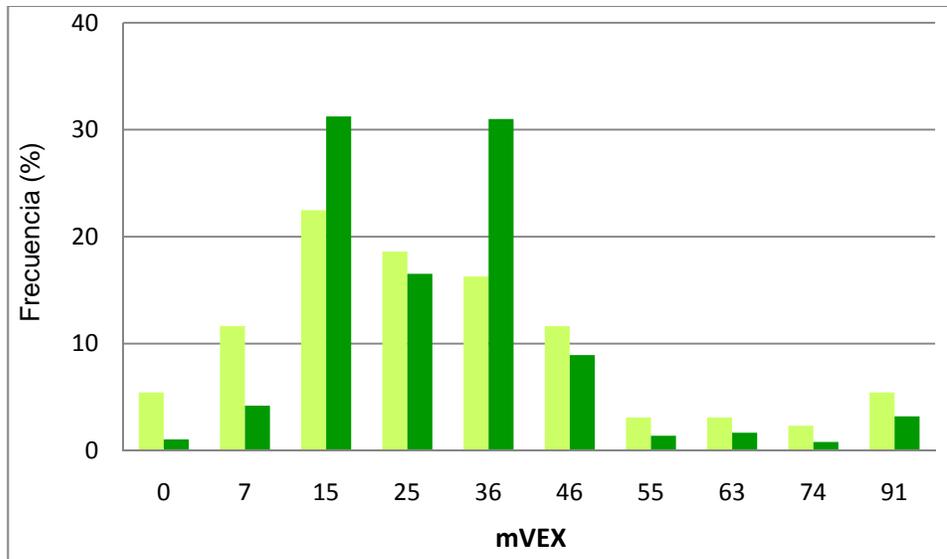


Figura 10. Porcentaje de categorías del valor de existencia de las especies (VEX) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro). En el eje x se observa el promedio (mVEX) de las categorías de valor, agrupadas en intervalos de 10 puntos, excepto de la primera y las dos últimas categorías

Para observar mejor la distribución de los valores de las especies para la BD, también se agruparon con intervalos de cada 10 puntos y en la Figura 11 se muestra el valor promedio de las clases agrupadas (mVBD). La mayoría de las especies encontradas tuvieron valores bajos para el servicio a la biodiversidad (BD) (modelo 5) y con respecto al número de los individuos encontrados en el área de muestreo ésta tendencia aumentó (Figura 11). Por su alto valor destacaron las especies *Brosimum alicastrum*, *Manilkara staminodella* e *H. courbaril* (Anexo 6); mientras los valores más bajos mostraron las pioneras, dispersadas por viento, no provistas de follaje denso ni de alta cantidad de recursos alimenticios como *Bernoullia flammea*, *Trichospermum mexicanum*, *Cordia alliodora* y *Heliocarpus appendiculatus*.

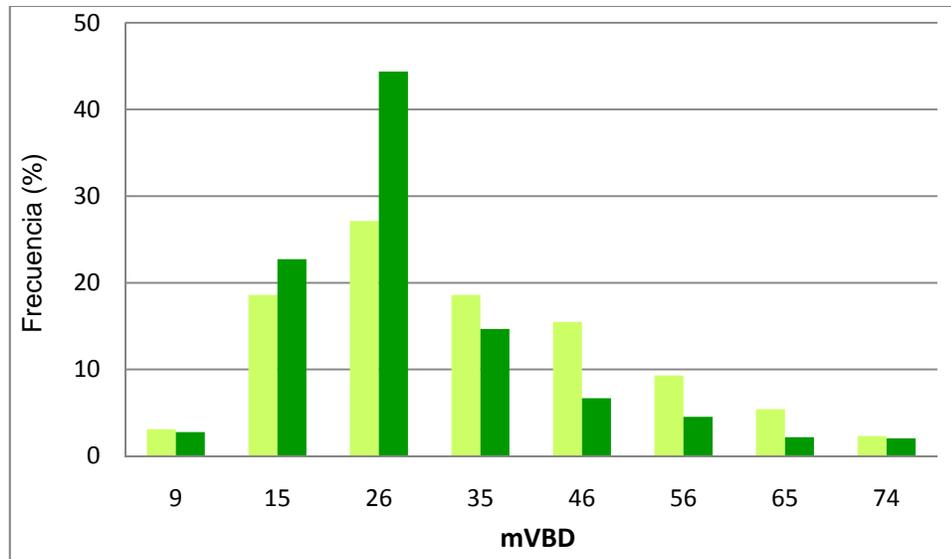


Figura 11. Porcentaje del valor funcional de las especies con relación al servicio de la biodiversidad (VBD) entre el total de las especies encontradas (barras color claro) y entre el total de los individuos en el área de muestreo (barras color oscuro). El eje x muestra el promedio de las clases de valores, agrupados en intervalos de 10 puntos (mVBD)

4.3 Relación del valor ecológico de los individuos con sus variables

Para conocer la amplitud de los errores generados por la categorización de los datos, se compararon los resultados para la estimación del carbono fijado del modelo propuesto C (modelo 6) con los del modelo base Cdens (modelo 6d) (Cuadro 13). Recordando que para el modelo C se usaron como componentes el valor funcional de las especies para el carbono (VC) y la métrica dimensional para carbono (DIMC), ambos construidos con datos categorizados. La categorización, especialmente de la DIMC que tuvo mayor efecto, acortó la diferencia en volumen entre los árboles más grandes y los más pequeños, pero analizando la relación de la métrica dimensional con el volumen base de los árboles (vol) se encontró un buen ajuste lineal ($R^2 = 0.97$). Así mismo, para ambos modelos, se observó una correlación alta del valor ecológico de los individuos con el dap y vol, y una correlación muy baja con la densidad de madera (d) para el modelo base Cdens o con el VC para el modelo C, con diferencias aceptables en las correlaciones entre los dos modelos (Cuadro 16, Figura 12).

Cuadro 16. Correlación del valor de los individuos para el carbono, estimado con el modelo comparativo base (Cdens) y el propuesto en este estudio (C), con sus dimensiones dap, altura (H) y volumen (vol), y la densidad de madera (d) o el valor funcional de la especie a la que pertenecen (VC)

Modelo	dap	H	vol	d o VC
Cdens	0.93	0.78	0.97	0.26
C	0.91	0.64	0.91	0.28

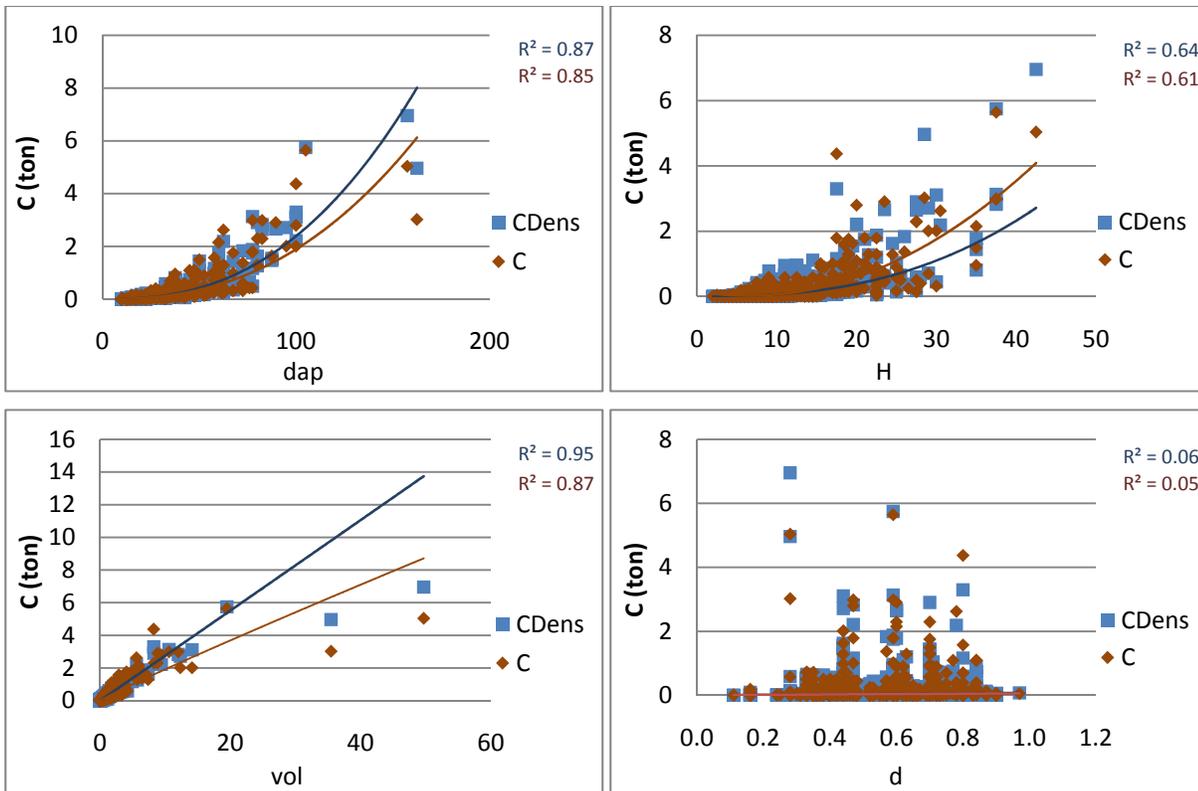


Figura 12. Regresiones del valor ecológico de los individuos para el servicio del carbono, estimado con el modelo base (Cdens) y el propuesto en este estudio (C), con relación a sus dimensiones dap, altura (H) y volumen (vol), y la densidad de madera de las especies a las que corresponden (d)

Por la forma de construcción de los modelos estimadores de los tres subservicios a la BD, en todos los casos el valor ecológico de los individuos fue más influenciado por el valor funcional asignado (VF). De las dimensiones muestreadas en campo, el dap fue el que más influyó al valor del servicio a la AL, el HB fue más influenciado el diámetro de copa (dC) y la EX casi al mismo grado por los tres componentes (Cuadro 17, Figura 13).

Cuadro 17. Correlación (Spearman) del valor de los individuos para los servicios a la biodiversidad (SBD): provisión de alimento (AL), hábitat (HB), valor de existencia (EX) y la biodiversidad en su totalidad (BD) con sus dimensiones dap, altura (H) y diámetro de copa (dC), y el valor funcional de la especie a la que pertenecen relativo a cada servicio (VF)

SBD	dap	H	dC	VF
<i>AL</i>	0.39	0.14	0.28	0.90
<i>HB</i>	0.47	0.33	0.57	0.87
<i>EX</i>	0.40	0.41	0.42	0.82
<i>BD</i>	0.62	0.38	0.52	0.61

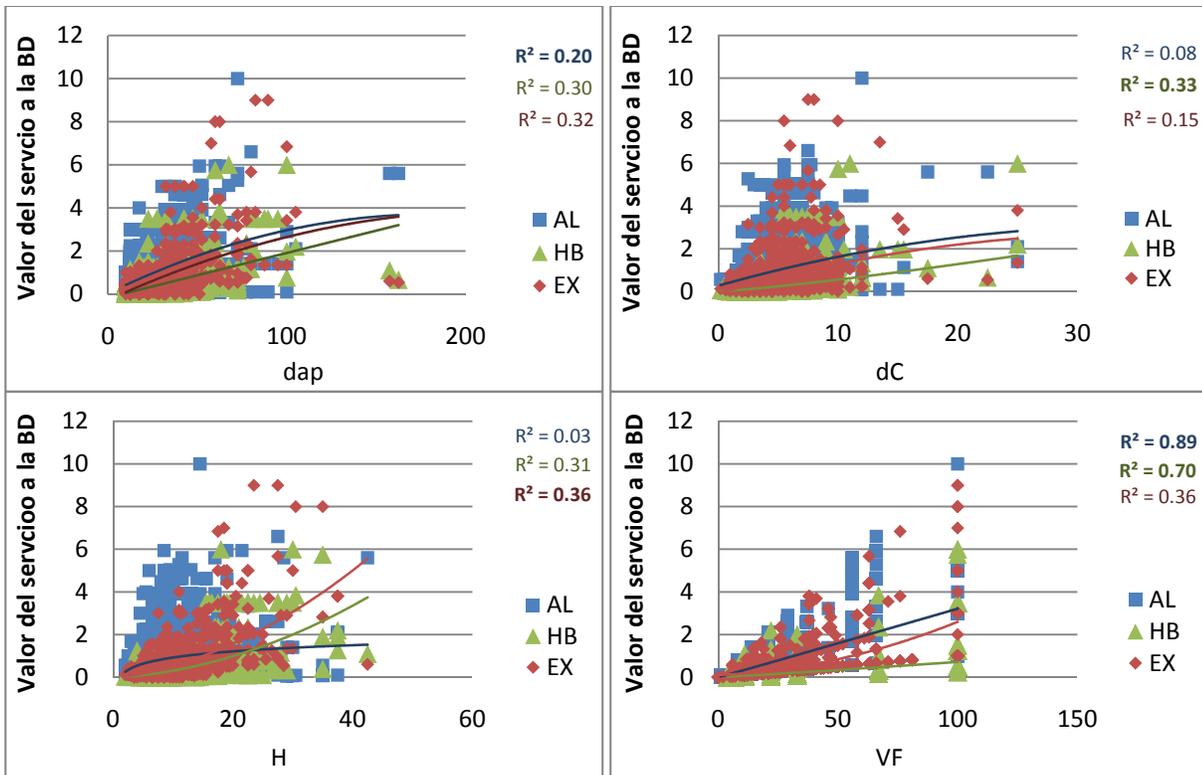


Figura 13. Regresiones del valor de los individuos relativo a los subservicios de biodiversidad: alimentación (AL), hábitat (HB) y valor de existencia (EX), con sus dimensiones dap, H y diámetro de copa (dC), y su valor funcional (VF)

4.4 Valor de servicio ecológico por cobertura arbórea y por uso de suelo

Para conocer cuáles son las variables que más influyeron al valor ecológico de la cobertura arbórea (CA) y para ayudar comparaciones con otros estudios, en este apartado se analizó la relación de los componentes que integran los modelos propuestos: dimensional (tamaño y abundancia) y funcional (suma del valor ecológico funcional) con el valor ecológico de la CA. Las correlaciones se muestran en tres tamaños de área: de las parcelas de muestreo para cada sitio (PM), de cada sitio o uso de suelo (real) y de un mismo tamaño (1 ha).

4.4.1 Influencia de los componentes dimensional y funcional al valor ecológico de la cobertura arbórea

En el análisis de la influencia de los componentes dimensional y funcional en la estimación del valor ecológico de la CA se observó que hay muchos valores bajos con variación pequeña que influyen aumentando el R^2 (Figura 14 y Figura 15). En todos los casos la correlación se incrementó con la extrapolación de los datos del área de las PM al área real o a 1 ha (Cuadro 18 y Cuadro 19).

4.4.1.1 Carbono

Entre los dos modelos, el modelo lineal de cálculo de biomasa C_{dens} (6d) y el modelo categórico propuesto C (6), el valor de las coberturas arbóreas fue de 0.06 – 375.6 y 0.06 – 346.4 ton C ha⁻¹. Comparando el efecto de las medidas poblacionales y dimensionales en el valor de la CA con respecto al carbono, no hubo diferencias significativas entre las correlaciones de los dos modelos, mientras el AB fue el factor más influyente (Cuadro 18, Figura 14).

Cuadro 18. Correlación (Spearman) de los valores de cobertura arbórea para el servicio de carbono, estimados con el modelo base (C_{dens}) y el propuesto en este estudio (C), con sus componentes dimensionales número de individuos y área basal (AB), y la sumatoria de la densidad de madera (d) o del valor funcional de las especies (VC)

Modelo	Área	#Ind	AB	d o VC
<i>C_{dens}</i>	PM	0.51	0.96	0.54
	real	0.82	0.97	0.83
	1 ha	0.83	0.97	0.85
<i>C</i>	PM	0.52	0.94	0.53
	real	0.82	0.96	0.83
	1 ha	0.84	0.97	0.85

PM: parcela de muestreo; real: área de la PM extrapolada al área total de cada uso de suelo; 1 ha: área de la PM extrapolada a 1 ha.

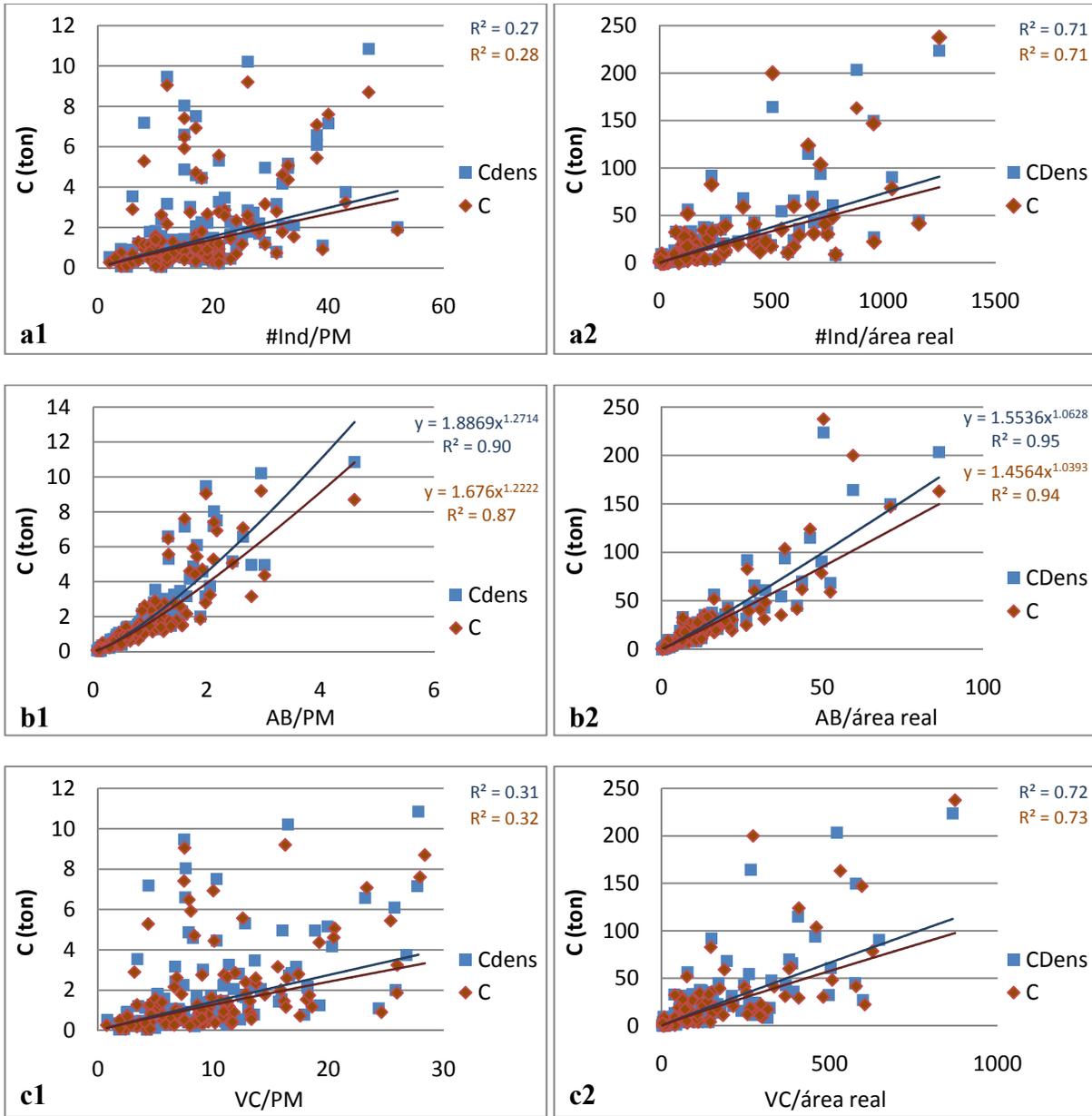


Figura 14. Regresiones del valor de la cobertura arbórea para el servicio de carbono, estimado con el modelo base (Cdens) y el propuesto en este estudio (C), con relación al número, área basal (AB) y la suma del valor funcional (VC) de los individuos, en el área de la parcela de muestreo (PM) y en el área real

4.4.1.2 Biodiversidad

Con base en los modelos propuestos (7) – (10), el valor de la cobertura arbórea con relación a la biodiversidad y los tres subservicios (Apartado 3.6.3) fue principalmente influenciado por la sumatoria del valor funcional de las especies. Con respecto a los demás componentes, la alimentación tuvo mayor correlación con el número de individuos en el área, y el hábitat y el valor de existencia con el AB. El valor de la cobertura arbórea para la conservación de la biodiversidad, considerándola como el valor promedio de los tres subservicios (modelo 10), tuvo igual influencia por la sumatoria del los individuos y del AB (Cuadro 19, Figura 15).

