



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Centro de Investigaciones en Ecosistemas

**“EVALUACIÓN DEL DISTURBIO ECOLÓGICO PROVOCADO POR  
DIFERENTES TIPOS DE USO AGRÍCOLA DEL SUELO EN UNA  
REGIÓN TROPICAL HÚMEDA”**

## **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

**ISELA EDITH ZERMEÑO HERNÁNDEZ**

DIRECTOR DE TESIS: DR. MIGUEL MARTÍNEZ RAMOS

MORELIA, MICHOACÁN

NOVIEMBRE, 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## Agradecimientos

Agradezco al Centro de Investigaciones en Ecosistemas por permitirme realizar mis estudios en sus instalaciones así como por darme la oportunidad de tomar cursos de maestría impartidos por académicos de excelente nivel. Al posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM, por brindarme la posibilidad de estudiar una maestría. A la Dirección General de Estudios de Posgrado por el apoyo económico para la impresión y empastado de la tesis y al CONACYT por la Beca de manutención otorgada durante la duración de la maestría.

Gracias al proyecto MABOTRO II “Patrones, procesos y mecanismos ecológicos y sucesión secundaria en campos tropicales abandonados” (SEP-CONACYT No. 2005-C01-51043) de CONACYT por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo.

Agradezco especialmente a mi asesor de tesis, el Dr. Miguel Martínez Ramos, por la asesoría y dirección de mi proceso formativo durante la maestría, ya que su confianza, enseñanzas y apoyo constante fueron claves para la realización de esta tesis. Este trabajo es sin duda el fruto de su inagotable imaginación y su enorme conocimiento sobre los procesos de regeneración en selvas húmedas.

Agradezco a los miembros de mi comité tutorial, Dra. Christina Siebe Grabach y Dra. Julieta Benítez Malvido por hacer de mis exámenes tutorales un momento grato para compartir mi hallazgos y resolver conjuntamente mis dudas, así como por las excelentes sugerencias que reestructuraron la propuesta de trabajo inicial, reorientando y fortaleciendo en gran medida este proyecto de investigación. Gracias a los integrantes

del jurado evaluador, la Dra. Ana Mendoza Ochoa, el Dr. Diego Pérez Salicrup y el Dr. Horacio Paz Hernández por sus atinadas observaciones para mejorar el documento.

Muchas gracias al técnico Jorge Rodríguez (Quick) por la ayuda logística de las salidas de campo y por asistirme durante la selección de mis sitios de muestreo. A Gilberto Jamangapé (Gil) por la ayuda brindada durante el trabajo de campo y a su esposa Lourdes por hospedarme amablemente en su casa y por los ricos calditos que nos preparó cada día. No podría olvidar la ayuda y compañía de Vivi Santana, que me acompañó de manera entusiasta a identificar y ubicar a mis entrevistados en los ejidos. Gracias a los comisariados ejidales de Chajul, Loma Bonita y Playón de la Gloria por brindarme la información necesaria para realizar mis entrevistas, y a cada uno de los entrevistados de los tres ejidos que aportaron información muy valiosa a partir de la cual surgió este trabajo.

Agradezco a mi amiga Ana María y a Rafa por invitarme a pasar las noches lluviosas en el Arca de Noé, a Ericka por invitarme a sus muestreos nocturnos para y permitirme conocer el fascinante mundo de los murciélagos, a Santa Anita por su agradable compañía y a Doña Chana y Don Lombera por sus ricos frijolitos con tortillas de comal y sus amenas pláticas.

Gracias a Moy por su ayuda en la selección de los análisis estadísticos y la realización de las gráficas, pero sobre todo por su apoyo constante durante toda la maestría y especialmente en la redacción del manuscrito. A Víctor y Braulio por auxiliarme en el análisis de ordenación. Finalmente agradezco a todos mis amigos que siempre me han acompañado e impulsado para culminar esta meta (Moy, Claus, Ana María, Kari y Ali). Gracias a todos!!!

## Dedicatoria

*Quiero dedicar esta tesis, con todo mi cariño, a mis padres Humberto y Lilia. Por darme una vida llena de amor. Por enseñarme, entre muchas otras cosas, que con trabajo y perseverancia uno puede lograr lo inimaginable. Por confiar incondicionalmente en mí y por impulsarme y motivarme cada día de mi vida para alcanzar mis sueños.*

*A mis hermanos, Eumir, Paulina y Melissa, que me han acompañado siempre y con quienes he aprendido la importancia de la familia, la amistad y el cariño incondicional.*

*Sobre todo, este trabajo lo dedico a Moy, mi compañero de vida, gracias por estar siempre y en todo momento conmigo. Hemos culminado otra meta más, pero aún nos queda mucha por hacer juntos. ¡Ahí vamos cariño!*

*“Cuando hayáis talado el último árbol, cuando hayáis matado el último animal, cuando hayáis contaminado el último río, os daréis cuenta de que el dinero no se come” (de los indios cris, Canadá)*

# Índice

<b>Agradecimientos</b>	<b>I</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>III</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>IV</b>
<b>Índice de cuadros</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
Regeneración natural y sucesión secundaria en campos agrícolas abandonados	6
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1 Objetivo general	10
2.2 Objetivos particulares	10
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>11</b>
3.1 Área de estudio	11
3.2 Método de entrevistas semi-estructuradas	14
3.3 Caracterización de los diferentes tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) mediante un índice de disturbio	15
3.4 Análisis de datos	18
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>19</b>
4.1 Caracterización de los TUAS en la región Marqués de Comillas	19
4.2 Evaluación del disturbio provocado por diferentes TUAS	26
4.3 Integración del índice de disturbio ecológico	30

<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>34</b>
5.1 Factores que influyen en los tipos de uso agrícola de suelo.	34
5.2 Predicción del potencial de regeneración natural de la vegetación de selva en campos agrícolas abandonados según el índice de disturbio ambiental	42
5.3 Aciertos y limitaciones del índice de disturbio ecológico	55
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>58</b>
<b>7. REFERENCIAS</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO 1. Entrevista semiestructurada para caracterizar las actividades agrícolas en la región marqués de comillas, chiapas.</b>	<b>75</b>

# Índice de figuras

<b>Número de Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio, ubicada en las cercanías de la Estación Chajul, dentro de la Reserva de la Biosfera Montes Azules y áreas adyacentes de Marqués de Comillas (Modificado por March & Aranda 1992).	12
Figura 2. Temperatura y precipitación media mensual desde 1990 hasta el 2000. Las barras hacen referencia al promedio (+ error estándar) de precipitación mientras que los puntos unidos con la línea representan la temperatura. Datos tomados de la estación meteorológica de la Comisión Federal de Electricidad en Playón de la Gloria, Chiapas.	13
Figura 3. Curvas de acumulación del número de usos agrícolas del suelo (TUAS) practicados en (a) la región de Marqués de Comillas y (b) tres ejidos (Chajul, Loma Bonita y Playón de La Gloria), Chiapas	20
Figura 4. Promedios acumulados del número de diferentes tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) practicados en (a) la región Marqués de Comillas y, (b) tres ejidos (Chajul, Loma Bonita y Playón de la Gloria) en el sureste de Chiapas.	21
Figura 5. Proporción de cobertura vegetal para (a) la región Marqués de Comillas y (b) tres comunidades ejidales (Chajul, Loma Bonita y Playón de la Gloria) en el sureste de Chiapas.	23
Figura 6. Porcentaje de área dedicada a diferentes tipos de uso agrícola del suelo en (a) la región Marqués de Comillas y (b) los ejidos de Chajul, Loma Bonita y Playón de La Gloria, en Chiapas.	25

Figura 7. Principales tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en la región Marques de Comillas Chiapas donde (a) superficie promedio de cada TUAS, (b) duración promedio del TUAS y (c) índice de intensidad del uso agrícola del suelo (IUAS). Las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un  $\alpha < 0.05$ . \*\*\* $p < 0.001$ , ns  $p > 0.05$ . 26

Figura 8. Superficie promedio en hectáreas de los tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) más importantes en (a) Chajul, (b) Loma Bonita y (c) Playón de la Gloria. Las barras indican el error estándar. 27

Figura 9. Duración promedio de los principales tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en (a) Chajul, (b) Loma Bonita y (c) Playón de la Gloria. Las barras indican el error estándar. 28

Figura 10. Índice de intensidad de uso agrícola del suelo (IUSA) de diversos tipos de uso agrícola (TUAS) en la Región Marqués de Comillas, Chiapas. IF = Incidencia de fuegos, UM = Uso de maquinaria, UA = Uso de agroquímicos, IP = Intensidad de pastoreo e CA = Cobertura arbórea. 29

Figura 11. Índice de intensidad de uso agrícola del suelo (IUSA) para diferentes tipos de uso agrícola (TUAS) en (a) Chajul, (b) Loma Bonita y (c) Playón de La Gloria, Chiapas. IF = Incidencia de fuegos, UM = Uso de maquinaria, UA = Uso de agroquímicos, IP = Intensidad de pastoreo e CA = Cobertura arbórea. 30

Figura 12. Análisis de ordenación para caracterizar el grado de disturbio ambiental provocado por diferentes tipos de uso agrícola del suelo practicados en la región Marqués de Comillas. Los valores en los ejes corresponden al porcentaje de varianza explicado por cada eje. La longitud de los vectores indica el porcentaje de varianza explicado por cada variable y la dirección de la flecha muestran el sentido en que se relaciona con los ejes. 31

Figura 13. Dendrograma obtenido por el análisis de clasificación para distinguir la similitud/disimilitud de los principales tipos de uso agrícola del suelo en la región

Marqués de Comillas en función de los valores de tres subíndices de disturbio (extensión, duración e intensidad).

32

Figura 14. Integración del Índice de disturbio ecológico (IDE) para diferentes tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en la región Marqués de Comillas, Chiapas. Las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un  $\alpha < 0.05$ . \*\*\*  $p < 0.001$ .

33

# Índice de cuadros

## Número de cuadro

## Páginas

Cuadro 1. Principales tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en tres ejidos de la región Marqués de Comillas, Chiapas. Se muestra la superficie total ocupada en hectáreas por cada TUAS y la frecuencia de actividad entre paréntesis, medida como el número de ejidatarios que actualmente mantienen cada práctica agrícola.	24
---	----

## Resumen

Las perturbaciones a gran escala producidas por la deforestación y la actividad agropecuaria modifican los procesos de regeneración natural y sucesión ecológica de las selvas tropicales. En paisajes manejados la regeneración natural después del abandono está determinada por la historia de uso del suelo y las características de manejo de los diferentes tipos de uso agrícola del suelo. Por medio de entrevistas semi-dirigidas se identificaron y caracterizaron los principales tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en tres ejidos de la región Marqués de Comillas, Chiapas y se exploraron los factores que explican los patrones de uso de suelo actual. Para predecir el potencial regenerativo de selvas en función del uso agrícola del suelo se desarrolló un índice de disturbio ecológico (IDE) que considera la extensión, duración e intensidad del uso agrícola del suelo (IUSA) previo al abandono usando información obtenida de las entrevistas. Se aplicaron un total de 66 entrevistas a ejidatarios en la región, abarcando un área de 2027 hectáreas. Se encontró que aproximadamente 34% de la superficie del terreno es vegetación de selva primaria, 16% se encuentra como vegetación secundaria de diferentes edades sucesionales y un 50% está dedicada a la práctica de diversas actividades agrícolas. Las praderas ganaderas ocuparon un 86% de la superficie agrícola cultivada, mientras que en el área restante se practican otras 12 actividades agrícolas distintas. Mediante la integración del IDE predecimos que existen tres tipos de uso agrícola del suelo que contrastan en sus niveles de disturbio: i) *Plantaciones (café, cacao, huertas frutales y caobas)*, caracterizadas por presentar una extensión baja-media, duración baja-media, además de los valores más bajos de intensidad obtenidos en el estudio; ii) *Monocultivos (cultivos de maíz, frijol, maíz intercalado con frijol, arroz,*

*hortalizas, chile y plátano*), fueron cultivos pequeños, de larga duración y con valores de intensidad de disturbio medio; y iii) *Cultivos extensivos (praderas ganaderas y plantaciones de palma de aceite)* aunque de una duración variable fueron los TUAS más extensivos y con valores más altos de IUSA. Finalmente, los valores del IDE obtenidos para los diferentes TUAS indican que los cultivos extensivos tendrían el mayor impacto negativo sobre el ambiente afectando negativamente la regeneración natural de selva una vez que estos cultivos son abandonados. Existe una compleja red de factores, tanto internos como externos, que dictan los patrones de cambio en el uso del suelo y que operan a múltiples escalas espaciales y temporales. Recopilar información social y económica tanto actual como histórica sobre los factores que determinan el uso actual de los recursos naturales será de gran utilidad para influenciar de manera certera la toma de decisiones tanto en el ámbito político como socio-económico con respecto a la trayectoria futura de las selvas en nuestro país. Debido al creciente y acelerado cambio que están experimentando los ecosistemas a nivel mundial, una tarea importante para los ecólogos es generar índices que permitan hacer evaluaciones, predicciones y monitoreos rápidos y confiables para diagnosticar el estado de los recursos y el curso que pueden seguir en el tiempo bajo los patrones de manejo actual. El IDE aporta grandes ventajas para comparar el potencial regenerativo de vegetación original bajo diferentes escenarios de manejo agrícola, entre diferentes tipos de ecosistemas, e incluso se puede utilizar para hacer comparaciones de las prácticas de manejo agrícola a grandes escalas espaciales y temporales de manera rápida y repetible. De esta manera, el IDE podría aportar información importante para la toma de decisiones, al apoyar políticas de manejo enfocadas hacia sistemas agrícolas que pueden permitir la persistencia de selvas a largo plazo en paisajes agropecuarios.

## 1. Introducción

Las selvas húmedas albergan más del 50 % de la diversidad mundial a pesar de que abarcan sólo el 3% de la superficie terrestre del planeta (FAO 2000; Malhi y Grace 2000). La diversidad que albergan las selvas húmedas es esencial ya que permite el mantenimiento de procesos ecosistémicos y provee una serie de servicios ambientales que determinan la calidad de vida y el bienestar económico de las sociedades humanas (Millenium Ecosystem Assessment 2005).

No obstante a tal importancia, estos bosques han sufrido un proceso de deforestación extenso y acelerado a nivel mundial (FAO 1993). En México las selvas húmedas son taladas y convertidas a campos agrícolas y ganaderos a tasas rápidas. Por ejemplo, en un lapso de 20 años (1970-1990), el área total del bosque maduro en la región de Marqués de Comillas, Chiapas disminuyó del 95 al 56% (De-Jong *et al.* 2000). Así, en esta región actualmente cerca del 57 % del área está cubierta por bosque primario fragmentado y el área restante por pastizales, zonas agrícolas, huertos y bosques secundarios de menos de veinte años (De-Jong *et al.* 2000) resultado de la dinámica social, política, económica y productiva que ha prevalecido en la zona durante los últimos 40 años (Mariaca-Méndez 2005; Ochoa-Gaona *et al.* 2005).

La conversión de selva en paisajes agrícolas y su consecuente fragmentación y destrucción del hábitat son una fuerte amenaza para la biodiversidad local y regional. Sin embargo, se reconoce que existen otros factores que son importantes directrices en la pérdida de recursos biológicos, tales como la globalización del mercado, la migración, las políticas públicas y los cambios culturales (Harvey *et al. In Press.*) y la industrialización agrícola (Benton *et al.* 2003; Matson y Vitousek 2006).

Estas fuerzas en conjunto dirigen la transformación de diversos sistemas agrícolas tradicionales en sistemas que son dependientes de la mecanización y los insumos químicos (Perfecto *et al.* 1996; Harvey *et al. In Press.*). La eliminación de la cobertura vegetal, el uso de altas cantidades de agroquímicos (algunas veces altamente tóxicos) y las técnicas de preparación del suelo (por ejemplo, el barbecho con maquinaria pesada), asociadas al aumento del uso agrícola del suelo, provocan una reducción en la calidad del mismo (Kladivko 2001; Brye y Pirani 2005). Tales actividades afectan negativamente a la biodiversidad nativa presente por encima y debajo del suelo (Rands 1986; Andreasen *et al.* 1996; Haughton *et al.* 1999), reducen la cobertura de árboles, la diversidad de hábitats y la conectividad del paisaje (Matson y Vitousek 2006; Harvey *et al. In press*). Como consecuencia, se presenta una pérdida de heterogeneidad ecológica a múltiples escalas espaciales y temporales (Benton *et al.* 2003).

Los diferentes sistemas de producción agrícola varían ampliamente en el impacto que ejercen sobre los patrones de diversidad, servicios ambientales, dinámica de uso de suelo y el potencial para la regeneración (Chazdon *et al. In press*). Aunque varios atributos de la estructura y composición de los bosques pueden recuperarse después de que ha ocurrido una perturbación, ya sean naturales o antropogénicas (por ejemplo, huracanes, incendios, tala, actividades agrícolas;(Brown 1990; Guariguata y Ostertag 2001; Chazdon 2003; Finegan y Nasi 2004), las tasas de regeneración varían considerablemente dependiendo de la intensidad, extensión, duración y frecuencia de la perturbación, así como de la configuración espacial de la vegetación remanente (donde existen fuentes de propágulos), y de las características intrínsecas del suelo y del clima

(Fernandes y Sanford 1995; Smith *et al.* 1999; Pascarella *et al.* 2000; Kennard *et al.* 2002; Sagar *et al.* 2003; Chazdon *et al.* 2007).

Las selvas húmedas están sujetas a eventos naturales de disturbio de pequeña escala (caída natural de grandes ramas y árboles) (Martínez-Ramos 1985; Denslow 1987; Martínez-Ramos 1994). Estos disturbios son parte de un proceso natural de sucesión cíclica por medio del cual la estructura y composición de la comunidad vegetal se renueva a través del espacio y tiempo; por tanto, los organismos de la selva presentan atributos adaptativos a estas perturbaciones crónicas (Whitmore 1978; Whitmore 1984; Martínez-Ramos y Alvarez-Buylla 1986; Brokaw 1987; Martínez-Ramos *et al.* 1988). En contraste, las perturbaciones de gran escala producidas por la deforestación y el cambio en el uso del suelo para fines agropecuarios, así como la industrialización y mecanización agrícola, son eventos recientes en la historia evolutiva de las plantas y animales para los cuales tales organismos no presentan respuestas adaptativas (Martínez-Ramos y García-Orth 2007).

En este sentido, la teoría de dinámica de claros y sucesión cíclica desarrollada para las selvas húmedas que se encuentran libres del disturbio humano, debe modificarse a una que sea apropiada para describir la dinámica de la sucesión ecológica en grandes áreas abiertas, con actividades de manejo a escala del paisaje (Martínez-Ramos y García-Orth 2007), considerando además la historia del uso del suelo y el inminente auge de la intensificación agroindustrial.

## **Regeneración natural y sucesión secundaria en campos agrícolas abandonados**

De acuerdo con Martínez-Ramos y García-Orth (2007), las reglas de sucesión que operan en los claros naturales se modifican en paisajes agropecuarios en función de dos ejes principales de modificación producidos por el cambio de uso del suelo: i) el grado de alteración ambiental (calidad de sitio) y ii) el grado de disponibilidad y diversidad de propágulos. Estos dos grandes ejes están relacionados con los componentes de la llamada *teoría jerárquica de la sucesión* propuesta por (Pickett *et al.* 1987), en la que se propone que para que ocurra un fenómeno sucesional se requiere de: i) la presencia de sitios abiertos (relacionada con el eje de calidad de sitio), ii) la disponibilidad diferencial de propágulos de distintas especies (relacionada con el eje de disponibilidad de propágulos) y iii) el rendimiento (sobrevivencia, crecimiento y reproducción) diferencial de las especies (relacionado con la interacción entre el eje de calidad de sitio y el de disponibilidad de propágulos).

