



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE ECOLOGÍA**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES SOCIOAMBIENTALES PARA LA  
RESTAURACIÓN DE CLAROS ANTROPOGÉNICOS EN LA SELVA TROPICAL  
HÚMEDA, MARQUÉS DE COMILLAS, CHIAPAS**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**ROCÍO AGUILAR FERNÁNDEZ**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: M. EN C. MARÍA JULIA CARABIAS LILLO  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. CHRISTINA DESIRÉ SIEBE GRABACH  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM  
DR. JOSÉ RAÚL GARCÍA BARRIOS  
CRIM, UNAM**

**MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE, 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE ECOLOGÍA**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES SOCIOAMBIENTALES PARA LA  
RESTAURACIÓN DE CLAROS ANTROPOGÉNICOS EN LA SELVA TROPICAL  
HÚMEDA, MARQUÉS DE COMILLAS, CHIAPAS**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**ROCÍO AGUILAR FERNÁNDEZ**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: M. EN C. MARÍA JULIA CARABIAS LILLO  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. CHRISTINA DESIRÉ SIEBE GRABACH  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM  
DR. JOSÉ RAÚL GARCÍA BARRIOS  
CRIM, UNAM**

**MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE, 2013**

Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted, que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas, en su sesión ordinaria del día 06 de mayo de 2013, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** de la alumna **AGUILAR FENÁNDEZ ROCÍO** con número de cuenta: **300500774** con la tesis titulada "**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES SOCIOAMBIENTALES PARA LA RESTAURACIÓN DE CLAROS ANTROPOGÉNICOS EN LA SELVA TROPICAL HÚMEDA, MARQUÉS DE COMILLAS, CHIAPAS**", bajo la dirección de la **DRA. JULIA CARABIAS LILLO**:

Presidente: DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS  
Vocal: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA  
Secretario: DRA. CHRISTINA DESIREE SIEBE GRABACH  
Suplente: M EN C. VICENTE ARRIAGA MARTÍNEZ  
Suplente: DR. LORENZO VÁZQUEZ SELEM

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F., a 02 de septiembre de 2013.

*M. del Coro Arizmendi*  
DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA  
COORDINADORA DEL PROGRAMA

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por la oportunidad que me ha brindado y por ser parte fundamental en mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología por el apoyo concedido mediante la beca de estudios de posgrado (número CVU/becario: 288365/254967). A la Fundación Packard por el apoyo económico otorgado. Así mismo, agradezco de manera especial a Natura y Ecosistemas Mexicanos, A.C. ya que sin su apoyo la realización de esta tesis no hubiera sido posible.

A mi tutora, la M. en C. Julia Carabias Lillo puesto que su presencia, guía y apoyo han sido esenciales en la elaboración de esta tesis. Gracias por los consejos, las horas de trabajo y las experiencias compartidas en el campo. Agradezco además a los miembros de mi Comité Tutoral, la Dra. Christina Siebe y el Dr. Raúl García Barrios, por su valiosa asesoría durante la realización de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

Agradezco a los miembros del jurado, la Dra. Consuelo Bonfil, la Dra. Cristina Martínez Garza, el Dr. Lorenzo Vázquez y el M. en C. Vicente Arriaga, por los valiosos comentarios y sugerencias que permitieron enriquecer y concluir este proceso.

A Natura Mexicana, especialmente a Julia Carabias, Javier de la Maza y Rosaura Cadena. Gracias por permitirme ser parte del equipo y por hacer que el trabajo en la selva sea una experiencia grata y enriquecedora. Al resto de la banda, gracias por hacer que todos los días sean tan divertidos, por levantarse antes del amanecer y la buena actitud en el infiernillo. A los trabajadores de la Estación Chajul, cuya presencia y apoyo han sido esenciales en la realización de este y otros proyectos.

Al Biól. Esteban Martínez y a la Biól. Mónica Queijeiro, por su valiosa asesoría. A la Biól. Renata Cao, por involucrarse en este proyecto y ayudar en su materialización. A la Biól. Georgina García Méndez por el apoyo logístico brindado durante la realización de la maestría. A Carlos Méndez y Mario Lombera, por el apoyo durante el trabajo de campo y sobre todo, por enseñarme a observar la selva.

A mi familia, especialmente a Rocío Fernández. Gracias por todo.

# ÍNDICE

**Resumen / 1**

**Abstract / 3**

**1. Introducción / 4**

**2. Antecedentes / 7**

2.1 Sucesión Ecológica / 7

2.1 Restauración Ecológica / 8

2.2 Patrones de deforestación / 11

2.2 Fragmentación / 14

**3. Objetivos / 15**

**4. Región de estudio / 16**

4.1 Marqués de Comillas / 16

4.2 Sitio de estudio / 18

**5. Evaluación de técnicas para la restauración de claros antropogénicos / 21**

5.1 Introducción / 21

5.2 Método / 24

5.3 Resultados 34/

5.4 Discusión y conclusiones / 63

**6. Análisis del costo de oportunidad de la restauración de un claro antropogénico destinado a la ganadería /65**

6.1 Introducción / 65

6.2 Método / 65

6.3 Resultados / 66

6.4 Discusión y conclusiones / 84

**7. Conclusiones generales:** Recomendaciones para la restauración de claros antropogénicos / **86**

**8. Literatura citada / 88**

**9. Anexos / 94**

9.1 Descripción de perfiles de suelo / 94

9.2 Listados florísticos / 110

## RESUMEN

La Selva Lacandona representa el mayor remanente de selva tropical de México. Originalmente esta región ocupaba 1.8 millones de ha, pero debido al desarrollo de las actividades agropecuarias la superficie forestal se ha reducido de manera importante desde la década de los setentas. Actualmente se conservan cerca de 500,000 ha. A esta región pertenece el municipio de Marqués de Comillas, que colinda con la Reserva de la Biosfera de Montes Azules. Entre los tipos de deforestación que ocurren en el Municipio, la pérdida de superficie forestal a modo de claros antropogénicos representa el 51.3%. En estos terrenos rodeados de vegetación se establecen actividades agrícolas y ganaderas, pero debido a su difícil accesibilidad y a los altos costos de manejo, las actividades productivas terminan por abandonarse. El resultado es un mosaico en el que se observan terrenos agropecuarios, zonas de vegetación secundaria en diferentes estadios de sucesión y fragmentos de selva conservada. Debido a la urgencia de atender los terrenos abandonados, el objetivo general de la presente investigación fue desarrollar una propuesta de restauración para los claros antropogénicos en Marqués de Comillas, contemplando variables ambientales, sociales y económicas.

El estudio se llevó a cabo en un potrero abandonado de 37 ha, en el que se establecieron 30 parcelas experimentales. Se evaluó el costo-eficiencia de tres técnicas de restauración: (1) exclusión del ganado-control-, (2) remoción de pasto y (3) remoción de pasto + introducción de árboles nativos. Así mismo, se analizó el costo de oportunidad de la reconversión de un potrero con fines de restauración. Finalmente se analizaron los actuales instrumentos de subsidio gubernamentales para la restauración de claros antropogénicos en el Municipio de Marqués de Comillas y se propusieron recomendaciones.

Después de un año de estudio, se encontró que la remoción de pasto + introducción de árboles nativos induce cambios significativos en la cobertura arbórea ( $F= 4.54$ ,  $p \leq 0.05$ ). Sin embargo, el costo económicos de la aplicación de

ésta técnica es elevado (\$16,000/ha) y se atribuye de manera principal a la remoción manual de los pastos.