Cuadro 19. Correlación (Spearman) de los servicios a la biodiversidad (SBD): provisión de alimento (AL), hábitat (HB), valor de existencia (EX) y la totalidad del servicio a la biodiversidad (BD) con sus componentes: número de individuos (#Ind), área basal (AB), área de copa (aC) y sumatoria del valor funcional de las especies relativo a cada servicio (VF)

SBD	Área	#Ind	AB	aC	VF
	PM	0.75	0.69	0.61	0.91
AL	real	0.93	0.92	0.90	0.98
	1 ha	0.90	0.88	0.86	0.97

	PM	0.64	0.78	0.76	0.81
HB	real	0.91	0.94	0.94	0.96
	1 ha	0.91	0.92	0.92	0.96

	PM	0.75	0.81	0.78	0.87
EX	real	0.94	0.95	0.94	0.97
	1 ha	0.92	0.92	0.92	0.97

	PM	0.82	0.85	0.77	0.88
BD	real	0.96	0.96	0.94	0.97
	1 ha	0.95	0.94	0.93	0.97

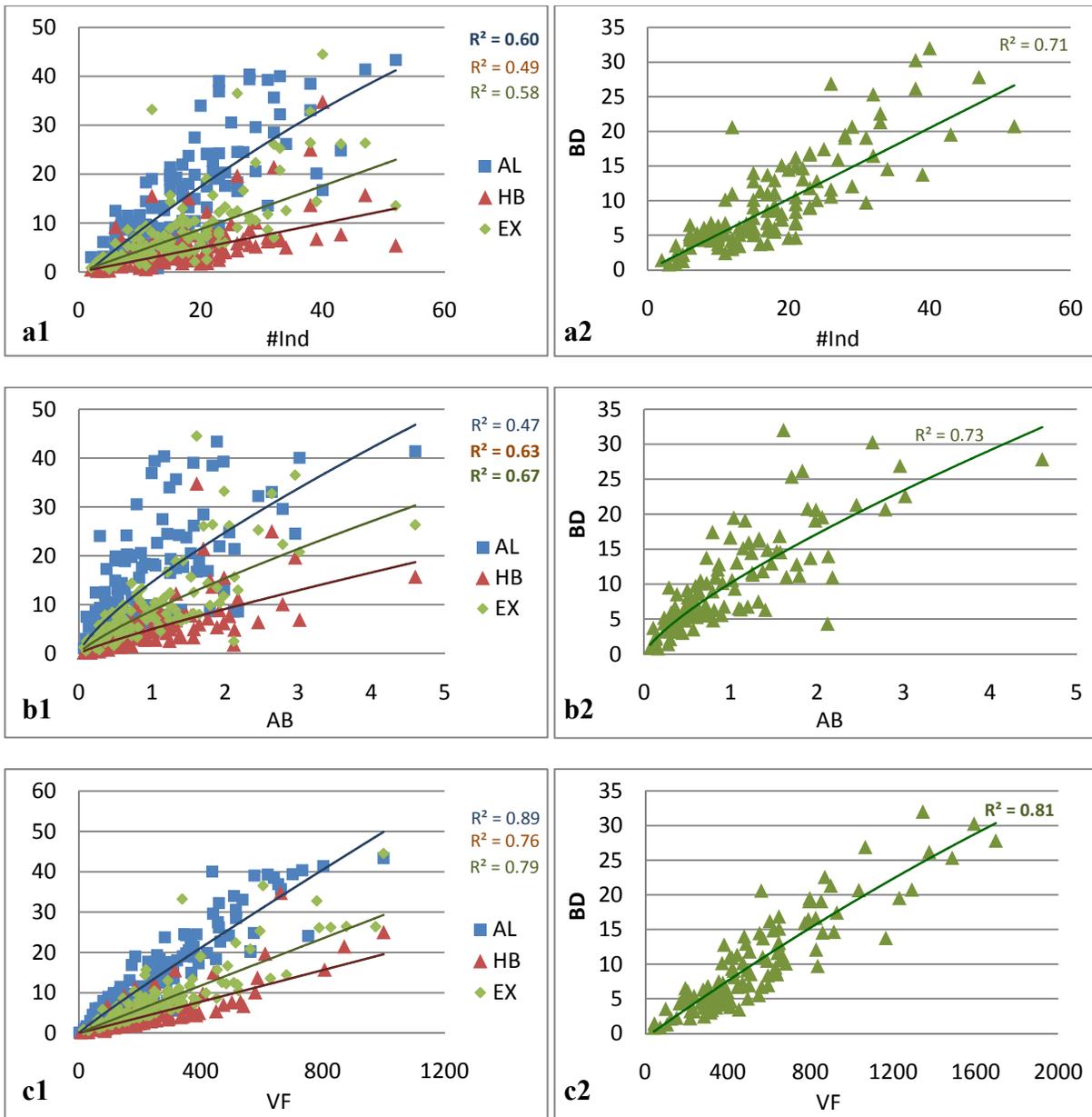


Figura 15. Regresiones de los modelos estimadores de los servicios de la cobertura arbórea a la provisión de alimento (AL), hábitat (HB), valor de existencia (EX) y la totalidad del servicio a la biodiversidad (BD), con relación al número, área basal (AB) y sumatoria del valor funcional (VF) de los individuos en las parcelas de muestreo

4.4.1.3 Influencia del número de los individuos y del área basal al valor ecológico de la cobertura arbórea para ambos servicios ambientales

El valor de la CA extrapolada al área real de los sitios, para el caso de carbono dependió principalmente por el AB, mientras que para la biodiversidad por el número de individuos ($R^2 = 0.94$ ambos) (Figura 16a,b). Pero la relación de estos dos componentes con el valor de la CA fue probablemente alta debido al gran número de valores bajos, porque cuando se evaluaron solo sitios con valores altos (≥ 500 árboles o $AB \geq 25$ m², que corresponden a usos de suelo de bosques ribereños, acahuales, cafetales con sombra y potreros con alta densidad de árboles), la relación de ambos con los valores de los sitios disminuyó ($R^2 = 0.52$ y $R^2 = 0.48$, respectivamente), siendo el resto de la variabilidad probablemente explicada por el valor funcional de las especies (Figura 16c,d).

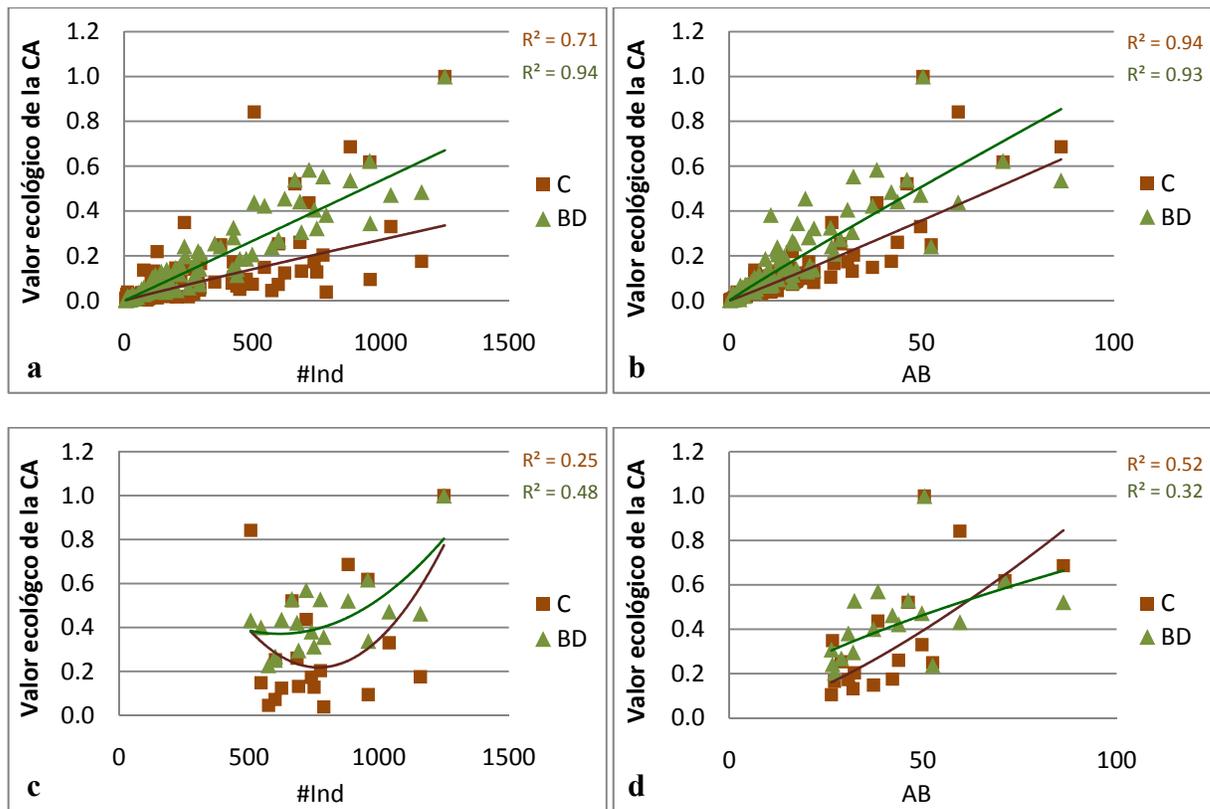


Figura 16. Valor ecológico de la cobertura arbórea (CA): a y b) en el área real de las parcelas de los productores con relación al carbono (C) y la biodiversidad (BD); c y d) sin valores extremos bajos

4.4.2 Comparación de valores para los servicios ambientales entre diferentes usos de suelo

4.4.2.1 Carbono

La aplicación del modelo (6) propuesto para la estimación de carbono C, tuvo efecto similar en el orden de valor de los usos de suelo extrapolados a 1 ha, que el modelo Cdens (6d) usado como base de comparación.

La mayor cantidad promedio de carbono almacenado en la biomasa aérea de la cobertura arbórea por unidad de área (1 ha) se encontró en los bosques ribereños con un promedio de 84.9 ton C ha⁻¹ (mín. 2 y máx. 346.4 ton C ha⁻¹). Siguieron por orden de su valor medio los acahuales con 42.5 ton C ha⁻¹, los cafetales con sombra con 22.1 ton C ha⁻¹, los potreros alta densidad de árboles (> de 30 árboles) con 14.4 ton C ha⁻¹, la plantación de árboles mixtos con 10.5 ton C ha⁻¹, las cercas vivas con 9.9 ton C ha⁻¹ y por último los potreros baja densidad de árboles con 1.3 ton C ha⁻¹ (Figura 17).

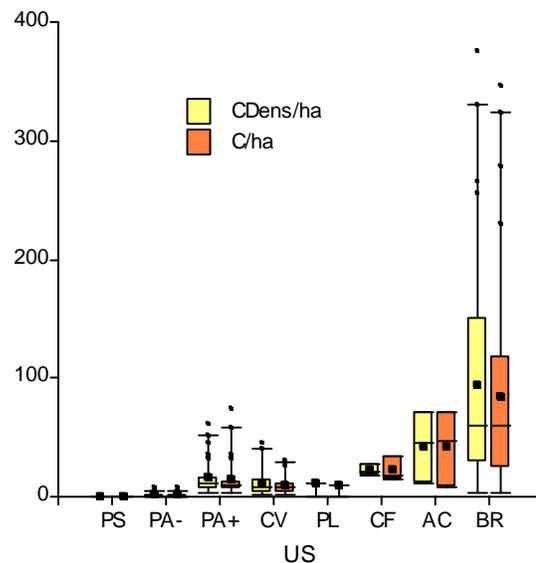


Figura 17. Distribución de los valores para el servicio de fijación carbono (toneladas ha⁻¹) en los diferentes usos de suelo (US), del modelo propuesto (C) y del modelo usado como base de comparación (Cdens) (gráfico de cajas Box-Plot)

4.4.2.2 Biodiversidad

En general, para los tres subservicios a la biodiversidad los BR mostraron el mayor valor promedio por unidad de área (1 ha), aunque con una desviación estándar (DE) muy grande. Para el servicio de alimentación siguieron los CF con pequeña desviación estándar y los AC para el servicio de hábitat. Los PA+ y CV mostraron con valores similares entre sí, pero inferiores de los CF y AC. La única repetición de PL encontrada mostró valores mayores para el servicio de alimentación, acercándose al valor promedio de los AC, y menores para los otros dos servicios, acercándose a los valores de PA+ y CV. Los PA- mostraron valores muy bajos, cercanos a los PS (Figura 18).

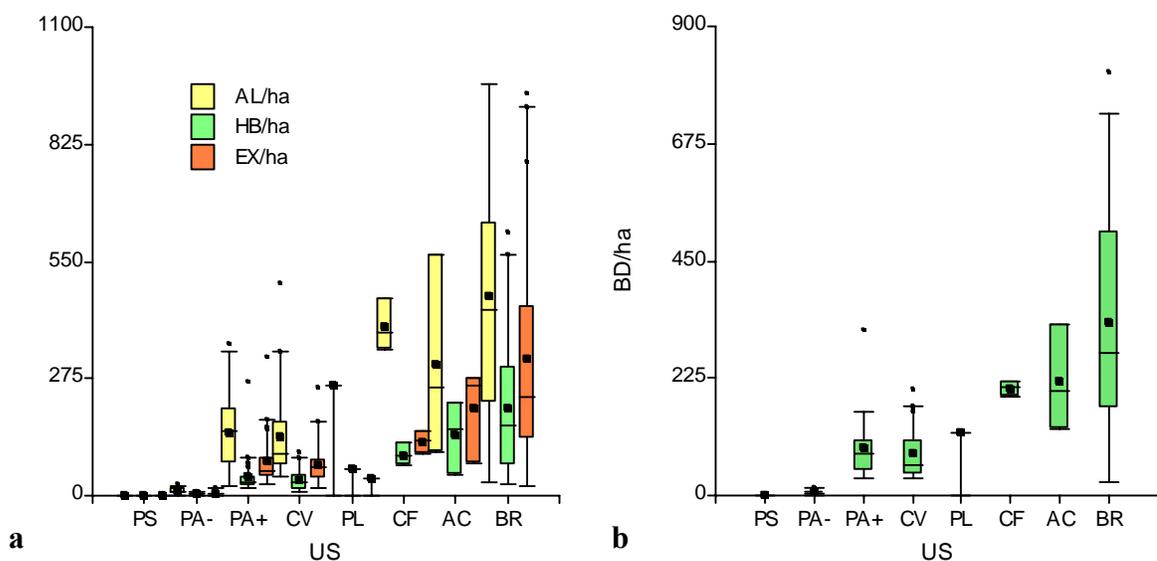


Figura 18. Distribución de valores de los diferentes usos de suelo (US): a) para los tres subservicios de la biodiversidad, alimentación (AL), hábitat (HB) y valor de existencia (EX), y b) para el servicio a la biodiversidad (BD) (gráficos de cajas Box-Plot)

Comparando entre los valores de carbono y biodiversidad (llevados a una escala de 0 a 1), en ambos casos los BR mostraron los mayores valores medios, pero también DE, con valores extremos altos mayores que los demás usos de suelo y valores mínimos similares al valor máximo de los PA-. Para ambos servicios, los PA+ y las CV tuvieron similar relación entre valores medios, aunque los PA+ mostraron mayor DE. Los PA- mostraron los valores más

bajos con poca variación, cercanos al valor del PS (Figura 19a), aunque el esfuerzo de muestreo fue bastante alto ($n = 22$) (Cuadro 15).

Con el análisis de componentes principales, se observó que el segundo eje (CP2), que explicó muy poca varianza, separó el servicio de alimentación de los otros dos sub-servicios de biodiversidad y del carbono; el servicio de alimentación – por lo menos en este estudio – estuvo más relacionado con los CF a diferencia de los demás servicios que estuvieron más relacionados con los BR y los AC. El primer eje (CP1), que explicó la mayor varianza, separó los usos de suelo en dos grandes grupos, por un lado los que llegan a tener mayor densidad arbórea y tendencia de presentar mayor área basal y sumatoria de VF (BR, AC y CF) y por otro lado todos los demás. Analizando los usos de suelo a la izquierda del primer eje (CP1), se observó que los PS y PA- casi coincidieron en mostrar la menor asociación con cualquiera de los servicios, seguidos por las CV y PA+; mientras la única parcela de PL mostró valores intermedios a estos últimos y los CF (Figura 19b).

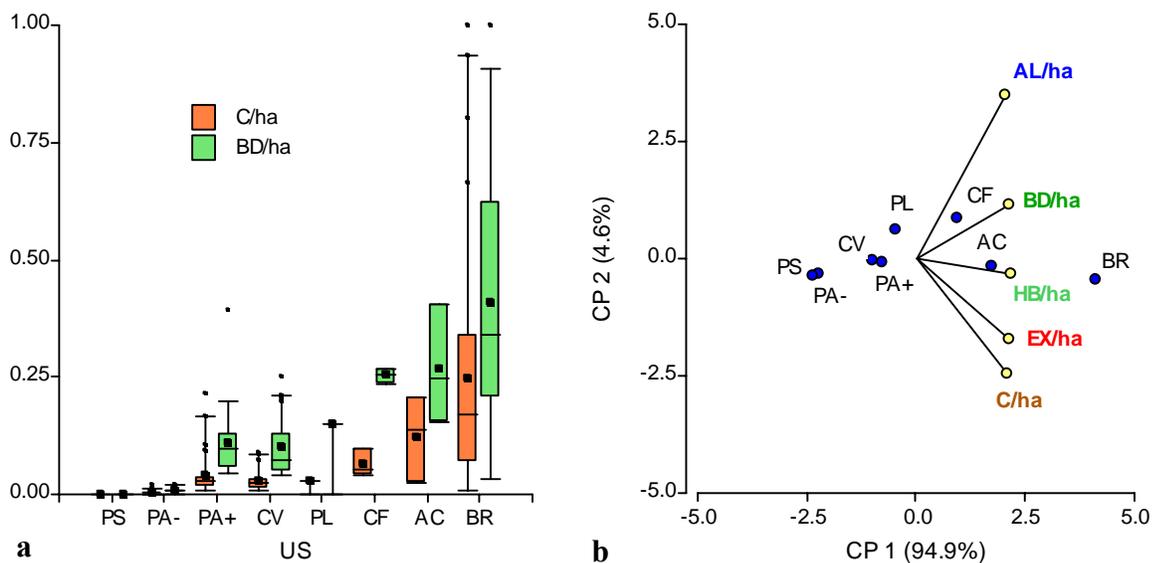


Figura 19. a) Distribución de valores (llevados a una escala de 0 a 1) para los servicios de carbono (C) y biodiversidad (BD) en los diferentes usos de suelo (US) (gráfico de cajas Box-Plot); b) Biplot obtenido por análisis de componentes principales de la relación entre los usos de suelo y los servicios ecológicos de carbono (C), biodiversidad (BD), alimentación (AL), hábitat (HB) y valor de existencia (EX)

4.5 Valor de las parcelas de los productores

El valor para el carbono almacenado de la cobertura arbórea en las parcelas productivas osciló entre 1 a 259 ton C con un promedio de 59, y el valor para la biodiversidad fue de 9 a 1,148 puntos de BD con un promedio de 345. Las parcelas con mayor valor para ambos servicios fueron las de Manuel Encino Díaz (20 ha), Armando Marroquín Santizo (9 ha), Esau Morales Morales (6 ha), Magdulino Gutiérrez Gutiérrez (8 ha), y destacaron la de Daniel Pérez Méndez (3 ha) para el caso de carbono y de Obdulio Gutiérrez Gutiérrez (6 ha) para la biodiversidad (Anexo 7).

Por unidad de área (1 ha), los valores de la cobertura arbórea de las parcelas para carbono fluctuaron entre 0.6 y 69.5 ton C con un promedio de 13.4, y para la biodiversidad se estimaron valores entre 5.7 y 305.6 puntos de BD con un promedio de 75.6. Las parcelas con mayor valor por unidad de área para ambos servicios fueron las de Olga Morales Ramírez, Alida Figueroa Soliz, y destacaron las parcelas de Daniel Pérez Méndez para el caso de carbono y de Jorge Luis López Vásquez para la biodiversidad. Relativamente sin valor alguno para ambos servicios fueron las parcelas de Silverio Jiménez Román, Genaro Jiménez Vázquez, Armando Jiménez López, Joel Jiménez Jiménez, y Rosendo Sánchez Bonifaz con potreros con ≤ 30 árboles ha^{-1} (PA-) y bosques ribereños (BR) de 55 a 340 árboles ha^{-1} aproximadamente.

Destaca que las parcelas productivas con el mayor valor por unidad de área para ambos servicios fueron pequeñas de 2 a 3.5 ha, con potreros (PA+) de 500 a 775 árboles y área basal de 30 a 60 m^2 aproximadamente. Las cercas vivas (CV) y/o BR añadieron poco al valor total de estas parcelas, principalmente por su pequeño tamaño, 5 – 10% del área total.

5. Discusión

5.1 Participación de promotores en el muestreo para la estimación del valor ecológico de las parcelas productivas

5.1.1 Sobre la formación de promotores

La mayoría de la población local sigue quedando fuera de los proyectos y círculos informativos científicos (Shanley y López 2009), siendo esta una de las razones del considerable vacío que existe entre investigación y acción en los temas de conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales (Sunderland et ál. 2009). Además, es típico que cuando hay cooperación de las comunidades locales en la investigación, esta no se está recompensando (Kainer et ál. 2009). Por otro lado, Aguilar et ál. (2001) sostienen que en términos de sustentabilidad la inclusión de la gente local es indispensable, más que por ser el medio, por ser la finalidad de los programas de desarrollo.

Contratar agentes locales en el proceso de investigación científica tiene el potencial de ser mutuamente beneficiador para investigadores y gente local (Kainer et ál. 2009). La capacitación es una inversión en la capacidad local, apoya a una mayor equidad en el compartir del poder intelectual y probablemente hace más factible una efectiva implementación de los resultados de investigación (Garnett et ál. 2009, Kainer et ál. 2009). Además, la remuneración de los miembros de las comunidades como co-investigadores o promotores es un medio efectivo de compromiso y transferencia de conocimiento. Por lo anterior, en el presente estudio, la difusión del saber y concientización ecológica, objetivo intrínseco (y uno de los principales) del trabajo, justificó la inversión inicial en tiempo y dinero para la formación de promotores.

El proceso participativo inició con la autoselección de los promotores involucrados – con algunos prerrequisitos como saber leer escribir y tener conocimientos en especies arbóreas locales – por haber reconocido sus capacidades, y por interés y curiosidad propia, que es la misma forma que se seleccionan los líderes naturales en una comunidad (Prins 2006b, 2006c). La autoselección, la claridad en los objetivos y procedimientos del estudio para minimizar incertidumbres y poder apropiarse del proceso, como sugieren Thrupp (1989) y Pattanayak et

ál. (2003), y el hecho de trabajar en equipos de dos personas fueron claves para el éxito del trabajo en campo.

Los ocho promotores formados (80% del total) además de ser capaces en diferenciar usos de suelo, establecer parcelas de muestreo y tomar datos satisfactorios de la cobertura arbórea, aprendieron y comunicaron la información sobre SA generados por los árboles con los productores de las parcelas estudiadas. Como sostienen Leff et ál. (2005), Bunch (2006) y Garnett et ál. (2009) entre otros autores, con la promoción de conocimiento surgida – mencionada también en estudios de Soto-Pinto et ál. (2005) y Prins (2006b) – se esperaría que el saber ecológico (principalmente por ser apropiado por los líderes y su promoción adaptada a las características socioculturales locales) alcance de forma natural un escalamiento mayor.

Con base en lo anterior, se hace evidente que la presente propuesta de formación de capital humano local podría, no solo facilitar la estimación de los servicios ambientales ofrecidos por la cobertura arbórea en las parcelas productivas, pero también estimular el aumento de estos servicios, producto tanto del estímulo de esquemas de PSA como del aumento de la conciencia ecológica.

5.1.2 Sobre el muestreo de la cobertura arbórea

La garantía para obtener datos de muestreo satisfactorios, evitando esfuerzos innecesarios de los promotores capacitados, fue corregir los errores y aprender de ellos desde el momento de su detección, para así dar pauta a la capacitación técnica real (Torre 2004). Otra clave para tener buenos resultados fue efectuar pagos solo por datos correctos después de su verificación. En el proceso de la capacitación técnica se tuvo que dar especial énfasis correctivo a la ubicación de parcelas de muestreo representativas del sitio, mientras en el muestreo de árboles se tuvo que enfocar principalmente en la correcta estimación de la altura, que como en otros estudios en árboles grandes fue fácilmente equivocada (Finegan 2009).