En sitios agrícolas abandonados, las principales fuentes potenciales de propágulos son: semillas latentes (banco de semillas), regeneración de avanzada (disponibilidad de plántulas y juveniles), rebrotes de árboles y arbustos y semillas recién dispersadas (lluvia de semillas). La calidad de sitio incluye un gran número de factores que afectan el establecimiento, la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de las plantas, tales como las condiciones físico-químicas del suelo (por ejemplo, disponibilidad de nutrientes, humedad y textura del suelo, materia orgánica, compactación y residuos tóxicos), el microclima (variación diaria, estacional y anual en los niveles de luz, radiación solar, temperatura y humedad) y los factores bióticos

(incluyendo un amplio ámbito de organismos tales como bacterias y hongos simbioses, depredadores, competidores, animales y microorganismos mutualistas).

Una disponibilidad elevada de propágulos o una calidad buena del sitio son insuficientes por sí solos para que la regeneración ocurra, de modo que los patrones de sucesión en sitios manejados dependerán de la interacción de estas dos condicionantes de la regeneración natural (Boucher *et al.* en prensa). La disponibilidad de propágulos depende tanto de la extensión como de la intensidad del tipo de uso agrícola del suelo. Mientras mayor es la distancia del campo agrícola a los remanentes aledaños de selva menor es la cantidad de propágulos que pueden dispersarse al campo (Thomlinson *et al.* 1996; Holl 1999; Martínez-Garza y González-Montagut 1999; Cubiña y Aide 2001). (Grau 2004) encontró que la distancia que existe entre un claro natural de la selva y los bosques secundarios aledaños juega un papel importante en la composición de especies que colonizan los claros.

La alta frecuencia en el uso de fuego, el grado de eliminación de dosel forestal, la presencia de árboles aislados, las técnicas de preparación del suelo y la introducción de ganado son factores que influyen directamente en la llegada y persistencia de propágulos en los campos agrícolas (Zahawi y Augspurger 1999; Rice y Greenberg 2000; Slocum 2001; Kennard *et al.* 2002; Guevara *et al.* 2004). Por lo tanto, se ha sugerido que los sitios que sufrieron un uso agrícola más intensivos tendrán una menor diversidad de especies una vez que se abandona la actividad agrícola (Rice y Greenberg 2000), como consecuencia de un mayor grado de eliminación de propágulos en el sitio.

Por otro lado, es esperable que la calidad de sitio dependa tanto de la intensidad como de la duración del disturbio. Por ejemplo, al aumentar la intensidad y duración del

uso agrícola del suelo (con maquinaria, empleo de fuego y agroquímicos) éste tiende a perder en mayor grado sus propiedades físico-químicas y biológicas originales (Holl 1999; Zahawi y Augspurger 1999; Kladivko 2001; Brye y Pirani 2005). Distintos tipos de uso agrícola del suelo, contrastantes en su intensidad, duración y extensión, afectan diferencialmente la calidad de sitio y la disponibilidad de propágulos y, con ello, el proceso de regeneración y sucesión secundaria de la selva que se puede dar en el campo abandonado (Boucher *et al.* en prensa).

En un extremo de disturbio reducido se encuentra, por ejemplo, la tala selectiva de árboles en la que la reducción en la disponibilidad de propágulos y en la calidad de sitio se espera sea menor (sobre todo si no se usa maquinaria pesada en la extracción de los árboles). Después de la extracción, es esperable que la regeneración del bosque sea rápida, de manera semejante a como ocurre en un claro natural grande en la selva (Hartshorn 1989).

En el otro extremo, el establecimiento de plantaciones de cultivos anuales (por ejemplo, de chile, tabaco, maíz y soya) o perennes (por ejemplo, piña y eucaliptos) extensos (decenas a centenas de hectáreas) que implican la adición de agroquímicos, manejo de fuego y modificación mecánica del suelo por muchos años reducen notablemente la disponibilidad de propágulos y la calidad de sitio. Es esperable que en los campos abandonados que fueron usados para estos tipos de cultivos la velocidad de regeneración sea lenta o nula (Ceccon y Martinez-Ramos 1999). La recuperación y la persistencia futura de las selvas húmedas en los paisajes agropecuarios dependen, en parte, de los tipos de uso agrícola que se practiquen. Es urgente entender los factores y mecanismos que regulan el proceso de regeneración natural y sucesión

secundaria investigando las consecuencias que tienen los diferentes sistemas agrícolas sobre este proceso ecológico (Chazdon *et al.* In press).

Son contados los estudios que han evaluado la tasa de regeneración natural del bosque bajo diferentes escenarios de uso agrícola del suelo (Fernandes y Sanford 1995; Fujisaka *et al.* 1997; Pascarella *et al.* 2000). Más escasos son los estudios que han considerado el efecto de la historia de uso del suelo y el nivel de disturbio causado por el tipo de uso agrícola sobre los mecanismos de regeneración (Smith *et al.* 1999; Kennard *et al.* 2002; Sagar *et al.* 2003) y la ganancia de diversidad de especies durante la sucesión vegetal (Ochoa-Gaona *et al.* 2007).

Por tanto, es importante generar métodos que permitan evaluar a una escala regional, de una manera rápida y repetible, el impacto potencial que cada tipo de uso agrícola del suelo tiene sobre la velocidad de la regeneración natural del bosque. En esta búsqueda, es deseable generar indicadores que incorporen variables claves de la duración, extensión e intensidad del disturbio provocado por la actividad agrícola.

En este contexto, el presente estudio pretende: i) documentar los tipos de uso agrícola del suelo que se practican en una región tropical húmeda del sureste de México, ii) explorar qué factores han favorecido algunas prácticas agrícolas sobre otras en esta región y, iii) desarrollar un método que permita caracterizar el disturbio provocado por diferentes tipos de uso agrícola del suelo sobre variables que afectan la disponibilidad de propágulos y calidad de sitio. En última estancia, este método intenta desarrollar un índice de disturbio que permita predecir el potencial de regeneración natural de la selva en campos agrícolas abandonados con diferentes historias de uso.

## **2. Objetivos**

### *2.1 Objetivo general*

Desarrollar un índice que: i) permita caracterizar el disturbio provocado por diferentes tipos de uso agrícola del suelo sobre variables relacionadas con la disponibilidad de propágulos y la calidad de sitio y ii) ayude a proponer sistemas agrícolas que pueden permitir la persistencia de selvas a largo plazo en paisajes agropecuarios.

### *2.2 Objetivos particulares*

1. A través de entrevistas aplicadas a agricultores, identificar y caracterizar los principales tipos de uso agrícola del suelo en la región de Marqués de Comillas, Chiapas.
2. Explorar los posibles factores que expliquen los patrones de uso agrícola de suelo encontrados en esta región.
3. Con base en la información obtenida de las entrevistas, diseñar un método que permita cuantificar el grado de disturbio provocado por diferentes tipos de uso agrícola del suelo a través de un índice que considere la extensión, la duración y la intensidad del uso agrícola.
4. Evaluar, con el índice de disturbio, el efecto potencial de diferentes tipos de uso agrícola del suelo sobre la capacidad de regeneración del bosque en campos abandonados.
5. Discutir los aciertos y limitaciones del método propuesto y posibles mejoras al mismo.

### 3. Materiales y métodos

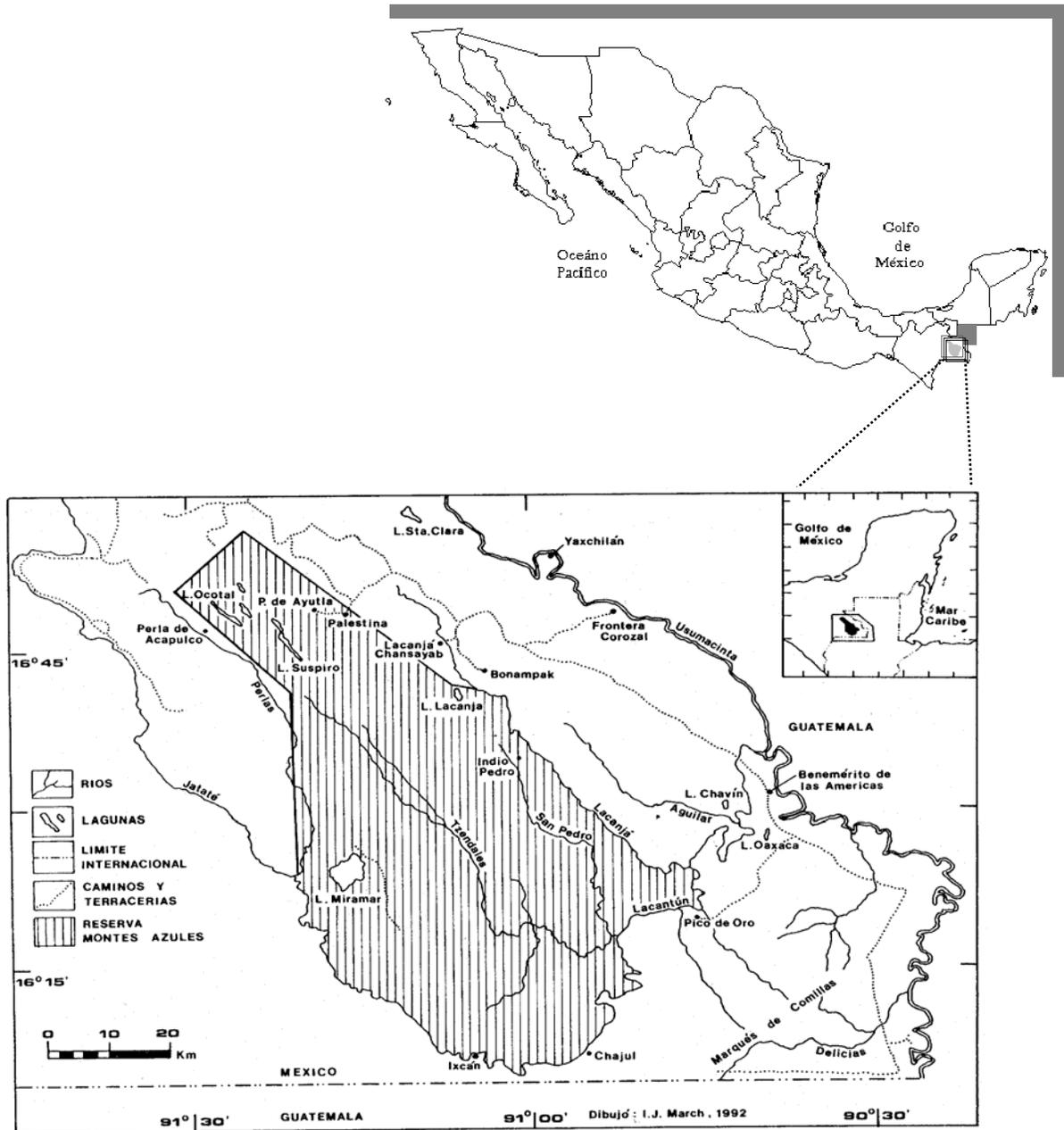
#### 3.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en los ejidos de Chajul, Loma Bonita y Playón de la Gloria, que se encuentran en la región de Marqués de Comillas, Chiapas, colindante con la Reserva Integral de la Biosfera Montes Azules (RIBMA, Figura 1). Ésta región es una planicie de forma triangular de 206,345 ha, limita al norte por el río Lacantún y al este por el Chixoy-Usumacinta (Mariaca-Méndez 2005).

En el paisaje de la región de Marqués de Comillas existe una gran extensión de selva bien conservada que contiene la mayoría de los remanentes forestales de la región (3,310 Km<sup>2</sup>). Se encuentra también un mosaico de diferentes tipos de cobertura vegetal incluyendo fragmentos de selva, bosques secundarios (acahuales) en diferentes estados sucesionales, pastizales inducidos en uso, cultivos de temporal (maíz, frijol, chile, arroz) y plantaciones de caucho (*Hevea brasiliensis*), cacao, café y árboles frutales.

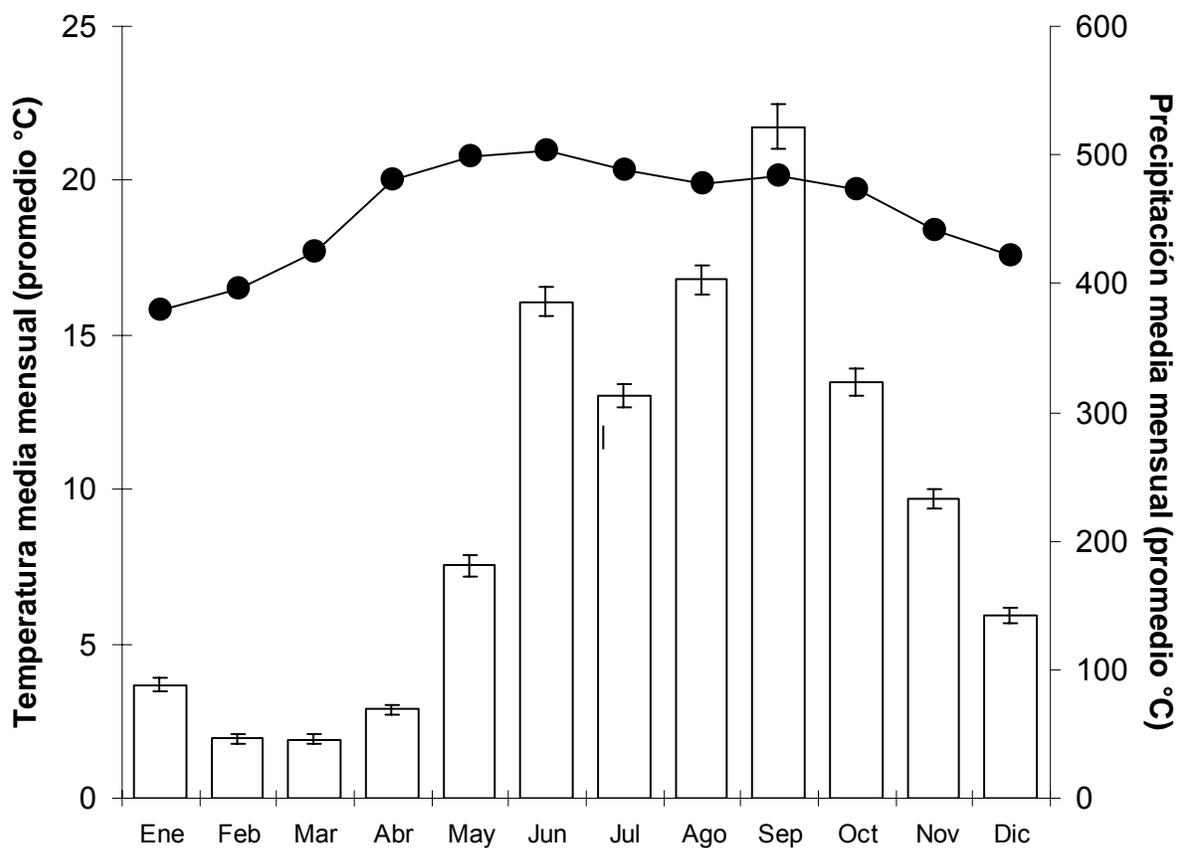
El tipo de vegetación primaria es bosque tropical lluvioso de tierras bajas, con árboles que alcanzan los 40 m de altura en terrazas aluviales a lo largo de los principales ríos (Siebe *et al.* 1996). Estructuralmente, las especies de árboles más importantes son (Martínez-Ramos, datos no publicados; nomenclatura siguiendo (Martínez *et al.* 1994): *Dialium guianense* (Aublet) Sandw. (Leguminosae), *Brosimum alicastrum* Swart (Moraceae), *Spondias radlkoferi* J. D. Smith (Anacardiaceae), *Guarea glabra* Vahl (Mealiaceae) y *Manilkara zapota* (L.) Van Royen (Sapotaceae). (Martínez *et al.* 1994), reportan para la Selva Lacandona un total de 3,400 especies de plantas

vasculares. Se reporta un total de 258 especies de árboles ( $\geq 10$  cm dap) registradas en 7 ha de selva primaria (Martínez-Ramos datos no publicados).



**Figura 1.** Localización geográfica de la zona de estudio, ubicada en las cercanías de la Estación Chajul, dentro de la Reserva de la Biosfera Montes Azules y áreas adyacentes de Marqués de Comillas (Modificado por March & Aranda 1992).

El clima es cálido húmedo con un promedio de temperatura anual de 19°C y una oscilación térmica de 16.5 - 25 °C. La precipitación media anual es de 2754 mm, estacionalmente distribuidos durante el año (Figura 2; datos de 1990 al 2000 proporcionados por la estación meteorológica de la Comisión Federal de Electricidad ubicada en Playón de la Gloria).



**Figura 2.** Temperatura y precipitación media mensual desde 1990 hasta el 2000. Las barras hacen referencia al promedio ( $\pm$  error estándar) de precipitación mientras que los puntos unidos con la línea representan la temperatura. Datos tomados de la estación meteorológica de la Comisión Federal de Electricidad en Playón de la Gloria, Chiapas.

### *3.2 Método de entrevistas semi-estructuradas*

Para caracterizar los principales usos agrícolas del suelo en la región de Marqués de Comillas se aplicaron entrevistas semiestructuradas (Anexo 1) a pobladores de tres ejidos: Chajul, Loma Bonita y Playón de la Gloria. Este tipo de entrevistas funcionan cuando existe interés por entrevistar a personas que tienen poco tiempo o que están acostumbradas a usar eficientemente su tiempo (Vela-Peón 2001), por ejemplo autoridades ejidales y agricultores. Al aplicar estas entrevistas, el entrevistador cuenta con temas o preguntas preestablecidas, mantiene la conversación sobre un tema en particular, pero le proporciona al informante el espacio y la libertad suficiente para definir el contenido de la discusión (Vela-Peón 2001). En este caso, las entrevistas se enfocaron, primordialmente, en la historia de uso de los terrenos ejidales de cada propietario, en las prácticas de uso agrícola que se siguen para cada sistema agrícola en particular, así como tomar en cuenta aspectos históricos que han influido en el cambio de la cobertura vegetal.

La selección de las personas siguió un muestreo intencional no probabilístico (Vela-Peón 2001) que consiste en enfocar el muestreo principalmente a los jefes de familia o hijos de familia que tuvieran conocimientos suficientes sobre los aspectos de la historia de uso del suelo y el manejo agrícola en sus propiedades.

Inicialmente se obtuvo información de carácter general (nombre, edad, estado civil, etc.) del informante, y se procedió a la recolección de la información, tratando de evitar el uso de tecnicismos durante la entrevista para establecer un entendimiento mutuo de los temas tratados. Dado que en el área de trabajo los ejidatarios han tenido contacto previo con el grupo de estudio en cuestión, no se percibió renuencia a otorgar

la información, lo que establece un grado confiable de credibilidad y seriedad en la investigación.

El muestreo realizado fue de tipo teórico o intencionado (Vela-Peón 2001) que consistió en seguir un proceso de acumulación de entrevistas calculando la media acumulada de tipos de cultivo agrícola por ejidatario hasta obtener un valor aproximadamente constante para cada ejido y a nivel de región. Con ello se consideró haber capturado a todos los cultivos practicados en los ejidos. Se asumió que los resultados provenientes de nuevas entrevistas no aportarían información adicional de relevancia para el estudio.

El proceso de análisis de la entrevista consistió en realizar una base de datos de la cual se seleccionaron las variables de disturbio más relevantes e informativas sobre la modificación del ambiente bajos diferentes escenarios de uso agrícola.