El análisis del costo de oportunidad reveló que la relación costo-beneficio de la ganadería va de 0.75 a 0.95. Siendo ésta una actividad deficitaria, su permanencia puede explicarse por la necesidad de los campesinos de contar con una fuente de ahorro.

Encontramos que el instrumento de subsidio gubernamental más viable para la restauración de claros antropogénicos en el Municipio de Marqués de Comillas son los Lineamientos del Programa Especial para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de la Selva Lacandona, en el Estado de Chiapas. En el apartado final de este trabajo se presentan algunas recomendaciones a dicho Programa.

## ABSTRACT

The biggest remnant of rainforest in Mexico is the Selva Lacandona, in the southern state of Chiapas. Originally this region covered a surface of more than 1.8 million hectares but, due to human activities, it has been drastically reduced to approximately 500,000 hectares. Specifically, 51.3% of the deforestation in the region of Marques de Comillas is due to clearing inside intact forest fragments, giving way antropogenic gaps where cattle and agricultural ranches are settled. After a few years most of these pasturelands are abandoned, giving way to patches of secondary forest in different sucesional stages and primary forest. These abandoned lands require immediate attention, thus our main goal was to develop a restoration model for the Marques de Comillas's antropogenic gaps.

This study took place in a 37 hectare antropogenic gap, which was originally cleared for livestock. We established 30 experimental plots and evaluated the cost-efficiency of three restoration techniques: (1) livestock exclusion-control-, (2) manual remotion of grasses, and (3) manual remotion of grasses + introduction of native tree species in a density of 650 trees/hectare. Also, we evaluated the opportunity cost of restore these cattle lands. Finally, we analyzed the actual governmental instruments for the restoration of perforations in Marques de Comillas and developed some recommendations.

Results showed that manual remotion of grasses + native tree introduction is the best restoration technique in terms of the ecological benefits it provides. Although, this treatment showed significant differences in the tree cover ( $F= 4.54$ ,  $p \leq 0.05$ ), its application has a high economical cost (\$16,000/ha).

The best gubernamental instrument for the restoration of perforations in Marques de Comillas is the so-called *Programa Especial para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de la Selva Lacandona, en el Estado de Chiapas*, we analyzed the program in terms of its economical feasibility and give some recommendations in the last part of the present document.

## 1. INTRODUCCIÓN

La selva tropical húmeda es el ecosistema con mayor diversidad biológica del planeta y se estima que más del 50% de las especies de la Tierra habitan en ella (Global Environment, 2003). Además, estos ecosistemas son importantes reservorios de carbono, pues cada hectárea en regeneración puede capturar entre seis y diez toneladas al año (Díaz-Gallegos, Mas y Velásquez Montes, 2008).

En México, la Selva Lacandona representa el mayor remanente de selva tropical húmeda del país. Los ecosistemas de este tipo de selva, que originalmente ocupaban 1.8 millones de ha, hoy se encuentran reducidos a sólo 500, 000 ha aproximadamente (Semarnat, 2006). De éstas, 419, 525 ha están bajo la categoría de Áreas Naturales Protegidas (ANP) y la más extensa de ellas es la Reserva de la Biosfera de Montes Azules (RBMA) (INE, 2000). En esta superficie protegida, que tan sólo ocupa el 0.16% del territorio nacional, se encuentra una alta diversidad. En la región se han reportado alrededor del 34% de las especies de aves (Palomera-García, Santana y Amparan-Salido, 1994; INE, 2000), el 25% de los mamíferos (INE, 2000) y el 14% de los peces de agua dulce de México (Lozano *et al.*, 2007). Además, proporciona importantes servicios ambientales, como la recarga de la cuenca Usumacinta-Grijalva, que mantiene el 30% del agua dulce del país (De la Maza *et al.*, 2010).

El mayor proceso de deforestación de la Selva Lacandona ocurrió a partir de mediados del siglo pasado, como consecuencia de la creación de nuevos núcleos agrarios y de reacomodos de las comunidades indígenas, lo que provocó el cambio de uso de suelo para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas (De Vos, 2002). Particularmente en el municipio de Marqués de Comillas, al sur de la RBMA, ocurrió un importante proceso de colonización a partir de la década de los 70's, lo que provocó que en tan sólo 30 años se perdiera un tercio de la vegetación original. Aún en la primera década del siglo XXI se registró una tasa de deforestación muy intensa, alrededor del 4% anual (Carabias *et al.*, 2009). Sin

embargo, esta zona mantiene grandes fragmentos conservados, con alta importancia biológica. Los remantes de selva tropical húmeda en buen estado de conservación ubicados en los ejidos de Marqués de Comillas son relevantes para evitar el aislamiento de los espacios protegidos y establecer corredores que permitan la conectividad biológica (INE, 2000).

Una amenaza muy importante para la permanencia de estos remanentes o fragmentos de selva es el cambio de uso de suelo. Éste es provocado por las actividades agropecuarias que los ejidatarios practican tanto alrededor de los fragmentos, como al interior de los mismos. Carabias *et al.* (2009) reportaron que entre 1986 y 2000 el 51.3% de la pérdida de selva en el municipio correspondió a superficies ubicadas al interior de los fragmentos, lo que resulta en la creación claros antropogénicos que una vez abiertos van aumentando de tamaño. Por medio del análisis de imágenes satelitales, se estimó que actualmente existen 275 claros antropogénicos, 75 tienen una dimensión de entre 10 y 50 ha (Carabias *et al.*, 2010). En términos ecológicos, la creación de claros antropogénicos tiene mayor impacto que la deforestación que ocurre en el perímetro de los fragmentos, ya que produce un efecto de borde al interior, en zonas donde el ecosistema se encuentra en mejor estado de conservación (Riitters y Coulston, 2005).

A la par de establecer alternativas tecnológicas para estabilizar la frontera agropecuaria y evitar la deforestación, se deben desarrollar los mecanismos necesarios para restaurar los claros antropogénicos y evitar la fragmentación de la selva. En el presente estudio se analizó un caso particular: un terreno de 37 ha que se localiza al interior de una zona de conservación en el ejido Boca de Chajul, en el municipio de Marqués de Comillas, Chiapas. El sitio se deforestó hace 14 años para ser destinado a la ganadería. En enero de 2010, ante la expectativa de recibir un beneficio económico mediante el Programa Especial para la Conservación, Restauración y Aprovechamiento Sustentable de la Selva Lacandona de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), los propietarios decidieron sacar al ganado y abandonaron el potrero para su restauración.

Mediante este estudio se evaluaron distintas técnicas con la finalidad de desarrollar una propuesta de restauración adecuada a los claros antropogénicos ubicados en el municipio de Marqués de Comillas. Así mismo se analizaron los instrumentos de subsidio gubernamentales para la restauración, aplicables al sitio de estudio, con la finalidad de entender su eficacia.

Para facilitar la comprensión de cada uno de los aspectos analizados se presentan los resultados en dos apartaos separados, denominados: 1. Evaluación de las técnicas para la restauración de claros antropogénicos y 2. Análisis del costo de oportunidad de la restauración de un claro antropogénico destinado a la ganadería. En cada uno se explica el método, los resultados y las conclusiones, con la finalidad de que sean una unidad por sí mismos. En el último apartado de este trabajo se presenta la discusión y conclusiones generales, así como algunas recomendaciones.