Asimismo, especial cuidado requirió la identificación de los árboles a nivel de especie, importante para asignarles un valor funcional ecológico. En el conjunto de las cuatro comunidades, los promotores registraron un mayor número de nombre comunes (171) que las especies existentes (130), 13 fueron árboles con nombre desconocido por ellos (7.6%), 10 de los cuales se identificaron hasta nivel de género, dos a nivel de familia y uno quedó como desconocido. El mayor número de nombres comunes en comparación con las especies

existentes, fue esperado y registrado por Martínez (1994); en el área de estudio hay casos donde en diferentes comunidades el nombre de algunas especies varía (ej. Guanacaste o Zope para *Schizolobium parahyba*) o el mismo nombre representa diferentes especies de árboles (Guanacaste: *Enterolobium cyclocarpum* o *Schizolobium parahyba*).

Por otro lado, entre regiones el fenotipo de algunas especies varía considerablemente (Mora 1983, Morales et ál. 2004, Pennington y Sarukhán 2005), por lo que sería un error suponer que éstas mantendrían el mismo valor para algunos rasgos funcionales; por ejemplo, perennidad de follaje. Además, características ecológicas de las especies como presión destructiva por uso, si esta es introducida o amenazada, ciertamente cambian por región. Así, que cuando las características y los rasgos funcionales de las especies relacionados con la provisión de los SA fueran aceptados, y con el apoyo de informantes clave, podrían ser directamente asignados a los árboles (con su nombre local) y no necesariamente por medio de su nombre científico.

5.2 Sobre el uso de los modelos para la estimación del valor ecológico de la cobertura arbórea

5.2.1 Consideraciones sobre la construcción de los modelos

Como otros investigadores afirman (Brown et ál. 1989, Chave et ál. 2005), es posible estimar el carbono fijado con solo una variable (dap) o dos (dap y H o densidad de madera), pero para mayor confiabilidad (especialmente en los sitios más productivos) son preferibles modelos como el presente que usan los tres componentes dap, H y densidad de madera. Para estimar los servicios a la conservación de la biodiversidad, en el presente estudio se prefirió también usar el valor funcional ecológico de las especies junto con dos variables dimensionales, como se propuso para cada caso.

Tener la información propuesta en el presente estudio significaría mayor esfuerzo en la toma de datos en campo en comparación con estudios que solo ocupan conocer los usos de suelo y sus áreas (Murgueitio et ál. 2003), aunque la forma propuesta para llevarla a cabo crearía trabajo local, que como anteriormente se ha afirmado es un objetivo intrínseco del estudio, y probablemente minimizaría costos y dependencia de técnicos externos. Por otro lado, usando rasgos funcionales categorizados – en lugar de valores en escala continua como proponen Cornelissen et ál. (2003) – facilitó la estimación del valor ecológico de los árboles; como en el

caso del VC conformado por 5 clases de densidad de madera, siendo identificables por los promotores e informantes clave como en la literatura local (Bárcenas 1995, Barajas et ál. 1997).

5.2.2 Consideraciones sobre los resultados de los modelos

5.2.2.1 Carbono

La cantidad de carbono almacenada por la cobertura arbórea (CA) fue más influenciada por el área basal y después por el número de individuos, lo que fue acorde con lo encontrado por Dzib (2003) en cafetales con sombra en Costa Rica. La correlación del valor de la CA para el carbono con la sumatoria del valor funcional de las especies (VC) fue un poco superior que con el número de individuos, pero no se encontraron fuentes que discutan sobre este aspecto.

Como la variación de valores fue grande, excepto en potreros ≤ 30 árboles (PA-), para comparar con otros estudios que reportan resultados por uso de suelo, se usó el valor promedio de toneladas de carbono por uso de suelo estudiado. El valor para carbono almacenado en la cobertura arbórea osciló entre 84.9 para los bosques ribereños (BR) y 1.3 ton C ha⁻¹ para los (PA-). Los valores para BR fueron inferiores pero los más cercanos a las 100 y 114.4 ton C ha⁻¹ reportadas para bosques secundarios (BS 2o) en la reserva Maya en Petén, Guatemala y en México (Castellanos, citado por Fundación Solar (FS) 2000, Castillo-Santiago et ál. 2007). Los valores para acahuals (AC) fueron similares a los encontrados por Soto-Pinto et ál. (2007), mientras los cafetales estudiados mostraron valores más bajos que los cafetales con sombra diversificada en Guatemala, Costa Rica, y en los estados de Veracruz y Chiapas, México (Winrock, citado por Fundación Solar 2000, Polzot 2004, Dávalos 2008, Soto-Pinto et ál. 2007). Los potreros > 30 árboles (PA+) mostraron valor promedio mayor que los valores encontrados por Ávila et ál. (2001) en sistemas silvopastoriles (SSP) o en café con sombra monoespecífica (Cuadro 20).

Cuadro 20. Valores medios para el servicio de carbono por uso de suelo, estimados en este trabajo y otros estudios (toneladas ha⁻¹)

<i>Usos de suelo</i>	<i>Carbono (toneladas)</i>		<i>Autores</i>
	este estudio	otros estudios	
BS 2o	-	100-114	Castellanos en FS 2000, Castillo-S. et ál. 2007
BR	84.9		
AC	42.5	41.6-45.9	Soto-P. et ál. 2007
CF	22.1	25-36	Winrock en FS 2000, Dávalos 2008, Soto-Pinto et ál. 2007, Polzot 2004
PL	10.5		
PA+	14.4	10.1 y 8.2	(café s. monoespecífica y SSP) Ávila et ál. 2001
PA-	1.3		
CV	9.9		

Cabe destacar, que solo se está considerando el carbono en la biomasa (BM) aérea de árboles ≥ 10 cm dap y seguramente los valores son bajos con respecto a estudios que incluyen el carbono en la BM radicular o en el suelo. La BM radicular podría ser estimada con relación al carbono almacenado en la BM aérea, sumando un 25% al valor original (valor promedio de los encontrados por Sanford y Cuevas, citados por Brown 1997, Cairns et ál. 1997). Mientras, el carbono almacenado en el suelo podría ser inferido por otros estudios en la región, pero se necesitaría más información, como por ejemplo: tipo de suelo, intensidad y tiempo desde que empezó el uso (Esquivel 2005).

5.2.2.2 Biodiversidad

El valor de la cobertura arbórea en las parcelas de muestreo para la conservación biodiversidad (BD) y para sus tres “subsistemas”, alimentación (AL), hábitat (HB) y valor de existencia (EX), fue más correlacionado con la sumatoria del valor funcional de las especies (VF) correspondiente a cada uno. Además, el valor estimado para la BD, como servicio combinado

fue correlacionado con área basal (AB) y el número de individuos. Nada de lo anterior pudo ser comparado con otros estudios, pero se realizó un análisis con la información encontrada sobre dimensiones de los árboles y métricas dimensionales de la cobertura arbórea, examinando cada subservicio por separado.

La producción de alimento de un individuo, incluyendo frutos, semillas, follaje forrajero y recursos en néctar y polen para vertebrados, tomó en cuenta el dap y el diámetro de su copa. La decisión de basarse en estas dos métricas dimensionales para estimar el AL de un individuo es apoyada y validada por estudios de Snook et ál. (2005) en Quintana Roo, México y Wadt et ál. (2005) en Brasil; la producción de frutos de Caoba (*Swietenia macrophylla*) y de Nuez de Brasil (*Bertholletia excelsa*) aumentó con el dap y el área de copa (*B. excelsa*: $r = 0.61$ y $r = 0.51$, $p \leq 0.0001$). Además, Zuidema, citado por Wadt et ál. (2005) en un estudio sobre la misma especie en Bolivia, encontró que en árboles ≥ 40 cm de dap el área de copa fue mejor predictor de la producción de frutos que el dap.

Para el hábitat se encontraron estudios sobre coberturas pero no sobre árboles individuales. La provisión de hábitat en parcelas de muestreo de cualquier uso de suelo, es concebida para vertebrados, y aparte de la sumatoria del valor funcional de las especies arbóreas que fue la variable el más influyente, tuvo mayor correlación con las métricas dimensionales de área basal y área de copa y menos con el número de individuos. Tanto, el hecho de que en la construcción del modelo para HB se toma en cuenta el diámetro de copa y la altura de los árboles, como el hecho de que los resultados del mismo modelo muestran que el AB es más influyente que el número de individuos, están apoyados por el estudio de Lang et ál. (2003) en cercas vivas, en Costa Rica, donde casi el doble de aves en número de individuos y especies visitó a un tipo de cercas, que a otro tipo con la misma densidad arbórea pero de menor dap, altura y extensión de copa.

El valor de existencia de la cobertura arbórea fue más correlacionado con el AB que con el número de los individuos presentes. Aunque, no se encontraron estudios anteriores sobre el valor de existencia de los árboles, y algunos autores opinan que este valor es relativo a cada persona, de su sentir y su razonamiento (Groom et ál. 2006), en este estudio se cree presentar un valor ecológico excluyendo, a lo posible, el juicio antropocéntrico.

5.2.3 Comparación con la propuesta de estimación de los servicios ambientales con base en el índice ecológico por usos de suelo

Se compararon los resultados obtenidos de los modelos para el C (6) y para la BD (7-10), usando el valor promedio encontrado por uso de suelo, con los índices ecológicos por uso de suelo (C_{US} y BD_{US}) propuestos por Murgueitio et ál. (2003). Para conveniencia de comparación y respetando la escala de 0 a 1, se crearon dos nuevos índices C_{01} y BD_{01} , asignando 0.1 puntos = 10 ton C y 0.1 = 400 puntos de BD. Hay que destacar, que los índices aquí propuestos reflejan el servicio ofrecido por la biomasa aérea de árboles con ≥ 10 cm dap, mientras que el índice de Murgueitio et ál. (2003), toma en cuenta el sistema en su totalidad, o sea la biomasa total de todos los árboles, pasto u otros cultivos, más el carbono almacenado en el suelo (Cuadro 21).

Los valores de los índices por uso de suelo C_{01} y BD_{01} , estimados en el presente estudio, mostraron *ranking* similar pero intervalos más amplios que los valores de los índices C_{US} y BD_{US} propuestos por Murgueitio et ál. (2003). Por ejemplo, los BR mostraron valor promedio para la biodiversidad 4 veces mayor que los PA+, mientras el índice BD_{US} indica solo 1.4 veces. Además, los PA- mostraron valor promedio insignificante con respecto a los demás usos de suelo, mientras los índices C_{US} y BD_{US} le asignan casi el 43% del valor de los BR (Cuadro 21). Para el caso de carbono, si se tomaran en cuenta la biomasa radicular de los árboles (Sanford y Cuevas, citados por Brown 1997; Cairns et ál. 1997) y el carbono almacenado en el suelo (Esquivel 2005), probablemente los intervalos entre los valores de los usos de suelo serían más grandes que los encontrados en el presente estudio.

De lo anterior se concluye que los índices ecológicos de Murgueitio et ál. (2003) no reflejan la realidad y un pago basado en los puntos incrementales entre usos de suelo de estos índices sería equívoco. Por otro lado, no hay que olvidar que los índices C_{01} y BD_{01} usados en el presente estudio tienen solo finalidad comparativa y no son propuestos para reflejar la realidad o efectuar pagos, ya que la variación de valores entre parcelas de un mismo uso de suelo es muy grande (Figura 19a).

Cuadro 21. Comparación del valor de carbono y de la biodiversidad entre usos de suelo con los modelos del presente estudio y los propuestos por Murgueitio et ál. (2003)

US	Uso de suelo ¹	C_{US}	BD_{US}	Usos de suelo ²	C	BD	C_{01}	BD_{01}
PS	Pastura degradada o cultivo de granos y tubérculos	0.0	0.0	Cualquier US sin árboles con dap \geq 10 cm	0.0	0.0	0.0	0.0
	Pastura natural sin árboles	0.1	0.1					
PA-	Pastura natural baja densidad de árboles < 30 árboles (5 cm dap) ha ⁻¹	0.3	0.3	Potrero con \leq 30 árboles	1.3	6.4	0.0	0.0
PA+	Pastura natural alta densidad de árboles	0.5	0.5	Potrero con > 30 de árboles	14.4	90.2	0.1	0.2
CV	Cerca viva (CV) nueva o con poda frecuente (\geq 2 año ⁻¹)	0.3	0.3	Cerca viva	9.9	80.7	0.1	0.2
	CV multiestrato o rompeviento (\geq 4 m ancho de copa y 4 m de h)	0.5	0.6					
PL	Plantación de maderables en monocultivo	0.8	0.4	Plantación de maderables (diversos)	10.5	120.3	0.1	0.3
	P. de maderables diversificada	0.7	0.7					
CF	Café con sombra	0.7	0.6	Cafetal (con sombra)	22.1	205.3	0.2	0.5
AC	Vegetación secundaria Tacotal	0.8	0.6	Acahual y bosquesito (veg. secundaria)	42.6	217.8	0.4	0.5
BR	Bosque ribereño	0.7	0.7	Bosque ribereño	84.9	331.0	0.8	0.8

¹ Usos de suelo (US) y valores propuestos por Murgueitio et ál. (2003)

² Usos de suelo (US) encontrados en el área del presente estudio

5.3 Utilidad de la estimación del valor ecológico de la cobertura arbórea; acercamiento al pago por servicios ambientales

Una forma de internalizar las externalidades ecológicas ofrecidas por las parcelas productivas es por medio de pagos por los servicios ambientales generados (PSA). Para los esquemas de PSA se requiere conocer el valor ecológico de la parcela que, multiplicado por un factor monetario, daría a conocer el precio con que hay que compensar a los productores (WB 2002, Murgueitio et ál. 2003, UIC 2004, Ibrahim et ál. 2007a, Pagiola et ál. 2007, Soto-Pinto et ál. 2007, UNDP 2008).

Para el caso de carbono, con la estimación de la cantidad almacenada en la biomasa de cobertura arbórea (línea base) y estimaciones del incremento anual promedio, a través de muestreos adicionales, se puede compensar a los productores por el servicio ya generado así como por su esfuerzo posterior, además de evitar la generación de incentivos perversos, como el de “cortar todo lo que hay” para poder tener amplitud de incremento, como ha sido reportado por Ibrahim et ál. (2007a) y Pagiola et ál. (2007).

Para el caso de la conservación de la biodiversidad, con la presente información se tiene un valor relativo a la cantidad del servicio potencialmente generado por el tipo de especies y tamaño de la cobertura arbórea, y futuros muestreos darían a conocer el servicio ofrecido a tales momentos. Como la conservación de la biodiversidad es un servicio continuo y no de almacenamiento, el pago no podría implementarse por puntos incrementales de este, sino por el puntaje total estimado para cada año.

En estudios realizados en México, el precio del carbono con base en la demanda se ha estimado entre US\$ 20 y 40 ton⁻¹ C (Balderas et ál. 2009) y en otros países entre US\$ 81 y 94 ton⁻¹ C (varios autores citados por Ramírez y Gómez 1999) y, con base en la oferta entre US\$ 4 y 33 ton⁻¹ C (varios autores citados por Ramírez y Gómez 1999); mientras, se ha propuesto diferenciación de pago entre los países tropicales y las áreas templadas de los países desarrollados de US\$ 5 a 22 ton⁻¹ C (en precios aproximados actualizados¹). En el presente

¹ Todos los precios se actualizaron con base en el índice de precios ajustados para US\$ de la Reserva Federal de EU, consultado sep. de 2009 en http://www.federalreserve.gov/releases/h10/summary/indexbc_m.txt

estudio, este hecho no es aceptable porque el C es considerado como un servicio global y así también debe ser tratado su precio. En acciones reales, en Chiapas, México, desde el 1997 la Federation Internationale De L' Automobile (FIA) está comprando bonos de carbono a precios¹ que empezaron desde US\$ 10 ton⁻¹ C y llegaron a US\$ 12 ton⁻¹ C (años 1997 – 2005) (Soto-Pinto et ál. 2005). En Costa Rica, el gobierno de Noruega compró 20,000 toneladas en bonos de carbono (Certified Trade Offsets CTO) a US\$ 10 y la USIJI (Iniciativa de los EU sobre la Implementación Conjunta) compra la tonelada de C a un precio promedio de US\$ 45 (Ramírez y Gómez 1999). Cabe destacar, que en Costa Rica pagos de hasta US\$ 11.2 ton⁻¹ C no fueron suficientes para influir fuertemente en el aumento de la cobertura arbórea (Ávila et ál. 2001) (Cuadro 22).

Cuadro 22. Precios aproximados para el servicio de fijación de carbono (\$US ton⁻¹ C)

<i>Precio actualizado</i>	<i>Países</i>					<i>Autores</i>
	México	C. Rica	otros	tropical	desarrollado	
Demanda	30	60	81, 94			Balderas et ál. 2009; Carranza 1996; Fankhauser y Tol 1995, 2000
Oferta	4		11, 33	5	22	Winjum et ál. 1993, Cline1992
Acciones reales	10-12	10, 45				Soto-Pinto et ál. 2005, Ramírez y Gómez 1999
Límites		11				Ávila et ál. 2001

Los precios de demanda y oferta (no para MX) son tomados del estudio de Ramírez y Gómez (1999).

Para la conservación de la biodiversidad, agentes que trabajan para el desarrollo en Costa Rica, Colombia y Nicaragua (Ibrahim et ál. 2007a; Pagiola et ál. 2005, 2007) implementaron una forma de pago con base en el índice de Murgueitio et ál. (2003), mismo que usaron también para el carbono. En estos proyectos se asignó un pago único de US\$ 8.9 por punto de línea base y US\$ 73.2 por punto incremental de cambio de uso de suelo (US) ha⁻¹ (precios

actualizados¹), precios que aplicados a bosques están muy debajo de los precios de dos programas de PSA para bosques en Costa Rica, de US\$ 43.2 - 100 ha⁻¹ (Pagiola et ál. 2004). Esto haría que usos de suelo con probable densidad arbórea alta sin cambio alguno, como PA+, AC o BR, tuvieran un pago único, por el servicio ofrecido para la conservación de la BD, más bajo que usos de suelo con cambio, por ejemplo de PA- a PA+ o el establecimiento de una CV (Cuadro 23). Esta forma de pago, aunque apremia el cambio de uso de suelo, no refleja y no remunera el esfuerzo de los productores que han mantenido y siguen manteniendo una cobertura arbórea alta. Asimismo, el pago por uso de suelo, no hace diferenciación en la densidad y funcionalidad ecológica de los árboles, ya que se pagaría lo mismo para potreros con 50 o 500 árboles ha⁻¹.

Cuadro 23. Pago por el servicio de la conservación de la biodiversidad por uso de suelo, basados en el índice ecológico de Murgueitio et al. (2003) y montos propuestos por Ibrahim et ál. 2007a y Pagiola et ál. 2007

<i>Uso de suelo</i>		<i>Pagos (\$US ha⁻¹)</i>		
<i>Antes</i>	<i>Después</i>	<i>Línea base</i>	<i>Punto incremental</i>	<i>Total</i>
BR	BR	6.2	-	6.2
AC	AC	5.3	-	5.3
PA+	PA+	4.4	-	4.4
PA-	PA+	2.7	14.6	17.3
-	CV	-	22.0	22.0

Con respecto a la duración de los pagos por el servicio de carbono, Soto-Pinto et ál. (2005), basados en estudios de investigación anteriores, sugieren un pago mayor (60%) el primer año y pagos menores (20%) finitos los años posteriores. Mientras que, para la conservación de biodiversidad, Pagiola et al. (2004) encontraron que pagos constantes, más o menos

¹ Todos los precios se actualizaron con base en el índice de precios ajustados para el US\$ de la Reserva Federal de EU, consultado sep. de 2009 en http://www.federalreserve.gov/releases/h10/summary/indexbc_m.txt.

homogéneos a través de los años, incentivan más a los productores en mantener su bosque que programas de pagos mayores únicos o distribuidos en pocos años. Con base en lo anterior y la información del presente estudio, es aceptable sugerir que la forma y duración de pago no sea la misma para los dos servicios. Para ambos se tendría que dar un pago inicial relacionado a la línea base, pero mientras que para el carbono se tendrían que dar pagos adicionales menores, solo por tonelada de carbono incremental, para la conservación de la biodiversidad los pagos se tendrían que dar por el servicio ofrecido anualmente.

6. Conclusiones

Sobre el proceso metodológico y la inclusión de gente local

Con la colaboración de productores-promotores campesinos en el estudio, en lugar de técnicos especializados, se logró una mejor repartición del presupuesto y se fortalecieron las capacidades locales en el tema de los servicios ambientales, ambos objetivos principales de los proyectos de desarrollo sustentable. Por medio de su capacitación e inclusión en el estudio, los promotores tuvieron beneficios económicos directos y adquirieron nuevos conocimientos y aptitudes, además de que podrían contar con posibilidades de trabajo futuro.

La metodología propuesta para estimar el valor ecológico de las parcelas productivas es probablemente más laboriosa comparándola con metodologías que solo ocupan conocer los usos de suelo y sus áreas. Sin embargo, con la medición directa de los árboles, que se propone en el presente estudio, se generan resultados mucho más confiables sobre el valor de cada cobertura arbórea y las diferencias entre estas, que debieran contribuir a que el pago por los servicios ambientales sea más justo. Así mismo, la participación de gente local reduce costos y dependencia técnica de agentes externos, y probablemente aumenta la sostenibilidad del proceso y sus posibilidades de tener impacto en la región.

Sobre los resultados de los modelos de estimación del valor ecológico

Con el valor funcional ecológico estimado de las especies arbóreas, se conoció su contribución potencial relativa a un servicio ambiental, que debiera usarse como criterio de selección de especies para promover un servicio requerido. Sin embargo, el estudio muestra que, además de tomar en cuenta la identidad de las especies, es vital reconocer que los servicios ambientales difieren en cuanto a los componentes de dimensión y de población que más influyen en la determinación de su potencial. El valor de las parcelas relativo al secuestro de carbono, como es de esperarse, dependió principalmente del área basal, mientras que el valor para la biodiversidad tuvo casi igual correlación con los tres componentes, la sumatoria del valor funcional de las especies, el área basal y el número de individuos de la cobertura arbórea. Pero destaca que cuando mayor fueron las métricas número de individuos y área basal, menor fue su correlación con el valor ecológico de las parcelas y por lo tanto, mayor sería el error si no se tomara en cuenta el valor funcional ecológico por individuo.

Con el valor ecológico de la cobertura arbórea de parcelas productivas estimado a través de esta metodología, se tiene una herramienta que refleja fielmente los valores absolutos y relativos de cada una, permitiendo negociar una futura recompensación para los servicios ambientales generados dentro del contexto de un programa potencialmente muy efectivo.