### *3.3 Caracterización de los diferentes tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) mediante un índice de disturbio*

Mediante la información obtenida en las entrevistas se definió la superficie del terreno destinada a reserva, en uso agrícola actual y en estado de vegetación secundaria (acahual) tanto para cada ejido como para la región. Se cuantificó la proporción de terreno bajo cada tipo de TUAS y se calculó la extensión, duración e intensidad de las diferentes prácticas de manejo del suelo en función de una o varias preguntas formuladas en las entrevistas.

La *extensión* se definió como la superficie promedio actual en hectáreas de TUAS, donde los valores pueden ir desde 0.5 ha hasta aproximadamente 50 ha. La *duración* fue tomada como el tiempo promedio, en años, que se ha mantenido el cultivo

desde que fue establecido por primera vez. Dado que la *intensidad* del uso del suelo es una medida que, a diferencia de la duración y la extensión, no se puede cuantificar de manera directa, o haciendo uso de una sola variable, se integraron varios indicadores que incluyen factores que directa o indirectamente influyen en la disponibilidad de propágulos y/o la calidad de sitio. En este sentido, el componente de intensidad del uso del suelo fue obtenido mediante la integración de los siguientes subíndices:

*(i) Incidencia de fuegos (IF)*

$$IF = FF / DC$$

donde FF se refiere a la frecuencia de uso del fuego, es decir el número de eventos de quemas en la historia de uso del sitio, y DC es la duración en años del cultivo.

*(ii) Uso de agroquímicos (IQ)*

$$UA = FQ * DC$$

donde FQ es la frecuencia de uso de agroquímicos (herbicidas, fungicidas, etc), es decir número de aplicaciones por ciclo anual de cultivo.

*(iii) Uso de maquinaria (IM)*

$$UM = FM / DC$$

donde FM es la frecuencia de uso de maquinaria pesada, es decir, número de veces en que se usó tractor en la historia de uso del sitio.

(iv) *Intensidad de pastoreo (IP)*

$$IP = PU * IA$$

donde PU es la proporción de tiempo que se mantiene en uso el pastizal mientras que IA es el índice de agostadero (número de cabezas de ganado por hectárea de pastizal)

(v) *Cobertura arbórea (CA)*

Este subíndice tomó valores de 0-2 dependiendo de la cobertura relativa de árboles por parcela ejidal, según los propios ejidatarios. Considerando que una menor cobertura vegetal tiene un impacto más negativo sobre la regeneración, los valores de la CA se asignaron en el siguiente orden: 2 cuando la cobertura de árboles se encuentra entre 0 y 25%, 1 cuando la cobertura de árboles se encuentra entre 25 y 50% y 0 cuando la cobertura de árboles es mayor que 50 %.

Se obtuvo el valor relativo de cada subíndice de intensidad (de 0 a 1), dividiendo el valor asignado a cada parcela ejidal entre el valor máximo observado en un conjunto de parcelas. Finalmente se construyó el índice de intensidad de uso agrícola del suelo (IUAS) como:

$$IUAS = IF + IQ + IMA + IP + ICA$$

Se obtuvieron valores para cada componente del índice de disturbio (extensión, duración e intensidad) considerando a cada ejido de manera individual (para explorar la variación a nivel inter-ejidal) y al conjunto de los tres ejidos (para obtener un promedio regional). Los valores de cada componente fueron estandarizados (0 a 1), dividiendo el valor de cada parcela entre el valor máximo observado entre todas las parcelas (por ejido y en todos los ejidos). Los valores estandarizados de duración (Dur), extensión (Ext) e

intensidad (IUAS) se sumaron para obtener el índice de disturbio ecológico (IDE) para los diferentes tipos de uso agrícola del suelo como sigue: .

$$\text{IDE} = \text{Dur} + \text{Ext} + \text{IUAS}$$

### 3.4 Análisis de datos

La significancia estadística del muestreo para la región y para cada ejido fue evaluada realizando un análisis de acumulación del número de los TUAS vs. el número acumulado de entrevistas realizadas empleando el paquete estadístico Estimates v 8 (Colwell 1997), considerando 50 reiteraciones aleatorias de los datos. Se asumió que las entrevistas lograron cubrir el total de TUAS practicados en un ejido o en la región cuando la curva alcanzó una asíntota. Además se graficó la media acumulada de cultivos como función del número de entrevistas realizadas para confirmar la representatividad de la muestra obtenida (3a y b).

Para evaluar diferencias en los componentes de extensión, duración e intensidad y en el índice de disturbio ambiental entre los TUAS a nivel de la región, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía usando el paquete estadístico Data Desk v 6.1. Sólo se incluyeron en el análisis los cultivos que estuvieron representados al menos en dos de los tres ejidos ya que cada ejido fue considerado como una réplica. Cuando existieron diferencias significativas entre TUAS, se aplicó una prueba *a posteriori* de Scheffé para identificar a los tipos estadísticamente diferentes.

Se realizaron análisis de componentes principales (PCA) para identificar a los TUAS con valores semejantes de extensión, duración e intensidad de disturbio. Para ello, se construyó una matriz con los componentes del índice de disturbio ambiental como columnas, los TUAS como filas y el valor relativo (de 0 a 1) de cada componente

en cada TUAS en las celdas. El PCA se aplicó usando el paquete estadístico MVSP v.

3.1. Se extrajeron los dos componentes principales que explicaron la mayor cantidad de varianza y se integraron en una gráfica euclidiana de dos dimensiones. Se obtuvo el grado de asociación de cada eje con los componentes del índice de disturbio ecológico los cuales se presentaron como vectores en la gráfica. La longitud del vector indica el grado de asociación de la variable con los ejes, mientras que la dirección del vector indica el sentido en que se relacionan los componentes del índice con los ejes.

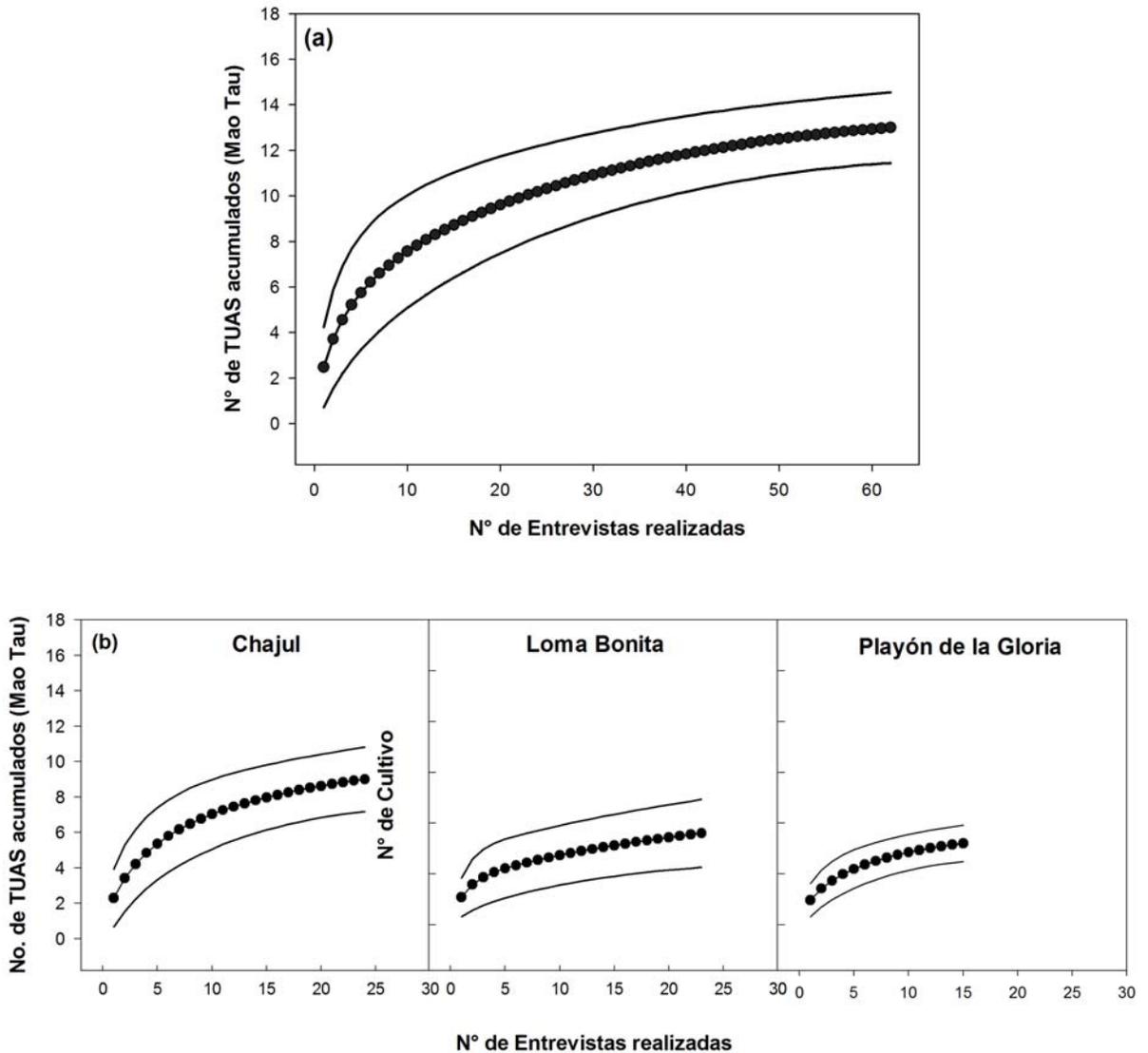
Finalmente, los TUAS fueron clasificados en función de su similitud en los valores relativos de los componentes del índice de disturbio ambiental. Con este propósito, se realizó un análisis de clasificación multivariado aglomerativo, empleando la matriz de datos arriba descrita, el método de Ward y considerando las distancias euclidianas como medidas de similitud. Este análisis se llevó a cabo usando el programa Statistica v. 6 (Statsoft-Inc 2001).

## **4. Resultados**

### *4.1 Caracterización de los TUAS en la región Marqués de Comillas*

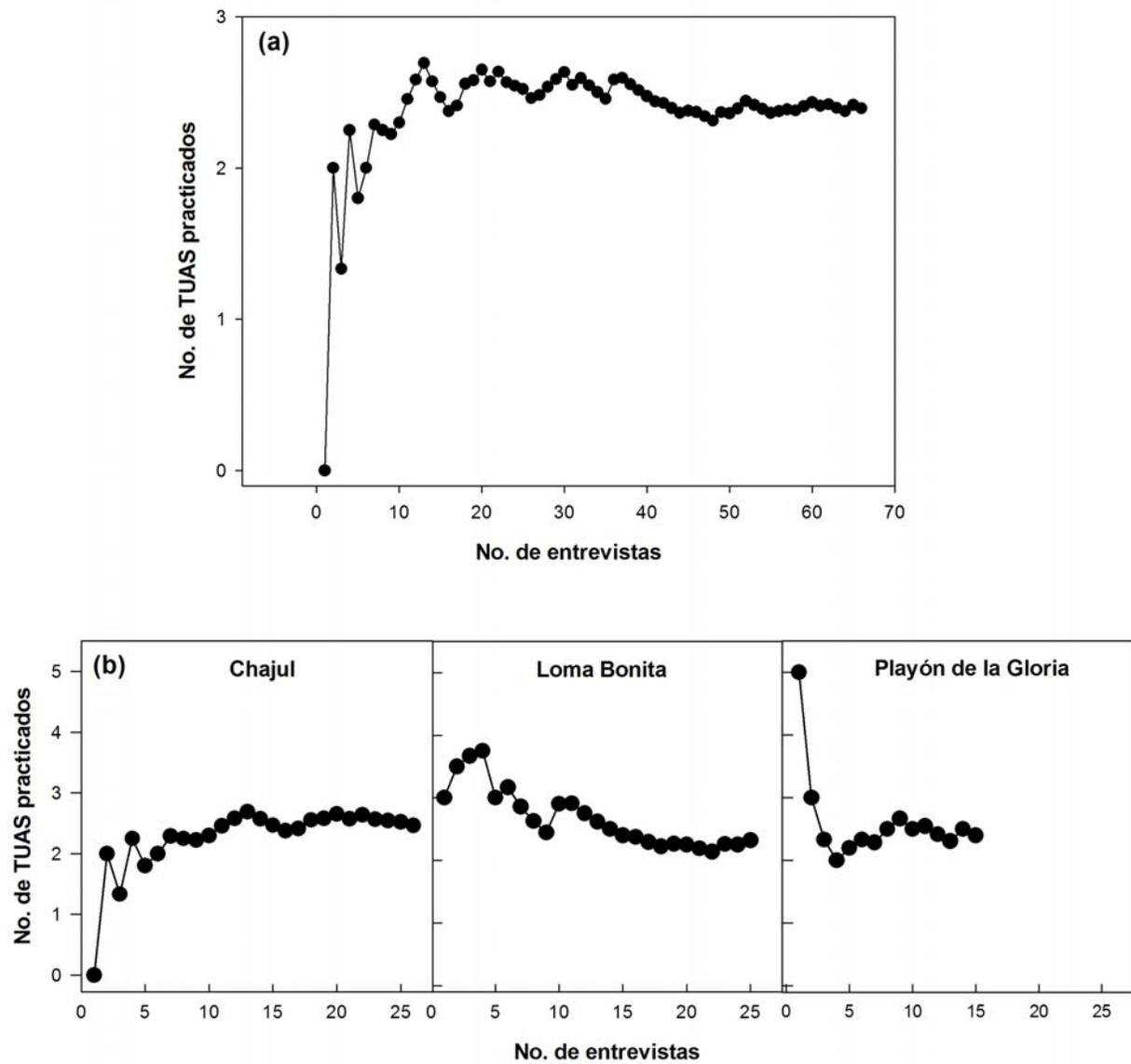
Se realizaron un total de 66 entrevistas en la Región Marqués de Comillas: 23 en el ejido de Chajul (Ch), 24 en Loma Bonita (LB) y 15 en Playón de la Gloria (PG). Estas entrevistas fueron suficientes para cubrir estadísticamente la representación de los TUAS a nivel de ejido y a nivel de la región de estudio (Figura 3).

De los 66 ejidatarios entrevistados solamente cuatro de ellos (tres en Ch y uno en LB) no realizan ninguna actividad agrícola en su territorio parcelario, manteniendo su superficie total de tierra como área de conservación de selva y/o con pequeñas áreas



**Figura 3.** Curvas de acumulación del número de usos agrícolas del suelo (TUAS) practicados en (a) la región de Marqués de Comillas y (b) tres ejidos (Chajul, Loma Bonita y Playón de La Gloria), Chiapas

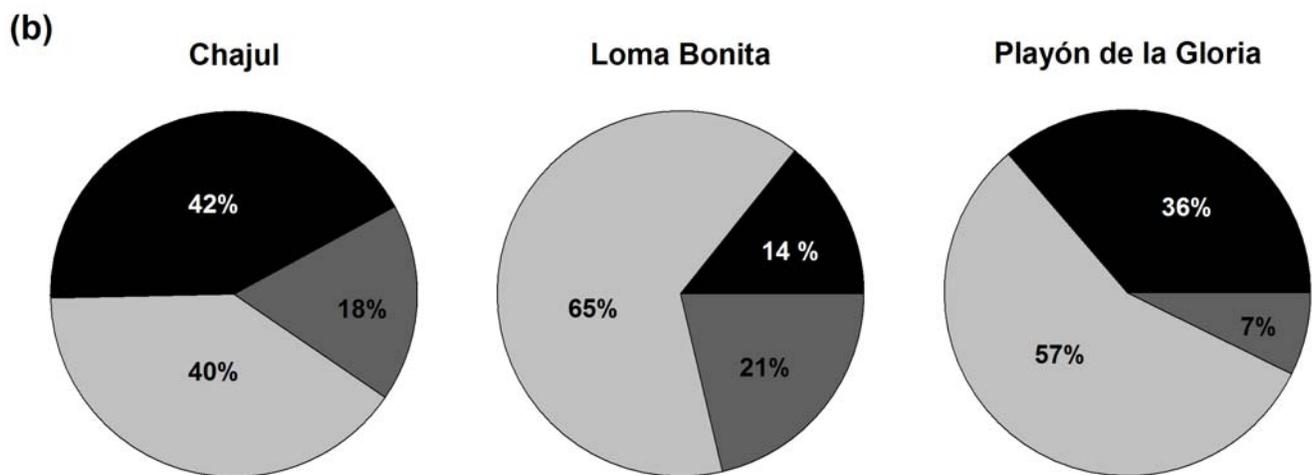
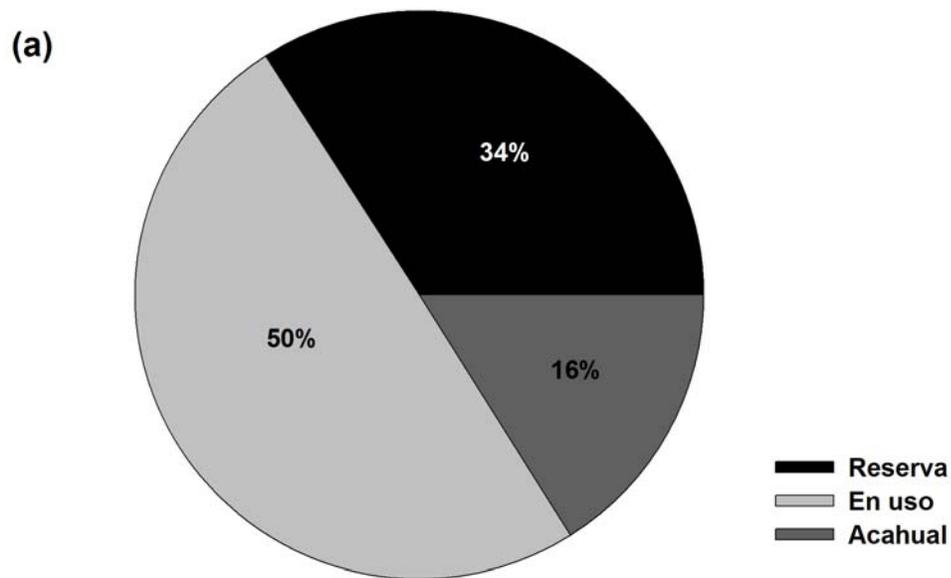
de vegetación secundaria en diferentes edades de sucesión. En cuanto a la diversificación de actividades agrícolas practicadas en la región se encontró que en promedio se manejan entre dos y tres cultivos distintos tanto a nivel ejidal como a nivel regional (Figura 4a,b) y solamente un ejidatario en todo el muestreo realiza siete actividades agrícolas distintas simultáneamente en sus terrenos.



**Figura 4.** Promedios acumulados del número de diferentes tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) practicados en (a) la región Marqués de Comillas y, (b) tres ejidos (Chajul, Loma Bonita y Playón de la Gloria) en el sureste de Chiapas.

Para la muestra obtenida en toda la región Marqués de Comillas, un 34% (691 ha) del terreno ejidal está dedicado a la conservación de la vegetación de selva primaria, aproximadamente 50% (1,010 ha) de la tierra es destinada a diversas actividades agrícolas, mientras que un 16% (326 ha) del terreno se encuentra como vegetación secundaria en diferentes estados sucesionales (acahuales, Figura 5a). Estas proporciones de uso del suelo variaron entre los ejidos. En Ch una superficie similar de suelo fue destinada a reserva forestal (42%) y actividades agrícolas (40%), mientras que en LB y PG la mayor proporción del suelo está dedicada a actividades agropecuarias, 65% y 57% respectivamente (Figura 5b). Sólo un 7% de la tierra se encuentra en estado de acahual en PG a diferencia de LB donde la proporción de tierras abandonadas alcanzó un 21%, más de lo que esta dedicado a reserva forestal (14%; Figura 5b).