### **3. ANTECEDENTES**

#### **3.1 Sucesión Ecológica**

La sucesión ecológica es el proceso en el que ocurren cambios en una comunidad a través del tiempo, dichos cambios incluyen el reemplazo de especies, la modificación de la estructura de la comunidad y la alteración de la disponibilidad de recursos (Luken, 1990). Después de un disturbio natural, entendido como un evento discreto en el tiempo que altera la estructura de un ecosistema, comunidad o población, la sucesión opera como un proceso de reparación (White y Pickett, 1985). La velocidad y dirección de la sucesión dependerá de la disponibilidad de sitio, de la disponibilidad de especies y de las condiciones ambientales (Luken, 1990).

Los disturbios naturales forman parte de la trayectoria histórica de los ecosistemas e incluso constituyen uno de los factores que han moldeado la adaptación y evolución de las especies (Vega y Peters, 2003). Después de un disturbio de magnitud relativamente leve, los mecanismos regenerativos y de sucesión secundaria conducen con el tiempo a la recuperación de la estructura, la composición de especies y el funcionamiento del ecosistema original. Las alteraciones relativamente pequeñas pueden ser absorbidas de manera autónoma y eficaz, de manera que el ecosistema se reorienta hacia una trayectoria similar a la inmediata anterior al disturbio (Maass, 2003). Sin embargo, los disturbios de origen antropogénico suelen ser de magnitud severa, gran extensión y alta recurrencia (Sánchez, 2005). En estos casos, las capacidades de resiliencia del ecosistema se vuelven insuficientes, por lo que se detiene el curso de la sucesión secundaria, provocando que el ecosistema permanezca en un estado diferente del original (Martínez-Ramos y García-Orth, 2007; Saucedo, 2011). El manejo puede entonces, modificar la velocidad y dirección de la sucesión (Luken, 1990).

En las regiones tropicales, se presentan diversos factores que limitan el proceso de sucesión en sitios perturbados por el hombre, entre estas limitantes destaca la poca disponibilidad de propágulos regenerativos y de microhábitats propicios (Martínez Ramos y García Orth, 2007). La velocidad de la sucesión en los claros antropogénicos depende, entre otros factores, del tamaño del sitio perturbado, de la disponibilidad de propágulos, del grado de conservación de la matriz que rodea al claro y de la competencia entre las especies nativas e introducidas (Martínez-Ramos, 1994). Después de un disturbio natural, el suelo retiene un reservorio de propágulos que representan a los estados sucesionales previos, a través del tiempo distintos grupos de especies asumirán la dominancia en la comunidad. Los disturbios de gran magnitud provocados por el hombre eliminan gran parte de dichos propágulos, por lo que se altera el curso de la sucesión y con ello la composición de la comunidad en el tiempo (Luken, 1990).

### **3.2 Restauración Ecológica**

La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad (SER, 2004). Toma como modelo los procesos de sucesión secundaria y mediante la intervención del ecosistema busca que éste asuma una trayectoria autónoma de reparación (Sánchez, 2005).

La restauración ecológica ha sido definida por diversos autores. La Sociedad Internacional de Restauración Ecológica la definió como el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004). Por otra parte, Cervantes *et al.* (2008) dieron una definición un poco más extensa en la que se refieren a la disciplina como el “proceso de asistencia instrumentado y dirigido por el ser humano para disminuir o mejorar las condiciones de degradación, daño, o destrucción de los ecosistemas, con la finalidad de conducirlos a un estado arbitrariamente escogido –denominado sistema de referencia- y que se considera presenta mejores condiciones

ambientales”. Y añade: “las actividades de restauración surgen por la necesidad de mejorar una condición ambiental que no satisface un conjunto de necesidades y valores humanos”.

Las estrategias de restauración deben de articularse en tres esferas básicas: la ambiental, la social y la económica (Cardona, 2005). Éstas deben de tener un carácter adaptativo y dependerán de las metas del proyecto (Hobbs, 1996). Los objetivos de la restauración pueden ir desde el restablecimiento de los servicios ambientales de suministro, de regulación o culturales, hasta la recuperación de la salud e integridad del ecosistema. Ello dependerá de las condiciones ambientales y de las limitantes y oportunidades socioeconómicas (Cervantes *et al.*, 2008).

Hobbs (1996) enlistó cuatro motivos por los que se puede llevar a cabo un plan de restauración ecológica:

1. Para recuperar sitios gravemente dañados o totalmente destruidos, como es el caso de las minas.
2. Para incrementar la capacidad productiva de las tierras. En este caso, la restauración busca retornar al sistema a un estado sustentable de productividad (Aronson distinguía a esta actividad del proceso de restauración y lo definía como “rehabilitación”).
3. Para incrementar el valor de conservación en sitios protegidos. Esto es relevante en áreas naturales protegidas que han sufrido algún tipo de alteración, por ejemplo, por la introducción de ganado, por la colonización de especies exóticas, por contaminación, o por fragmentación. En este caso, la restauración busca disminuir el impacto de las fuerzas de degradación.
4. Para incrementar los valores de conservación en tierras productivas. Esto responde a la necesidad de incrementar el área de vegetación en regiones donde la pérdida de hábitat y la fragmentación han ocurrido extensamente. Las áreas

naturales protegidas por sí solas no podrían conservar la biodiversidad en el largo plazo. Por ello debe de fomentarse la creación de corredores biológicos que conecten los remanentes de vegetación original e incrementen la conectividad del paisaje (Hobbs, 1996; Pardini *et al.*, 2010).

La restauración es además una de las formas en las que las comunidades locales pueden involucrarse activamente en la conservación, al tiempo de reforzar las prácticas culturales (SER, 2004).

La restauración ecológica es una práctica que puede funcionar como un elemento clave en el manejo sustentable de los ecosistemas. Una visión paisajística contemplaría zonas de restauración destinadas a la conservación y otras destinadas a la producción. En un sitio de restauración destinado a la producción puede trazarse una estrategia que busque recuperar parte de los servicios ecosistémicos, sin que necesariamente se recupere la estructura y composición de la comunidad original; sin embargo, en una restauración cuyo fin último es la conservación se procurará recuperar la biodiversidad, estructura y composición del ecosistema original, además de los servicios ecosistémicos.

De manera general, los programas de restauración deben contemplar las siguientes acciones: a) identificar y controlar el proceso principal de degradación; b) fijar metas realistas y definir indicadores que ayuden a evaluar el proceso; c) desarrollar técnicas que permitan alcanzar los objetivos planteados, e incorporar dichas técnicas en los programas de manejo regionales; y d) monitorear el proceso, aún después de la implementación de las técnicas (Cairns y Heckman, 1996).