7. Recomendaciones

- ⇒ Parcelas con ≤ 30 árboles (≥ 10 cm de dap) ha^{-1} tienen un valor reducido en cuanto a su provisión de servicios ambientales para carbono y biodiversidad. En este sentido habría que considerar su inclusión dentro del sistema de pago por servicios ambientales (PSA).
- ⇒ Para simplificar el procedimiento propuesto se recomienda tomar las mediciones de los árboles de forma categórica desde el muestreo en campo.
- ⇒ Podría estimarse el carbono almacenado en la biomasa total de los árboles, sumando el almacenado en su biomasa radicular, como una porción fija (25%, de acuerdo a estudios ya publicados) del carbono almacenado en su biomasa aérea, ya estimado en el presente estudio. Además, se puede incluir el carbono almacenado en el suelo, con base en otros estudios de la región.
- ⇒ Para una variante o mejora de los modelos de estimación, especialmente de los subservicios de alimentación y valor de existencia para la biodiversidad, se podría usar como ponderador del valor de la parcela un índice de diversidad funcional, que daría más peso a la diversidad de los recursos alimenticios y de los tipos funcionales encontrados en ésta.
- ⇒ Completar la base datos para el valor funcional de las especies encontradas en los nuevos sitios.
- ⇒ Utilizar el potencial de la herramienta propuesta en proyectos sobre captura de carbono que ya están operando, por ejemplo los “planes vivos” del proyecto “Scolel Té” en Chiapas, México.
- ⇒ Servirse de la propuesta metodológica para fortalecer o mejorar las políticas para PSA de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR-México), especialmente en vías de involucrar parcelas productivas para el servicio a la biodiversidad, abriendo simultáneamente puestos para el trabajo local.
- ⇒ Paralelamente con la aplicación de la herramienta propuesta para PSA, diseñar un programa de monitoreo de impacto para verificar su efectividad.

8. Bibliografía

- Agenda 21. 1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUCED o Cumbre de la tierra). 3-14 junio 1992. Río de Janeiro, BS. Senado Federal.
- Aguilar, J; Burstein, J; León, E de. 2001. Estudio sobre iniciativas de pago por servicios ambientales en México. Segunda fase: Estudios de caso. Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente (PRISMA). p. 42 (en línea) Consultado marzo 2009. Disponible en http://www.ambio.org.mx/index.php?option=com_remository&Itemid=33
- Alonzo, YM; Ibrahim, M; Gómez, M; Prins, K. 2001. Potencial y limitaciones para la adopción de sistemas silvopastoriles para la producción de leche en Cayo, Belice. *Agroforestería en las Américas* 8(30):24-27
- Andrade C, HJ. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag Sc. CATIE, Turrialba, CR. p. 70
- Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):32-35
- Balderas-Torres, A; Marchant, R; Lovett, JC; Smart, JCR; Tipper, R. 2009. Analysis of the carbon sequestration costs of afforestation and reforestation agroforestry practices and the use of cost curves to evaluate their potential for implementation of climate change mitigation. *Ecological Economics*, In Press. p. 9
- Barajas-Morales, J; Ángeles A, G; Solís S, P. 1997. Anatomía de maderas de México: especies de una selva alta perennifolia I. Publicaciones especiales del IB 16, UNAM. p. 126
- Bárcenas P, GM. 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona. *Madera y Bosques* 1(1):9-38
- _____; Dávalos S, G. 1999. Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: revisión bibliográfica. *Madera y Bosques* 5(1):13-26

- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):80-87
- Berkes, F. 1993. Traditional ecological knowledge in perspective. *In* English, J T. ed. Traditional ecological knowledge concepts and cases. Ottawa, CA, IDRC. p. 1- 10
- Brown, S; Gillespie, AJR; Lugo, AE. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):881-902
- _____. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. FAO, Forestry paper 134. Roma, Italia. p. 55 (en línea) Consultado junio 2009. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/W4095E/W4095E00.htm>
- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges (en línea) *Environmental Pollution* 116:363–372. Consultado junio 2009. Disponible en <http://www.winrock.org/ecosystems/files/2002ForestCarbon.pdf>
- Bruijnzeel, LA (S). 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state of knowledge review. Paris, UNESCO. International Hydrological Programme. p. 224
- _____. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? (en línea) *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104(1):185-228. Consultado diciembre 2007. Disponible en http://www.asb.cgiar.org/pdfwebdocs/AGEE_special_Bruijnzeel_Hydrological_functions.pdf
- Brum, Z. 2006 Proyectos demostrativos y políticas públicas: los desafíos de la invención del presente. *Leisa Revista de Agroecología* 21(4):24-26
- Bunch, R. 2006. Extensión junto con los productores. (entrevista realizada por Prins, KC. 1999). CATIE. Turrialba, CR. *Agroforestería en las Américas* 6(21):6-9
- Cairns, MA; Brown, S; Baumgardner, GA; Helmer, EH. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests (en línea) *Oecologia* 111:1-11. Consultado mayo 2009. Disponible en

<http://www.winrock.org/ecosystems/files/RootBiomassAllocationInTheWorldsUplandForests1997.pdf>

- Cárdenas, G; Harvey, CA; Ibrahim, M; Finegan, B. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39):78-85
- Castillo-Santiago, MA; Hellier, A.; Tipper, R; Jong, BHJ de. 2007. Carbon emissions from land-use change: an analysis of causal factors in Chiapas, México. *Mitigation Adapted Strategies Global Change* 12:1213 – 1235
- CCAD-PNUD/GEF (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo – Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo / Fondo Mundial para el Medio Ambiente). 2002. Guía metodológica de valoración económica de Bienes y Servicios ambientales. Proyecto para la consolidación del corredor biológico mesoamericano. Serie técnica 04. p. 149
- CDI-PNUD (Comisión Nacional para el Desarrollo de los pueblos Indígenas – PNUD). 2006. Informe sobre el desarrollo humano de los pueblos indígenas de México. (en línea) Comisión nacional para el desarrollo de los pueblos indígenas. MX. Consultado diciembre 2007. Disponible en <http://www.undp.org.mx/Doctos/Publicaciones/Informe%20sobre%20Desarrollo%20Humano%20de%20los%20Pueblos%20In%C3%ADgenas%20de%20M%C3%A9xico.pdf>
- Centrogeo (Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Jorge L. Tamayo"). 2007. (en línea) Vásquez-Sánchez, MA; Ramos, MA (eds). (SEP-CONACYT). INE. SEMARNAP. INEGI. Consultado noviembre 2007. Disponible en <http://www.centrogeo.org.mx/CiberAtlas/Lacandona/>
- Chacón, ML; Harvey, CA. 2006. Live fences and landscape connectivity in a neotropical agricultural landscape. *Agroforestry Systems* 68:15-26.
- Chave, JC; Andalo, C; Brown, S; Cairns, MA; Chambers, JQ; Eamus, D; Fölster, H; Fromard, F; Higuchi, N; Kira, T; Lescure, J-P; Nelson BW; Ogawa, H; Puig, H; Riéra, B; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145:87–99

- _____; Muller-Landau, HC; Baker, TR; Easdale, TA; Steege ter, H; Webb, CO. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. *Ecological Applications* 16:2356-2367
- CI (Conservation International, Mexico and Central American Program). 2004. Rodríguez O, C; Asquith, N. comp. Ecosystem Profile Northern Region of the Mesoamerica Biodiversity Hotspot: Belize, Guatemala, Mexico. Critical Ecosystem Partnership Fund. p. 58
- CONABIO. 2004. Documento propuesta. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Corredor Biológico Mesoamericano – México; Unidad técnica regional – Chiapas. MX. p. 7
- _____. 2005. Regiones Terrestre Prioritarias de México. RTP – 138 (en línea). Lacandona. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). MX. p. 537-540. Consultado noviembre 2007. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_138.pdf
- Cordero, J; Boshier, D. (ed). 2003. Árboles de Centroamérica. Un manual para el extensionista. Oxford Forest Institute y CATIE. p. 1079
- Cornelissen, JHC; Lavorel, S; Garnier, E; Díaz, S; Buchmann, N; Gurvich, DE; Reich, PB; Ter Steege, H; Morgan, HD; Heijden, MGA van der; Pausas, JG; Poorter, H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51:335-380.
- Croat, Thomas B. 1978. Flora of Barro Colorado Island. Stanford Univesrity Press, Stanford, California. p. 943
- Dávalos S, R; Rodrigues M, MI; Martínez P-C, E. 2008. Almacenamiento de carbono. *In* Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz, biodiversidad manejo y conservación. Ed. Manson et ál. Cap. 16. p. 223 – 233
- Groot, RS de; Wilson, MA; Boumans, RMJ. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* (41):393-408

- Vos, J de. 2002. Una tierra para sembrar sueños. Historia reciente de la Selva Lacandona 1950-2000. MX. Fondo de Cultura Económica. p. 505
- Díaz, S; Cabido, M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution* 16(11):646-655
- _____; Lavorel, S; Chapin III, FS; Tecco, PA; Gurvich, DE; Grigulis, K. 2006. Functional diversity – at the crossroads between ecosystem functioning and environmental filters. *In Terrestrial ecosystems in a changing World*. Canadell, J; Pitelka, LF; Pataki, D. (eds.) p. 103-113
- _____; Lavorel, S; Bello, F de; Quetier, F; Grigulis, K; Robson, TM. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *PNAS* 104(52):20684-20689
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Protección ambiental; especies nativas de México de flora y fauna silvestres; categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio; lista de especies en riesgo. MX. p. 84
- _____. 2003. Reglas de operación para el otorgamiento de pagos del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos. SEMARNAT, MX. p. 23
- _____. 2008. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) SEMARNAT, MX. p. 101
- _____. 2009. Constitución política de los estados unidos mexicanos. Art 2. Última reforma octubre 2009. MX. p. 167
- Dzib C, BB. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Mag Sc. CATIE, CR. p. 124

- Esquivel B, E. 2005. Uso de suelo y almacenamiento de carbono en dos comunidades de Marqués de Comillas, Chiapas. Tesis Mag. Sc. Instituto politécnico Nacional, MX. p. 136
- Esquivel M, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Tesis Dr Ph. CATIE, CR. p. 161
- Esquivel, MJ; Harvey, CA; Finegan, B; Casanoves, F; Skarpe, C. 2008. Effects of pastures management on the natural regeneration of neotropical trees. *Journal of applied ecology* (45):371-380
- Esquivel Q, JO. Ibrahim, M; Jiménez, F; Pezo, D. 1998. Distribución de Nutrientes en el suelo en asociaciones de poró (*Erythrina berteroana*), madero negro (*Gliricidia sepium*) o *Arachis pintoi* con *Brachiaria brizantha*. *Agroforestería en las Américas* 5(17-18):39-43.
- Estrada, A; Coates-Estrada, R. 2005. Diversity of Neotropical migratory landbird species assemblages in forest fragments and man-made vegetation in Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1719–1734
- Faller-Menéndez, JC; Urquiza-Haas, T; Chávez, C; Johnson, S; Ceballos, G. 2005. Registros de mamíferos en la reserva privada El Zapotal, en el noreste de la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología* 9:128-140
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1995. *Prácticas Agroforestales. Metodología y estudios de caso.* FAO. Holanda. p. 183
- _____. 2002. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La agricultura y los bienes públicos mundiales diez años después de la cumbre para la tierra. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. p. 231 (en línea). Consultado enero 2008. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/004/y6000s/y6000s13.htm>
- _____. 2005. La ganadería extensiva destruye los bosques tropicales en Latinoamérica (en línea). Sala de prensa, últimas noticias. Consultado abril 2008. Disponible en <http://www.fao.org/newsroom/ES/news/2005/102924/index.html>

- _____. 2006. Global assessment of growing stock, biomass and carbon stock. Marklund, LG y Schoene, D. Forest Resources Assessment Programme (FRA) Working paper 106/E. Rome. p. 55 (en línea). Consultado febrero 2008. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6378s/>
- Fernández M, F. 2007. Diversidad funcional de bosques muy húmedos tropicales en el noreste de Costa Rica a partir de rasgos foliares y densidad de la madera. Tesis Mag Sc. CATIE. Turrialba, CR. p. 97
- Finegan, B; Delgado, D. 2000. Structural and floristic heterogeneity in a 30-year-old Costa Rican rain forest restored on pasture through natural secondary succession. *Restoration ecology* 8(4):380-393
- _____. 2009. Error en el muestreo de altura de árboles grandes. CATIE, Turrialba, CR. Comunicación personal
- Fonseca G, W; Alice G, F; Rey B, JM. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica (en línea) *Bosque* 30(1):36-47 Consultado mayo 2009. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002009000100006&lng=pt&nrm=iso
- Foster, RB. 1990. Hambruna en la isla de Barro Colorado. *In* Leigh, EGjr; Rand, AS; Windsor, DM (edit). *Ecología de un bosque tropical: ciclos estacionales y cambios a largo plazo*. Smithsonian Institution. pc. 271-283
- Fundación Solar. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso de suelo. Ed. Márquez, L. Guatemala. p. 36 (en línea) Consultado septiembre 2009. Disponible en <http://www.winrock.org/fnrm/files/fundacionsolar.pdf>
- García E, L; Guindeo C, A; Peraza O, C; Palacios P, P de. 2003. *La madera y su anatomía*. Mundi-Prensa. MX. p. 327
- Garnett, ST; Crowley, GM; Hunter-Xenie, H; Kozanayi, W; Sithole, B; Palmer, C; Southgate, R; Zander, KK. 2009. Transformative knowledge transfer through empowering and paying community researchers. *Biotropica* 41(5):571–577

- Guerrero, G. 2003. El caso de la Reserva Montes azules. Maderas del pueblo del Sureste AC. Chiapas. México. Breve historia de la Selva Lacandona (en línea). Consultado noviembre 2007. Disponible en <http://www.maderasdelpueblo.org.mx/pdf/montesazules.pdf>
- Gobierno de Chiapas. 2006. Planeación Territorial: la selva Lacandona (en línea). Consultado julio 2007. Disponible en www.aguascalientes.gob.mx/seplade/redplan/BIBLIOTECA/PDF/aguascalientes_abril_2006.ppt
- Groom, MJ; Meffe, GK; Carroll, CR. 2006. Principles of conservation biology. 3ed edit. Sinauer Associates, Inc. USA. p. 793
- Haggar, J; Aguilar, A; Barahona, L; Staver, C; Melo, E de; Mendoza, R; Monterrey, J. 2005. Capacitación participativa sobre manejo de café y sus resultados en tres regiones de Centroamérica. VI Semana científica del CATIE, CR. p. 30-31
- Hamilton, LS; King, PN. 1983. Tropical forested watersheds. Hydrologic and soils response to major uses or conversions. Westview Press; USA. p. 168
- Harvey, CA; Villanueva, C; Villacís, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Taylor, R; Martínez, JL; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vílchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Kunth, S; Sinclair, FL. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):30-39
- _____; Medina, A; Merlo S, D; Vílchez, S; Hernández, B; Sáenz, JC; Maes, JM; Casanoves, F; Sinclair, FL. 2006. Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological Society of America. Ecological Applications* 16(5):1986–1999
- Hernández, B; Maes, JM; Harvey, CA; Vílchez, S; Medina, A; Sánchez, D. 2003. Abundancia y diversidad de escarabajos coprófagos y mariposas diurnas en un paisaje ganadero en el departamento de Rivas; Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):93-102
- Hernández S, R. 2002. La Selva Lacandona. (en línea) Belleza y cultura. Consultado julio 2007. Disponible en

<http://www.mexicodesconocido.com/espanol/naturaleza/flora/detalle.cfm?idcat=2&idsec=10&idsub=26&idpag=3733>

- Hernández D, S. (edit) 2005. Frontera sur de México; cinco formas de interacción entre sociedad y ambiente. ECOSUR, MX. p. 120
- Hooper, DU; Vitousek, PM. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277:1302-1305
- Howe, HF; Smallwood, J. 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual review of ecology and systematics* 13:201-28
- Ibrahim, M. 2006. Integrated Silvopastoral Approaches To Ecosystem Management Project. Lessons Learnt for PES and monitoring of environmental services: strategies for mainstreaming. CATIE, CR. 62 diapositivas
- _____; Gobbi, J; Casasola, F; Chacón, M; Ríos, N; Tobar, D; Villanueva, C; Sepúlveda, C. 2007a. Enfoques alternativos de pagos por servicios ambientales: Experiencia del proyecto Silvopastoral BORRADOR Chapter 15. *Ecomarkets: Costa Rica's Experience with Payments for Environmental Services*. ed. Platais, G; Pagiola, S. p. 20 (en línea) Consultado septiembre 2009. Disponible en <http://siteresources.worldbank.org/INTEEI/Resources/CostaRica-15-Silvopastoral.pdf>
- _____; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007b. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* (45):27-36
- INE (Instituto Nacional de Ecología); SEMARNAP. 2000. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Montes Azules. MX. p. 256
- _____. 2005. Resultados (en línea). Consultado noviembre 2007. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/46/res.html>
- Informe Brundtland; Gro Harlem (coord.). 1987. Nuestro futuro común. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro, BS. Oxford University Press.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Chapter 3. Appendix 3a.4. Settlements: Basis for Future Methodological Development (en línea) Consultado febrero 2009. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/>
- _____. 2007. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability (en línea) Parry, ML; Canziani, OF; Palutikof, JP; Linden, PJ van der; Hanson, CE (eds). IPCC fourth assessment report (AR4). Cambridge University Press. p. 976 Consultado octubre 2009. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/>
- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). 2007. Red list of threatened species. (en línea) The World conservation unit. Species survival comission. Consultado diciembre 2007. Disponible en <http://www.iucnredlist.org/>
- Jax, K. 2005. Function and “functioning” in ecology: what does it mean? OIKOS 11(3):641-648
- Jiménez-Ferrer, G; Soto-Pinto, L. 2004. Agroforestería pecuaria: Una opción para la ganadería bovina en la selva lacandona. ECOSUR, CI, UACH y AMBIO SC. Memoria técnica, Chiapas, MX. p. 56
- _____; Marquez, C; Reyes, F; Hernández, L. 2007. El Acuerdo de Puyacatenco. Por una ganadería sustentable en la Selva Lacandona, Chiapas, México (en línea) ECOFRONTERAS – ECOSUR (30):28-31. Consultado febrero 2008. Disponible en <http://www.ecosur.mx/ecofronteras/ecofrontera/ecofront30/acuerdodepuyacatengo.pdf>
- _____; Velasco-Pérez, R; Uribe G, M; Soto-Pinto, L. 2008. Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México. Zootecnia Tropical 26(3):333-337
- Kainer, KA; DiGiano, ML; Duchelle, AE; Wadt, LHO; Bruna, E; Dain, JL. 2009. Partnering for greater success: Local stakeholders and research in tropical biology and conservation. Biotropica 41(5):555–562
- Kanninen, M. 2003. Secuestro de carbono en bosques, su papel en el ciclo global. Agroforestería para la producción animal en América Latina II Memoria de conferencia electrónica (2000 – 20001). Estudio FAO 155. CATIE, CR. p. 90 – 109

- Lang, I; Gormley, LHL; Harvey, CA; Sinclair FL. 2003. Composición de la comunidad de aves en cercas vivas de Río Frío, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):86-92
- Laurance, WF; Lovejoy, TE; Vasconcelos, HL; Bruna, EM; Didham, RK; Stouffer, PC; Gascon, C; Birregaard, RO; Laurance, SG; Sampaio, E. 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22 years investigation. *Conservation Biology* 16(3):605-618
- Lavorel I, S; Touzard, B; Lebreton I, JD; Clement, B. 1998. Identifying functional groups for response to disturbance in an abandoned pasture. *Acta Ecológica* 19(3):227-240
- _____; Garnier, E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* (16):545-556
- Leff, E. 2004. *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*. MX. Siglo XXI editores. p. 509
- Leff, E; Argueta, A; Boege, E; Porto G, CW. 2005. Más allá del desarrollo sostenible: La construcción de una racionalidad ambiental para la sustentabilidad: una visión desde América Latina (en línea) *Futuros* 9(3):53 Consultado marzo 2009. Disponible en <http://www.revistafuturos.info>
- López M, A. 1998. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag Sc. CATIE. Turrialba, CR. p. 47
- Loreau, M; Hector, A. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments (en línea) *Nature* 412:72-76. Consultado febrero 2009. Disponible en <http://biology.mcgill.ca/faculty/loreau/>
- Louault, F; Pillar, VD; Aufrère, J; Garnier, E; Soussana, JF. 2005. Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland. *Journal of Vegetation Science* 16:151-160
- Lovelock, JE. 1979. *Gaia: a new look at life on earth*. Oxford University Press. p. 124
- Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina (en línea) *Revista olombiana de ciencias pecuarias*

- 15(2):226-231. Consultado febrero 2008. Disponible en <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Archivos/Foros/DOCUMENTO.pdf>
- Martínez C, JL; Martínez-Pinillos C, E. 1996. Características de maquinado de 32 especies de madera. *Madera y Bosques* 2(1):45-61
- Martínez, M. 1994. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. MX. Fondo de cultura económica. p. 1220
- Mayfield, MM; Ackerly, D; Daily, GC. 2006. The diversity and conservation of plant reproductive and dispersal functional traits in human-dominated tropical landscapes. *Ecology* 94:522–536
- McIntyre, S; Hobbs, R. 1999. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. *Conservation Biology* 13(6):1282-1292
- Meadows, DH; Meadows, DL; Randers, J; Behrens, WW III. 1972. Los límites del crecimiento. Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad. Fondo de Cultura Económica, Mexico. p. 253
- Méndez, VE; Bacon, CM. 2006. Ecological processes and farmer livelihood in shaded coffee production. *Leisa Magazine on low external input and sustainable agriculture* 22(4):22-23
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2003. Ecosystems and Human Well-being: A framework for Assessment (en línea). Consultado diciembre 2007. Disponible en http://www.epa.gov/sab/pdf/millennium_assessment_ch6.pdf
- Mora, HE. 1983. Introducción a la variabilidad fenotípica de madero negro (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. CATIE. Turrialba, CR. p. 50
- Morales A, AR; Cueva C, B; Aquino V, PS. 2004. Diversidad genética y distribución geográfica de la Cherimoya *Annona cherimola* Mill. en el Sur de Ecuador. (en línea) *Lyonia. A journal of ecology and application* 7(2):159-170. Consultado septiembre 2009. Disponible en <http://www.lyonia.org/downloadPDF.php?pdfID=2.356.1>
- Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, CE; Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas. Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto

- Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. Fundación CIPAV, CATIE, UCA-NITLAPAN. Medellín, Colombia. p. 97
- Nascimento A, E de. 1998. Análisis de adopción y adaptación campesina de sistemas agroforestales con cultivos anuales en cuatro comunidades del municipio de San Juan Opico en El Salvador. Tesis Mag Sc. CATIE. Turrialba, CR. p. 98
- Navarro, GA. 2005. Diseño y análisis microeconómico de los mecanismos monetarios de fomento a las plantaciones forestales en Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente (46):36-48
- Ortiz-Espejel, B; Toledo, VM. 1998; Tendencias en la deforestación de la selva lacandona (Chiapas; México): el caso de las cañadas. Interciencia 23(6):318-327
- Ortiz-Martínez, T; Gallina, S; Briones S, M; González, G. 2005. Densidad poblacional y caracterización del hábitat del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus oaxacensis*, Goldman y Kellog, 1940) en un bosque templado de la sierra norte de Oaxaca, México. Acta Zoológica Mexicana 21(3):65-78
- Pagiola, S; Agostini, P; Gobbi, J; Haan, C de; Ibrahim, M; Murgueito, E; Ramírez, E; Rosales, M; Ruiz, JP. 2004. Pago por servicios de Conservación de la Biodiversidad en paisajes agropecuarios. Enviromental Economics Series, WB. p. 40
- _____; Agostini, P; Gobbi, J; Haan, C de; Ibrahim, M; Murgueito, E; Ramirez, E; Rosales, M; Ruiz, JP. 2005. Paying for biodiversity conservation services. Mountain Research and Development 28(4): 206–211
- _____; Ramírez, E; Gobbi, J; Haan, C de; Ibrahim, M; Murgueitio, E; Ruiz, JP. 2007. Paying for the environmental services of silvopastoral practices in Nicaragua. Special issue on Ecosystem Services and Agriculture. Ecological Economics 64(2):374-385
- Pattanayak, SK; Mercer, DE; Sills, E; Yang, JC. 2003. Taking stock of agroforestry adoption studies. Agroforestry Systems 57:173-186
- Pausas, JG; Lavorel, S. 2003. A hierarchical deductive approach for functional types in disturbed ecosystems. Journal of Vegetation Science 14:409-416
- Pennington, TD; Sarukhán, J. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3ª ed. MX. UNAM y FCE. p. 523

- Pérez, AM; Sotelo, M; Ramírez, F; Ramírez, I; López, A; Siria, I. 2006. Conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles de Matiguás y Rio Blanco (Matagalpa, Nicaragua) (en línea). *Ecosistemas* 15(3):125-141. Consultado mar. 2008. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/429.pdf>
- Pérez-Rivera, RA. 1985. Nota sobre el hábitat, los hábitos alimentarios y los depredadores del lagarto *Anolis cuvieri* (lacertilia: iguanidae) de Puerto Rico. (en línea) *Caribbean Journal of Science* 21(3-4):101-103. Consultado oct. 2009. Disponible en <http://academic.uprm.edu/publications/cjs/VOL21/P101-104.PDF>
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1996. Sistemas Silvopastoriles: Una opción para el uso sostenible de la tierra en los sistemas ganaderos. *In* 1er Foro Internacional sobre “Pastoreo intensivo en Zonas Tropicales”. Veracruz México; 7-9 noviembre 1996. FIRA, Banco de México, Morelia, MX. p. 39
- Polzot, CL. 2004. Carbon storage in coffee agroecosystems of southern Costa Rica: potential applications for the Clean Development Mechanism. Tesis Mag Sc, York University, Canada. p. 162
- Prins, KC. 2006a. Gestión integral de cuencas hidrográficas. Serie laboratorio de cuencas. Estudio no. 2. Demarcación participativa de la montaña Carrizalón, Copán, Honduras. (en línea). Portal regional. Consultado mar. 2007. Disponible en <http://www.portalcuencas.net>
- _____. 2006b. Rutas y redes de la extensión. CATIE. Turrialba, CR. *Agroforestería en las Américas* 6(21):21-25
- _____. 2006c. ¿Cómo insertar nuevas tecnologías en sistemas de producción de familias campesinas? CATIE. Turrialba, CR. *Agroforestería en las Américas* 6(21):29-31
- Quetier, F; Lavorel, S; Thuiller, W; Davies, I. 2007. Plant-trait-based modeling assessment of ecosystem-service sensitivity to land-use change. *Ecological Applications* 17(8):2377-2386
- Ramírez, OA; Gómez, M. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. Comunicación técnica. *Revista forestal Centroamericana* 2(27):17-22

- Rios, N; Andrade, H; Ibrahim, M. 2008. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos (en línea). *Zootecnia Tropical* 26(3):183-186. Consultado marzo 2009. Disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-72692008000300004&script=sci_arttext
- Rosa, H; Kandel, S; Dimas, L. 2003. Compensation for Environmental Services and Rural Communities. Lessons from the Americas and Key Issues for Strengthening Community Strategies (en línea) El Salvador, San Salvador. PRISMA. p. 78. Consultado diciembre 2007. Disponible en <http://ibcperu.nuxit.net/doc/isis/5660.pdf>
- Ruiz G, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag Sc. CATIE. Turrialba, CR. p. 106
- Sáenz, JC; Villatoro, F; Ibrahim, M; Fajardo, D; Pérez, M. 2007. Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica; Nicaragua y Colombia. *Agroforestería en las Américas* (45):37-48
- Sánchez, D; Harvey CA; Grijalva, A; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B. 2005. Diversidad; composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás; Nicaragua. *Biología Tropical* 53(2-4):387-414
- Sanfiorenzo GdeL, AR. 2007. Contribución de diferentes arreglos silvopastoriles a la conservación de la biodiversidad, mediante la provisión de hábitat y conectividad del paisaje de la sub-cuenca del Río Copán, Honduras. Tesis Mag Sc. CATIE, CR p. 87
- Santivañez G, JL 2005. Efecto de la estructura, composición y conectividad de las cercas vivas en la comunidad de aves en Río Frío, Costa Rica. Tesis Mag Sc. CATIE, CR. p. 116
- Schroth, G; Da Fonseca, GAB; Harvey, CA; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (eds.). 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press Washington DC. p. 523
- Segura, M; Kanninen, M. 2005. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica (en línea) *Biotrópica* 37(1):2-8. Consultado junio 2009. Disponible en <http://www.cifor.cgiar.org/publications/>

- Shanley, P; López, C. 2009. Out of the loop: Why research rarely reaches policy makers and the public and what can be done. *Biotropica* 41(5):535–544
- Sinclair; FL; Walker, DH 1999. A utilitarian approach to the incorporation of local knowledge in Agroforestry research and extension. *In* Buck, LE; Lassoie, JP; Fernandes, ECM. (eds). *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. Estados Unidos, CRC Press. p. 245-275
- Snook, LK; Cámara-Cabrales, L; Kelty, MJ. 2005. Six years of fruit production by mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King): patterns of variation and implications for sustainability. *Forest Ecology and Management* (206):221–235
- Somarriba, E; Villalobos, M; González, J; Harvey, C. 2005. El proyecto conservación de biodiversidad y producción sostenible en pequeñas fincas indígenas de cacao orgánico en el corredor biológico Talamanca-Caribe, Costa Rica. VI semana científica del CATIE, CR. p. 138-139
- Soriano, CA; Velásquez, MD; Torres, GJ. 2006. Campesinos conservadores de la agrobiodiversidad y su incidencia política. *Leisa Revista de Agroecología* 21(4):29-32
- Soto-Pinto, L; Jiménez-Ferrer, G; Vargas, A; Jong B, B de; Esquivel-Bazán, E. 2005. Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México (en línea) *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1):44-50. Consultado marzo 2009. Disponible en http://www.ambio.org.mx/index.php?option=com_remository&Itemid=33
- _____; Aguirre, CM; Jiménez-Ferrer, G; Anzueto-Martínez, M; Delgadillo, M. 2007. Environmental services from multistrata agroforestry systems in Chiapas, México. Second international symposium. Multistrata agroforestry systems with perennial crops. Making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment. Sep 17-21 2007. Turrialba, CR. p. 5
- Sunderland, T; Sunderland-Groves, J; Shanley, P; Campbell, B. 2009. Bridging the gap: How can information access and exchange between conservation biologists and field practitioners be improved for better conservation outcomes? *Biotropica* 41(5):549–554
- Stiles, FG; Skutch, AF. 1989. A guide to the birds of Costa Rica. Cornell University. pc. 297

- Tamarit U, JC. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques* 2(2):29-41
- Thiollay, JM. 1995. The Role of Traditional Agroforests in the Conservation of Rain Forest Bird Diversity in Sumatra. *Conservation Biology* 9(2): 335-353
- Thrupp, LA. 1989. La legitimación del conocimiento local: de la marginación al fortalecimiento de los pueblos del Tercer Mundo. *In* Leff, E; Carabias, J. (comps.) 1993. *Cultura y Manejo Sustentable de los Recursos Naturales*, CIIH, UNAM, MX. ed. Porrúa. p. 786
- Toledo, V; Carrillo, C. (eds.) 1992. Conservación y desarrollo sostenido en la Selva Lacandona. El caso Cañadas; Chiapas. Centro de Investigación sobre energía y desarrollo, AC. MX. p. 148
- Tobar, D. 2004. Efecto de hábitat sobre la comunidad de mariposas diurnas en un paisaje antropogénico del norte de Costa Rica. Tesis Mag Sc. CATIE. Turrialba, CR. p. 74
- Torre de la, S. 2004. Aprender de los errores. El tratamiento didáctico de los errores como estrategia de innovación. Ed. Magisterio del Río de la Plata, Argentina. p. 240
- UIC (Unisfera International Centre). 2004. Pago por servicios ambientales: Estudio y evaluación de esquemas vigentes. Informe a la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Montreal
- UNDP (United Nations Development Programme). 2005. Project Document. Forest Trends. Global Environment Facility. Institutionalizing Payments for Ecosystem Services (en línea) Consultado noviembre 2007. Disponible en http://www.gefweb.org/Documents/Council_Documents/GEF_C28/documents/258903-24-06PADProjectdocument_000.pdf
- _____. 2008. Fast facts: UNDP and environment and energy (en línea) Consultado abril 2009. Disponible en <http://www.energyandenvironment.undp.org/undp/index.cfm?module=Library&page=Document&DocumentID=6604>
- Violle, C; Navas, M-L; Vile, D; Kazakou, E; Fortunel, C; Humell, I; Garnier, E. 2007. Let the concept of trait be functional! *OIKOS* 116:882-892

- Vaz, P. 2000. Regenerative analog agroforestry in Brasil. (en línea). Leisa Newsletter. Consultado marzo 2007. Disponible en <http://www.metafro.be/leisa/2000/14-16.pdf>
- Vásquez-Sánchez, MA; Ramos, MA (eds.) 1992. Reserva de la Biosfera Montes Azules; Selva Lacandona: Investigación para su conservación. Centro de Estudios para la Conservación de los Recursos Naturales, AC. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. MX. Publ. Esp. Ecosfera. p. 436
- Vitousek, PM; Hooper, DU. 1994. Biological diversity and terrestrial ecosystem biogeochemistry. In Schultz E-D y Mooney HA. (eds) Biodiversity and ecosystem function. Springer, Berlin. p. 3-14
- Wadt, LHO; Karen, A; Gomes-Silva, DAP. 2005. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excels* stand in Southwestern Amazonia. Forest Ecology and Management (211): 371–384
- WB (World Bank). 2002. Project appraisal document of the integrated silvopastoral approaches to ecosystem management project in Colombia, Costa Rica and Nicaragua. World Bank – CATIE. Washington DC; USA. Report No. 21869-LAC. p. 184
- Wright, IJ; Ackerly, DD; Bongers, FJMJ; Harms, KE; Ibarra-Manriquez, G; Martinez-Ramos, M; Mazer, SJ; Muller-Landau, HC; Paz, H; Pitman, NCA; Poorter, L; Silman, MR; Vriesendorp, CF; Webb, CO; Westoby, M; Wright, SJ. 2006. Relationships among ecologically important dimensions of plant trait variation in seven neotropical forests. (en línea) Annals of Botany 99(5):1003-1015. Consultado diciembre 2007. Disponible en <http://aob.oxfordjournals.org/cgi/reprint/mcl066v2>
- Zavala Z, D. 2000. Secado de maderas tropicales en estufas convencionales. Madera y Bosques 6(1):41-54

Anexo 1. Cartas descriptivas y guiones de los talleres

Taller de formación de promotores I

“Árboles en sistemas productivos y servicios ambientales”

Objetivo general: que los promotores reconsideren y amplíen su visión sobre los beneficios que ofrecen los árboles hacia afuera del sistema productivo (Servicios ambientales no locales)

A. Carta Descriptiva

Teoría: Parte A. Servicios ambientales que ofrecen los árboles

Tema	Objetivos	Técnicas	Materiales	Tiempo
Registro	Registro de los asistentes (promotores y formadores)	-	Lista de asistencia	10´
Presentación	Que los participantes se conozcan entre sí (promotores y formadores)	Presentación de cada participante		5´
Información general	Que los promotores conozcan el programa general de lo que se tratará en el taller	Expositiva	Proyector Diapositiva 1	5´
Servicios ambientales generados en sistemas agroforestales y SSP	Delimitar los beneficios-servicios que los árboles proporcionan como externalidades Reafirmar su valor, por el valor \$ que le han dado organizaciones importantes	Preguntas abiertas Lluvia de ideas Diálogo analítico Expositiva	Rotafolios blancos Plumones Diapositivas 1 – 4	40´

Tema	Objetivos	Técnicas	Materiales	Tiempo
1. Servicio en la disminución del fenómeno del cambio climático	Reafirmar y ampliar el conocimiento sobre cambio climático Conocer y analizar el servicio de los árboles contra este proceso	Lluvia de ideas Diálogo analítico Expositiva	Rotafolios blancos Plumones Diapositivas 5 – 6	30´
2. Servicio a la conservación de la biodiversidad	Reafirmar y ampliar el conocimiento sobre la conservación de la biodiversidad Analizar el valor de los árboles por el servicio que ofrecen a la fauna silvestre en hábitat y alimentación, y por su existencia en el paisaje	Lluvia de ideas Diálogo analítico Expositiva	Rotafolios blancos Plumones Diapositivas 7 – 10	60´
3. Servicio en la regulación del recurso hídrico	Reafirmar y ampliar conocimientos sobre el recurso hídrico Conocer el servicio de los árboles para la conservación y regulación de este proceso	Lluvia de ideas Diálogo analítico Expositiva	Rotafolios blancos Plumones Diapositivas 11 – 14	60´
Comentarios y discusión de los participantes sobre SA y árboles	Que se comparten puntos de vista y, en relación con lo escuchado, se saquen conclusiones	Preguntas abiertas Lluvia de ideas Diálogo analítico	Rotafolios blancos Plumones	30´
Total				4:00

Nota: Al final del taller se proporcionarán folletos con la información expuesta

B. Guión

Registro. Presentación de la gente. Información general

Diapos. 1...

Información general

Platicaremos sobre los árboles en las parcelas con potreros y los servicios que ofrecen a otra gente, que no solo somos nosotros.

Cualquier cosa que no esté clara o requieren más información, por favor pregunten

Sus observaciones y sugerencias son muy valiosas para este estudio

Servicios ambientales generados por los árboles en las parcelas productivas (SAF y SSP)

Diapos. 1 (Tiempo: 15')

Preguntas

Pensar: ¿qué pasaría si no existieran árboles en los potreros? ¿En los potreros en laderas?

¿Qué creen que nos ofrecen los árboles?

Pensar: hay bienes y beneficios que ofrecen al mismo productor y su familia o al sistema productivo (sombra, mejora de suelo), pero...

¿Qué ofrecen hacia afuera, beneficios que otros disfrutan?

Diapos. 2 (Tiempo: 10')

Diferenciación de los servicios ambientales

Servicios locales: internalizados por representar beneficio para el productor, su familia o para el sistema productivo como es proporcionar nutrientes que se refleja en su rentabilidad, no se toman en cuenta

Servicios “no locales”: ofrecidos hacia afuera a la sociedad – humanidad que benefician a nivel regional, nacional o mundial, pero que no se está recibiendo contribución (externalidades)

- regulación climática por medio de secuestro del bióxido de carbono
- conservación de la biodiversidad
- regulación y protección del recurso hídrico

Diapos. 3 (Tiempo: 10')

Interés de OG y ONGs

Se coincide que los Servicios Ambientales más reconocidos están relacionados con C, BD y Agua^{1, 2, 3}

C: se apoya con la elaboración del proyecto; se tiene que buscar técnico

BD: Plan de manejo y pago por 5 años (16 de enero 14 de abril) \$ 394.43 / ha

Cobertura 10 – 30%, superficie > 0.5 ha, árboles altura min 2 -5 m

- Ejidal (carpeta básica, carta de elección de autoridad, copia credenc. autoridad., < 2,000 ha)
- Persona física (título propiedad, copia cred., > 20 ha)

Agua: no estamos dentro del área de CONAFOR

¹ World Bank 2002

² CCAD-PNUD/GEF 2002, De Groot et ál. 2002, Beer et ál. 2003

³ MEA 2003

Nota: Ya están dentro de Proárbol BD: en apoyo de Roberto Cancino:

N. Democracia: Paulino Álvarez

Amatitlán: Armando Marroquín Santizo

Nueva Argentina: Genaro Jiménez Vásquez

CONAFOR, Depto. SA, Biol. Jorge Cruz López: programación – proyección de reglas de operación 9616120870; Proárbol

Diapos. 4 (Tiempo: 5')

Introdutoria en SA

A continuación...

- se explicará la importancia de los SA y su relación con los árboles
- se pedirá su opinión en cómo estos se estiman para que puedan ser recontribuidas (internalizar las externalidades)

1. Disminución del fenómeno de calentamiento global

Diapos. 5

Preguntas (Tiempo: 10')

¿Han notado alguna diferencia en el clima en los últimos años, no? ¿Han escuchado pláticas al respecto de los más viejos del pueblo?

¿Por qué creen que pasa este fenómeno (si creen que pasa)?

¿Conocen qué afecta al cambio climático? Razones... *¿alguna incluye la existencia de árboles?*

General: problema y su solución (Tiempo: 5')

El cambio climático se provoca por el exceso de gases como el bióxido de carbono que aumentan el fenómeno invernadero

2 tipos de solución:

- producir y vivir con menos emisiones y gasto energético
- aumentar la cobertura arbórea para contribuir al secuestro de CO₂^{1,2}

Diapos. 6 (Tiempo: 15')

El clima y los árboles

Los árboles “secuestrar” fijan bióxido de carbono en su biomasa y así contribuyen en la regulación del cambio climático

Pregunta: ¿De qué creen que depende la cantidad de C fijado en un área?

Nota: El carbono fijado depende de la densidad de árboles en el sitio, pero también de las diferentes especies arbóreas involucradas porque tienen diferentes características: tasa de crecimiento, densidad de madera

- la tasa de crecimiento de la especie en el sitio; interesa para estimar el secuestro potencial de CO₂
- la densidad de madera y su volumen (área basal y altura); interesa para estimar el CO₂ secuestrado, almacenado o fijado en un momento dado

El segundo rasgo, es el que se está tomando en cuenta en la mayoría de los diversos esquemas de PSA³

Nota: especies con maderas ligeras son de crecimiento rápido, y lo contrario maderas densas son de crecimiento lento pero generalmente tienen mayor potencial y tendencia a retener el CO₂ en sus tejidos en el tiempo

¹ Informe Brundtland 1987, Agenda 21 1992, UNDP 2005

² FAO 2002

³ Murgueitio et ál. 2003

2. Conservación de la biodiversidad

diapos. 7 (Tiempo: 15')

Preguntas

¿Encuentran igual número de animales que antes? Productos de ellos (huevos, piel de víbora, plumas, miel), huellas? Productos de los árboles? En qué distancias?

¿Por qué creen que se debe lo anterior?

¿Sienten que les perjudica o les beneficia?

Situación actual

- Localización de especial importancia (zona de amortiguamiento de la REBIMA en la Selva Lacandona, dentro del corredor mesoamericano)
- Transformación del paisaje con usos productivos; disminución de bosques en manchones separados – aislados (parches, paisaje fragmentado)
- Reducción en la biodiversidad: plantas y animales (fauna) que sustentan

diapos. 8 (Tiempo: 15')

Servicios de árboles en sistemas productivos para la conservación de la BD

La CA en las áreas productivas (SP) hace menos hostil el paisaje fragmentado, proporcionando hábitat, alimento y conectividad entre parches de bosques

Importancia de diferentes usos de suelo dentro de los SP: bosques ribereños, acahuales, cercas vivas y pasturas con alta densidad arbórea para la conservación de la biodiversidad¹

Nota: Incorporar árboles en los SP no es sustituto de la conservación de los bosques que quedan es solo una herramienta complementaria para la protección y conexión de los todavía

¹ Harvey et ál. 2003, Estrada y Coates-Estrada 2005, Santivañez 2005, Chacón y Harvey 2006

existentes (diferencias en la composición de las especies, por ejemplo en pasturas hay menor número de especies dependientes del bosque primario)¹

Pregunta: ¿Qué características de los árboles apoyan en la conservación de la biodiversidad?

diapos. 9 (Tiempo: 15')

Contribución de los árboles y sus Rasgos en la conservación de la BD

Combinación del valor de existencia misma de las especies arbóreas en el sitio, la provisión de conectividad y hábitat, y la provisión de alimento para la fauna silvestre:

Alimento para la fauna silvestre^{2, 3, 4}

- variedad en frutas, semillas, follaje-forraje palatable, rebrote, néctar y polen

Hábitat y conectividad para la fauna silvestre

- densidad de copa
- perennidad del follaje (follaje perenne y denso, propicio hábitat de aves y pequeños mamíferos)
- el área y profundidad de copa
- la altura del individuo

Existencia

- categoría de amenaza según sistemas como el de IUCN 2007
- especie introducida
- sistema reproductivo

¹ Cárdenas et ál. 2003, Tovar 2004, Hernández et ál. 2003

² Lavorel et ál. 1998, Pausas y Lavorel 2003, Mayfield et ál. 2006

³ Cornelissen et ál. 2003

⁴ Louault et ál. 2005

- forma de dispersión
- búsqueda y uso destructivo por los que usan su madera y leña

Pregunta: ¿Qué más características de los árboles creen que apoyarían en la conservación de la biodiversidad?

diapos. 10 (Tiempo: 15')

Criterios generales para la medición del potencial de la conservación de la biodiversidad

Diferentes especies arbóreas tienen diferentes funciones biológicas en el ecosistema:

Hay árboles que ofrecen “solo un” servicio y otros, conocidos como Árboles de Uso Múltiple (AUM) que podrían ofrecer varios de estos bienes y servicios a la vez^{1, 2}

Ampliando la escala, en un área para servir en el servicio de conservación de la BD, difícil podría ser solo de un tipo de árbol (monoespecífico), pero debería contener varias especies que pudieran cumplir con todas estas funciones.