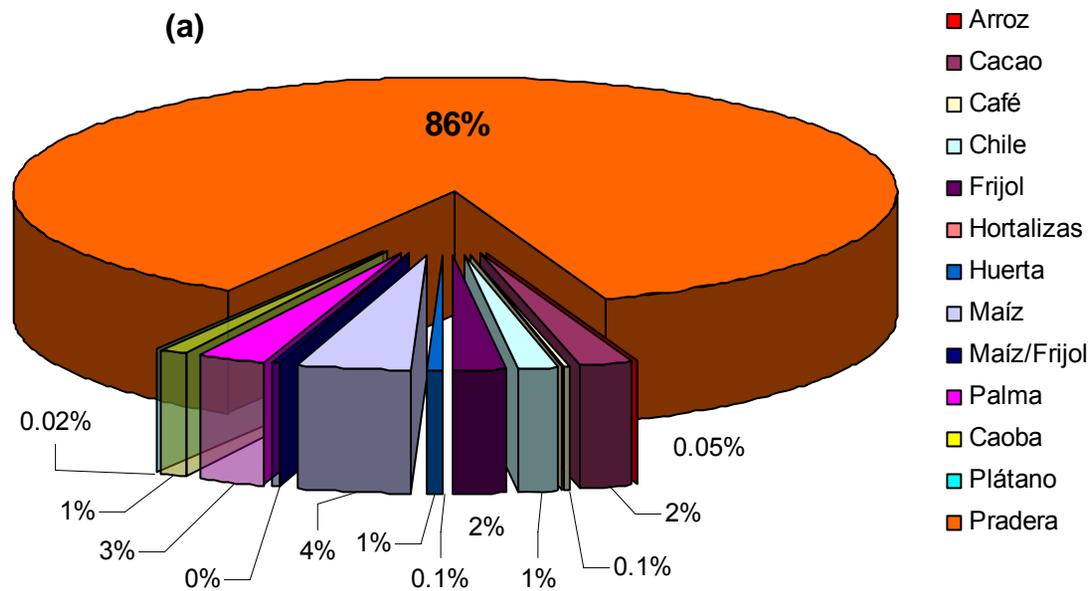
De la superficie ejidal que se encuentra actualmente en uso agrícola, la pradera es la actividad que demanda la mayor extensión, ocupando un 86% del terreno cultivado que equivale a 866 ha en la región (Cuadro 1, Figura 6a), y este patrón se mantiene para los tres ejidos, oscilando entre 81 y 90% (Cuadro 1, Figura 6b). Así mismo, la pradera es la actividad con mayor frecuencia de uso tanto a nivel de región como a nivel de ejidos (Cuadro 1) ya que de las 66 entrevistas realizadas aproximadamente el 85% de los ejidatarios tienen en uso este tipo de TUAS, y esta proporción es aún mayor que la frecuencia de uso de cultivos de subsistencia como el maíz (47%), frijol (32%) y las hortalizas (2%). En el resto del terreno bajo uso agrícola se distribuyeron otros 12 TUAS diferentes que ocuparon apenas un 14% (Cuadro 1, Figura 6).



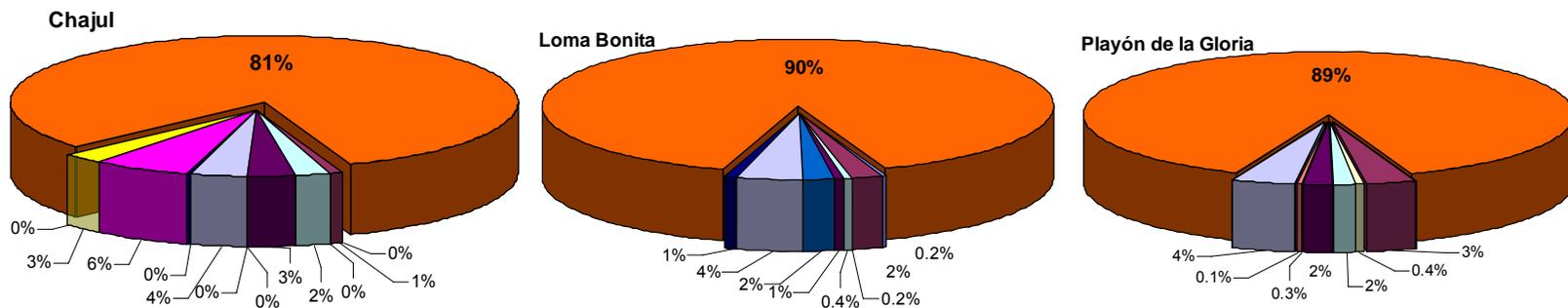
**Figura 5.** Proporción de cobertura vegetal para (a) la región Marqués de Comillas y (b) tres comunidades ejidales (Chajul, Loma Bonita y Playón de la Gloria) en el sureste de Chiapas.

**Cuadro 1.** Principales tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en tres ejidos de la región Marqués de Comillas, Chiapas. Se muestra la superficie total ocupada en hectáreas por cada TUAS y la frecuencia de actividad entre paréntesis, medida como el número de ejidatarios que actualmente mantienen cada práctica agrícola.

<b>TUAS</b>	<b>Chajul</b>	<b>Loma Bonita</b>	<b>Playón de la Gloria</b>	<b>Región</b>
Pradera	345 (19)	287.8 (23)	233.5 (14)	866.8 (56)
Maíz	15 (13)	14 (11)	10.8 (7)	39.8 (31)
Palma aceite	26 (3)	0 (0)	0 (0)	26 (3)
Fríjol	13.3 (11)	1.8 (4)	4.8 (6)	19.8 (21)
Cacao	4 (1)	6.5 (5)	9 (2)	19.5 (8)
Chile	9.3 (11)	1.3 (2)	4.3 (3)	14.8 (16)
Caobas	12 (2)	0 (0)	0 (0)	12 (2)
Huerta	0 (0)	6 (7)	0.3 (1)	6.3 (8)
Maíz/Frijol	0.8 (1)	2 (2)	0 (0)	2.8 (3)
Café	0 (0)	0.5 (1)	1 (1)	1.5 (2)
Hortalizas	0 (0)	0 (0)	0.8 (2)	0.8 (2)
Arroz	0 (0)	0.5 (1)	0 (0)	0.5 (1)
Plátano	0.3 (1)	0 (0)	0 (0)	0.25 (1)



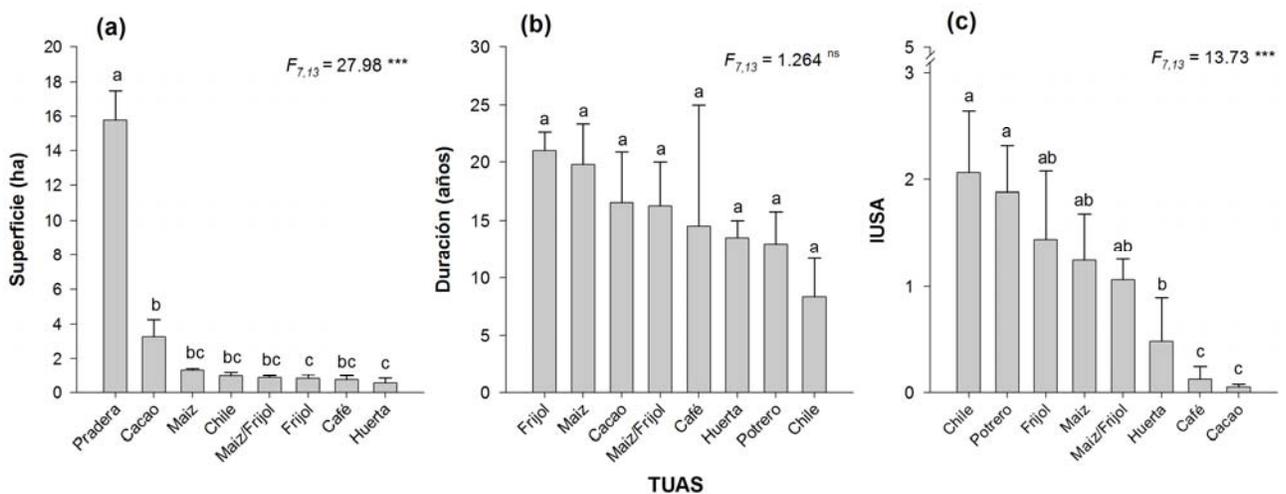
(b)



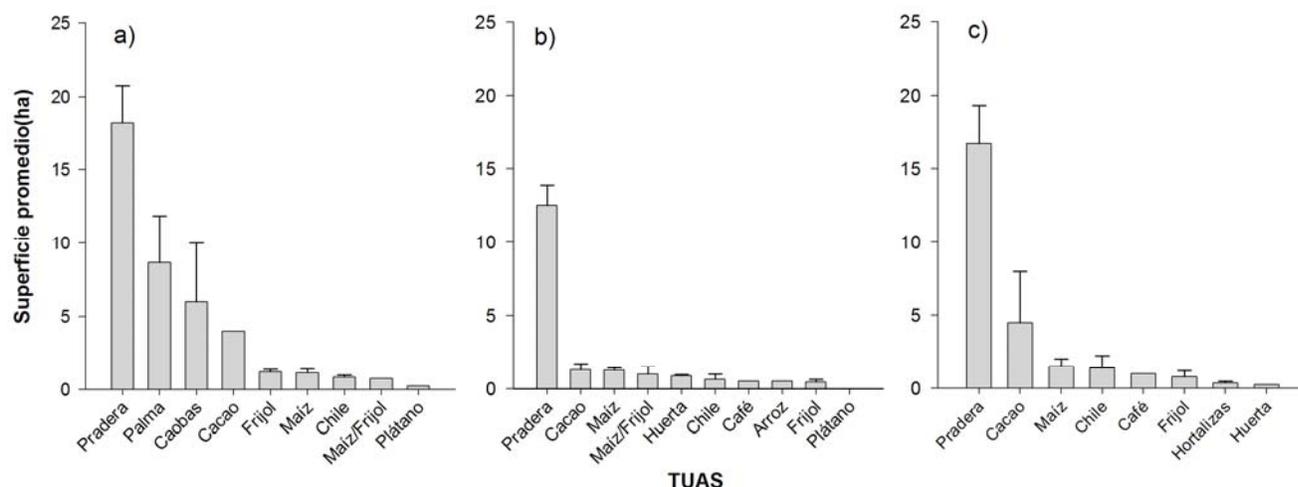
**Figura 6.** Porcentaje de área dedicada a diferentes tipos de uso agrícola del suelo en (a) la región Marqués de Comillas y (b) los ejidos de Chajul, Loma Bonita y Playón de La Gloria, en Chiapas.

#### 4.2 Evaluación del disturbio provocado por diferentes TUAS

La pradera es el TUAS con la mayor extensión en la región de Marqués de Comillas con una superficie promedio ( $\pm$  error estándar) de  $15.5 \pm 2.4$  ha, seguido de las plantaciones de cacao ( $2.43 \pm 1.16$  ha) y el resto de los cultivos que no exceden 2 ha de superficie cultivada (Figura 7a). A nivel de la región, existieron diferencias significativas en el componente de extensión entre los diferentes TUAS ( $F_{7, 13} = 27.975$ ,  $P \leq 0.001$ ; Figura 7a). La tendencia es similar en cada ejido (8a, b, c). En Ch y PG se encontraron a las praderas más extensas ( $18 \pm 2.58$  ha y  $16.7 \pm 2.64$  ha, respectivamente) y en LB a las más pequeñas ( $12.5 \pm 1.38$  ha; Figura 8 a, b, c). Es importante resaltar que el cultivo de palma de aceite estuvo presente sólo en el ejido de Ch donde tuvo una extensión un poco menor al de las praderas, alcanzando una superficie de 8.7 ha.



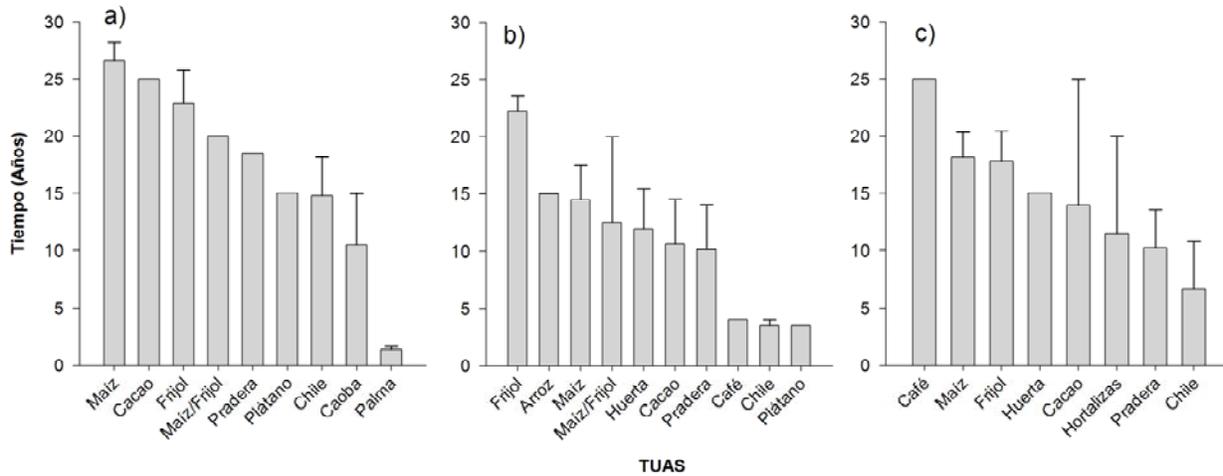
**Figura 7.** Principales tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en la región Marques de Comillas Chiapas donde (a) superficie promedio de cada TUAS, (b) duración promedio del TUAS y (c) índice de intensidad del uso agrícola del suelo (IUSA). Las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un  $\alpha < 0.05$ . \*\*\* $p < 0.001$ , ns  $p > 0.05$ .



**Figura 8.** Superficie promedio en hectáreas de los tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) más importantes en (a) Chajul, (b) Loma Bonita y (c) Playón de la Gloria. Las barras indican el error estándar.

No existieron diferencias significativas entre la duración (años en uso) de los diferentes TUAS a nivel de la región ( $F_{7, 13} = 1.264$ ,  $P \geq 0.05$ ; Figura 7b). Cabe hacer notar que en este análisis no se consideraron a los cultivos que se han incorporado más recientemente en la región (palma de aceite, hortalizas y plantaciones de caoba) por presentarse sólo en uno de los tres ejidos (Figura 9). El TUAS más reciente en la región es la plantación de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) que, en promedio, tiene  $1.3 (\pm 0.33)$  años y sólo se ha establecido en el ejido de Ch.

Tanto en Ch como en LB los cultivos de maíz y de frijol fueron los TUAS con mayor duración (Figura 9b). Por otro lado, los cultivos de chile son prácticamente recientes en LB al igual que las plantaciones de café y plátano (Figura 9). En contraste, en PG el cultivo de café se inició hace aproximadamente 25 años, incluso antes que los cultivos de maíz y frijol. En este ejido, no se han incorporado TUAS nuevos en los últimos 10 años (Figura 9c).



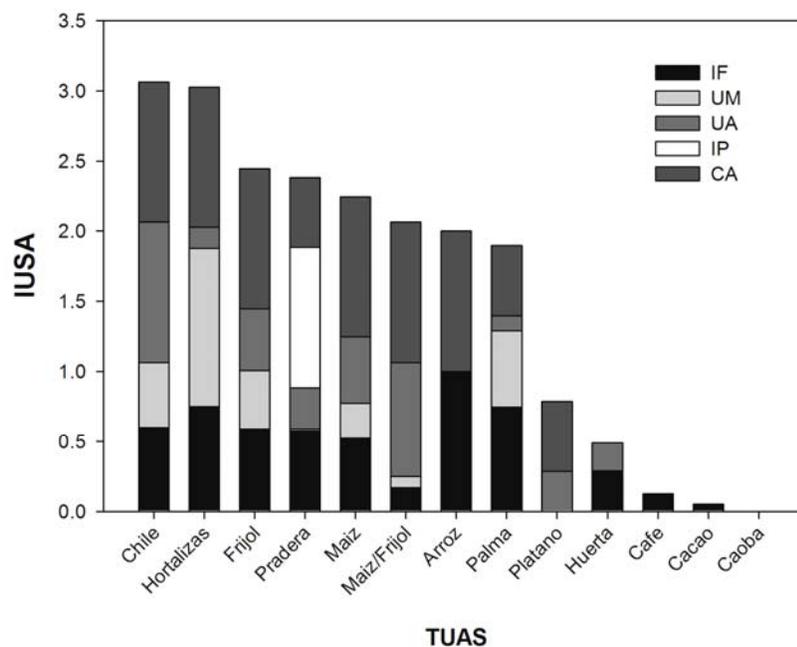
**Figura 9.** Duración promedio de los principales tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en (a) Chajul, (b) Loma Bonita y (c) Playón de la Gloria. Las barras indican el error estándar.

La intensidad de uso del suelo fue significativamente diferente entre los TUAS ( $F_{7, 13} = 4.39, P \leq 0.01$ ; Figura 7c) siendo mayor en los monocultivos (maíz, chile, frijol) y la pradera ganadera que en las plantaciones (cacao, café, huertas). La intensidad de uso del suelo fue ligeramente mayor para los cultivos de chile y hortalizas que para el resto de los TUAS (Figura 10). Siguen en orden de intensidad las praderas, los monocultivos y las plantaciones de palma. Los niveles de intensidad más bajos registrados fueron para las plantaciones de caoba, cacao y café (Figura 10).

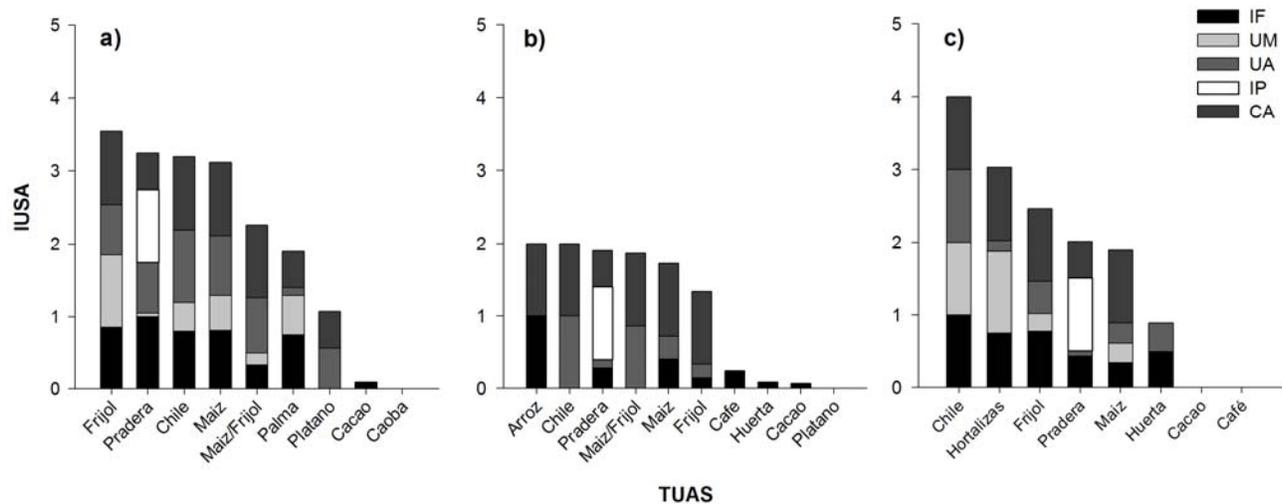
Los cultivos de chile y hortalizas son muy intensivos principalmente por el alto uso de agroquímicos para su mantenimiento (en el caso del chile), el uso recurrente de maquinaria pesada (para las hortalizas) y la escasa cobertura arbórea que caracteriza los monocultivos de la región, así como el uso recurrente de quemas, aunque éste último en menor grado (Figura 10 y 11). Las praderas, en cambio, es un TUAS con una alta intensidad de uso agrícola debido al pisoteo de las vacas, el uso recurrente de fuego para promover el crecimiento de pastos y el uso frecuente de agroquímicos. Sin

embargo, las praderas pueden presentar una mayor cobertura arbórea que los monocultivos (Figura 10 y 11). Las plantaciones de caoba, cacao y café fueron los TUAS que tuvieron la menor intensidad de uso agrícola ya que el uso de fuego es bajo en frecuencia y, en general, el barbecho se efectúa por deshierbe manual o con machete (Figura 10 y 11c).