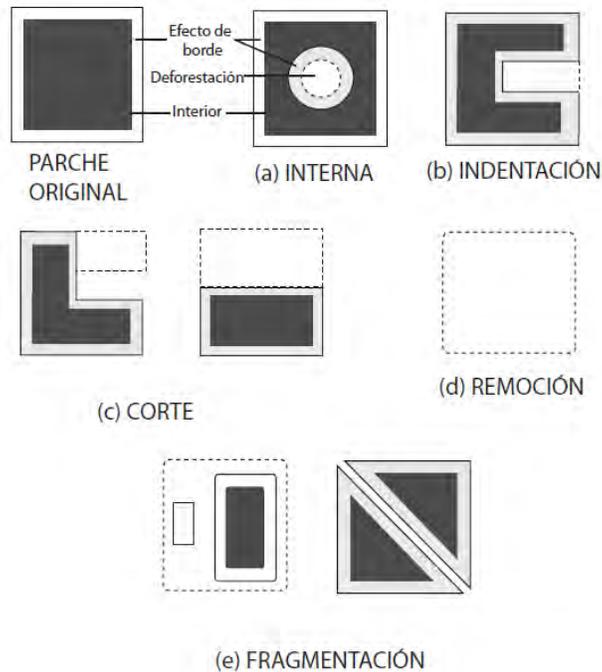
### 3.3 Patrones de deforestación

La deforestación es la pérdida de la vegetación forestal por causas inducidas o naturales (Segob, 2003). Las distintas actividades humanas que se practican en un sitio determinan el tipo, intensidad, y frecuencia de los procesos de deforestación. Se han definido distintos patrones de deforestación en función del efecto que provocan en la dinámica del ecosistema, así como por la forma y tamaño de los fragmentos. El estudio de los patrones de deforestación puede ser de utilidad para definir estrategias de manejo de los remanentes de vegetación (Zipperer, 1993).

El efecto de deforestación sobre el ecosistema remanente depende del tamaño, forma y localización del área que ha sido deforestada. En términos generales, la deforestación disminuye o erosiona la zona núcleo, ya sea por la remoción directa de la vegetación, o por la creación o aumento del efecto de borde que altera la dinámica del ecosistema. El proceso de deforestación se puede clasificar en interior y exterior, entendiendo a la fragmentación *sensu stricto* como un patrón especial. La deforestación interior se refiere a un patrón de deforestación que comienza dentro del parche de vegetación y que progresivamente crece hacia la periferia. Por otro lado, la deforestación externa ocurre cuando se elimina la cubierta vegetal desde la parte externa de los parches (Zipperer, 1993).

El mismo autor identificó tres patrones de deforestación externa: *indentation*, *cropping*, y remoción (Fig.1). El primer proceso crea “penínsulas” de cubierta vegetal y el grado de daño a la zona núcleo dependerá del área talada. A pesar de que hay pérdida de hábitat, las penínsulas creadas pueden servir como corredores para la fauna silvestre y pueden beneficiar a las especies asociadas con las zonas de borde. *Cropping* es el proceso por el que se eliminan las penínsulas de los parches. Este proceso afecta principalmente al movimiento de las especies a través de los parches, aunque no necesariamente influye sobre la zona núcleo de

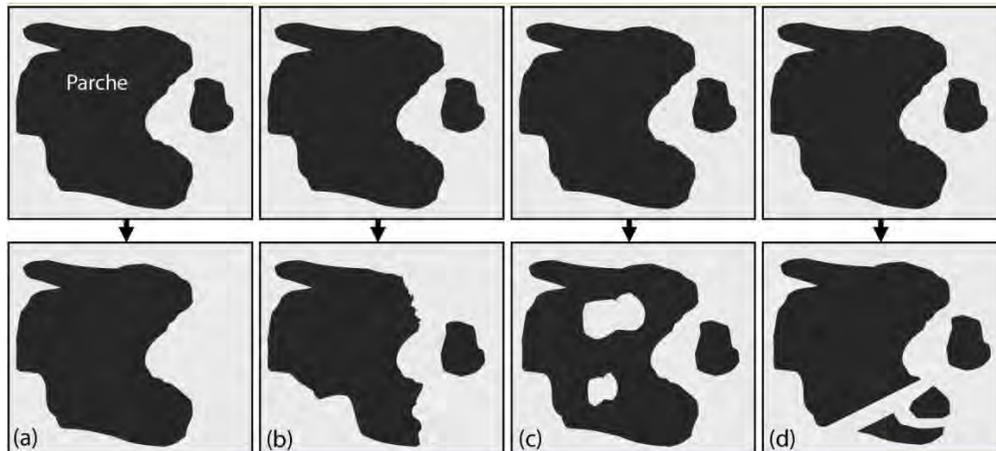
los parches. Por último, la remoción se refiere al proceso en el que se tala por completo un remanente de vegetación.



**Figura 1.** Patrones de deforestación interior y exterior (indentación, corte y remoción). Se muestran los efectos de cada tipo de deforestación sobre el núcleo (negro) y borde del fragmento (gris). Las líneas punteadas representan el área deforestada. Modificado de Zipperer (1993).

Por otro lado, la deforestación pueden clasificarse tres procesos de deforestación externa y un proceso de deforestación interna (Estreguil y Mouton, 2009) (Fig.2):

- a) Desaparición: Se refiere a la pérdida o remoción total de un remanente de vegetación.
- b) Contracción: Es el resultado de la disminución del tamaño de los fragmentos remanentes.
- c) Perforación: Ocurre cuando la deforestación se realiza al interior del bosque, creando “perforaciones” o “agujeros” en el remanente de vegetación.
- d) Fragmentación: La fragmentación *sensu stricto* se refiere a reducción del hábitat en parches más pequeños.



**Figura 2.** Patrones de deforestación: a) desaparición; b) contracción; c) perforación y d) fragmentación. Modificado de Estreguil y Mounton (2009).

Ambos trabajos coinciden en que la deforestación interna, a modo de perforaciones, disminuye severamente el área núcleo de los fragmentos. A este respecto, Riitters y Coulston (2005) señalaron que este tipo de deforestación tiene una relevancia ecológica especial, en comparación con la pérdida del bosque que ocurre en la periferia de los fragmentos, ya que puede llegar a destruir las zonas dónde el ecosistema se encontraba en mejor estado de conservación, al tiempo que crea un nuevo efecto de borde en el interior de los parches. En este trabajo se ha llamado claro antropogénico a los sitios que resultan de la deforestación a modo de perforaciones.

### 3.4 Fragmentación

La fragmentación es un caso especial de deforestación y se refiere al proceso de pérdida en la continuidad de un ecosistema que produce cambios importantes en la estructura de las poblaciones y comunidades, así como cambios en el ambiente físico que afectan su funcionamiento (Saunders *et al.*, 1991). Estreguil y Mouton (2009), la definen en términos más simples como el cambio en la configuración espacial de los remanentes de vegetación, resultado del proceso de deforestación. La fragmentación es entonces un proceso de cambio de los patrones espaciales a través del tiempo que se asocian con la pérdida de bosque. Es considerada una de las mayores amenazas para la conservación de la diversidad biológica y es la primera causa de extinción de las especies (Zipperer, 1993).

El efecto de la fragmentación dependerá en gran medida del tamaño de los nuevos parches. El proceso implica la creación de bordes, cuyo efecto puede propagarse varios cientos de metros hacia el interior del ecosistema remanente (Saunders *et al.*, 1991). La fragmentación también interviene en los procesos ecosistémicos: la luz solar, el dióxido de carbono, la temperatura, el agua y los nutrientes del suelo, son recursos que se requieren para la producción primaria de los ecosistemas terrestres y son modificados drásticamente con la creación de bordes (Herrerías y Benítez-Malvido, 2005).

### **3. OBJETIVOS**

Objetivo general:

Desarrollar un modelo de restauración de claros antropogénicos en la selva tropical húmeda que sea aplicable al municipio de Marqués de Comillas, Chiapas, incluyendo variables ambientales, sociales y económicas.