Principales criterios para la conservación de la BD relacionados con la cobertura arbórea son:³

- Máxima diversidad de especies y de estructura del sistema
- Especies, especialmente las que producen flores, frutos, recursos importantes para la vida silvestre nativa
- Minimización de podas en el manejo

Pregunta: ¿Qué más criterios creen que afectarían en la conservación de la biodiversidad?

¹ Lavorel y Garnier 2002

² Díaz et ál. 2006

³ Schroth et ál. 2004

3. Servicio en la regulación del recurso hídrico

diapos. 11

Preguntas (Tiempo: 10')

¿Han notado algún cambio en el nivel del espejo del agua en los pozos?

¿Han notado algún cambio en la calidad de las corrientes de agua?

Si ha notado cambios... ¿qué creen que afecta a la recarga de los mantos acuíferos y a la calidad de las corrientes del agua? - *suelo*

¿Creen que se puede hacer algo para mejorar estas condiciones?

A. Principales factores que influyen y a las que “no” podemos intervenir¹ (Tiempo: 5')

- intensidad y duración de la precipitación
- tipo de suelo
- pendiente del terreno

Nota: *Suelos que no permiten la infiltración:*

- *saturados de agua*
- *con capas rocosas o con textura muy pesada – arcillosa*
- *densidad del suelo (pisoteo de ganado)*
- *sin cobertura arbórea*

En condiciones de alta precipitación y suelos con pendiente y/o de textura densa, existe una alta posibilidad de escurrimiento

En microcuencas sin buena CA se observan más eventos extremos:

¹ Jiménez 2003

Ejemplos: cárcavas, sedimentación de las corrientes, escasez de agua, inundaciones, desastres potenciales

Problemas para las cuales nadie se está haciendo responsable para pagar (externalidades negativas) que son difícil y costosamente revertidas ¹

B. El árbol y el ciclo de agua (Tiempo: 5´)

El agua pasa de una forma continua por el suelo, los organismos y la atmósfera

Los árboles son parte e influyen en el ciclo de agua mediante 3 procesos principales

Aparte de (Precipitación = lluvia y Suelo = diferencial del potencial hídrico del suelo (ΔH), capacidad de saturación, pendiente)

- Intercepción: de agua de la lluvia por sus copas
- Mejora de estructura de suelo: Apoyan a la infiltración y la disminución del escurrimiento por la MO de las hojas en el suelo
- Absorción: Absorbiendo el agua por las raíces para usarla en el proceso de fotosíntesis de crecimiento del árbol y transpirándola por las hojas

C. Servicios ambientales “no- locales” con respecto al recurso hídrico, afectados por los árboles (Tiempo: 5´)

a) Recarga de acuíferos, Cantidad de agua

b) Disminución de escurrimientos- sedimentos, mejora de la Calidad de los cuerpos de agua

– Mejora la calidad de agua cuenca abajo por el menor azolve de los cuerpos de agua expuestos

– Más capacidad de infiltración de agua y por consecuente menor escurrimiento

Ambas afectan al suministro de agua para uso doméstico, agricultura e industria

¹ Laino et ál. 2006

Nota introductoria

A continuación se pensará sobre las características de los árboles que se creen importantes para la conservación del recurso hídrico

Ejemplos: área y densidad de la copa, tipo de follaje, raíces de los árboles

diapos. 12 (Tiempo: 10')

1. Intercepción

Los árboles con sus copas interceptan el agua, disminuyendo y a haciendo más lento el contacto directo del agua con el suelo

Pregunta

¿Qué características de los árboles creen que afectan a la intercepción del agua siendo importantes para la conservación del recurso hídrico?

Rasgos relacionados¹

Ejemplos: densidad de la copa, perennidad del follaje a través del año, área y densidad específica foliar, área foliar individual, inclinación de la hoja, pubescencia

Características de individuo^{2,3}

Área de copa

diapos. 13 (Tiempo: 15')

2. Mejora de estructura del suelo

Principal factor de erosión es la cobertura de suelo⁴

¹ Bruijnzeel y Critchley 1994

² Bosch y Hewlett 1982 en Cavelier y Vargas 2001

³ Borchert 1994

⁴ Bruijnzeel 1990

Pregunta

¿Qué características de los árboles creen que afectan la estructura del suelo y son importantes para la conservación del recurso hídrico?

Hojas y ramas: con el tiempo se incorporan en el suelo como materia orgánica (MO)

+ MO mejora la estructura de suelo, más porosidad y mejor infiltración de agua: ofrece protección contra la erosión y disminuye el uso de agua ¹

Una capa de materia foliar seca en la superficie del suelo actúa como esponja que absorbe el agua, la mantiene y la libera uniformemente durante la época seca ²

Reduciendo la cobertura de bosques deciduos en un 20%, podría esperarse un aumento de la cantidad del agua escurrida de 50 mm (y viceversa)

En el trópico húmedo, con la cantidad e intensidad de precipitación, los suelos con bosque tienen altas tasas de infiltración y poca escorrentía superficial ³

Rasgos ^{4,5}

Ejemplos: densidad y perennidad de follaje, cantidad de materia foliar caída, características relacionadas con el tiempo de degradación, área o densidad específica foliar, contenido de materia seca, fuerza tensil foliar, altura del dosel

Pero: los árboles tienden a aumentar la fuerza con la que las gotas de lluvia (goteo) caen al suelo, porque se unen en las hojas y después caen con mayor tamaño ⁶

Raíces: mejoran la estructura y porosidad del suelo permitiendo la infiltración del agua a las capas freáticas profundas y disminuyendo así las escorrentías

¹ FAO y CIFOR 2005

² Bruijnzeel 2004

³ Stadtmuller 1994

⁴ Díaz et ál. 2004, Wright et ál. 2004

⁵ Fernández 2007

⁶ Hamilton 1987 en FAO y CIFOR 2005

Pero hay dudas qué tipo de raíces apoyarían a la mejor infiltración y al menor escurrimiento:

- las que tienden a crecer en capas superiores de forma horizontal o
- las que tienden a crecer en capas inferiores de forma vertical
- si la longitud específica de las raíces afectaría

Hay que distinguir entre:

1. la cosecha del agua total
2. la distribución del agua durante el año ¹

Rasgos relacionados

- distribución horizontal

En sistemas pobres en nutrientes, la red superficial de raíces **filtra** los nutrientes entrantes ²

- distribución vertical, profundidad que llegan las raíces

Las raíces profundas pueden **almacenar** agua ³

- densidad específica y longitud específica de las raíces

En **condiciones especiales** como en laderas, las raíces proporcionan una cohesión al suelo, crítico para la estabilidad del suelo

diapos. 14 (Tiempo: 10')

3. Absorción

Los árboles absorben el agua por las raíces para usarla en el proceso de fotosíntesis y la transpiran de nuevo por las hojas

Agua (uso) => madera, transpiración

¹ Bruijnzeel 1989

² Stark y Jordan 1978, Brinkmann 1983 en Bruijnzeel 1990

³ Giambelluca 2002

La absorción del agua en áreas boscosas es mayor que en áreas sin bosque, por esto a veces con la reforestación (especialmente con especies de alta demanda hídrica como Eucalipto) disminuye el nivel freático, más en la época seca

Pero con severa deforestación se disminuye el agua en las nacientes y las corrientes de agua

Pregunta

¿Qué características de los árboles creen que afectan en la absorción del agua por los árboles, siendo importantes para la conservación del recurso hídrico?

Nota: La absorción de agua por los árboles depende:

Rasgos de especie

- mayor tasa de crecimiento ¹
- mayor tasa de transpiración
- menor eficiencia en el uso de agua

Diferencias en cuando al uso de agua y la tasa de transpiración

Con diferencias entre épocas del año

Ejemplo: especies adquisitivas y conservadoras (*trópico seco de Costa Rica* ²)

Diphysa robinoides (Guachipilín) > uso de agua (1.5 mm/día)

Pithecellobium saman (Cenízaro), (0.27 mm /día), poca plasticidad en el uso de agua

Ejemplos: mayor área foliar, densidad y perennidad de la copa, potencial hídrico de la copa, mayor abertura estomática de las hojas, mayor densidad de estomas foliares, volumen de raíces

Las raíces son más bombas de agua que esponjas, en la época seca no liberan agua pero lo drenan para poder transpirar y crecer (tiene que ver con EUA)

¹ Gilmour et ál. 1987 en Kaimowitz 2001

² Rojas 2005

Características del individuo¹

- edad, altura del árbol, área de copa

Ejemplo: cambio de especies de menor a mayor transpiración:

- especies de crecimiento rápido
- individuos viejos a jóvenes

En regiones con época seca marcada, ej. Selva Lacandona, la recarga de los acuíferos se beneficia más por especies arbóreas con menores tasas de crecimiento, de transpiración y bajo uso y/o mayor EUA (eficiencia en el uso de agua)

Comentarios y discusión de los participantes sobre SA y árboles

Preguntas

¿Tienen algún comentario sobre los diferentes SA que ofrecen los árboles en los terrenos?

¿Tienen alguna sugerencia o comentario sobre alguna característica de los árboles que podría afectar, o no, en alguno de los SA?

- el secuestro del bióxido de carbono
- la conservación de la biodiversidad
- la regulación y protección del recurso hídrico

¹ Taiz y Zeiger 1991

Taller de formación de promotores II

“Árboles y servicios ambientales” - Bases teóricas para el trabajo en campo

Objetivo general: que los promotores se capaciten de forma teórica sobre el muestreo de árboles en campo y retroalimenten con sus conocimientos al investigador

A. Carta descriptiva

Teoría: Parte B. Servicios ambientales que ofrecen los árboles - Parte teórica para la toma de datos en campo

Tema	Objetivos	Técnicas	Materiales	Tiempo
Introducción; trabajo entre promotores e investigadores	Que se entienda el procedimiento del estudio de investigación Que se entienda la importancia de retroalimentación entre promotores – investigadores	Expositiva Preguntas abiertas	Diapositivas 1 – 4 Manual del promotor	10´

Tema	Objetivos	Técnicas	Materiales	Tiempo
Trabajo de campo - Teoría Preselección de áreas de estudio	Que se haga una preselección de los productores ganaderos que se involucrarán en el estudio Que se entienda el procedimiento de la toma de datos en campo Que se aprenda a llenar formatos de campo	Expositiva Preguntas abiertas Lluvia de ideas Diálogo analítico	Diapositivas 5 – 12 Formatos Rotafolios blancos Plumones	65´
Trabajo con informantes clave	Que se dé a conocer sobre el trabajo posterior	Expositiva Preguntas abiertas	Diapositivas 13 – 14	5´
Comentarios de los participantes y ajustes del trabajo en campo	Que se compartan puntos de vista de las ventajas, problemas o dificultades previstos para el desarrollo del trabajo en campo y se hagan ajustes	Preguntas abiertas Lluvia de ideas Diálogo analítico	Cuaderno Plumas	40´
Total				2:00

B. Guión

1. Introducción; trabajo entre promotores, investigadores

diapos. 1 y 2 (Tiempo: 5')

Bases del proyecto

- Alto nivel de facilidad en aplicación (evaluaciones periódicas)
- Involucramiento (promotores- investigadores)
 - => Retroalimentación del conocimiento

diapos. 3

Explicación del procedimiento

1. Capacitación de los promotores; retroalimentación
2. Desarrollo del trabajo en campo
3. Afinar la información del campo

diapos. 4 (Tiempo: 5')

1. Retroalimentar conocimiento entre promotores – investigadores

Durante todo el proceso tomar en cuenta la opinión – propuestas de los promotores sobre:

1. Selección de áreas de estudio
2. Selección de los Rasgos de los árboles que apoyan a la generación de servicios ambientales
3. Selección de las Características de los árboles que influyen en estos

Ya se avanzó en los 2 y 3

4. Establecimiento de Escalas de medición para la toma de datos

5. Procedimiento de la toma de datos

Las opiniones se comparten con los miembros de comité para realizar los ajustes y correcciones necesarias en el procedimiento

2. Trabajo de campo - Teoría

diapos. 5 (Tiempo: 5')

General – Introducción

a) *Selección de los terrenos de estudio*

b) *Establecimiento de parcelas de muestreo*

c) *Trabajo - toma de datos - en campo*

(Repetición del procedimiento en diez terrenos)

- *Recepción y evaluación de la información*

diapos. 6 (Tiempo: 15')

a) Selección de las áreas de estudio

– Preselección de las comunidades de estudio

Platicar sobre posibles comunidades – *que ellos anoten*

– Preselección de los terrenos con sistemas silvopastoriles

Platicar sobre posibles productores, con diferentes niveles 3-4 de CA – *que ellos anoten*

Se dará tiempo (10 – 15') para que se haga una preselección de los productores ganaderos que se involucrarán en el estudio

diapos. 7 – 10 (Tiempo: 30')

diapos. 7 (Tiempo: 5')

b) Establecer “parcelas de muestreo”

- Contacto con el productor
- Reconocimiento y diferenciación de las áreas del terreno (con él – si quiere) - elaboración del croquis (1)
- Recorrido (con o sin él)
- Clasificación en usos de suelo homogéneos y mejora del croquis (2) (con o sin él)
- Selección de las parcelas de muestreo para cada uso de suelo – anotación en croquis

diapos. 8 (Tiempo: 10´)

Ejemplos de los Usos de suelo

Pregunta: Conocer tamaños mínimos y máximos de Parcelas y de los diferentes Usos de suelo existentes en la región de estudio

diapos. 9 (Tiempo: 10´)

Ejemplos de cómo fijar el tamaño y el número de repeticiones para las parcelas de muestreo

Pregunta: Conocer sobre tamaños de medición de áreas que se usan en la región de estudio

diapos. 10 (Tiempo: 5´)

Ejemplos de cómo establece el lugar de las parcelas de muestreo

diapos. 11 – 12 (Tiempo: 15´)

diapos. 11

c) Toma de datos en campo: caracterización y medición de la cobertura arbórea

- Identificación de los árboles (nombre común)

Nota: Necesidad que los promotores reconozcan los árboles con su nombre

- Toma de datos de los árboles de > 10 cm Dap

diapos. 12

- Tipos de datos y métodos de medición (para cada uno o para todos los árboles)

– Importancia en la calidad de la toma de datos

=> Resultados correctos, significativos – Revisión en la entrega de datos

3. Trabajo con informantes clave

diapos. 13 - 14

diapos. 13

Trabajo de campo posterior, afinación de información

– sobre especies de árboles. Verificación de árboles de identidad dudosa; con informante local y botánico que conocen la flora de la región

– sobre sus rasgos. Identificar los valores de los rasgos de interés de los árboles encontrados con el apoyo de informantes clave

=> Rasgos: dureza de madera, crecimiento

Preguntar por gente que pueden ser informantes clave en cualquiera de las dos etapas

diapos. 14

Ejemplos de rasgos

4. Comentarios de los participantes y ajustes del trabajo en campo

diapos. 15

Opinión de promotores

Que se escuche la opinión de los promotores sobre las siguientes temáticas:

Anotar dificultades y propuestas

- Selección de las áreas y las parcelas de muestreo
- Número de repeticiones del muestreo por cada pareja de promotores / para cada comunidad
- Tiempo de trabajo en campo
- Procedimiento de la toma de datos (problemas o propuestas)
 - Rasgos de los árboles seleccionados
 - Características de los árboles seleccionadas
 - Escalas de medición para la toma de datos
- Procedimiento de la toma de mediciones
 - Distinción entre tipos de uso de suelo
 - Establecimiento de las parcelas de muestreo
 - En los formatos de campo
- Procedimiento de evaluación de la información

Las opiniones se comparten con los miembros de comité para realizar los ajustes y correcciones necesarias en el procedimiento

Taller de formación de promotores III

“Árboles y servicios ambientales” – Bases prácticas para la toma de datos en campo

Objetivo general: que los promotores se capaciten en la toma de los datos en campo, herramienta para estimar los beneficios que los árboles dan hacia afuera del sistema productivo (Servicios ambientales no locales)

Sitio: un terreno con producción silvopastoril cercano, seleccionado con anterioridad; de preferencia con varios o todos los tipos de suelo esperados en la región de estudio

A. Carta descriptiva

Práctica: Parte A. Práctica de campo para la toma de datos en campo

Tema	Objetivos	Técnicas	Materiales	Tiempo
Introducción	Que se conozca lo que se tratará en el taller	Expositiva (Información general)	-	5´
Selección del productor y del terreno para el estudio	Que se conozca en qué basarse para hacer la selección de terrenos	Expositiva Diálogo analítico	Papel Lápiz	10´

Tema	Objetivos	Técnicas	Materiales	Tiempo
Contacto con el productor	Que se conozca la parte introductoria del estudio; contactar a un productor para dar inicio a un estudio a su terreno	Expositiva Práctica - dibujo Diálogo analítico	Formatos Papel y lápiz	40'
Diferenciación del terreno en usos de suelo	Que se aprenda a diferenciar los usos del suelo en un terreno Que se aprenda a llenar formatos de campo	Exposición en campo Participación práctica Práctica – dibujo Diálogo analítico	Formatos Papel y lápiz	25'
Establecimiento de parcelas de muestreo	Que se aprenda a establecer parcelas de muestreo Que se aprenda a llenar formatos de campo	Exposición en campo Participación práctica Diálogo analítico	Cinta métrica Formatos Papel y lápiz	40'
Toma de datos en campo	Que se aprenda tomar mediciones de los árboles Que se aprenda a llenar formatos de campo	Exposición en campo Participación práctica Diálogo analítico	Lista de árboles Cintas métrica y diamétrica Clinómetro Formatos	90'
Comentarios y discusión de los participantes sobre los logros del taller práctico	Que se indique el nivel del logro en aprender tomar mediciones de árboles Que se intercambien puntos de vista, ventajas, problemas y dificultades en las mediciones	Lluvia de ideas Preguntas abiertas Diálogo analítico	Cuaderno Plumas	30'
Total				4:00

B. Guión

1. Introducción

Explicación del procedimiento

- Selección del productor y del terreno para el estudio
- Contacto con el productor
- Separación del terreno en usos de suelo homogéneos
- Establecimiento de parcelas de muestreo
- Toma de datos – características de los árboles en campo

Demostración en campo por parte de los facilitadores

Repetición de la toma de datos y ajuste de ojo de todos los promotores

Nota: Cualquier cosa que no esté clara o requieran más información, por favor pregunten

2. Selección del productor y del terreno para el estudio

Se hará una preselección de 10 parcelas – terrenos por comunidad; éstas pueden ser tierras comunitarias o de ejidatarios

- Para este estudio se preferirán aquellas tierras con principal uso el ganadero, y con disponibilidad de los que las trabajan de acompañar y permitir la visita
- Se seleccionarán terrenos con una variedad de coberturas y diversidades arbóreas, por lo menos con 4 o 5 diferentes niveles dentro de cada comunidad

La selección definitiva se hará después de ponerse en contacto y en concierto de los productores

3. Contacto con el productor y primer reconocimiento del terreno

- Visita al productor
- Explicar los objetivos de la investigación
- Ver su disponibilidad en involucrarse al estudio, acompañar y permitir visitar su terreno

Nota: Hacer la selección definitiva del productor

- Con el productor conocer y anotar sobre: los usos del suelo del terreno, dimensiones de cada una y total
- Dibujar el terreno y US en croquis (1)

4. Diferenciación del terreno en usos de suelo homogéneos

Diferenciación de usos del suelo

- Recorrido del terreno

De preferencia en compañía con el productor

- Reconocer y diferenciar los usos de suelo; con base en el croquis (1)

Ajuste de ojo de todos los promotores

- Si hay necesidad se mejora el croquis (2)
- Anotar los datos de cada terreno en los formatos proporcionados, sus usos de suelo y área (hectáreas)

Nota: Cualquier cosa que no esté clara o requieren más información, por favor pregunten

Usos de suelo

- Potreros sin árboles (PS)
- Potreros con pocos árboles (PA-) y muchos árboles (PA+)

- Cercas vivas (CV)
- Acahuales (AC)
- Bosques ribereños (BR)

5. Establecimiento de parcelas de muestreo

General

- Localizar parcela(s) en el área más representativa del uso de suelo
Demostración en campo por parte de los facilitadores
Repetición de ejercicio por parte de los promotores (en pares)
- Anotar en los formatos la clave de la parcela de muestreo, con número de repetición y dimensiones
- ***Diferenciar número de parcelas de muestro por tamaño del área (homogénea)***

Como establecer una parcela de muestreo

Área de parcela de muestreo (PM) de árboles = 1 cuerda = 20m X 20m (400 m²) (0.04 ha)

Trazar una línea de 20 m X 20 m (una faja con 10 m por la izquierda y 10 m por la derecha)

Nota: La línea se traza con dirección que caracteriza la diferenciación en la vegetación, por lo menos 20 m entre las líneas trazadas y de otros usos de suelo

Realizar repeticiones de las PM, proporcional al tamaño del área de un sitio

En áreas con ≤ 30 árboles hacer censo

En áreas grandes con pocos árboles, repetir el número de las PM hasta alcanzar el 10% del área total del sitio

Especialmente, para las CV y los BR con ancho menor de 20 m, tomar dos pseudo-repeticiones (2 X 10 X 20 = 400 m²/ha).