En general, los TUAS en Ch y PG mostraron un nivel de intensidad de uso del suelo que aquellos encontrados en LB ya que en este último ejido no se usa maquinaria pesada (por ejemplo, tractores) en las prácticas de preparación del suelo (Figura 11).



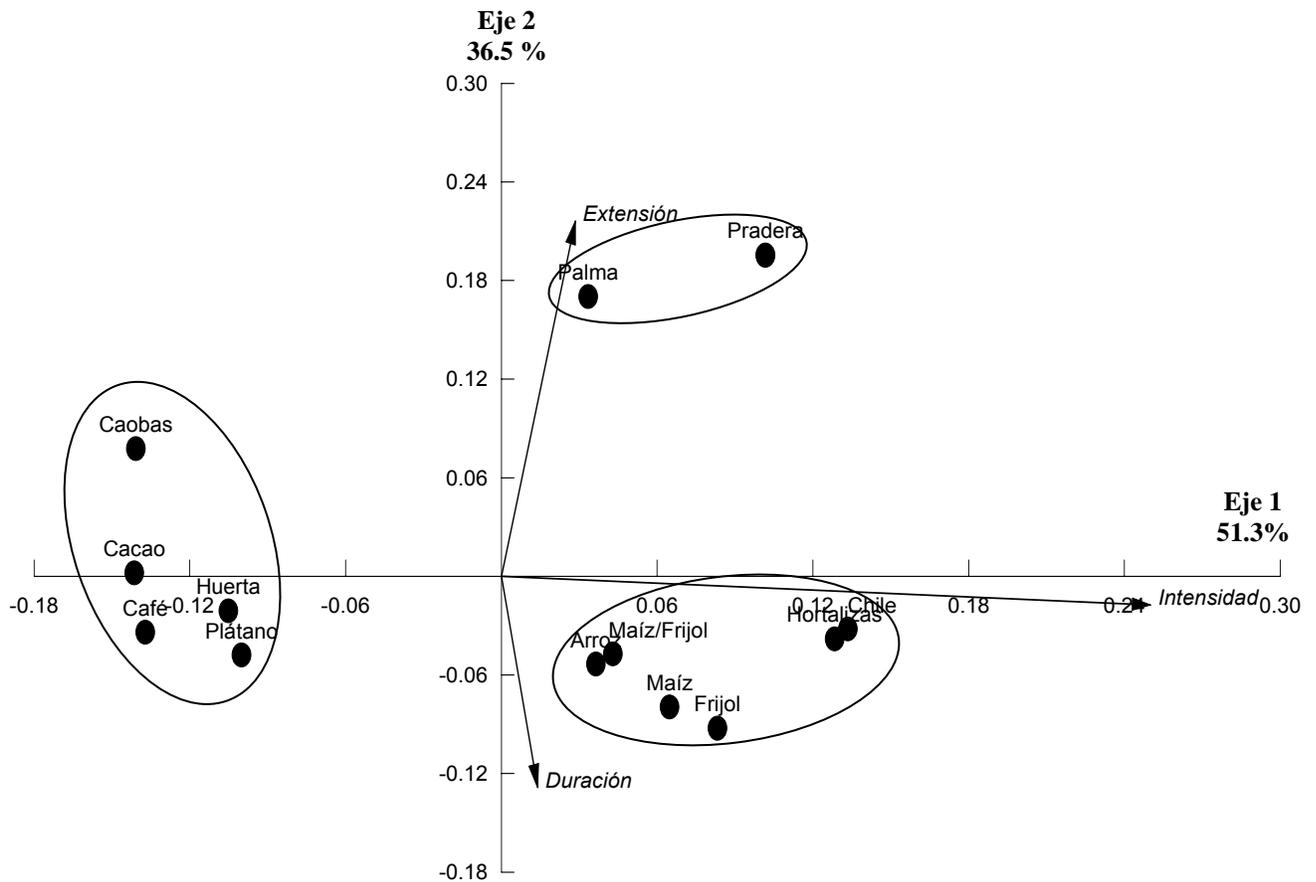
**Figura 10.** Índice de intensidad de uso agrícola del suelo (IUSA) de diversos tipos de uso agrícola (TUAS) en la Región Marqués de Comillas, Chiapas. IF = Incidencia de fuegos, UM = Uso de maquinaria, UA = Uso de agroquímicos, IP = Intensidad de pastoreo e CA = Cobertura arbórea.



**Figura 11.** Índice de intensidad de uso agrícola del suelo (IUSA) para diferentes tipos de uso agrícola (TUAS) en (a) Chajul, (b) Loma Bonita y (c) Playón de La Gloria, Chiapas. IF = Incidencia de fuegos, UM = Uso de maquinaria, UA = Uso de agroquímicos, IP = Intensidad de pastoreo e CA = Cobertura arbórea.

#### 4.3 Integración del índice de disturbio ecológico

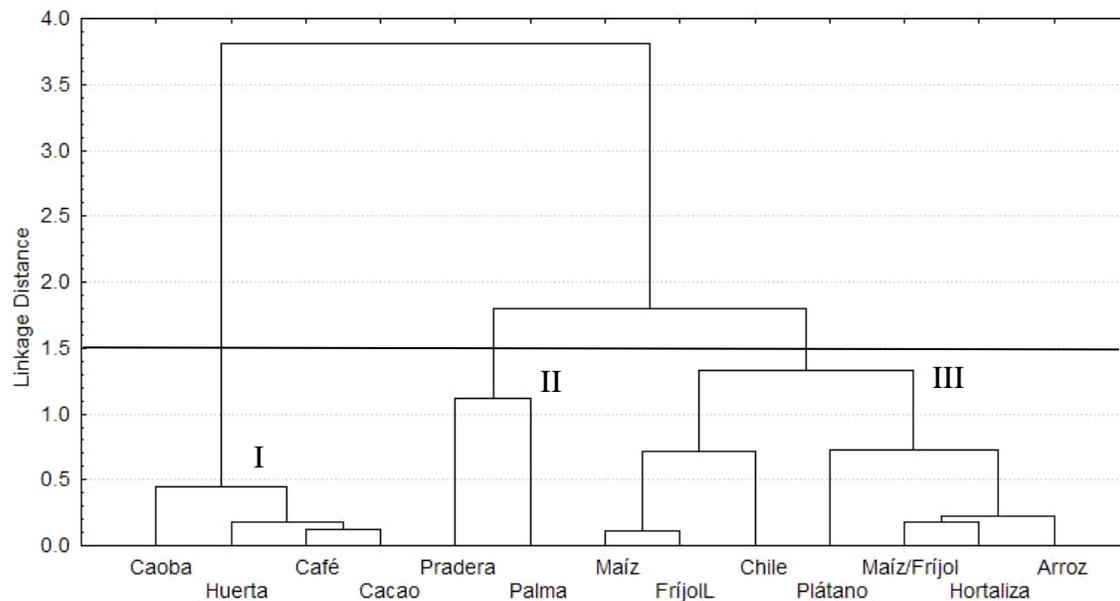
El ACP muestra que en conjunto los dos ejes extraídos explican el 87.8% de la variación en los datos. El componente de intensidad se relacionó positivamente en un 99.2% con el eje 1, mientras que la extensión y la duración se relacionaron de manera positiva (85.7%) y negativa (52.1%), respectivamente, con el eje 2. De acuerdo con éste análisis se detectaron diferentes grupos de TUAS que contrastan en sus características de extensión, duración e intensidad de disturbio. Las praderas ganaderas y los cultivos de palma de aceite constituyeron un grupo caracterizado por una gran extensión, una elevada intensidad de uso del suelo y una duración intermedia a baja (Figura 12). En un segundo grupo se incluyen las plantaciones de café, cacao, caoba y huertos frutales que son TUAS con una duración media, extensión baja y un nivel de intensidad de uso bajo (Figura 12). Finalmente los monocultivos forman un grupo caracterizado por presentar una gran duración, una intensidad media a alta y una extensión reducida.



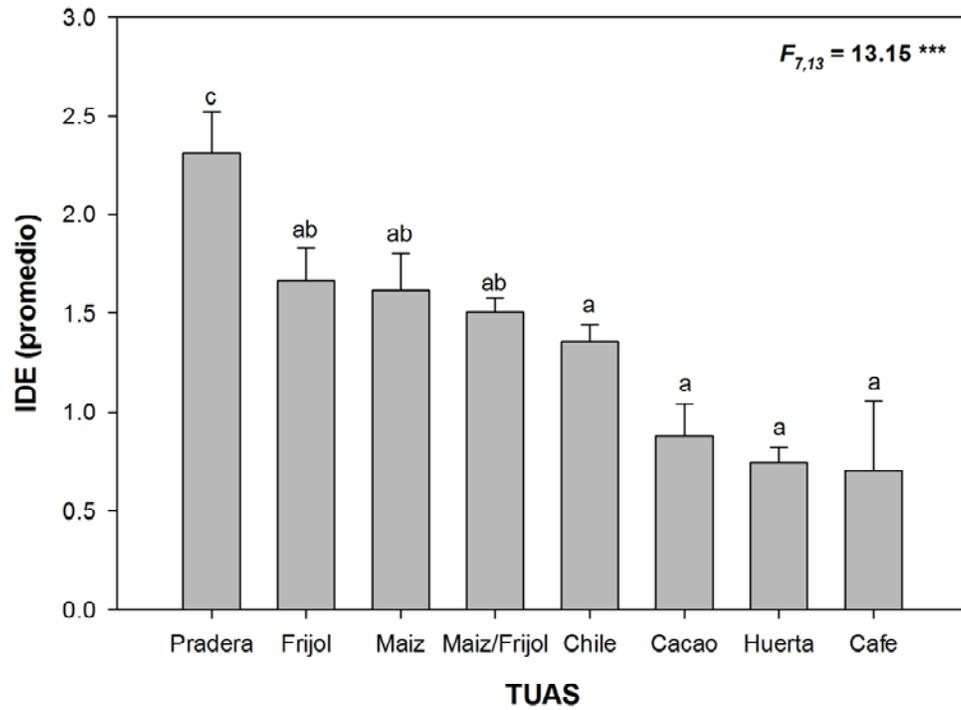
**Figura 12.** Análisis de ordenación para caracterizar el grado de disturbio ambiental provocado por diferentes tipos de uso agrícola del suelo practicados en la región Marqués de Comillas. Los valores en los ejes corresponden al porcentaje de varianza explicado por cada eje. La longitud de los vectores indica el porcentaje de varianza explicado por cada variable y la dirección de la flecha muestran el sentido en que se relaciona con los ejes.

El análisis de clasificación basado en los componentes del índice de disturbio ecológico identificó a una distancia de corte de 1.5 a tres grandes grupos de TUAS que coinciden con los observados en el ACP. Estos grupos fueron: I) el grupo de menor intensidad de disturbio, conformado por las plantaciones de cacao, café, caobas y huertas frutales; II) el grupo de intensidad de disturbio intermedio conformado por los monocultivos de temporal y III) un grupo de alta intensidad de disturbio conformado por los TUAS con mayores extensión (praderas y palmas de aceite; Figura 13). A su vez, este arreglo coincide con el análisis de ANOVA aplicado para evaluar diferencias en el

promedio del índice de disturbio ecológico (IDE) entre los TUAS para la región. La Figura 14 muestra que existe un gradiente que va desde el TUAS con mayor IDE, correspondiente a la pradera ganadera, hasta aquellos TUAS de menor IDE, correspondiente a las plantaciones (café, cacao, huerta).



**Figura 13.** Dendrograma obtenido por el análisis de clasificación para distinguir la similitud/disimilitud de los principales tipos de uso agrícola del suelo en la región Marqués de Comillas en función de los valores de tres subíndices de disturbio (extensión, duración e intensidad).



**Figura 14.** Integración del Índice de disturbio ecológico (IDE) para diferentes tipos de uso agrícola del suelo (TUAS) en la región Marqués de Comillas, Chiapas. Las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un  $\alpha < 0.05$ . \*\*\*  $p < 0.001$ .

## 5. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la región Marqués de Comillas (RMC) ha sufrido un proceso acelerado de cambio de uso de suelo que ha reducido ampliamente la cobertura vegetal original. Como producto de este proceso, la cobertura de selva primaria se ha reducido sensiblemente. La mayor parte del territorio ejidal está dedicado a la práctica de actividades agropecuarias. El uso del suelo para la agricultura de temporal y cultivos de subsistencia abarca una proporción minoritaria (poco más del 10% del territorio cultivado) mientras que las praderas ganaderas son la actividad más común (cubren alrededor del 90% de la tierra cultivada) en la región.

Por otro lado, el índice de disturbio ambiental mostró que de los 14 diferentes TUAS practicados en la región, la producción de praderas para ganado es la actividad que presentó un mayor impacto potencial sobre la capacidad de regeneración de la vegetación de selva una vez que los sitios se abandonan, en contraste con las plantaciones de sombra que mostraron un impacto más bajo.

### *5.1 Factores que influyen en los tipos de uso agrícola de suelo.*

Marqués de Comillas, al igual que otras regiones tropicales, ha sufrido un extenso proceso de cambio en el uso del suelo y pérdida de la cobertura forestal (De Jong et al. 2000). La información obtenida mediante las entrevistas refleja que en la actualidad más del 60 % de la superficie de la región ha sido modificada y

transformada, de modo que actualmente, se conserva sólo un 34% del territorio con vegetación de selva primaria.

A principios de los años '70s la RMC se encontraba prácticamente cubierta en su totalidad por vegetación de selva alta y mediana perennifolia (Mariaca-Méndez 2005). Sin embargo, a partir de esa época comenzó un programa de repartición y colonización de tierras que buscaba desahogar la presión por la posesión de tierras en otros lugares del país. Este programa condujo a la deforestación de selvas para el desarrollo de proyectos productivos (Masera *et al.* 1997). En este estudio se encontró que alrededor del 50% de la vegetación original de la RMC ha sido modificada y se encuentra bajo algún sistema de manejo agrícola, experimentando durante las últimas tres décadas la mayor pérdida de sus bosques (Mariaca-Méndez 2005).

Este periodo de tiempo corresponde a la última etapa de colonización de la RMC, que fue espontánea y desorganizada. Inicialmente, el presidente Echeverría decreta la entrega del 40% de la selva Lacandona (614 321 ha) en calidad de Bienes Comunales a 66 ejidatarios Lacandones en lo que hoy se conoce como Frontera Corozal. La población aumentó de 66 a 23 274 pobladores en menos de 30 años (Mariaca-Méndez 2005), debido principalmente a las altas tasas de inmigración. Esto, sumado a los incentivos gubernamentales promovidos en la zona para la ganaderización (Casco-Montoya 1990; Moran *et al.* 1994) y la intensificación agrícola, llevó a una creciente y sostenida expansión de la frontera agrícola, y una disminución de las prácticas agrícolas tradicionales (Ortiz-Espejel y Toledo 1998).

El cambio en la cobertura vegetal encontrado en este estudio (proporción de bosque primario, bosques secundarios y tierras cultivadas) fue variable entre las comunidades ejidales estudiadas, dependiendo de la historia de colonización local, de factores culturales (relacionados con el origen de los pobladores de cada ejido) e incentivos gubernamentales (relacionados con la entidad política a la que pertenecen los ejidos).

Los ejidos estudiados (Chajul, Loma Bonita y Playón de la Gloria) son centros poblacionales que se establecieron con inmigrantes provenientes principalmente de los Altos de Chiapas, Michoacán, Guerrero, Veracruz y Oaxaca. Esta diversidad de grupos (generalmente mestizos) se traduce en una diversidad de visiones sobre el manejo de la tierra. Los planes de colonización no previeron que la mayoría de los nuevos pobladores carecían de un conocimiento ancestral sobre las selvas húmedas ya que, por lo general, provenían de lugares con ecosistemas diferentes. Por tanto, el manejo no fue planeado y se deforestaron enormes (y muchas veces innecesarias) extensiones de selva primaria para establecer actividades agrícolas (Casco-Montoya 1990; Landa *et al.* 1997).

En contraste, dentro de la misma RMC existen ejidos (como Frontera Corozal) que fueron colonizados por indígenas chiapanecos tseltales y choles (Ochoa-Gaona *et al.* 2005) que han realizado un mejor manejo de los recursos naturales. Por ejemplo, Tejeda-Cruz reportó que, hasta el 2002, en Frontera Corozal había un 53% de tierra cubierta por selva madura (Tejeda Cruz 2002). Para el año de 2007 se encontró que en los ejidos de Chajul y Playón la superficie de selva era de 42% y 36%, respectivamente y que en Loma Bonita apenas alcanza un 14%. Estas cifras reflejan que el factor cultural, sin duda, ha jugado un

papel importante en el manejo de los recursos naturales y el avance de la frontera agrícola en la región.

Por otro lado, el contacto que los pobladores de algunos ejidos han tenido con la Estación Chajul (encontrada en la Reserva de la Biosfera Montes Azules, RBIMA), así como con ciertas ONG's, es otro factor que ha incentivado directa e indirectamente la conservación de la selva primaria. Por ejemplo, encontramos que en el ejido de Chajul mantienen alrededor del 42% de tierra como selva primaria, siendo el ejido con mayor superficie de selva madura de los tres estudiados. Esto podría relacionarse, en parte, con el contacto que tuvo este ejido con la organización "Conservación Internacional" la cual promovió durante un periodo de tiempo la recolección de mariposas para su venta al extranjero. Las amas de casa y niños participaron activamente en esta actividad recibiendo diferentes ingresos monetarios dependiendo de la especie de mariposa recolectada.

Este tipo de actividades han resultado en importantes incentivos económicos que de alguna forma promueven la conservación y el mantenimiento de la selva madura dentro de las tierras ejidales. Los pobladores encontraron que existen beneficios directos que se pueden obtener de los recursos que la selva sostiene intrínsecamente. En la actualidad Chajul mantiene una zona de selva como reserva ejidal conocida como "La reserva de las mariposas". Esta reserva abarca una superficie de aproximadamente 2,000 ha que equivale a casi tres veces la superficie de la reserva protegida por la Estación de Biología Tropical Los Tuxtles de la Universidad Nacional Autónoma de México en Veracruz (Estrada *et al.* 1985). La reserva ejidal en Chajul se ha mantenido sin importantes incentivos

gubernamentales, sólo por la convicción propia de los ejidatarios de mantener reservas para su propio “bienestar”.