Objetivos particulares:

1. Evaluar la eficiencia de distintas técnicas para la restauración de claros antropogénicos en la selva tropical húmeda, considerando los cambios en la estructura y composición de la comunidad vegetal arbórea y arbustiva.
2. Evaluar los costos económicos de la aplicación de cada técnica.
3. Analizar el costo de oportunidad de la restauración de los claros antropogénicos destinados a la ganadería.
4. Analizar los actuales instrumentos gubernamentales de subsidios para la restauración de vegetación y su viabilidad en el caso de los claros antropogénicos.
5. Proponer recomendaciones para la restauración de claros antropogénicos.

## **4. REGIÓN DE ESTUDIO**

### **4.1 Marqués de Comillas**

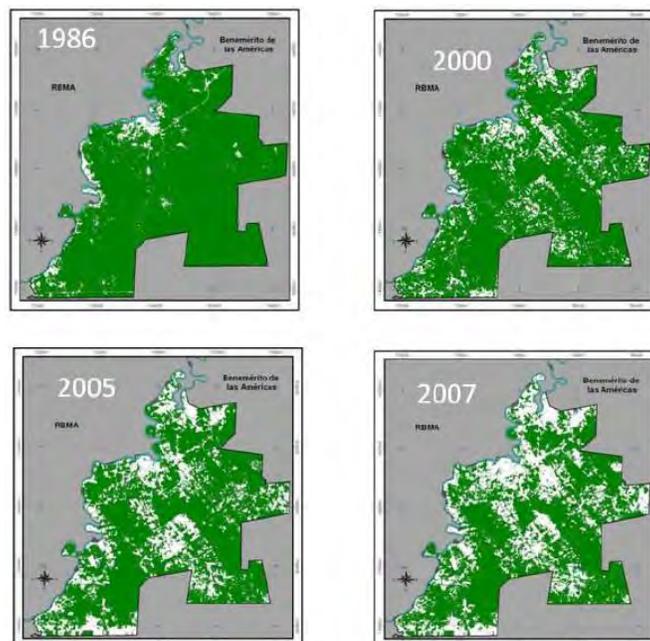
Hasta principios del siglo XX, la mayor parte del territorio conocido como Selva Lacandona se encontraba despoblado. Uno de los primeros procesos de sobreexplotación de los recursos naturales ocurrió con el auge la extracción maderera que tuvo lugar durante toda la mitad del siglo XX (De Vos, 1988). Este proceso impulsó la apertura de caminos y brechas, sentando las bases de la colonización agrícola que ocurría años después (Gaia-Natura Mexicana, 2012).

Los mayores movimientos de inmigración tuvieron lugar en los 70's y 80s. La historia de colonización de la Selva Lacandona ha hecho de este territorio, un espacio de alta diversidad cultural, en la que habitan indígenas lacandones, mestizos provenientes de diferentes regiones del país, indígenas tzeltales, choles, tzotziles y tojolabales que migraron desde las haciendas y fincas aledañas, así como un número importante de refugiados guatemaltecos (Bonfil y Figueroa, 2011).

Particularmente. los movimientos de colonización en el municipio de Marqués de Comillas ocurrieron de manera sustantiva desde principios de los años 70s cuando el Gobierno Federal, a partir de las políticas del Reparto Agrario, impulsó la creación de Nuevos Centros de Población (De Vos, 2002; Gaia-Natura Mexicana, 2012). Las migraciones tuvieron lugar desde otros estados de la República como Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Michoacán y Guerrero, y desde la región Norte de Chiapas (Gaia-Natura Mexicana, 2012). Un fenómeno de inmigración importante es el que ocurrió en 1981 y 1982, en el que aproximadamente 25000 refugiados guatemaltecos cruzaron la frontera. Esto provocó una repentina inflación demográfica (De Vos, 2002). A pesar de que la oleada de inmigraciones ha disminuido en los últimos años-entre 2000 y 2005 se registraron movimientos

poblacionales hacia otras regiones, tanto al interior del país como al extranjero-, la tasa de natalidad es una de las más altas de México (De Vos, 2002; Ruiz, 2011).

El municipio de Marqués de Comillas se caracteriza por una gran diversidad cultural y una historia ejidal relativamente reciente. La mayoría de los primeros pobladores, por ser originarios de otras regiones, carecían de conocimientos sobre el manejo de los recursos naturales de la selva tropical, pues su experiencia se había desarrollado en zonas templadas y en algunos casos con agricultura mecanizada (Ruiz, 2011). A lo largo de los años los ecosistemas de la región se han transformado profundamente y se han perdido grandes superficies de cobertura arbórea original y sus servicios ambientales, mientras que el municipio sigue ocupando los primeros lugares de marginación y pobreza del país (Carabias *et al.*, 2007; Ruiz, 2011) (Fig.3). En 2005 la mayoría de los habitantes de Marqués de Comillas vivía en localidades consideradas de alta y muy alta marginación. Según el Consejo Nacional de Población (2005), el municipio ocupa el lugar número 21 entre los municipios más pobres del estado de Chiapas, y el lugar 153 a nivel nacional (Ruiz, 2011).



**Figura 3.** Pérdida de cobertura forestal en el Municipio de Marqués de Comillas (1986 a 2007). Tomado de: Natura Mexicana, 2009.

En los últimos años algunos ejidos han incursionado en el desarrollo de proyectos productivos con una visión de sustentabilidad, tal es el caso de los centros ecoturísticos, las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), y los proyectos de mejoramiento productivo. Estos proyectos se han implementado como medidas de conservación de los remanentes de selva y como alternativas de restauración de las zonas degradadas. Además, desde el año 2008, el programa ProÁrbol de Pago por Servicios Ambientales (PSA) de la Conafor ha operado en la región (Ruiz, 2011).

#### **4.2 Sitio de estudio**

El estudio se llevó a cabo en un claro antropogénico ubicado en el norte del ejido Boca de Chajul, en el municipio de Marqués de Comillas. Se trata de un terreno de 37 ha que se localiza al interior de una zona de conservación, a una distancia aproximada de 2, 500 m de la población más cercana (coordenadas UTM: 0725254, 1782252 + 3 m). La vegetación del claro antropogénico presenta una fuerte alteración respecto a las condiciones originales del sitio. Predomina un pastizal que llega a sobrepasar el metro de altura, en el que se observan por lo menos dos especies de gramíneas introducidas (posiblemente *Brachiaria decumbens* -pasto alemán- y *Echynocloa polystachya* -pasto chontalpo o señal-), además de algunos individuos de árboles aislados de especies típicas de vegetación secundaria como *Cecropia obtusifolia* (guarumbo) y *Schyzolobium parahyba* (plumillo). Al interior del pastizal se localizan tres arroyos: dos permanentes y uno intermitente. El arroyo de mayor dimensión tiene un cauce aproximado de 4 m de ancho, y se conoce como Arroyo Negro, el cual presenta una franja de 5 m en promedio de vegetación a cada lado de sus márgenes. Al interior del claro antropogénico existe además una superficie de 3.55 ha que corresponde a vegetación secundaria (acahual).