Número de repeticiones de las parcelas de muestreo (PM) por tamaño de área del sitio

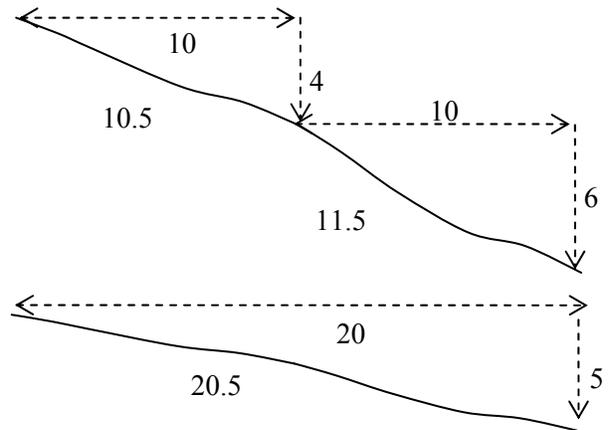
<i>Uso de suelo (US)</i>		<i>Parcela de muestreo (PM)</i>	
<i>área</i>	<i>dimensión (ha)*</i>	<i>repeticiones (#)</i>	<i>tamaño (ha)</i>
<i>muy pequeña</i>	< 1	1 muestra	0.04
<i>pequeña</i>	1 – 3	2	0.08
<i>mediana</i>	3 – 5	4	0.16
<i>grande</i>	> 5	6	0.24

Corrección de distancia por la pendiente del terreno

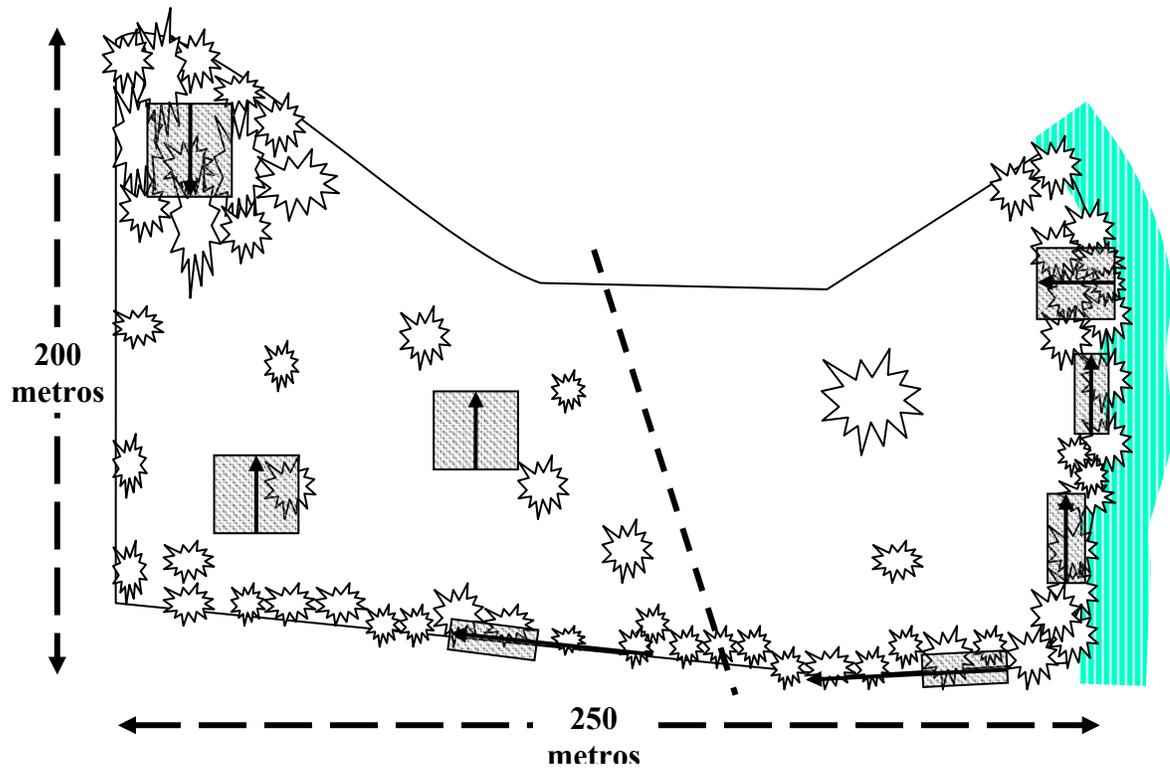
Las distancias se miden a nivel horizontal.

En la tabla se indica el aumento aproximado de la longitud del terreno a lo largo de **10 m** por el efecto del desnivel

Altura (m)	Aumento de longitud (m)
< 3	0
3 - 4	0.5
hasta 5	1
≤ 6	1.5
≤ 7	2
≤ 8	2.5



Ejemplo de un terreno con sistemas silvopastoriles



6. Toma de datos en campo

General

Demostración en campo por parte de los facilitadores

Repetición de la toma de datos y ajuste de ojo de todos los promotores

Nota: Importancia en la calidad de la toma de datos para tener resultados correctos

Nota: Cualquier cosa que no esté clara o requieren más información, por favor pregunten

Toma de datos en campo: caracterización y medición de la cobertura arbórea

Muestro de todos los árboles con Dap mayor de 10 cm

Característica	Método
Nombre del árbol	Si no se reconoce anotar especie parecida y características sobresalientes
Diámetro a la altura de pecho (Dap) de cada árbol 1.30 metros	Cinta diamétrica
Altura total de cada árbol	Clinómetro y cinta métrica, Observación
Altura hasta la copa de cada árbol	Cinta métrica y/o clinómetro, Observación
Diámetro promedio de copa	Cinta métrica, 1-3 diámetros
Poda de árboles	Observación, Consulta con el/la productor/a
Retiro de hojas secas (limpia)	Observación, Consulta con el/la productor/a

Toma de datos

Para un árbol:

- Identificación de los árboles (nombre)

Importante: *Necesidad que los promotores sepan o tengan un ayudante que reconoce los árboles con su nombre*

- Diámetro a la altura de pecho = 1.30 m

10—15, 16—20, 21—25, 26—30, 31—35, 36—30, 41—45, 46—50

- Altura

1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-30, 31-40

- Diámetro de copa

Dc1= 3.5; Dc2 = 3.0

Para un grupo de árboles:

- Poda. Manejo de podas de las copas de los árboles

Intensidad de poda: 0: Nada (a) o

1: ligera; hasta un tercio 1/3 de la copa (b)

2: mediana; hasta dos tercios 2/3 (c)

3: pesada o total; 2/3 o más (d)

Frecuencia de poda

1: 1 vez cada 3 años o menos

2: 1 vez al año o cada 2 años

3: 2 o más veces al año

- Suelo cubierto de hojas secas

Limpia de hojas secas caídas (limpia)

Frecuencia de limpia: 0: Nunca o

1: cada 4 o más años

2: cada 2-3 años

3: una 1 vez al año

7. Comentarios y discusión de los participantes sobre los logros del taller práctico

Escuchar la opinión de los promotores sobre las siguientes temáticas:

Anotar dificultades y propuestas

Nota: Se repite del diálogo de ayer pero con más detalle

- Selección de las áreas y las parcelas de muestreo
- Número de repeticiones del muestreo por cada pareja de promotores / para cada comunidad
- Tiempo de trabajo en campo
- Procedimiento de la toma de datos (problemas o propuestas)
 - Rasgos de los árboles seleccionados
 - Características de los árboles seleccionadas
 - Escalas de medición para la toma de datos
- Procedimiento de la toma de mediciones
 - Distinción entre tipos de uso de suelo
 - Establecimiento de las parcelas de muestreo
 - En los formatos de campo
- Procedimiento de evaluación de la información

Las opiniones se comparten con los miembros de comité para realizar los ajustes y correcciones necesarias en el procedimiento

Anexo 2. Taller teórico I. Árboles y generación de servicios ambientales

Árboles y servicios ambientales

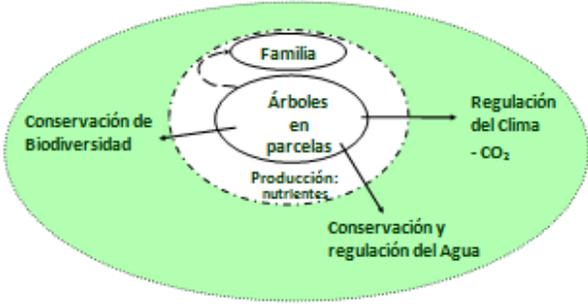
Facilitadores:

Eleni Marinidou
Lorenzo Hernández



Servicios ambientales que ofrecen los árboles (no solo a nosotros)

- ¿Cuáles son?



Servicios ambientales “no locales” que ofrecen los árboles

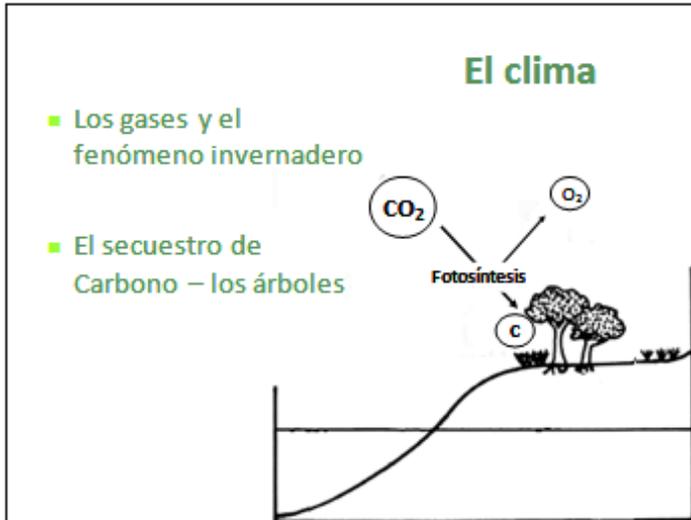
- ¿A quiénes interesan?

Servicio ambiental / escala de impacto	Organizaciones gubernamentales o no
Regulación climática / escala mundial	Fondo Bioclimático, AMBIO, PEMEX
Conservación de la biodiversidad / escala mundial, nacional	CONAFOR, CONANP REBIMA, CBM, CBM México
Conservación del recurso hídrico / escala regional y nacional	Cuenca Grijalva – Usumacinta, CFE, CONAGUA

Servicios ambientales que dan los árboles (sigue...)

- ¿Por qué son importantes?
- ¿Qué características de los árboles influyen?





Servicio: Regulación climática

Características de las diferentes especies:

- Densidad de madera

Características de cada uno de los árboles:

- Volumen
 - Dap (diámetro a la altura de pecho)
 - Altura

A collage of four photographs showing various tree species and forest environments. The top-left photo shows a tall, thin tree trunk. The top-right photo shows a large tree with a thick trunk. The bottom-left photo shows a dense forest with many trees. The bottom-right photo shows a forest with a mix of tree species.

Paisaje y biodiversidad

Localización de especial importancia
Zona de amortiguamiento de Montes Azules, Selva Lacandona
Dentro del corredor Mesoamericano

Condiciones del paisaje, transformación

- usos productivos
- disminución de bosques
- bosques en manchones aislados - separados
→ paisaje fragmentado, hostil
- Menos plantas y animales – fauna
→ menos biodiversidad

A collage of three photographs showing a landscape. The top photo shows a river flowing through a valley with mountains in the background. The middle photo shows a field with a herd of cattle. The bottom photo shows a forest on a hillside with mountains in the background.

¿Qué proporcionan los árboles en las parcelas para la biodiversidad?

- Alimento, hábitat y conectividad entre manchones de bosques que quedan

No son sustituto de los bosques

A collage of four photographs showing a landscape. The top-left photo shows a river flowing through a valley with mountains in the background. The top-right photo shows a forest on a hillside. The bottom-left photo shows a forest on a hillside. The bottom-right photo shows a forest on a hillside.

Características de los árboles



Existencia

- categoría de amenaza, endemismo
- reproducción, dispersión, rebrote

Hábitat y conectividad para la fauna silvestre

- densidad de copa perennidad
- área y profundidad de copa altura del individuo

Alimento para la fauna silvestre

- frutas semillas follaje-forraje
- néctar y polen

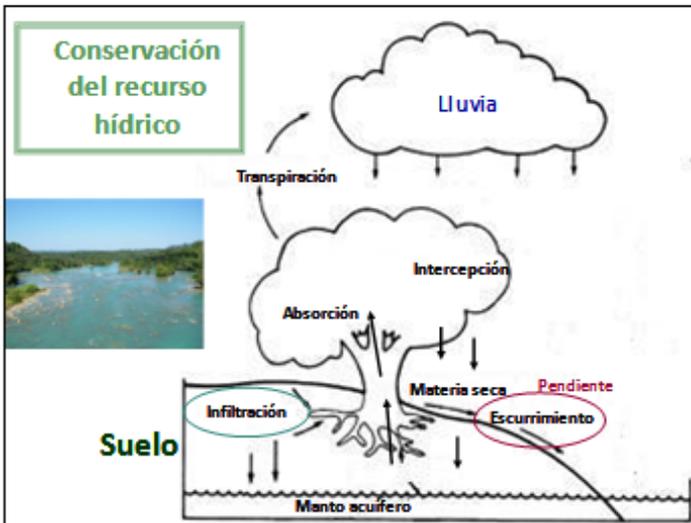
Existen diferencias entre funciones de los árboles

Conservación de la biodiversidad



Criterios para la conservación:

- Máxima diversidad de especies y de estructura
- Especies nativas producen flores, frutos, recursos importantes para la vida silvestre nativa
- Mínimas podas





**¿Comentarios
y
sugerencias?**

Anexo 3. Taller teórico II. Bases teóricas para la toma de datos en campo

Formación de promotores - investigadores

Trabajo en campo

- Teoría
- Práctica (mañana)

Facilitadores:

Eleni Marinidou
Lorenzo Hernández

Estudio:

Árboles en las parcelas y servicios ambientales ofrecidos

- Alto nivel de facilidad en aplicación (evaluaciones periódicas)
- Involucramiento (promotores- investigadores)
=> Retroalimentación del conocimiento

Procedimiento

- Formación de promotores; retroalimentación
- Desarrollo del trabajo en campo
- Análisis de la información del campo

Formación de Promotores

Retroalimentación de conocimiento

Selección de:

- Áreas de estudio
- Rasgos
- Características
- Escalas de medición para la toma de datos
- Procedimiento de la toma de datos

de los árboles que apoyan a la generación de servicios ambientales

Trabajo en campo

- a) Selección de las áreas de estudio
 - b) Establecimiento de parcelas de muestreo
 - c) Toma de datos, características de los árboles
- Repetición del procedimiento en (-X-) terrenos*
- Recepción y evaluación de la información

a) Selección de las áreas de estudio

- Pre-selección de las comunidades de estudio
- Pre-selección de las parcelas y los /las productores/productoras con ganado

b) Establecer "parcelas de muestreo"

- Contacto con el productor → elaborar croquis del terreno (1)
- Clasificación en usos de suelo homogéneos (recorrido c/s productor) → mejora del croquis (2)
- Selección de las parcelas de muestreo, anotar en croquis

ejemplos de Usos de suelo

- Acahuales (AC)
- Bosques ribereños (BR)
- Potreros sin árboles (PS)
- Potreros con pocos árboles (PA-)
- Potreros con muchos árboles (PA+)
- Cercas vivas (CV)

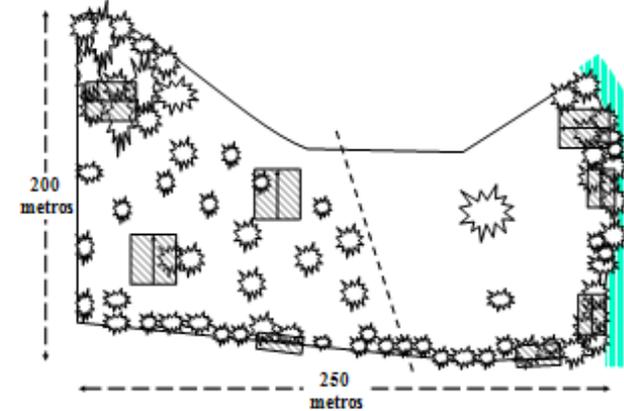


Tamaño y número de las parcelas de muestreo



Área del uso del suelo	Dimensiones (ejemplo)	Tipo de muestra
Muy pequeña	< 1 hectárea (CV: < 1000 m lineal)	1 muestra
Pequeña	1–3 ha	2 muestras
Mediana	3–5 ha	4 repeticiones
Grande	> 5 ha	6 repeticiones

Plano de una parcela



c) Toma de datos en campo

Medición de árboles de ≥ 10 cm Dap

Característica	Método
Nombre del árbol	Si no se reconoce: anotar especie parecida y características sobresalientes
Diámetro a la altura de pecho (Dap) de cada árbol	Cinta diamétrica
Altura total de cada árbol	Clinómetro y cinta métrica; observación
Diámetro promedio de copa	2 diámetros, cinta métrica
Poda de árboles	Observación y consulta con el/la productor/a
Retiro de hojas secas (limpia)	Observación y consulta con el/la productor/a

Análisis de los datos de campo

- Identificación de árboles
- Valores de los rasgos de interés de los árboles
=> rasgos: dureza de madera, crecimiento

Informantes "clave" locales

Valores de rasgos de árboles

Especie	Crecimiento	Producción de hojarasca	Atracción de fauna
<i>Cecropia obtusifolia</i>	Muy rápido	Muy alta	Si
<i>Trema micrantha</i>	Muy rápido	Muy alta	Si
<i>Dahoma pyramidale</i>	Muy rápido	Muy alta	Si
<i>Muntingia calabura</i>	Muy rápido	Alta	Si
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Rápido	Muy alta	Si
<i>Gilicidia sepium</i>	Rápido	Alta	No
<i>Cardia alliodora</i>	Rápido	Alta	No
<i>Tabebuia rosea</i>	Rápido	Alta	No
<i>Cedrela odorata</i>	Rápido	Alta	No
<i>Dendropanax arboreus</i>	Rápido	Alta	Si
<i>Celba pentandra</i>	Rápido	Alta	No
<i>Bursera simaruba</i>	Rápido	Alta	Si
<i>Castilla elastica</i>	Rápido	Alta	No
<i>Trichospermum mexicanum</i>	Rápido	Alta	No disp.

* con apoyo de informantes clave

¿Comentarios
y
sugerencias?

Anexo 4. Manual para la toma de datos en campo



Abreviaturas en el texto

No: número

Ha: hectárea = $100 \times 100 = 10,000 \text{ m}^2$

Cuerda = $20 \times 20 = 400 \text{ m}^2$

Dap: diámetro a la altura de pecho 1.30 m

m: metro

cm: centímetro

km: kilómetro

El manual preparó:

Eleni Marinidou

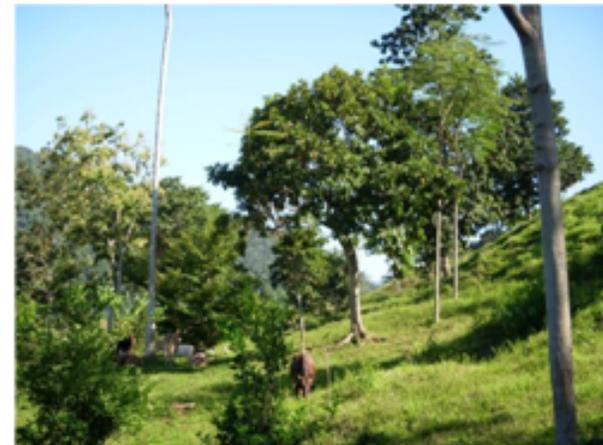
Ing. Agroecólogo

email: mareleni@hotmail.com

tel. 01967 100 2230

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas 2008

Árboles y Servicios Ambientales



Manual de promotor
Medición de árboles en parcelas

Introducción

Los árboles ofrecen servicios ambientales: regulación climática, conservación de biodiversidad y del recurso hídrico que benefician a gente que viven lejos y al mundo en general.

Los servicios generados por los árboles en las parcelas productivas se pueden estimar con mediciones periódicas. En el presente manual, dirigido a promotores — investigadores de las comunidades, se explica este procedimiento.

Actualmente, está escrito para sistemas silvopastoriles y por esto para ganaderos, aunque el mismo método aplica para cualquier sistema agroforestal.

Los principales pasos son:

1. Contacto con productores e identificación de las parcelas para el estudio
(solo para este estudio, normalmente debe ser por interés del productor o del ejido)
2. Diferenciación del terreno en usos de suelo homogéneos
3. Establecimiento de Parcelas de Muestreo (PM)
4. Toma de datos - características de los árboles en campo

Repetir los pasos 2 a 4 para cada parcela productiva.

Contacto con productor e identificación de parcelas para el estudio

Seleccionar parcelas — terrenos con diferente densidad y diversidad arbórea, por lo menos 4 o 5 diferentes niveles.

Preferir aquellos terrenos con principal uso el ganadero.

La selección definitiva se hará después del contacto con el o los productores.

- Explicarles los objetivos del estudio.
- Ver si están dispuestos en involucrarse al estudio, acompañar y permitir visitar su terreno.

Ejemplo de anotación en el formato

Fecha: 25 marzo 2008
 Número de formulario: 1
 Nombre del(la) productor(a): Miranda Pérez Pérez
 Clave: PA No: 1
 Poda: 0 Intensidad: - Frecuencia: -
 Limpia de hojas: 0

No	Nombre de árbol	No. de ejes	Dap (cm)	Altura (m)	Diámetro copa (m)	D copa 2 (m)	Observaciones
1	Zapote de	1	10-15	11-15	5	4.5	1.60 Dap
2	Ficus amate	(14)		11-15	7	8	
		9	10-15				
		3	16-20				
		1	21-25				
3	Primavera	1	16-20				1.50 Dap
		1	21-25	21-30	4	4.5	
4	Guácimo	1	10-15	6-10	5	3.0	
5	como	1	21-25	21-30	6	7	florea mayo, diámetro de fruto 2 cm
...							

Importante: la calidad en la toma de datos y anotar claro y con cuidado

gracias ¡Suerte!

Anotar los diámetros en el formato, de forma aproximada al medio metro.