La Estación Chajul promovió durante algún tiempo la investigación sobre diversos tópicos dentro de la reserva y ha tenido una influencia tanto directa como indirecta sobre las visiones locales de conservación. Por un lado, esta Estación ha capacitado y empleado pobladores de varios ejidos para realizar diversas actividades relacionadas tanto con el mantenimiento de la estación como con el turismo. Esto ha permitido que la población conozca el trabajo que realiza la Estación y se involucre con las actividades de conservación que ésta promueve. Por otro lado, el arribo de un grupo amplio de estudiantes e investigadores a la Estación y su contacto directo e intercambio de conocimientos con los pobladores sin duda enriqueció la visión de la gente de las comunidades sobre la importancia de la conservación de recursos naturales. Playón de la Gloria, a su vez, también mantiene una superficie considerable de selva madura (36%). Su cercanía con el ejido de Chajul sugiere que ha estado sujeto a los mismos factores que en cierto grado favorecieron la conservación de remanentes importantes de selva madura.

A diferencia de Chajul y Playón de la Gloria, el ejido de Loma Bonita conserva solo un 14% de la superficie original de selva. El grado de deforestación observado en este ejido se relaciona directamente con factores históricos del proceso de colonización local. Hacia 1982 hubo una llegada masiva de refugiados guatemaltecos en la zona (Ochoa-Gaona *et al.* 2005). Una cantidad importante de esta comunidad migrante se estableció en el ejido y fueron empleados por la gente local como mano de obra barata para labores de campo. Los ejidatarios aprovecharon la demanda de trabajo y los bajos salarios y comenzaron un

acelerado proceso de desmonte que generó altas tasas de deforestación y una consecuente reducción de la selva madura original (información obtenida durante las entrevistas). Tras un periodo de estancia en Chiapas, la mayoría de los refugiados fueron deportados a Guatemala y los núcleos familiares no lograron mantener las grandes extensiones de tierras que se prepararon para la producción. Como resultado, gran parte de las tierras trabajadas fueron abandonadas dando origen a la vegetación secundaria, o acahuales (con edades máxima de 20 años de abandono), que cubren actualmente una superficie (21%) que es casi el doble que la de los remanentes de selva madura (14%).

La proporción de uso de tierra dedicada a diferentes prácticas agrícolas fue muy similar entre los ejidos, observando una tendencia clara hacia la reducción en frecuencia y extensión de la producción de cultivos agrícolas de subsistencia con respecto a la producción agropecuaria. Estos resultados reflejan que los patrones de uso del suelo agrícola encontrados están favorecidos e influenciados por políticas de gobierno federales más que por factores locales, que influyen directamente en la toma de decisiones a niveles más regionales e incluso podrían estar dictando una tendencia a escala nacional (Warman 2001; Romero-Polanco 2002).

Los primeros procesos de deforestación y transformación de la selva ocurrieron para el establecimiento de los centros de población y para la siembra de cultivos de subsistencia hacia finales de la década de los '70s. En este estudio se encontró que actualmente los cultivos de subsistencia no suman más del 14% de la superficie total cultivada. De este modo, el cultivo de maíz, que es el cultivo de subsistencia más importante por ser la base de la dieta de la población, cubre

apenas 40 ha, que equivalen a un 4% de la superficie cultivada. A este le siguen la palma de aceite (2.6%), el frijol (2%), el cacao (2%), el chile (1.5%), plantaciones de caobas (1.2%), huertas frutales (0.6%), cultivos intercalados de maíz/frijol (0.3%), café (0.15%), hortalizas (0.07%), arroz (0.05%) y plátano (0.02%).

El poco o nulo interés sobre algunas actividades agrícolas responde, en parte, a procesos de mercado (Romero-Polanco 2002). Por ejemplo, el cultivo de cacao y café fue ampliamente promovido en la región para mediados de los '80s. La producción de estos granos para su exportación tuvo un importante auge en la región, sin embargo, tras algunos años de producción los compradores dejaron de acudir a los ejidos para obtener el producto. Así, la cantidad de plantaciones se redujo hasta cubrir no más del 1.5 % de la superficie agrícola, con una representatividad de apenas un 20% de ejidatarios manteniendo estos cultivos en la actualidad, principalmente para el autoconsumo al igual que se mantienen huertos frutales y plantaciones de plátano.

Del mismo modo que para el café y el cacao, el chile jalapeño ha tenido altibajos en su producción. En los 80's, la gente comenzó a producir chile jalapeño para su venta al mercado estatal, transportando el producto hacia Palenque, Comitán y otros centros de población. Sin embargo, el acceso a los ejidos era muy complicado debido a la deficiente infraestructura en carreteras que había en esta época, por lo que para transportar el producto era necesario movilizarlo mediante lanchas. La dificultad para transportar el chile jalapeño desanimó a los compradores pues las ganancias obtenidas resultaban muy bajas y se abandonó su producción.

Hace aproximadamente 8 años se retomó el cultivo de chile jalapeño, aunque sólo un 15% de los ejidatarios realizan esta práctica agrícola abarcando sólo un 1.5% del territorio cultivado. A pesar de que ahora existe la ventaja de una mayor facilidad de transporte para su venta externa por la formación de la carretera fronteriza que lleva hasta Comitán de Domínguez y la carretera que lleva a Palenque, el alto requerimiento de insumos químicos para lograr una buena producción implica elevados costos de producción, por lo que las ganancias son aún bajas y aún es de poca incidencia entre los ejidatarios.

Los resultados del presente estudio muestran que la actividad más ampliamente practicada en la RMC es la ganadería extensiva. Casi un 90% del territorio en uso de la región está dedicado al cultivo de praderas inducidas para la crianza de ganado bovino (Figura 6) donde el 56% de los ejidatarios entrevistados tienen actualmente al menos una pradera activa. Esta cifra refleja que en la RMC la actividad agrícola tiene 25% más recurrencia entre los ejidatarios que la producción de cultivos de subsistencia como el maíz.

Masera *et al.* (1997) reportaron que la ganadería extensiva fue una de las causas principales del cambio de uso del suelo durante la década de los '90 a nivel nacional, teniendo una mayor importancia para las selvas que para otros tipos de ecosistemas. Esta tendencia ha sido fuertemente favorecida por incentivos gubernamentales. Por ejemplo, en 1981 se otorgaron créditos refaccionarios en un 90% a la actividad ganadera y sólo un 10% fue destinado para la agricultura (Ochoa-Gaona *et al.* 2005) .

Finalmente, es evidente que existe una compleja red de factores y mecanismos, tanto internos como externos, que dictan los patrones de cambio en

el uso del suelo y que operan a múltiples escalas espaciales y temporales. De ahí la importancia de recopilar información social y económica tanto actual como histórica sobre los factores que determinan el uso actual de los recursos naturales. Esta información será de gran utilidad para influenciar de manera certera la toma de decisiones tanto en el ámbito político como socio-económico con respecto a la trayectoria futura de las selvas en nuestro país.

### *5.2 Predicción del potencial de regeneración natural de la vegetación de selva en campos agrícolas abandonados según el índice de disturbio ambiental*

A partir de los años '70s existió un gran auge en los estudios relacionados con disturbios naturales que producen claros en la selva, generándose teoría y estudios empíricos y experimentales que ayudaron a entender el fenómeno de sucesión secundaria como parte de la regeneración natural de estos bosques (Whitmore 1978; Hartshorn 1980; Brokaw 1982; Martínez-Ramos 1985; Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla 1986; Brokaw 1987; Martínez-Ramos *et al.* 1988). La regeneración de la selva en los claros (campos abandonados) formados por la actividad agrícola se empezaron a estudiar en México desde entonces (Gómez-Pompa *et al.* 1977, 1985). Sin embargo, el desarrollo teórico y la comprensión del fenómeno de la sucesión secundaria en los campos abandonados han sido más lentos que aquél alcanzado para el estudio de los claros naturales. La maduración de este campo de estudio es urgente ya que la formación de bosques secundarios, a partir de campos agrícolas abandonados, es un proceso cada vez más frecuente en los paisajes tropicales de México y del mundo. Actualmente, existe un creciente interés por entender cómo se modifican los procesos de

regeneración natural de la selva en función del manejo agrícola del suelo (Chazdon *et al.* 2007; Martínez-Ramos y García-Orth 2007; Vandermeer y Perfecto 2007; Chazdon 2008; Chazdon *et al.* *In press*).

En este estudio se pretendió predecir el potencial regenerativo de la selva mediante un índice de disturbio ecológico (IDE) formulado a partir de la integración de tres características indicadoras del manejo agrícola: duración, extensión e intensidad del manejo. El razonamiento tras el índice es que a medida que, aumenta su valor, existe menor disponibilidad de propágulos y/o calidad de sitio, disminuyendo con ello el potencial de regeneración natural de la vegetación de selva.

De acuerdo con el IDE encontramos que podemos diferenciar en la RMC tres tipos de agroecosistemas contrastantes en sus niveles de disturbio.

**1. Plantaciones (café, cacao, huertas frutales y caobas):** estos TUAS se caracterizaron por tener baja a media extensión, que osciló entre dos y 10 hectáreas, y presentaron un amplio rango en cuanto a la duración o tiempo en uso (desde 1 hasta 25 años). Por lo general, estas plantaciones en la región se caracterizaron por ser sistemas de producción tradicional, para los cuales no se utiliza ningún tipo de maquinaria ni insumos químicos en la preparación del suelo, mientras que el mantenimiento es básicamente por deshierbes manuales. Esto sumado a la presencia de especies de árboles de sombra, que proveen a los cultivos de un dosel generalmente heterogéneo, dio origen a los valores más bajos del índice de intensidad de manejo obtenidos en el estudio (entre 0 y 0.5).

Una vez integrado el IDE, estos sistemas agrícolas se agrupan como un conjunto de cultivos que, de acuerdo con sus características de manejo,

promoverían en mayor grado la capacidad regenerativa de la vegetación de selva después de su abandono, al facilitar la llegada de propágulos al sitio y tener un bajo impacto en las propiedades del suelo, favoreciendo así el desarrollo de la regeneración natural.

Generalmente estos cultivos colindan con remanentes de bosque primario y/secundario y con la vegetación ribereña, donde existen fuentes de propágulos. Por ejemplo, los sistemas de cacao rústico cercanos a bosques naturales (especialmente grandes porciones de bosque) sostienen substancialmente mayor diversidad de árboles y mamíferos que sistemas aislados (Estrada *et al.* 1993; Estrada *et al.* 1994; Estrada *et al.* 1997).

A su vez, el hecho de poseer un dosel forestal diverso y desarrollado, muchas veces complejo estructuralmente (Moguel y Toledo 1999; Perfecto y Vandermeer 2008), provee de características más atractivas que otros sistemas para especies de animales de selva que pueden funcionar como dispersores de semillas (Estrada *et al.* 1993; Estrada *et al.* 1994; Estrada *et al.* 1997). Se considera que estas plantaciones podrían ser una fuente importante de recursos para organismos móviles (aves, murciélagos y otros vertebrados) y jugar un papel de amortiguamiento de hábitat (como corredores biológicos) que puede favorecer la estabilidad demográfica de muchas especies animales (Rice y Greenberg 2000).

Por otro lado, se encontró un amplio rango en la duración de estos TUAS, habiendo plantaciones que han sido usadas hasta por 25 años. No obstante a este aparente prolongado tiempo de cultivo, dada la baja intensidad de uso del suelo, puede esperarse que tal duración no sea un determinante importante de la regeneración. Por ejemplo, Pascarella *et al.* (2000) encontraron que el área basal

y la diversidad de especies de bosques secundarios, derivados de plantaciones de café abandonadas, que estuvieron activas durante varias décadas, alcanzaron valores similares a los de bosque maduro en sólo 25-30 años de sucesión.

El uso de procedimientos manuales para la preparación y manejo de la tierra y el hecho de que no se haya incorporado maquinaria pesada ni prácticas de barbecho, permiten que haya una alta calidad de sitio, al mantener altos contenidos de materia orgánica y una buena estructura del suelo (Eghball *et al.* 1994). Estas actividades favorecen un aumento en la biomasa vegetal que es mayor que cuando se utiliza el barbecho mecanizado (Kladivko 2001). Así mismo, las actividades manuales favorecen la ocurrencia de una alta riqueza de los organismos del suelo (Kennedy y Smith 1995; Lupwayi *et al.* 1998; Jansa *et al.* 2002) así como el mantenimiento de las interacciones bióticas que son importantes en la biogeoquímica del suelo. Al no usarse agroquímicos ni fuego, en estas plantaciones se favorece la persistencia y viabilidad del banco de semillas y la capacidad de rebrote (Kennard *et al.* 2002; Benton *et al.* 2003), lo que puede permitir el establecimiento de una vegetación secundaria más diversa al abandonarse la plantación.

Méndez *et al.* (2007) encontraron una alta diversidad de árboles (123 especies) en plantaciones de café de sombra en El Salvador, entre las especies registradas se identificaron 10 especies con alto valor de conservación internacional y 158 especies de importancia para su uso como leña, alimento, construcción, etc. A su vez, Perfecto *et al.* (*in rev*) y Philpott *et al.* (*in rev*) (Chazdon 2007) reportaron una riqueza de especies en cacaotales que fue igual a la de sitios de bosque maduro y mayor que la de bosques secundarios. Además

estas plantaciones tuvieron una cantidad importante de plantas útiles para la gente.

Estos TUAS, que en general tienen un bajo impacto en el ambiente, promueven la regeneración natural y ofrecen un gran potencial para la producción a largo plazo, la conservación de la biodiversidad y la protección a la naturaleza (Rice y Greenberg 2000; Kennard *et al.* 2002; Benton *et al.* 2003; López-Gómez *et al.* 2007)

**2. Monocultivos:** este grupo se conformó por cultivos de maíz, frijol, maíz intercalado con frijol, arroz, hortalizas, chile y plátano. Estos TUAS son monocultivos, generalmente anuales o bianuales, para los cuales se practica ya sea: (i) la rotación de cultivos en un mismo terreno, o (ii) la rotación de tierra, en donde la siembra se va cambiando de terreno en cada periodo.

De acuerdo con los valores del IDE obtenidos para estos TUAS, éstos se asociaron con un nivel de disturbio ambiental medio que podría reducir la disponibilidad de propágulos en mayor grado que en las plantaciones. A su vez, la calidad del sitio generalmente tenderá a ser baja por la intensificación del uso del suelo que recientemente se ha venido incorporando en las técnicas de manejo empleadas en los monocultivos.

En la región de estudio, estos TUAS son pequeños (< 2 ha) generalmente sembrados cerca de la zona de vega. Así, aunque ningún cultivo cuenta con árboles de sombra, la presencia de vegetación ribereña colindante favorece la actividad de especies de aves y murciélagos dispersores de semillas (Saunders y

de Rebeira 1991) que pueden promover la llegada de propágulos desde los fragmentos de bosque maduro circundantes.

La cercanía con estos remanentes es de gran importancia para facilitar procesos de regeneración (Saunders y de Rebeira 1991; Thomlinson *et al.* 1996; Quintana-Ascencio *et al.* 2007). En este sentido, Thomlinson *et al.* (1996) reportaron que el grado de regeneración de bosques secundarios en Puerto Rico disminuyó con el incremento en la distancia a los parches de bosque primario y estos parches parecen haber servido como núcleos para los procesos de regeneración forestal. A su vez, Quintana-Ascencio *et al.* (1996) encontraron que la densidad de semillas en el suelo disminuyó desde *ca.* 4000 semillas por m<sup>2</sup> en el lado del bosque maduro hasta menos de 1000 semillas a apenas 10 m al interior de los cultivos de milpa. De este modo, los remanentes de selva y la vegetación ribereña colindantes a estos cultivos podrían jugar un papel importante en el aporte de nuevos propágulos que propicien la regeneración de especies nativas de selva.

Sin embargo, la permanencia de los propágulos que lleguen al sitio e incluso el éxito de la germinación de semillas, y el establecimiento y la sobrevivencia de plántulas dependerán fuertemente del grado de alteración en la calidad del sitio producido por las prácticas de manejo de estos cultivos. El índice de intensidad de manejo obtenido para este grupo fue muy elevado debido principalmente al uso recurrente de fuegos para preparar el suelo, a la incorporación de altas cantidades de insumos químicos antes y durante algunos cultivos (principalmente el cultivo de chile) y a la reciente incorporación del uso de tractor para preparar el suelo previo a la siembra.

Kennard *et al.* (2002) en un estudio experimental encontraron que una alta intensidad de fuegos redujo la viabilidad de las semillas en un 94% y disminuyó la capacidad de rebrote. De igual modo se ha reportado que uno de los efectos inmediatos producidos por la quema de la biomasa vegetal es la pérdida de cantidades considerables de carbono (C) y nitrógeno (N) por volatilización (Celedón-Muñiz 2006). En la misma región de estudio Celedón-Muñiz (2006) encontró que los contenidos de C y N del suelo fueron más susceptibles a la pérdida en las primeras etapas sucesivas a la roza, tumba y quema del bosque. El autor explica que esto se debe a que la remoción de la vegetación viva y del mantillo del suelo del bosque acelera la erosión, la escorrentía, el lavado de nitrógeno mineral (que no es absorbido por las raíces de las plantas) y la volatilización de nutrientes por el uso del fuego.

Celedón-Muñiz (1996) encontró que la mayoría de los terrenos que son cultivados en la RMC corresponden a suelos derivados de lutitas y areniscas, muy susceptibles a la modificación de sus características físicas por compactación y erosión. En este sentido, Méndez-Bahena (1999) señaló que las actividades en esta área no provocan alteraciones en los suelos utilizados para cultivos agrícolas, debido al manejo sin maquinaria pesada. Sin embargo, los resultados del presente estudio muestran que actualmente dos de los tres ejidos estudiados (Chajul y Playón de la Gloria) ya han incorporado el uso del tractor en sus prácticas de preparación del suelo. Aún más, con frecuencia se usa el tractor en más de una ocasión por periodo de cultivo. Este tipo de manejo reciente ha provocado una creciente pérdida de los nutrientes en el suelo, encontrando concentraciones

mucho más bajas en las áreas con monocultivos que en los sitios de selva (Celedón-Muñiz 2006).

El ejido de Loma Bonita presentó los valores más bajo de intensidad de uso del suelo de los tres ejidos estudiados, debido principalmente a que no han incorporado el uso de maquinaria pesada en el manejo del suelo. Actualmente, en este ejido, se está solicitando ante instancias gubernamentales el apoyo para la compra de tractores y no se han incorporado más por una falta de respuesta de las autoridades que por una convicción propia de continuar trabajando con sistemas más tradicionales de manejo de la tierra.

El uso de agroquímicos por su parte, tiene un impacto tanto directo como indirecto en el ambiente y por tanto, en la capacidad regenerativa de los campos abandonados. Se ha reportado que el uso de agroquímicos afecta directamente la estructura de la vegetación (Andreasen *et al.* 1996) y la diversidad de vertebrados (Relyea 2005) e invertebrados (Haughton *et al.* 1999; Wardle *et al.* 1999; Klein *et al.* 2002). A su vez, existe un efecto indirecto de los pesticidas al reducir la migración de muchos organismos a los paisajes agrícolas (Perfecto y Vandermeer 2008).

En un estudio que examinó el efecto de la aplicación del herbicida Roundup® (uno de los herbicidas más usados en el mundo) sobre las larvas de tres especies de anfibios se encontraron tasas de mortalidad de más de 90% (Relyea 2005). Mientras que algunos campos de algodón en Nicaragua han experimentado una gradual desaparición de hormigas debido a la aplicación masiva de pesticidas. Estos campos formaron parte de un experimento productivo

fallido que duró 30 años; éste no brindó riquezas a la gente y contaminó la tierra por muchos años después de que el algodón fue abandonado (Metcalf 1980).

Por tanto, es claro que la creciente incorporación y dependencia de los insumos químicos en los cultivos agrícolas tiene consecuencias muchas veces irreversibles para los sistemas naturales, afectando las cadenas tróficas del suelo, pero también la diversidad vegetal y animal terrestre y acuática (Relyea 2005). Este efecto ambiental negativo se acentúa considerando que la duración de los monocultivos en la región de estudio es de alrededor de tres décadas.