La vegetación que rodea al claro antropogénico consiste en un fragmento de selva tropical húmeda en buen estado de conservación que colinda con los ejidos

Playón de la Gloria y Flor del Marqués. Dicho fragmento, cuya extensión es de aproximadamente 749.3 ha, pertenece a los ejidatarios de Boca de Chajul y desde 2008 se encuentra inscrito en el Programa de Pago por Servicios Ambientales de la Conafor (PSA). Presenta una clara estratificación, con árboles emergentes de más de 50 m de altura; un dosel denso de aproximadamente 30 m de altura; un estrato medio de 20 m; un estrato bajo de 10 m y un sotobosque arbustivo y herbáceo. Dominan especies arbóreas como *Albizia leucocalyx* (guacibán), *Dialium guianense* (guapaque), *Brosimum alicastrum* (ramón), *Schizolobium parahyba* (plumillo), *Ceiba pentandra* (ceiba) y *Cedrela odorata* (cedro), entre otras. Además, subsisten varios individuos de *Swietenia macrophylla* (caoba). En el estrato arbustivo dominan palmas como *Bactris baculifera* (chocho), y se han encontrado individuos del género *Cyathea sp* (helechos arborescentes) (Carabias *et al.*, 2010). En cuanto a las poblaciones de vertebrados, por medio de cámaras trampa se ha detectado la presencia de mamíferos como *Panthera onca* (jaguar), *Leopardus pardalis* (ocelote), *Leopardus weidii* (tigrillo), *Tapirus bairdii* (tapir), *Tayassu tajacu* (pecarí de collar), *Mazama temama* (temazate), *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca), *Conepatus semistriatus* (zorrillo) (León-Pérez *et al.*, 2012).

A nivel regional, el tipo de clima es cálido húmedo. La temperatura media anual es de 25°C, con oscilaciones isotermas. Los registros de precipitación van de 2,500 a 3,500 mm, siendo los meses de mayo a octubre los de mayor precipitación (INE, 2000). Las características de los suelos están determinadas por el tipo de materiales parentales, las particularidades del relieve y las condiciones de las comunidades vegetales (INE, 2000). Hay pocos estudios edafológicos para la región de la Selva Lacandona y la mayoría de ellos se han enfocado a la región de la RBMA. En un estudio realizado por Siebe *et al.* (1991) se describieron los tipos de suelo presentes dentro de la RBMA, donde predominan las formaciones de roca caliza, cuyas laderas se asocian a leptosoles réncicos; las zonas de inundación que forman los meandros del Río Lacantún se asocian a planosoles eútricos; mientras que en lomeríos bajos de lutitas y areniscas se identificaron dos

tipos de suelo: cambisoles estágnico-vérticos, relacionados con el desarrollo de selva mediana abierta; y acrisoles húmicos de pH ácido, donde domina el helecho *Gleichenia sp* (petatilleras). Además, en los sitios planos de la planicie de inundación del Lacatún donde se desarrolla selva alta se identificaron dos tipos de suelo: cambisoles eútrico-estágnicos y luvisoles háplicos. Ambos son suelos desarrollados a partir de depósitos aluviales que presentan una profundidad adecuada para el desarrollo de raíces, y buenas condiciones de aireación y contenido de nutrientes.

## 5. EVALUACIÓN DE TÉCNICAS PARA LA RESTAURACIÓN DE CLAROS ANTROPOGÉNICOS

### 5.1 Introducción

El estudio de la restauración de las selvas tropicales se ha centrado principalmente en el análisis de la sucesión secundaria y en la reversión de los procesos de degradación. Ésta es una actividad que debe remitirse a la dinámica intrínseca del ecosistema, concebido como un mosaico de parches en distintos estados de sucesión, y en constante cambio (Meli, 2003). Sin embargo, en la actualidad la teoría clásica de la regeneración natural de claros resulta insuficiente para el estudio de la sucesión y la restauración de selvas (Martínez-Ramos y García-Orth, 2007). Existe una fuerte necesidad de profundizar en las investigaciones para generar estrategias eficientes que permitan la recuperación de los extensos campos deforestados en los trópicos.

Wyant *et al.* (1995) señalaron la importancia de generar técnicas de restauración que favorezcan la estabilidad física del sitio (restablezcan el flujo de nutrientes); que induzcan el desarrollo del suelo y que faciliten la colonización y el establecimiento de vegetación nativa. Aunado a esto, Román (2011) argumentó que las estrategias de restauración deben de ser planeadas dentro de un marco conceptual que involucre aspectos ecológicos, socioeconómicos y culturales. Todas las acciones de restauración tienen costos asociados, por lo que los estudios deberían de apuntar hacia el desarrollo de técnicas efectivas cuya aplicación represente el menor costo posible.

Román (2011) hizo una revisión sobre las diferentes estrategias que se han propuesto a nivel mundial para favorecer el restablecimiento de vegetación arbórea en pastizales ganaderos abandonados y enlistó cuatro técnicas básicas: 1) la siembra directa de semillas; 2) el establecimiento de estacas vegetativas; 3) el uso de ganado bovino como dispersor de semillas; y 4) el trasplante de árboles

producidos en vivero. El trasplante resultó ser una de las técnicas más efectivas en favorecer la supervivencia y crecimiento de plántulas en los sitios degradados. En este sentido, Gourlet-Fleury *et al.* (2005) señalaron que muchos de los trabajos de reintroducción de especies arbóreas, siendo una de las técnicas de restauración más recurridas en regiones tropicales, están basados en la idea de reforestar con individuos de diferentes grupos funcionales, de modo que se acelere el proceso de sucesión.

Le *et al.* (2012) identificaron algunos factores que pueden influir en el éxito de la reforestación en las regiones tropicales, entre los que destacan:

1. La elección de la especie adecuada para cada sitio, de modo que se favorezca la supervivencia y el crecimiento de las especies introducidas.
2. La preparación del sitio, que incluye la remoción de las malezas y pastos, la fertilización, y en ocasiones la colocación de cercos para el ganado (esto es de particular importancia, pues la competencia con pastos exóticos es una de las barreras principales para el establecimiento de vegetación nativa en los potreros abandonados) (Román, 2011).
3. La producción de plantas en vivero que cumplan con los requerimiento básicos para soportar las condiciones agrestes del campo.
4. La calidad de las semillas y plántulas, ya que sus características fisiológicas determinarán en gran medida el éxito del establecimiento y la tasa de crecimiento de los árboles.
5. La temporada en la que se realiza la plantación, ya que puede influir en la supervivencia de los brinzales. La mayoría de las jornadas de restauración se practican durante la temporada de lluvias, pero esto puede cambiar si los trabajos

de restauración se realizan en zonas riparias donde existe riesgo de inundación (Meli y Carrasco-Carballido, 2011).

6. La calidad de sitio, entendida como la suma de las condiciones climáticas, geológicas y edáficas que influyen en el crecimiento de los árboles en una localidad determinada. La calidad de sitio determina, entre otras cosas, el tipo de especies que se pueden reintroducir en cada lugar (Le *et al.*, 2012).

En particular, en la Selva Lacandona se han realizado diversas investigaciones enfocadas a la recuperación de la vegetación nativa en parcelas agropecuarias abandonadas. Hasta la fecha, los estudios se han enfocado en evaluar: 1) el efecto de la eliminación de pastos y malezas para estimular el crecimiento de plántulas introducidas y acelerar la regeneración natural; 2) el papel que juegan los árboles aislados en la aceleración de la sucesión; 3) el uso de estacas, tradicionalmente utilizadas para construir cercos vivos, como herramienta para la restauración; y 4) las técnicas para erradicar el helecho *Pteridium aquilinum* (petatillera) en las parcelas que han sido invadidas (Martínez-Ramos *et al.*, 2012).