Por ejemplo:

Dc1= 3.5; Dc2 = 3.0

Para un grupo de árboles:

Observar visualmente y después consultar con el productor

Tentativamente, se proponen las siguientes escalas:

– Podas

Manejo de podas de las copas de los árboles

0: Nada (a)

Intensidad de poda

1: ligera; hasta un tercio 1/3 de la copa (b)

2: mediana; hasta dos tercios 2/3 (c)

3: pesada o total; 2/3 o más (d)

Frecuencia de poda

1: 1 vez cada 3 años o menos

2: 1 vez al año o cada 2 años

3: 2 o más veces al año

– Limpia de hojas secas

Remoción de follaje caído (limpia)

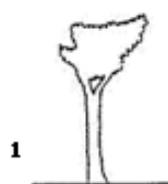
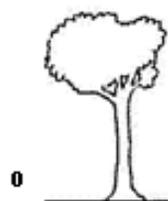
0: Nunca

Frecuencia de limpia

1: cada 4 o más años

2: cada 2-3 años

3: una 1 vez al año



Diferenciación del terreno en usos de suelo homogéneos

Con el productor (preguntar):

- Conocer las diferentes áreas que existen en la parcela
- Conocer la dimensión total y de cada área — anotarlas

Ejemplo de anotación de datos generales en el formato

Fecha: 25 marzo 2008

Número (No.) de formulario: 1

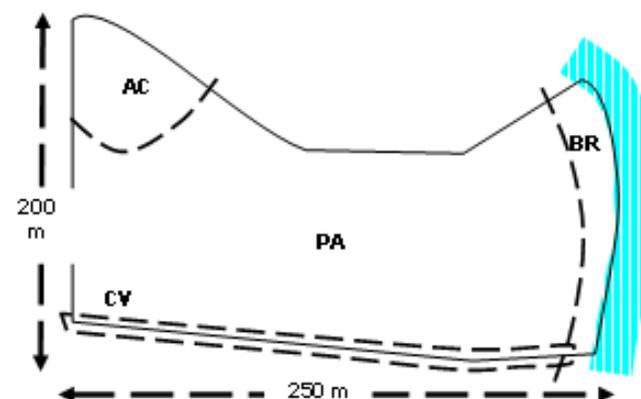
Nombre del(la) promotor(a): Eugenio Sánchez Córdoba

Comunidad: Santo Domingo

Nombre del(la) productor(a): Miranda Pérez Pérez

Total de área de la parcela: 4 ha

– Dibujar el terreno y sus diferentes áreas en croquis (1)



Ejemplos de usos de suelo

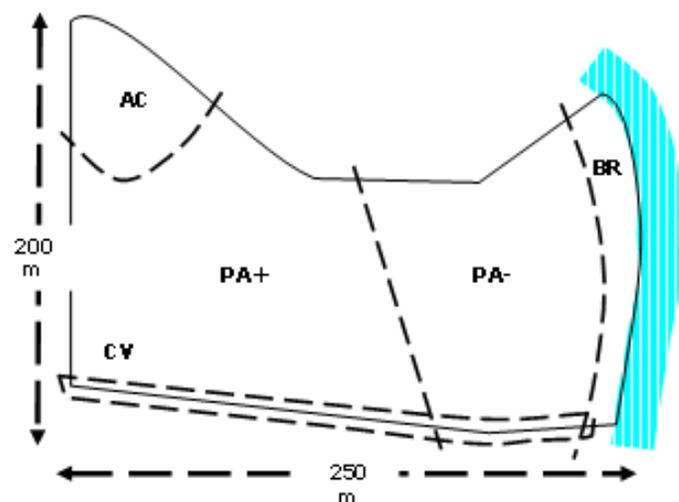
- Acahuales (AC)
- Bosques ribereños (BR)
- Pasturas sin árboles (PS)
- Pasturas con pocos árboles (PA-)
- Pasturas con muchos árboles (PA+)
- Cercas vivas (CV)

– Recorrer el terreno (de preferencia con el productor)

– Reconocer y diferenciar los usos de suelo, con base en el croquis (1) y observación directa

Capacitación a promotores

- Mejorar o hacer un nuevo croquis (2)



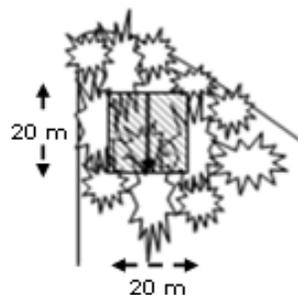
- Anotar los datos de cada terreno, los usos de suelo y sus áreas (hectáreas) en los formatos proporcionados

Ejemplo de anotación de los usos de suelo y sus áreas

Clave	Nombre del uso de suelo	Área total (ha)	No. de áreas diferentes
AC	Acahual	0.26	1
PA	Potrero con árboles	2.60	2
BR	Bosque ribereño	0.18	1
CV	Cerca viva	230 m	1

Ejemplo:

Establecimiento de parcela de muestreo en un acahual



Toma de datos en campo

- Altura

Practicar con dinómetro para afinar el ojo (para los promotores).

Hacer las mediciones finales por observación visual.

Anotar en el formato un aproximado de 5 metros.

Tentativamente:

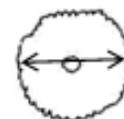
1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-30, 31-40

Ejemplo de anotación de altura

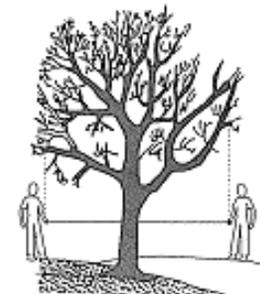
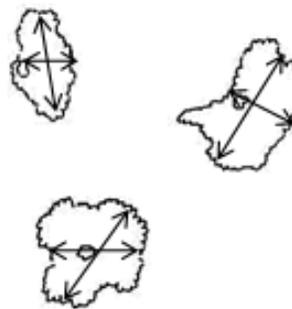
No.	Nombre de árbol	Altura (m)
1	Zapote de agua	11-15
2	Ficus amate	11-15
3	Primavera	21-30
4	Guácimo	6-10

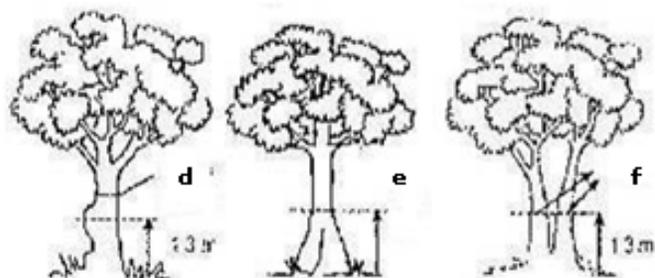
- Diámetro de copa

Si la copa es totalmente redonda tomar medición de un diámetro.



Cuando la copa del árbol es más irregular medir 2 diámetros para que se saque promedio.





Anotar el número de medición aproximado en cm.

Tentativamente:

10–15, 16–20, 21–25, 26–30, 31–35, 36–30, 41–45, 46–50

Ejemplo de anotación de nombre y diámetro en el formato

No.	Nombre de árbol	No de ejes	Dap (cm)	Observaciones*
1	Zapote de agua	1	10-15	1.60
2	Ficus amate	(14)		
		9	10-15	
		3	16-20	
		1	21-25	
		1	16-20	1.5
3	Primavera	1	21-25	
4	Guácimo	2	10-15	
5	como Naranjillo ...	1		floreo mayo, diámetro de fruto 2 cm
..				

* anotar altura de medición de Dap, otras características

Establecimiento de la parcelas de muestreo

Establecer las parcelas de muestreo (PM) en los sitios más representativos del área.

Por lo menos 15 m lejos de otros usos de suelo.

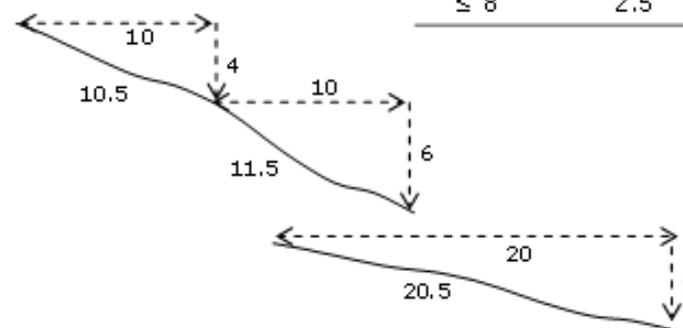
- Trazar una línea horizontal de 20 m con dirección que caracteriza la vegetación del área
- Muestrear los árboles dentro de una faja de 10 m a la izquierda y a la derecha de esta línea

Corrección de distancia por la pendiente del terreno

Las distancias se miden a nivel horizontal.

En la tabla se indica el aumento aproximado de la longitud del terreno a lo largo de 10 m por el efecto del desnivel

Altura (m)	Aumento de longitud (m)
< 3	0
3–4	0.5
hasta 5	1
≤ 6	1.5
≤ 7	2
≤ 8	2.5



- Anotar en formato: clave de la parcela de muestreo, número de repetición y dimensiones (Cuadro B pág. 6)

Definir tamaño y número de parcelas de muestreo

Tamaño de la PM = 20 m X 20 m (1 cuerda)

El número de las PM es proporcional al tamaño del sitio. En general: 2 PM en áreas pequeñas, 4 en áreas medianas y 6 para áreas grandes (Cuadro A pág. 6)

Capacitación a promotores

A. Número de PM por tamaño del sitio

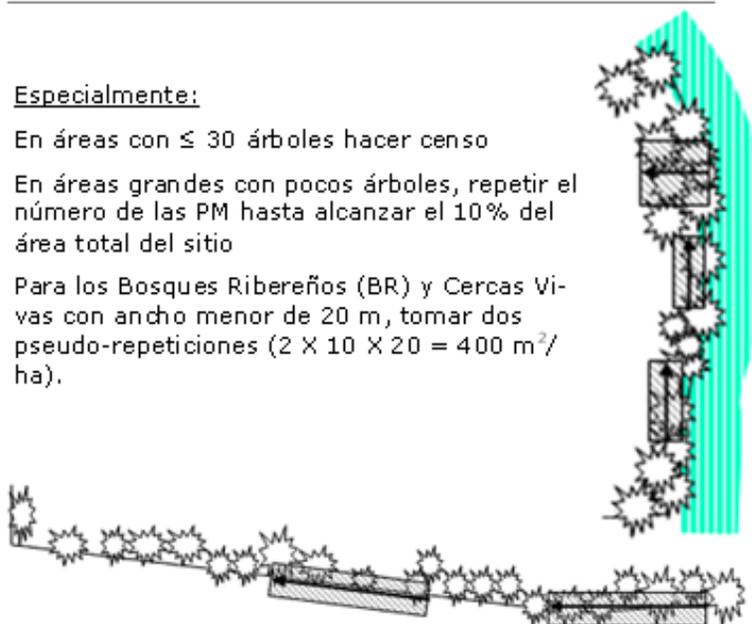
Tamaño del uso del suelo	Dimensión	Número de PM
Todos	≤ 30 árboles	censo
Muy pequeña	≤ 1 ha; CV: ≤ 1000 m	1
Pequeña	≤ 3 ha; CV: ≤ 3,000 m	2
Mediana	≤ 5 ha; CV: ≤ 5 km	4
Grande	> 5 ha; CV: > 5 km	6

Especialmente:

En áreas con ≤ 30 árboles hacer censo

En áreas grandes con pocos árboles, repetir el número de las PM hasta alcanzar el 10% del área total del sitio

Para los Bosques Ribereños (BR) y Cercas Vivas con ancho menor de 20 m, tomar dos pseudo-repeticiones (2 X 10 X 20 = 400 m²/ha).



B. Ejemplo de anotación en el formato

Clave	No	Área del uso del suelo (ha)	Cantidad de muestras	Dimensión de la muestra (m)
AC	1	0.26	1	20 X 20
PA	1	1.50	2	20 X 20
PA	2	1.10	2	20 X 20
BR	1	0.18	2	10 X 20
CV	1	230 m	2	20 (X 10)

Toma de datos en campo

Toma de datos en campo: caracterización y medición de la cobertura arbórea

Para cada árbol:

Muestrear árboles con Dap igual o mayor de 10 cm.

- Identificación de los árboles (nombre)

Si no es conocido:

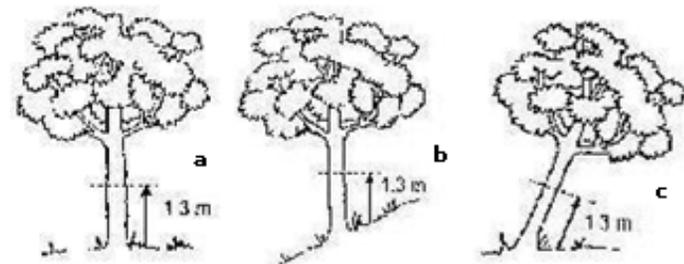
- anotar especie parecida, características sobresalientes o diferencias y
- marcarlo con cinta de color

Importante: que los promotores reconozcan los árboles con su nombre

- Diámetro a la altura de pecho (Dap)

Medir el diámetro del árbol a la altura de pecho (Dap) = 1.30 m de altura desde su base (a, b)

Si el árbol está inclinado o curvo, medir a los 1.30 m de altura a lo largo del tronco (c)



Si el árbol tiene raíces altas (gambas) o alguna anomalía, tomar la medición arriba de esta, y anotar la altura a que se tomó la medición (d, e)

Si existen varios troncos, contar y medir el Dap de todos (f)

Anexo 5. Formulario para la toma de datos en campo

Fecha: _____

Número (No.) de formulario: _____

Nombre de(l/la) promotor(a): _____

Comunidad: _____

Nombre de(l/la) productor(a): _____

I. Usos de suelo en las parcelas productivas y áreas de muestreo

<i>nombre del uso de suelo</i>	<i>clave</i>	<i>número*</i>	<i>área total (ha)</i>	<i>número de muestras</i>	<i>dimensión de muestra</i>
acahual	AC				
potrero con árboles	PA	1			
bosque ribereño	BR				
potrero con árboles	PA	2			
cerca viva	CV				
	...				
	...				

* existirán tantos números como áreas diferentes (no homogéneas en composición y densidad arbórea) se encuentran en cada uso de suelo

II. Caracterización de la cobertura arbórea

Fecha: _____ Número (No.) de formulario: _____

Nombre del(la) promotor(a): _____

Clave del uso de suelo: _____ No. de la parcela de muestreo: _____

Datos de la cobertura arbórea

<i>No.</i>	<i>Nombre de árbol</i>	<i>Ejes</i>	<i>Dap (cm)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Ancho de copa 1 (m)</i>	<i>Ancho de copa 2 (m)</i>
1						
2						
...						

Anexo 6. Mejores especies encontradas en el sitio por servicio ofrecido

I. Especies que ofrecen el mejor valor para el servicio de secuestro de carbono

#	<i>familia</i>	<i>especie</i>	VC
1	Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i>	100
2	Boraginaceae	<i>Cordia elaeagnoides</i>	100
3	Caesalpinaceae	<i>Dialium guianense</i>	100
4	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	100
5	Euphorbiaceae	<i>Adelia oaxacana</i>	100
6	Moraceae	<i>Trophis mexicana</i>	100
7	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	100
8	Papilionaceae	<i>Acosmium panamense</i>	100
9	Papilionaceae	<i>Dalbergia glabra</i>	100
10	Papilionaceae	<i>Lonchocarpus eriocarinalis</i>	100
11	Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	100
12	Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	100
13	Sapindaceae	<i>Cupania macrophylla</i>	100
14	Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i>	100
15	Sapotaceae	<i>Manilkara staminodella</i>	100
16	Sapotaceae	<i>Pouteria belizensis</i>	100
17	Sapotaceae	<i>Pouteria campechiana</i>	100
18	Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i>	100
19	Sapotaceae	desconocido	100

**II. Especies que ofrecen el mejor servicio para la conservación de la biodiversidad
(combinado)**

#	<i>familia</i>	<i>especie</i>	<i>VBD</i>
1	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	76
2	Sapotaceae	<i>Manilkara staminodella</i>	73
3	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	72
4	Acanthaceae	<i>Bravaisia integerrima</i>	69
5	Magnoliaceae	<i>Talauma mexicana</i>	69
6	Meliaceae	<i>Guarea glabra</i>	67
7	Papilionaceae	<i>Ormosia isthmensis</i>	67
8	Papilionaceae	<i>Vatairea lundellii</i>	67
9	Sapotaceae	<i>Pouteria campechiana</i>	64
10	Papilionaceae	<i>Andira inermis</i>	61
11	Moraceae	<i>Trophis mexicana</i>	59

1. Especies que ofrecen el mejor servicio para la alimentación

#	<i>familia</i>	<i>especie</i>	<i>VAL</i>
1	Mimosaceae	<i>Inga jinicuil</i>	100
2	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	66
3	Meliaceae	<i>Guarea glabra</i>	66
4	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	66
5	Anacardiaceae	<i>Spondias</i> sp.	56
6	Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	56
7	Bombacaceae	<i>Quararibea asterolepis</i>	56
8	Bombacaceae	<i>Quararibea funebris</i>	56
9	Mimosaceae	<i>Inga vera</i>	56
10	Papilionaceae	<i>Gliricidia sepium</i>	56
12	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	46

2. *Especies que ofrecen el mejor servicio para el hábitat*

#	familia	especie	VHB
1	Acanthaceae	<i>Bravaisia integerrima</i>	100
2	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	100
3	Anacardiaceae	<i>Tapirira mexicana</i>	100
4	Annonaceae	<i>Annona muricata</i>	100
5	Annonaceae	<i>Annona purpurea</i>	100
6	Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i>	100
7	Arecaceae	<i>Sabal mexicana</i>	100
8	Arecaceae	<i>Scheelea liebmannii</i>	100
9	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	100
10	Chrysobalanaceae	<i>Licania platypus</i>	100
11	Flacourtiaceae	<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	100
12	Lauraceae	<i>Persea americana</i>	100
13	Magnoliaceae	<i>Talauma mexicana</i>	100
14	Melastomataceae	<i>Bellucia grossularioides</i>	100
15	Meliaceae	<i>Guarea glabra</i>	100
16	Meliaceae	<i>Guarea grandifolia</i>	100
17	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	100
18	Moraceae	<i>Ficus cotinifolia</i>	100
19	Moraceae	<i>Ficus insipida</i>	100
20	Moraceae	<i>Ficus lundellii</i>	100
21	Moraceae	<i>Ficus yoponensis</i>	100
22	Moraceae	<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	100
23	Moraceae	<i>Trophis mexicana</i>	100
24	Moraceae	<i>Trophis racemosa</i>	100
25	Musaceae	<i>Musa sp.</i>	100
26	Myrtaceae	<i>Eugenia jambos</i>	100
27	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	100
28	Nyssaceae	<i>Nyssa sylvatica</i>	100
29	Papilionaceae	<i>Andira inermis</i>	100
30	Papilionaceae	<i>Ormosia isthmensis</i>	100
31	Papilionaceae	<i>Vatairea lundellii</i>	100
32	Sapindaceae	<i>Exothea paniculata</i>	100
33	Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i>	100
34	Sapotaceae	<i>Manilkara staminodella</i>	100
35	Sapotaceae	<i>Pouteria belizensis</i>	100
36	Sapotaceae	<i>Pouteria campechiana</i>	100
37	Sterculiaceae	<i>Theobroma bicolor</i>	100
38	Vochysiaceae	<i>Vochysia guatemalensis</i>	100

3. *Especies de mayor valor de existencia*

<i>#</i>	<i>familia</i>	<i>especie</i>	<i>VEX</i>
1	Acanthaceae	<i>Bravaisia integerrima</i>	100
2	Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i>	100
3	Magnoliaceae	<i>Talauma mexicana</i>	100
4	Papilionaceae	<i>Acosmium panamense</i>	100
5	Papilionaceae	<i>Ormosia isthmensis</i>	100
6	Papilionaceae	<i>Vatairea lundellii</i>	100
7	Sapotaceae	<i>Manilkara staminodella</i>	81
8	Caesalpinaceae	<i>Dialium guianense</i>	76
9	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	71
10	Sapotaceae	<i>Pouteria campechiana</i>	71
11	Sapotaceae	<i>Pouteria belizensis</i>	66
12	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	63
13	Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i>	61
14	Papilionaceae	<i>Dalbergia glomerata</i>	58
15	Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	58
16	Apocynaceae	<i>Aspidosperma spruceanum</i>	55
17	Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i>	52

Anexo 7. Valor ecológico de las parcelas de los productores

sitio	#	nombre del productor	área (ha)	árboles #	AB (m ²)	C (ton)	BD (puntos)
AM	1	Marcos González Castillo	4	206	11.95	20.80	110.95
	2	Armando Marroquín Santizo	9	2026	135.09	254.37	1145.93
	3	Magdulino Gutiérrez Gutiérrez	8	2118	98.49	178.96	1129.40
	4	Isauro Marroquín Pérez	4	337	30.17	43.59	224.77
	5	Esau Morales Morales	6	1355	89.45	184.81	816.58
	6	Ignacio Morales Pérez	4.5	984	48.60	113.20	555.35
	7	Obed Morales Pérez	4	640	35.53	37.09	401.81
	8	Hortensia Rodríguez Villar	6	827	47.51	68.73	485.78
	9	Obdulio Gutiérrez Gutiérrez	6	1453	51.80	65.29	701.78
	10	Ermitanio Gutiérrez Velásquez	4	715	23.85	33.43	257.00
	11	Israel D. Pérez Vásquez	7	1264	24.03	30.41	430.44
	12	Roberto Pérez Bartolón	4	988	39.17	38.51	417.73
	13	Alfonso Gómez Pérez	7	1243	52.83	82.49	518.49
	14	Eluviano Santiz Jiménez	4	586	37.89	36.04	409.80
	15	Agustín Pérez Pérez	4	489	19.43	23.76	150.83
LD	1	Antonio Espinosa Hernández	7.5	246	25.72	54.12	190.55
	2	Isabel Sánchez Gómez	3	499	12.52	18.06	144.55
	3	Jorge Luis López Vásquez	3.5	866	35.58	53.42	571.12
	4	Andrés Mendoza López	3	254	27.23	55.57	209.25
	5	Olga Morales Ramírez	2	729	45.20	112.11	350.91
	6	Juan Sánchez Hernández	2	574	19.16	49.82	237.00
	7	Enoc Gómez Hernández	2.5	165	4.82	8.49	76.38
	8	Juan Morales Ramírez	2.5	308	39.28	41.88	253.35
	9	Daniel Pérez Méndez	3	574	66.45	208.63	483.47
	10	Alida Figueroa Soliz	2	815	40.85	105.81	611.24
NA	1	Roberto Pérez Jiménez	8.25	280	13.40	28.56	170.57
	2	Joel Jiménez Jiménez	1.5	31	1.46	1.85	14.45
	3	Genaro Jiménez Vázquez	2	23	1.71	2.60	12.57
	4	Armando Jiménez López	2	40	1.99	2.85	15.76
	5	Guadalupe Pérez Jiménez	4	411	19.86	27.88	265.36
	6	Silverio Jiménez Román	1.5	18	0.63	0.83	8.58
	7	Ángel Pérez López	2	191	11.56	13.23	79.73
	8	Fidelio Gómez Méndez	3	303	13.44	17.95	79.42
	9	Fernando Pérez Jiménez	2	236	22.37	25.49	168.19
	10	Domingo Pérez Jiménez	3	375	52.48	59.17	237.06
NS	1	Manuel Encino Díaz	20	1552	58.98	259.17	1148.32
	2	Gustavo Gómez Sánchez	10	607	22.93	44.29	272.42
	3	Rosendo Sánchez Bonifaz	5	132	3.31	5.51	45.10
	4	Mateo Pérez Pérez	6	339	14.85	21.61	239.77
	5	Belisario Gómez Sánchez	9	1221	33.63	42.85	679.18
	6	Fernando Esteban Pérez	2.5	169	10.70	17.23	88.35
	7	Juan Martínez Sánchez	6	346	25.38	61.82	237.70
	8	Marcelino Encino Cruz	4	241	15.69	26.51	151.43
	9	Nicolás Pérez Torres	4	1025	25.07	42.28	545.75
	10	Fidel Encino Cruz	4	475	13.44	22.65	183.08