Según Tilman (1999), los principios ecológicos sugieren que los monocultivos serán relativamente más inestables con el tiempo, tendrán mayor pérdida de nutrientes, serán más susceptibles a invasiones por malezas y tendrán mayor incidencia de enfermedades y pestes. Por tanto, es crítico que las prácticas agrícolas sean modificadas para minimizar los impactos al ambiente aún cuando tales prácticas probablemente aumenten los costos de producción, tratando de promover sistemas más sustentables (Castillo y Toledo 2000; Perfecto y Vandermeer 2008). En esta búsqueda, sería deseable apoyarse en mayor medida en sistemas de producción tradicional, que sean más amigables al ambiente y más aceptados socialmente, más que creando una mayor dependencia a la industrialización y tecnificación agrícola.

**3. Cultivos extensivos:** este último grupo consistió de praderas ganaderas y plantaciones de palma de aceite. La duración de estas prácticas agrícolas fue muy diferente, las praderas tuvieron en promedio 13 años en uso mientras que las plantaciones de palma fueron muy recientes (no más de 2 años). Sin embargo, se

caracterizaron por ser los TUAS más extensivos registrados en la región y por tener una alta intensidad de uso del suelo.

Los valores del IDE obtenidos para estos TUAS indican que éstos tendrían el mayor impacto negativo sobre el ambiente afectando negativamente la regeneración natural de selva una vez que estos cultivos son abandonados. Las praderas más viejas encontradas en la región de estudio alcanzaron una edad de 30 años en uso, lo que sugiere que han tenido un tiempo más prolongado de exposición al pastoreo extensivo de ganado así como una alta frecuencia de quemas en su historia de uso. Es esperable que éstas características de disturbio tiendan a reducir, en mayor grado, la calidad del sitio y la disponibilidad de propágulos en el campo. Por lo que puede predecirse que la menor capacidad de regeneración de la vegetación de selva ocurrirá en este TUAS.

Algunos estudios sugieren que una alta intensidad de pastoreo afecta la estructura y calidad del suelo (Buschbacher *et al.* 1988; Holl 1999; Martínez y Zinck 2004; Martínez y Zinck 2004). Por ejemplo, Holl (1999) encontró que la compactación del suelo fue mucho mayor en praderas abandonadas que en sitios de selva, y que tanto las condiciones microclimáticas del sitio como el contenido de nutrientes del suelo fueron afectados sustancialmente. La importancia de estos resultados radica en que aún pequeñas diferencias en la compactación del suelo, pueden afectar el crecimiento de raíces, intercambio de gases y las tasas de infiltración (Trowse y Humbert 1961) así como afectar la germinación de las semillas (Sun y Dickson 2007).

Las praderas ganaderas en la región se caracterizaron por tener grandes extensiones de pastos cultivados. En este estudio la superficie promedio de las

praderas fue de ca. 18 ha, mientras que el TUAS más extenso fue de 45 ha. En este sentido, se ha reportado que la lluvia de semillas juega un papel más importante que el banco de semillas en el aporte de propágulos en las praderas (Benítez-Malvido *et al.* 2001). Es esperable entonces que la disponibilidad de propágulos en las praderas ganaderas abandonadas dependerá principalmente de la lluvia de semillas. La presencia de árboles aislados dentro de la pradera es crucial para el arribo de semillas (Guevara y Laborde 1993).

Los árboles aislados que son mantenidos en pie en algunas praderas funcionan como percha para especies de aves y murciélagos dispersoras de semillas (Zahawi y Augspurger 1999; Slocum 2001; Guevara *et al.* 2004). Este mecanismo de facilitación de llegada de propágulos tiene una alta repercusión para que inicien procesos básicos de regeneración, puesto que se ha reportado que son pocas las semillas que logran llegar de remanentes aledaños de selva hasta las praderas desprovistas de dosel (Martínez-Garza y González-Montagut 1999). Por ejemplo, en Los Tuxtlas, Veracruz, Martínez-Garza y González-Montagut (1999) encontraron que sólo el 11% de las especies de semillas presentes en la selva ribereña se dispersaron hacia las praderas, y que cerca del 80% de la lluvia de semillas en las praderas no provenía de las plantas en fructificación inmediatamente adyacentes.

Por otro lado, Cubiña y Aide (2001) encontraron que de 35 especies que produjeron frutos en el bosque, 14 se detectaron en la lluvia de semillas en praderas activas y sólo un 0.3% de las semillas y tres especies lograron dispersarse a más de 4 m del borde del bosque. Holl (1999) reportó que la cantidad de semillas dispersadas por animales en una pradera abandonada

disminuyó drásticamente apenas a 5 m desde el borde del bosque, siendo la ausencia de dispersión de semillas el factor más importante que limitó la regeneración de la vegetación del bosque en las praderas abandonadas. Por tanto, la disponibilidad de propágulos en las praderas ganaderas depende de la presencia de un dosel desarrollado (Zahawi y Augspurger 1999), de árboles aislados (Guevara *et al.* 2004) e incluso de la especie de árbol presente (Slocum 2001). Así mismo, la presencia de árboles aislados dentro de las praderas favorecerá los procesos de sucesión secundaria al reducir la mortalidad de semillas por depredación, siendo este otro factor importante para la regeneración del bosque en las praderas ganaderas abandonadas (Zahawi y Augspurger 1999).

Dependiendo de la intensidad, duración y extensión del disturbio ambiental provocado por la actividad ganadera, las praderas abandonadas podrían experimentar diferentes niveles de regeneración natural. Cuando el disturbio provocado por el manejo no es muy alto, eventualmente pueden originarse bosques secundarios con atributos estructurales (abundancia, área basal, biomasa arriba del suelo, y riqueza de especies) similares a los encontrados en el bosque maduro (Aide *et al.* 1996; Aide *et al.* 2000). No obstante, la composición de especies puede ser diferente (Aide *et al.* 1996; Benitez-Malvido 2006), incluso para sitios con más de 80 años de abandono (Aide *et al.* 2000). Cuando el disturbio es intenso, algunas especies exóticas desarrollan poblaciones muy abundantes que llegan a dominar la vegetación durante periodos prolongados (Zahawi y Augspurger 1999; Aide *et al.* 2000).

A diferencia de las praderas, las plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) tienen poco tiempo (< 3 años) de haber sido promovidas y adoptadas

como actividad agrícola en la región. En otras regiones tropicales, como en Indonesia, Malasia y Tailandia, este TUAS ha sido desarrollado por mucho más tiempo y de una manera fuertemente extensiva. Estas plantaciones extensivas han provocado grandes procesos de deforestación, además de problemas ambientales tales como la generación de grandes cantidades de desechos químicos contaminantes por el alto grado de insumos requeridos para mantener las plantaciones (Butler 2007).

En el presente estudio se encontró que el nivel de disturbio ambiental de las plantaciones de palma de aceite fue similar al de las praderas ganaderas. Esto se debió al uso frecuente del fuego para la preparación del suelo, la incorporación de una alta cantidad de insumos químicos (agroquímicos y fertilizantes) y la ausencia de una cobertura arbórea, pues las palmas jóvenes aún no alcanzan grandes tallas y no proveen de un dosel al cultivo.

Estas características llevan a este cultivo a estar dentro del grupo de las actividades agropecuarias más agresivas al ambiente. Un estudio que compara el efecto de diferentes prácticas de uso del suelo sobre la sucesión secundaria en Costa Rica encontró que las plantaciones de palma tuvieron un área basal y densidad de tallos más baja que los bosques secundarios derivados de plantaciones de cacao y praderas de la misma edad, mientras que la riqueza de especies fue intermedia (Fernandes y Sanford 1995). Estos bosques secundarios también presentaron un contenido significativamente menor de nitrato y fósforo orgánico en el suelo; por tanto, se espera que estos sitios requieran grandes periodos de tiempo para alcanzar estados de sucesión avanzados. Con esto resulta evidente que la preservación de la cobertura de árboles, no mantiene

necesariamente la fertilidad del suelo ni promueve mayores tasas de cambio en los procesos de sucesión secundaria después de su abandono, especialmente cuando la regeneración ocurre en sitios que tuvieron una historia de manejo con prácticas agrícolas muy intensivas.

### *5.3 Aciertos y limitaciones del índice de disturbio ecológico*

Debido al creciente y acelerado cambio que están experimentando los ecosistemas a nivel mundial, una tarea importante para los ecólogos es generar índices que permitan hacer evaluaciones, predicciones y monitoreos rápidos y confiables para diagnosticar el estado de los recursos y el curso que pueden seguir en el tiempo bajo los patrones de manejo actual.

El Índice de Disturbio Ecológico (IDE) propuesto en este estudio aporta grandes ventajas para comparar el potencial regenerativo de vegetación original bajo diferentes escenarios de manejo agrícola, entre diferentes tipos de ecosistemas, e incluso se puede utilizar para hacer comparaciones de las prácticas de manejo agrícola a grandes escalas espaciales y temporales.

Es claro que tomar datos de campo para caracterizar la intensidad, duración y extensión del manejo de cada práctica agrícola en una escala regional sería una tarea titánica, que además de requerir de grandes recursos humanos y económicos requeriría de una gran inversión de tiempo. Este índice se diseñó generando una nueva metodología, que a partir de información obtenida de entrevistas de campo aplicadas a propietarios de los campos agrícolas, permite

obtener información rápida y repetible sobre el grado de alteración ambiental de los sistemas agropecuarios.

Se ha hecho énfasis en la necesidad de utilizar indicadores de disturbio para conocer los problemas ambientales que originan las actuales prácticas de manejo agrícola sobre diferentes aspectos de la integridad de los recursos naturales, así como programas que nos permitan monitorear qué tanto nos alejamos o nos acercamos a un manejo de la tierra más sustentable (Dumanski y Pieri 2000; Huffman *et al.* 2000).

El IDE se basa en información obtenida de indicadores clave de degradación ambiental. Éste índice es el primero en considerar no sólo la intensidad del manejo en cada tipo de uso agrícola del suelo, sino que integra además la duración y extensión del manejo como factores que podrían modificar tanto la calidad del sitio como la disponibilidad de propágulos, indispensables para que se lleven a cabo los procesos de regeneración natural de selva en campos agrícolas abandonados.

La extensión se consideró como la superficie en hectáreas que ocupa cada práctica agrícola, mientras que la duración fue el tiempo en años en que se mantiene activo el cultivo. Por su parte, la intensidad de manejo consideró indicadores clave del manejo que influyen directa e indirectamente en los procesos de regeneración como: (i) la cobertura de árboles, (ii) el uso de maquinaria pesada, (iii) la incorporación de insumos químicos a los cultivos, (iv) la recurrencia de quemas y (v) el pastoreo por ganado. Todos estos indicadores de perturbación fueron a su vez estandarizados por la frecuencia en la historia de uso del suelo.

Hasta la fecha existen pocos estudios que se hayan enfocado en diseñar métodos que cuantifiquen el grado de disturbio ambiental generado por diferentes prácticas agropecuarias (Smith *et al.* 1999; Kennard *et al.* 2002; Sagar *et al.* 2003; Ochoa-Gaona *et al.* 2007). Algunos de estos estudios proponen metodologías muy complicadas (Smith *et al.* 1999) mientras que otros incorporan solo algunos aspectos que intervienen en el manejo (Kennard *et al.* 2002; Sagar *et al.* 2003; Ochoa-Gaona *et al.* 2005). Además, las diferencias metodológicas de estos estudios hacen imposible comparaciones entre los resultados de estos.

En este sentido, el IDE es el primer método integrativo que cuantifica varios aspectos indicadores del disturbio y que podría ser utilizado para estandarizar la manera de evaluar el grado de alteración ambiental y su potencial impacto sobre la regeneración natural de la vegetación.

Sin embargo, el IDE parte de los supuestos de que los TUAS están en tipos de suelo con propiedades similares y que no existe una historia de uso de suelo previa en los campos agrícolas. En este sentido, aunque se intentó integrar en el IDE componentes clave de disturbio en el manejo agrícola, es importante reconocer que los sistemas agrícolas son intrínsecamente complejos y que existen otros elementos que podrían estar influyendo en la regeneración natural que no fueron considerados en el índice, como el tipo de suelo presente en los diferentes campos agrícolas y la historia de uso del suelo previa a los usos actuales. Por lo tanto, es necesario realizar estudios empíricos que nos permitan determinar el grado en que cada uno de estos factores determina, de manera individual, la regeneración natural en campos agrícolas abandonados, y en este sentido, generar algún modelo que nos permita integrarlos dentro del IDE.

A su vez, cabe señalar, que es necesario probar este índice tomando datos en campo, sobre el efecto de diferentes usos agrícolas del suelo sobre la calidad del sitio y las tasas de cambio de la vegetación, incluyendo aspectos relacionados con el aporte relativo de propágulos (banco y lluvia de semillas), la ganancia en biomasa aérea, así como la densidad y diversidad de especies de plantas nativas a corto-mediano plazo. Esto nos permitirá detectar si es necesario ajustar el IDE incorporando algunos otros elementos del disturbio que pudieran no haber sido considerados en este primer acercamiento y así lograr una evaluación más certera.

Este índice podría usarse como un método de evaluación de los sistemas agrícolas que a su vez aporte información suficiente para la toma de decisiones, al apoyar políticas de manejo enfocadas hacia sistemas agrícolas que pueden permitir la persistencia de selvas a largo plazo en paisajes agropecuarios.

## **6. Conclusiones**

Los resultados de este estudio mostraron que existe un conjunto diverso de factores sociales, culturales, políticos y económicos que influyen en el cambio de la configuración del paisaje de un ambiente natural a uno transformado para fines agropecuarios. Entender cómo actúan estos factores como agentes de cambio del paisaje es importante para explicar la prevalencia de ciertas prácticas agrícolas sobre otras y para explorar los posibles escenarios futuros de los paisajes dominados por las actividades humanas.

La metodología que se desarrolló en este estudio para analizar la estructura de paisajes y cuantificar el nivel de disturbio ecológico causado por diferentes tipos de uso agrícola del suelo, puede ayudar a identificar a los usos con menor impacto sobre la regeneración natural de las selvas húmedas y, por lo tanto, a identificar a aquellos que pueden ser compatibles con la conservación de la biodiversidad y ecosistemas nativos. La generación de índices de disturbio ecológico, como el presentado en este trabajo, que aporten información rápida y repetible sobre el disturbio ecológico en campos agrícolas, adquiere importancia para la toma de decisiones sobre la conservación. A continuación se presentan las conclusiones del presente estudio.

- En los ejidos estudiados en la región Marqués de Comillas se ha deforestado el 66% de la selva primaria, un 50% de este terreno está dedicado a la práctica de trece diferentes usos agrícolas del suelo y un 16% se encuentra cubierto por vegetación secundaria.
- Entre los factores principales que explican la configuración actual del paisaje estudiado se encuentran; i) historia de colonización reciente de tierras (1978), ii) migración de mestizos con poca experiencia en el manejo de la selva y una cultura ajena al entorno natural colonizado, iii) políticas y programas económicos en apoyo al desmonte y el desarrollo de ganadería extensiva.
- Las praderas inducidas para la crianza de ganado bovino es el tipo de uso agrícola predominante en el paisaje, ocupando más del 80% de la

superficie cultivada. Otros doce tipos de usos son marginales en su extensión.

- La pradera ganadera fue el tipo de uso agrícola con el nivel de disturbio ecológico más alto. El de menor índice de disturbio fueron las huertas frutales y los cultivos perennes de cacao (cacaotal) y café (cafetales). Entre estos extremos existió un gradiente de disturbio.
- Una estrategia de conversión del paisaje actual a uno en el que predominen los usos agrícolas con menos nivel de disturbio ecológico puede ayudar a mantener la diversidad y ecosistemas nativos. Sin embargo, se requieren de estudios sociales, económicos y participativos con los ejidos para evaluar la viabilidad de dicha transformación.

## 7. Referencias

- Aide, T. M., J. K. Zimmerman, J. B. Pascarella, L. Rivera y H. Marcano-Vega (2000). "Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology." *Restoration Ecology* **8**(4): 328-338.
- Aide, T. M., J. K. Zimmerman, M. Rosario y H. Marcano (1996). "Forest recovery in abandoned cattle pastures along an elevational gradient in northeastern Puerto Rico." *Biotropica* **28**(4): 537-548.
- Andreasen, C., H. Stryhn y J. C. Streibig (1996). "Decline of the flora in Danish arable fields." *Journal of applied ecology* **33**: 619-626.
- Benitez-Malvido, J. (2006). "Effect of low vegetation on the recruitment of plants in successional habitat types." *The Journal of Biology and Conservation* **38**(2): 171-182.
- Benitez-Malvido, J., M. Martínez-Ramos y E. Ceccon (2001). "Seed rain vs. seed bank, and the effect of vegetation cover on the recruitment of tree seedlings in tropical successional vegetation." *Life Forms and Dynamics in Tropical Forests*: 1–18.
- Benton, T. G., J. A. Vickery y J. D. Wilson (2003). "Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?" *Trends in Ecology & Evolution* **18**(4): 182-188.
- Boucher, D., M. Martínez-Ramos, K. D. Holl, D. Griffith, R. Cole, A. Bonesso-Sampaio, D. Lawrence y B. Ferguson (en prensa). "Predicting the forest

- regeneration capacity of managed neotropical landscapes." *Frontiers in Ecology and the Environment*.
- Brokaw, N. V. L. (1982). "The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics." *Biotropica* **14**(2): 158-160.
- Brokaw, N. V. L. (1982). "Treefalls: frequency, timing, and consequences."
- Brokaw, N. V. L. (1987). "Gap-phase regeneration of three pioneer tree species in a tropical forest." *The Journal of Ecology* **75**(1): 9-19.
- Brokaw, N. V. L. (1987). "Gap-phase regeneration of three pioneer tree species in a tropical forest." *Journal of Ecology* **75**: 9-19.
- Brown, S. (1990). "Tropical secondary forests." *Journal of Tropical Ecology* **6**(1): 1-32.
- Brye, K. R. y A. L. Pirani (2005). "Native soil quality and the effects of tillage in the grand prairie region of Eastern Arkansas." *The American Midland Naturalist* **154**(1): 28-41.
- Buschbacher, R., C. Uhl y E. A. S. Serrao (1988). "Abandoned pastures in eastern Amazonia. II. Nutrient stocks in the soil and vegetation." *Journal of Ecology* **76**(3): 682-699.
- Butler, R. A. (2007). "¿Por qué la palma de aceite está reemplazando a los bosques lluviosos tropicales? ¿Por qué los biocombustibles están fomentando la deforestación?" de [www.mongabay.com](http://www.mongabay.com).
- Casco-Montoya, R. (1990). "El uso de los recursos del tropico mexicano: el caso de la lacandona".En: E. Leff. *Medio ambiente y desarrollo en México*. México, D.F, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, UNAM. **Vol. I**. p. 115-139.