Un estudio realizado en Marqués de Comillas mostró que la remoción de vegetación herbácea aumentó la supervivencia y crecimiento de cinco especies arbóreas trasplantadas (Rodríguez-Velázquez, 2005); por su parte, Martínez-Ramos y García-Orth (2012) demostraron que la eliminación de pastos aumentó la riqueza de especies de una comunidad secundaria de plantas leñosas.

El presente capítulo tiene por objetivo evaluar la eficiencia de tres técnicas para la restauración de claros antropogénicos, en la región de Marqués de Comillas. Aunado a esto, se calcularon los costos económicos de la aplicación de cada técnica, a fin de encontrar la estrategia de restauración que sea eficiente en términos ambientales y que represente los menores costos económicos.

## **5.2 Método**

### **5.2.1 Caracterización del sitio de estudio**

#### *Reconstrucción de la historia de uso*

Se reconstruyó la historia de uso mediante una entrevista abierta con el propietario de la tierra. La entrevista se realizó en campo, mientras se recorría la parcela de estudio. Se identificaron los sitios donde ocurrió un cambio en la vegetación debido al manejo y éstos se geoposicionaron con un GPS Garmin 60CSX. La información recabada consistió principalmente en el año en que se deforestó cada área, las especies de pastos introducidos y el tiempo de abandono. Adicionalmente se anotaron algunas observaciones del ejidatario en relación a la fertilidad de la tierra y el tipo de especies arbóreas que podrían sobrevivir en cada área. Se construyó un mapa con el programa ArcGis 9.3.

#### *Descripción general del tipo de vegetación y relieve*

En un primer recorrido de campo se hizo una caracterización general del área, se reconocieron y registraron los distintos tipos de vegetación presentes, así como los cambios en el relieve. Con la información recabada se definieron cinco unidades en la parcela de 37 ha.

#### *Descripción edafológica general del terreno*

Se hizo un primer estudio para reconocer el área. Para esto, se trazaron cuatro transectos, de modo que cortaran a lo largo y ancho del terreno. En cada transecto, se efectuaron barrenaciones sucesivas, aproximadamente cada 100 m. Se tomaron muestras de suelo a 20, 50 y 100 cm de profundidad, y se registró el pH, color y textura al tacto de cada muestra. Esto permitió hacer una aproximación inicial.

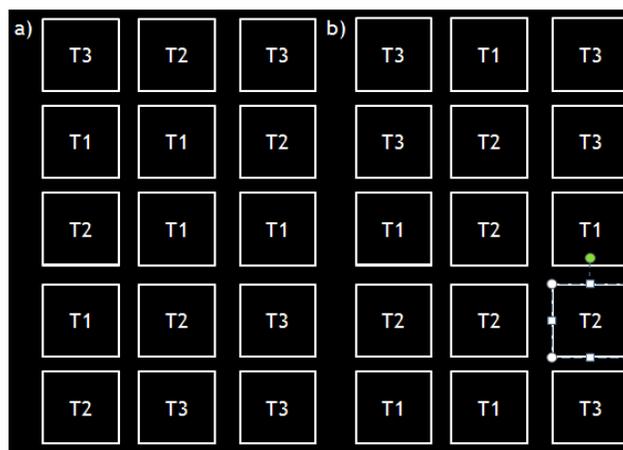
### Perfiles de suelo

Posteriormente se describieron tres perfiles en las unidades donde se colocaron las parcelas experimentales. La descripción del perfil se basó en la metodología propuesta por Siebe *et al.* (1996).

### Análisis de la composición y estructura de la vegetación arbórea y arbustiva

Se eligieron dos zonas experimentales en la parcela de estudio, que presentaron características típicas de los sitios degradados en el municipio. Para esto se tomó en cuenta la información generada en la caracterización preliminar, misma que consistió en la descripción general del tipo de vegetación y relieve, la historia de uso y el suelo del claro antropogénico.

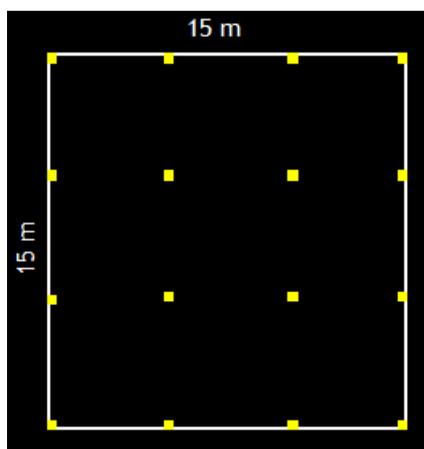
Se colocaron 15 parcelas experimentales de 15 m x 15 m (225 m<sup>2</sup>), en cada zona. Los cuadros se separaron entre sí con una distancia de 20 m en la zona 1, o bien, de 10 m en la zona 2. Esto obedece a la diferencia de tamaño de cada unidad de estudio. A cada cuadro se le asignó un tratamiento de manera aleatoria, de modo que en cada zona se cuenta con tres tratamientos distintos con cinco réplicas cada uno (Fig.4).



**Figura 4.** Diagrama que muestra la disposición de los tratamientos experimentales en las dos zonas: a) Zona 1; b) Zona 2.

A continuación se describe cada tratamiento:

- Tratamiento 1 (control). Sin intervención.
- Tratamiento 2. Con remoción de la vegetación herbácea y arbustiva que a la madurez no alcanza una altura mayor a 2 m.
- Tratamiento 3. Con remoción de la vegetación herbácea y arbustiva que a la madurez no alcanza una altura mayor a 2 m; además de la introducción de 16 árboles de cuatro especies (cuatro individuos por especie con una separación de 5 m entre sí). Se procuró no colocar individuos de la misma especie en sitios contiguos (Fig.5). Las plantas se marcaron con chapas de estireno para registrar la supervivencia de modo individual, y se repusieron en caso de mortandad, entre septiembre y noviembre de 2012. Todas las plantas se produjeron en un vivero local, con semillas recolectadas en la región. Antes de la plantación, los individuos se sometieron a un proceso de aclimatación (fortalecimiento) y de selección (Meli y Carrasco-Carballido, 2011).



**Figura 5.** En el tratamiento 3 se introdujo un árbol cada cinco metros, de cuatro especies distintas. Se plantaron 16 individuos en cada cuadro. N= 10 individuos.

En la Zona 1, se introdujeron especies tolerantes a condiciones estresantes de alta temperatura y baja humedad: *Schyzolobium parahyba* (plumillo), *Brosimum alicastrum* (ramón), *Cojoba arbórea* (frijolillo) y *Castilla elástica* (hule), mientras que en la Zona 2 se trasplantaron especies tolerantes a sitios inundables: *Ficus cotinifolia* (amate), *Castilla elástica* (hule), *Inga vera* (guatope) y *Albizia leucocalix* (guasibán). En todos los casos, se buscaron especies de rápido crecimiento y con la capacidad de atraer dispersores.

### *Muestreo de la composición y estructura de la vegetación arbórea y arbustiva*

Se hicieron dos muestreos de árboles y arbustos de coberturas mayores a 1 m<sup>2</sup>, dentro de todas las parcelas experimentales. Se registró la altura, el diámetro mayor y el diámetro menor de la copa de cada individuo; y se tomaron muestras de herbario con el fin de identificar a las especies. Además, se registró la cobertura en porcentaje de las gramíneas presentes en el tratamiento 1. Los muestreos se realizaron en septiembre de 2011 y transcurrido un año, en septiembre de 2012. Las muestras colectadas fueron llevadas al Herbario Nacional MEXU del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México con el botánico Esteban Martínez Ramos para su identificación.