- Castillo, A. y V. M. Toledo (2000). "Applying ecology in the third world: the case of Mexico." *BioScience* **50**(1): 66-76.
- Ceccon, E. y M. Martínez-Ramos (1999). "Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales: aplicación al caso de México." *Interciencia* **24**(6): 352-359.
- Celedón-Muñiz, H. (2006). "Impacto del sistema agrícola de roza, tumba y quema sobre las características de tres unidades de suelo en la Selva Lacandona de Chiapas." Facultad de Ciencias. México, Universidad Nacional Autónoma de México: 122.
- Chazdon, R. L. (2003). "Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances." *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **6**(1-2): 51-71.
- Chazdon, R. L. (2007). "Perspectivas para la conservación de especies de bosques tropicales en paisajes agrícolas", XVII Congreso Mexicano de Botánica, Sociedad Botánica de México.
- Chazdon, R. L. (2008). "Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands." *Science* **320**(5882): 1458.
- Chazdon, R. L., C. A. Harvey, O. Komar, M. van Breugel, B. Ferguson, B. Finegan, D. Griffith, M. Martínez-Ramos, H. Morales, R. Nigh, L. Soto-Pinto y M. Wishnie (In press). "Beyond reserves: a research agenda for conserving biodiversity in tropical-human modified landscapes."
- Chazdon, R. L., S. G. Letcher, M. van Breugel, M. Martínez-Ramos, F. Bongers y B. Finegan (2007). "Rates of changes in tree communities of secondary

- Neotropical forests following major disturbances." *Phil. Trans. R. Soc. B* **362**: 273-289.
- Colwell, R. K. (1997). "Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 5.0. 1." User's guide and application (<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>).
- Cubiña, A. y T. M. Aide (2001). "The effect of distance from forest edge on seed rain and soil seed bank in a tropical pasture." *BIOTROPICA* **33**(2): 260-267.
- De-Jong, B. H. J., S. Ochoa-Gaona, M. A. Castillo-Santiago, N. Ramírez-Marcial y M. A. Cairns (2000). "Carbon flux and patterns of land-use/land-cover change in the Selva Lacandona, Mexico." *American Biology* **29**(8): 504-511.
- Denslow, J. S. (1987). "Tropical treefall gaps and tree species diversity." *Annual Review of Ecology and Systematics* **18**: 431-451.
- Dumanski, J. y C. Pieri (2000). "Land quality indicators: research plan." *Agriculture, Ecosystems & Environment* **81**(2): 93-102.
- Eghball, B., L. N. Mielke, D. L. McCallister y J. W. Doran (1994). "Distribution of organic carbon and inorganic nitrogen in a soil under various tillage and crop sequences." *J. Soil Water Conserv* **49**: 201-205.
- Estrada, A., R. Coates-Estrada y M. Martínez-Ramos (1985). "La Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas: un recurso para el estudio y conservación de las selvas del trópico húmedo". *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Alhambra. México, DF.* **2**: 395-400.

- Estrada, A., R. Coates-Estrada y D. Meritt (1993). "Bat species richness and abundance in tropical rain forest fragments and in agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico." *Ecography* **16**(4): 309-318.
- Estrada, A., R. Coates-Estrada y D. Meritt (1994). "Non flying mammals and landscape changes in the tropical rain forest region of Los Tuxtlas, Mexico." *Ecography* **17**(3): 229-241.
- Estrada, A., R. Coates-Estrada y D. A. Meritt (1997). "Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico." *Biodiversity and Conservation* **6**(1): 19-43.
- FAO. (1993). "Forest Resource Assessment." 2004, de [http://www.customw.com/ecoweb-/notas/notas/970829\\_2.html](http://www.customw.com/ecoweb-/notas/notas/970829_2.html).
- FAO (2000). "Global forest resource assessment 2000". Roma, FAO Rom. p.
- Fernandes, D. N. y R. L. Sanford (1995). "Effects of recent land-use practices on soil nutrients and succession under tropical wet forest in Costa Rica." *Conservation Biology* **9**(4): 915-922.
- Finegan, B. y R. Nasi (2004). "The biodiversity and conservation potential of shifting cultivation landscapes." *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*: 153-197.
- Fujisaka, S. A. M., G. Escobar y E. Veneklaas (1997). "Plant community diversity relative to human land uses in an Amazon forest colony." *Biodiversity and Conservation* **7**(1): 41-57.
- Grau, H. R. (2004). "Landscape context and local-scale environment influence regeneration of pioneer tree species in treefall gaps." *BIOTROPICA* **36**(1): 52-59.

- Guariguata, M. R. y R. Ostertag (2001). "Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics." *Forest Ecology and Management* **148**(1-3): 185-206.
- Guevara, S. y J. Laborde (1993). "Monitoring seed dispersal at isolated standing trees in tropical pastures: consequences for local species availability." *Plant Ecology* **107**(1): 319-338.
- Guevara, S., J. Laborde y G. Sánchez-Rios (2004). "Rain forest regeneration beneath the canopy of fig trees isolated in pastures of Los Tuxtlas, Mexico." *Biotropica* **36**(1): 99-108.
- Hartshorn, G. S. (1980). "Neotropical forest dynamics. Dinámica del bosque neotropical." *Biotropica*. **12**(1): 23-30.
- Hartshorn, G. S. (1989). "Application of gap theory to tropical forest management: natural regeneration on strip clear-cuts in the Peruvian Amazon." *Ecology* **70**(3): 567-576.
- Harvey, C. A., O. Komar, R. L. Chazdon, B. Ferguson, B. Finegan, D. Griffith, M. Martínez-Ramos, H. Morales, R. Nigh, L. Soto-Pinto, M. van Breugel y M. Wishnie (In press). "Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the mesoamerican hotspots."
- Harvey, C. A., O. Komar, R. L. Chazdon, B. Ferguson, B. Finegan, D. Griffith, M. Martínez-Ramos, H. Morales, R. Nigh, L. Soto-Pinto, M. van Breugel y M. Wishnie (In Press.). "Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the mesoamerican hotspots."

- Haughton, A. J., J. R. Bell, N. D. Boatman y A. Wilcox (1999). "The effects of different rates of the herbicide glyphosate on spiders in arable field margins." *J. Arachnol* **27**: 249–254.
- Holl, K. D. (1999). "Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil." *Biotropica* **31**(2): 229-242.
- Huffman, E., R. G. Eilers, G. Padbury, G. Wall y K. B. MacDonald (2000). "Canadian agri-environmental indicators related to land quality: integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and soil salinity." *Agriculture, Ecosystems and Environment* **81**(2): 113-123.
- Jansa, J., A. Mozafar, T. Anken, R. Ruh, I. Sanders y E. Frossard (2002). "Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil." *Mycorrhiza* **12**(5): 225-234.
- Kennard, D. K., K. Gould, F. E. Putz, T. S. Fredericksen y F. Morales (2002). "Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest." *Forest Ecology and Management* **162**(2-3): 197-208.
- Kennedy, A. C. y K. L. Smith (1995). "Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils." *Plant and Soil* **170**(1): 75-86.
- Kladivko, E. J. (2001). "Tillage systems and soil ecology." *Soil & Tillage Research* **61**(1-2): 61-76.
- Klein, A. M., I. Steffan-Dewenter, D. Buchori y T. Tschardtke (2002). "Effects of land-use intensity in tropical agroforestry systems on coffee flower-visiting and trap-nesting bees and wasps." *Conservation Biology* **16**(4): 1003-1014.

- Landa, R., J. Meave y J. Carabias (1997). "Environmental deterioration in rural Mexico: an examination of the concept." *Ecological Applications* **7**(1): 316-329.
- López-Gómez, A. M., G. Williams-Linera y R. H. Manson (2007). "Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico." *Agriculture, Ecosystems and Environment* **124**: 160-172.
- Lupwayi, N. Z., W. A. Rice y G. W. Clayton (1998). "Soil microbial diversity and community structure under wheat as influenced by tillage and crop rotation." *Soil Biology and Biochemistry* **30**(13): 1733-1741.
- Malhi, Y. y J. Grace (2000). "Tropical forests and atmospheric carbon dioxide." *Trends in Ecology and Evolution* **15**: 332-337.
- Mariaca-Méndez, R. (2005). "Migración y desarrollo histórico en la región Marqués de Comillas, Selva Lacandona, Chiapas, México". En: A. Nazar, E. Bello y H. Morales. *Sociedad y Entorno en la Frontera Sur de México*. Tapachula, Chiapas, México, REPSUR. p. 327.
- Martínez, L. J. y J. A. Zinck (2004). "Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia." *Soil & Tillage Research* **75**(1): 3-18.
- Martínez-Garza, C. y R. González-Montagut (1999). "Seed rain from forest fragments into tropical pastures in Los Tuxtlas, Mexico." *Plant Ecology* **145**(2): 255-265.
- Martínez-Ramos, M. (1985). "Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y la regeneración natural de las selvas altas perennifolias". En: G.-P. A. y d. A.

- S. Investigación sobre la regeneración de las selvas altas en Veracruz, México. México, D. F., Editorial Alhambra Mexicana, S.A. p. 191-239.
- Martínez-Ramos, M. (1985). "Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y la regeneración natural de las selvas altas perennifolias". En: A. Gómez-Pompa y S. Amo. Investigación sobre la regeneración de las selvas altas en Veracruz. México, D.F., Editorial Alhambra Mexicana, S.A. p. 191-239.
- Martínez-Ramos, M. (1994). "Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas." Boletín de la Sociedad Botánica de México **54**: 179-224.
- Martínez-Ramos, M. y E. Alvarez-Buylla (1986). "Seed dispersal, gap dynamics and tree recruitment: the case of *Cecropia obtusifolia* at Los Tuxtlas, México". En: A. Estrada y T. H. Fleming. Frugivory and seed dispersal. Holanda, Dordrecht, Junk Publisher. p. 333-346.
- Martínez-Ramos, M. y E. Álvarez-Buylla (1986). "Seed dispersal, gap dynamics and tree recruitment: the case of *Cecropia obtusifolia* at Los Tuxtlas, Mexico." Frugivores and seed dispersal: 333–346.
- Martínez-Ramos, M., E. Álvarez-Buylla, J. Sarukhan y D. Piñero (1988). "Treefall age determination and gap dynamics in a tropical forest." Journal of Ecology **76**(3): 700-716.
- Martínez-Ramos, M., E. Alvarez-Buylla, J. Sarukhán y D. Piñero (1988). "Trefall age determination and gap dynamics in a tropical forest." Journal of Ecology **76**: 700-716.
- Martínez-Ramos, M. y X. García-Orth (2007). "Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas." Boletín de la Sociedad Botánica de México **80**.

- Martínez, E., C. H. Ramos y F. Chiang (1994). "Lista florística de la Lacandona." Chiapas. Bol. Soc. Bot. Méx **54**: 99-177.
- Martínez, L. J. y J. A. Zinck (2004). "Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia." Soil & Tillage Research **75**(1): 3-18.
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez y R. Dirzo (1997). "Carbon emissions from mexican forests: current situation and long-term scenarios." Climatic Change **35**(3): 265-295.
- Matson, P. A. y P. M. Vitousek (2006). "Agricultural intensification: will land apared from farming be land spared for nature?" Conservation Biology **20**(3): 709-710.
- Méndez-Bahena, A. (1999). "Sucesión secundaria de la selva húmeda y conservación de recursos naturales en Marqués de Comillas, Chiapas", M. Sc. thesis, Departamento de Ecologia de los Recursos Naturales, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Mexico.
- Méndez, V. E., S. R. Gliessman y G. S. Gilbert (2007). "Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador." Agriculture, Ecosystems and Environment **119**(1-2): 145-159.
- Metcalf, R. L. (1980). "Changing role of insecticides in crop protection." Annual Reviews in Entomology **25**(1): 219-256.
- Milleniun-Ecosystem-Assessment (2005). "Ecosystems and Human Well-being: Synthesis", Island Press. 137 p.
- Moguel, P. y V. M. Toledo (1999). "Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico." Conservation Biology **13**(1): 11-21.

- Moran, E. F., E. Brondizio, P. Mausel y Y. Wu (1994). "Integrating Amazonian Vegetation, Land-use, and Satellite Data." *BIOSCIENCE-WASHINGTON* **44**: 329-329.
- Ochoa-Gaona, S., B. H. J. De Jong y J. L. López-García (2005). "La frontera de colonización asistida. La Selva Lacandona: estado actual de sus recursos".En: S. Hernández-Daumas. *Frontera Sur de México. Cinco formas de inreacción entre sociedad y ambiente*. Tapachula, Chiapas, México, ECOSUR. p. 120.
- Ochoa-Gaona, S., F. Hernández-Vázquez, B. H. J. De Jong y F. D. Gurri-García (2007). "Pérdida de diversidad florística ante un gradiente de intensificación del sistema agrícola de roza-tumba-quema: un estudio de caso en La Selva Lacandona, Chiapas, México." *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **81**: 65-80.
- Ortiz-Espejel, B. y V. M. Toledo (1998). "Tendencias en la deforestación de la Selva Lacandona (Chiapas, México): el caso de Las Cañadas." *Interciencia* **23**(6): 318-328.
- Pascarella, J. B., T. M. Aide, M. I. Serrano y J. K. Zimmerman (2000). "Land-use history and forest regeneration in the cayey mountains, Puerto Rico." *Ecosystems* **3**(3): 217-228.
- Perfecto, I., R. A. Rice, R. Greenberg y M. E. Van der Voort (1996). "Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity." *Bioscience* **46**(8): 598-599.
- Perfecto, I. y J. Vandermeer (2008). "Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. A new paradigm." *Annual New York Academy Science* **1134**: 173/200.

- Pickett, S. T. A., S. L. Collins y J. J. Armesto (1987). "Models, mechanisms and pathways of succession." *The Botanical Review* **53**(3): 335-371.
- Quintana-Ascencio, P. F., M. Gonzalez-Espinosa, N. Ramirez-Marcial, G. Dominguez-Vazquez y M. Martinez-Ico (2007). "Soil seed banks and regeneration of tropical rain forest from milpa fields at the Selva Lacandona, Chiapas, Mexico."
- Rands, M. R. W. (1986). "The survival of gamebird (Galliformes) chicks in relation to pesticide use on cereals." *Ibis* **128**(1): 57-64.
- Relyea, R. A. (2005). "The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities." *Ecological Applications* **15**(2):618-627.
- Rice, R. A. y R. Greenberg (2000). "Cacao cultivation and the conservation of biological diversity." *AMBIO: A Journal of the Human Environment* **29**(3): 167-173.
- Romero-Polanco, E. (2002). "Un siglo de agricultura en México", MA Porrúa. 102p.
- Sagar, R., A. S. Raghubanshi y J. S. Singh (2003). "Tree species composition, dispersion and diversity along a disturbance gradient in a dry tropical forest region of India." *Forest Ecology and Management* **186**(1-3): 61-71.
- Saunders, D. A. y C. P. de Rebeira (1991). "Values of corridors to avian populations in a fragmented landscape." *Nature conservation* **2**: 221-240.
- Siebe, C., M. Martínez-Ramos, G. Segura-Warnholtz, J. Rodríguez-Velázquez y S. Sánchez-Beltrán (1996). "Soil and vegetation patterns in the tropical rainforest at Chajul Southeast Mexico." *Proceedings of the International*

- Congress on Soil of Tropical Forest Ecosystems 3 rdConference on Forest Soils (ISSS-AISS-IBG). Mulawarman University Press, Indonesia.
- Slocum, M. G. (2001). "How tree species differ as a recruitment foci in a tropical pasture." *Ecology* **82**(9): 2547-2559.
- Smith, J., P. van de Kop, K. Reategui, I. Lombardi, C. Sabogal y A. Diaz (1999). "Dynamics of secondary forests in slash-and-burn farming: interactions among land use types in the Peruvian Amazon." *Agriculture, Ecosystems and Environment* **76**(2-3): 85-98.
- Statsoft-Inc (2001). "STATISTICA®".En. Data analysis softwere system.**Versión 6.**
- Sun, D. y G. R. Dickson (2007). "The competition effect of *Brachiaria decumbens* on the early growth of direct-seeded trees of *Alphitonia petriei* in tropical North Australia."
- Tejeda Cruz, C. (2002). "Apropiación social del territorio y política ambiental en la Selva Lacandona, Chiapas. el caso de Frontera Corozal, comunidad lacandona."
- Thomlinson, J. R., M. I. Serrano, T. M. Lopez, T. M. Aide y J. K. Zimmerman (1996). "Land-use dynamics in a post-agricultural Puerto Rican landscape(1936-1988)." *Biotropica* **28**(4): 525-536.
- Tilman, D. (1999). "Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices". *Proceedings of the National Academy of Sciences, National Acad Sciences.* **96**: 5995-6000.
- Trouse, A. C. y R. P. Humbert (1961). "Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots." *Soil Science* **91**: 208-217.

- Vandermeer, J. y I. Perfecto (2007). "The Agricultural Matrix and a Future Paradigm for Conservation." *Conservation Biology* **21**(1): 274-277.
- Vela-Peón, F. (2001). "Un acto metodológico básico de la investigación social: la entrevista cualitativa". En: M. L. Tarrés. *Observar, escuchar y comprender. Sobre la Tradición Cualitativa en la Investigación Social*. México, D.F., Porrúa, El Colegio de México, FLACSO. p. 63-95.
- Wardle, D. A., K. S. Nicholson, K. I. Bonner y G. W. Yeates (1999). "Effects of agricultural intensification on soil-associated arthropod population dynamics, community structure, diversity and temporal variability over a seven-year period." *Soil Biology and Biochemistry* **31**(12): 1691-1706.
- Warman, A. (2001). "El campo mexicano en el siglo XX", Fondo de Cultura Económica. 262 p.
- Whitmore, T. C. (1978). "Tropical Rain Forests of the Far East", Oxford University Press. 282 p.
- Whitmore, T. C. (1984). "Tropical rain forest of the far east". Reino Unido, Oxford, Clarendon Press. p.
- Zahawi, R. A. y C. K. Augspurger (1999). "Early Plant Succession in Abandoned Pastures in Ecuador 1." *Biotropica* **31**(4): 540-552.

**Anexo 1.** Entrevista semiestructurada para caracterizar las actividades agrícolas en la región Marqués de Comillas, Chiapas.

	FECHA:
	<b>DATOS GENERALES</b>
1	Ejido:
2	Localidad:
3	Nombre:
4	Edad:
5	Género:
	<b>PRÁCTICAS DE MANEJO</b>
6	Qué tamaño tiene su terreno?
7	Cuánto tiempo hace que desmontó la selva por primera vez?
8	Cuenta con remanentes de selva dentro de su terreno?
9	Qué superficie tienen?
10	A que distancia se encuentra éstos remanentes de sus parcelas cultivadas?
11	Tiene acahuales?
12	Qué edad tienen esos acahuales?
13	Cuál fue el último uso que le dio a ese acahual?
14	Cuántos años han pasado desde la ultima vez que realizó roza-tumba-quema en los acahuales?
15	Qué área transformó con la roza-tumba-quema?
16	Cuántas veces ha repetido esta practica?
17	Qué tipos de cultivos tiene actualmente?

1	Tipo de cultivo
2	Cuál es la superficie de este cultivo?
3	Cuántos años ha mantenido esta actividad desde que empezó?
4	Qué procedimiento siguió para establecer este cultivo?
5	Cómo prepara el suelo para cada cultivo? (azadon, machete, coa, tractor, etc)
6	Usó maquinaria? De que tipo?
7	Cuántas veces?
8	Usó fuego?
9	Cuántos años lleva haciendo quemas en la parcela desde que inició?
10	Cuántas veces ha realizado esta actividad?
11	Usó agroquímicos? Cuales?
12	Qué tan frecuentemente?
13	Qué plantas está usando en este cultivo?
14	Cuánto tiempo descansa la parcela después de cada cultivo?
15	Existe rotación de cultivos?
16	Cuál es el sistema de rotación que practica?
17	Cuántas cabezas de ganado tiene su parcela?
18	Cuántos tipos de pasto tiene en su parcela?
19	Que otro tipo de actividades realiza en sus parcelas?

*"Vamos de cultos por la vida. Pero si la cultura consiste en conocer, comprender e interaccionar con el mundo en el que vivimos, me temo que la mayor parte de nosotros somos profundamente incultos, al menos en lo referente a la naturaleza. Yo, desde luego, me confieso enorme y frustradamente ignorante. ¡Cuánto me queda por aprender!"*  
*(Ángeles Caso).*