Los datos recabados se utilizaron para comparar la estructura y composición de la comunidad de árboles y arbustos entre zonas experimentales, y entre tratamientos a través del tiempo.

### *Similitud*

Para comparar la similitud entre zonas de muestreo se utilizó el índice Sorensen (IS):

$$IS = \frac{2C}{A + B} * 100 ;$$

dónde A= número de especies encontradas en la localidad 1;

B= número de especies encontradas en la localidad 2; y

C= número de especies comunes a ambas localidades

## Estructura

La estructura de la comunidad se comparó mediante el índice de valor de importancia (IVI) de cada especie. Dicho índice se calcula mediante la suma de tres parámetros expresados en porcentaje: la frecuencia relativa ( $F_R$ ), la densidad relativa ( $D_R$ ) y la cobertura relativa ( $C_R$ ) de cada especie, de modo que el VI máximo posible es 300:

$$VI = F_R + D_R + C_R$$

La frecuencia absoluta ( $F_A$ ) de cada especie se obtuvo dividiendo el número de cuadros en el que aparece la especie ( $NC_{spj}$ ) entre el total de cuadros muestreados ( $N_C$ ):

$$F_{Aj} = \frac{NC_{spj}}{N_C}; \quad \text{dónde } 1 \leq j \leq n$$

La frecuencia relativa de cada especie se obtuvo dividiendo su  $F_A$  entre la suma de todas las frecuencias relativas:

$$F_{Rj} = \frac{F_{Aj}}{\sum_{i=1}^n F_{Ai}} * 100; \quad \text{dónde } 1 \leq j \leq n$$

La densidad absoluta ( $D_A$ ) de cada especie se calculó dividiendo el número de individuos de dicha especie ( $N_{spj}$ ) entre el área muestreada ( $AM$ ) expresada en  $m^2$ :

$$D_{Aj} = \frac{N_{spj}}{AM}; \quad \text{dónde } 1 \leq j \leq n$$

La densidad relativa de cada especie se obtuvo dividiendo su  $D_A$  entre la suma de todas las densidades relativas:

$$D_{Rj} = \frac{D_{Aj}}{\sum_{i=1}^n D_{Ai}} * 100; \quad \text{dónde } 1 \leq j \leq n$$

La cobertura se determinó mediante el método del diámetro-copa (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). Se utilizó un flexómetro para medir la distancia entre un punto del perímetro de la copa hasta un punto contrario, de modo que la cinta métrica pasara forzosamente por el centro ( $D_1$ ). Debido a que las copas no presentan una circunferencia perfecta, se tomó una segunda medición ( $D_2$ ), perpendicular a la primera:

$$C_{ij} = \left( \frac{D_{1i} + D_{2i}}{4} \right)^2 * \pi; \quad \text{dónde } 1 \leq j \leq n$$

$C_{ij}$  representa la cobertura del individuo  $i$ -ésimo de la especie  $j$ -ésima;

$D_{1i}$  se refiere al diámetro 1 del individuo  $i$ -ésimo; y

$D_{2i}$  se refiere al diámetro 2 del individuo  $i$ -ésimo de la especie  $j$ -ésima

De esta manera, la cobertura absoluta de cada especie se expresó como la suma del área que ocupan todas las copas de los individuos de dicha especie:

$$C_{Aj} = \sum_{i=1}^n C_{ij}; \quad \text{dónde } 1 \leq j \leq n$$

La cobertura relativa de cada especie se obtuvo dividiendo su  $C_R$  entre la suma de todas las coberturas relativas:

$$C_{Rj} = \frac{C_{Aj}}{\sum_{i=1}^n C_{Ai}} * 100; \quad \text{dónde } 1 \leq j \leq n$$

*Análisis del efecto de los tratamientos sobre la cobertura arbórea*

El análisis estadístico se realizó mediante un caso especial de ANOVA que considera al diseño experimental como un arreglo de bloques al azar (Potvin, 2001). En este diseño, las parcelas experimentales se agruparon en dos unidades distintas, buscando reducir la heterogeneidad ambiental entre los tratamientos ubicados en una misma unidad (bloques). Se realizó la prueba de Tuckey como análisis *PostHoc* de los datos.

#### *Análisis de la supervivencia de las especies introducidas*

Con la finalidad de determinar el porcentaje de supervivencia de cada especie se hizo un seguimiento mensual de los individuos introducidos. La primera medición se hizo en septiembre de 2011, el día en que se realizó el trasplante, y la última en septiembre de 2012 (se tomaron doce datos por planta introducida). El porcentaje de supervivencia se calculó considerando el número inicial ( $n= 20$  plantas/especie) y el número final de plantas vivas.

#### *Evaluación de los costos económicos de la aplicación de distintas técnicas de restauración de claros antropogénicos*

Con la finalidad de conocer el costo de cada técnica, se registraron todos los gastos derivados de su aplicación durante el periodo de estudio. Los gastos incluyeron las labores en el campo (limpieza, trasplante, y mantenimiento), expresadas en jornales de trabajo, así como la obtención y transporte de plantas. Finalmente, se estimó el costo por hectárea de cada tratamiento en un periodo de cinco años.

Para obtener el costo de la producción de plantas, se compararon los precios en un vivero comercial local, con los gastos de producción en un vivero rústico. Para conocer el costo de la producción de planta en un vivero rústico, se hizo el seguimiento de la producción de 7,000 plantas en un vivero de pequeñas dimensiones e infraestructura mínima (con capacidad para producir hasta 12,000

plantas al año). Los costos de producción están generados por la compra de insumos, y por los jornales de trabajo empleados en la colecta, preparación y siembra de semillas; la colecta y preparación de sustrato; el riego y cuidado de las plantas; así como en las actividades de mantenimiento del vivero (colocación de mallasombra, mantenimiento de las mesas de trabajo y del sistema de riego). Se contabilizaron \$100.00 por cada jornal (costo local promedio reportado por los ejidatarios). Para los insumos, se reportan los precios promedio de seis comercios ubicados en Comitán de Domínguez, Benemérito de las Américas y Zamora Pico de Oro.

*Costo fijo del vivero:*

El costo fijo (CFT) se calculó mediante la suma del costo de construcción del vivero y el costo de su mantenimiento; está expresado mediante la siguiente ecuación:

$$CFT [X, T, ro, m] = X + (\sum_{t=1}^T (ro + m) * X) \cdot \frac{1}{(1+r)^t}$$

*Dónde X= costo de construcción del vivero;*

*T= tiempo de operación del vivero;*

*ro = valor del dinero para el campesino (costo de oportunidad);*

*m = costo de mantenimiento (como proporción del costo del vivero); y*

*Costo fijo unitario de la producción:*

El costo fijo unitario (CFU) se calculó dividiendo el CFT entre la producción del vivero en el tiempo:

$$CFU[X, T, ro, m, P] = \frac{CFT[X, T, ro, m]}{T * P}$$

*Dónde P= producción del vivero*

*Costo variable de la producción:*

El costo variable de la producción (CVU) se calculó de la siguiente manera:

$$CVU[V, T, P] = \frac{(V * T)}{(P * T)}$$

*Dónde V= costo variable anual de la producción;*

Finalmente, el costo total unitario (CTU) se calculó mediante la suma del CFU y el CVU:

$$CTU[X, V, T, ro, m, P] = CFU[X, T, ro, m, P] + CVU[V, T, P]$$

## 5.3 Resultados

### 5.3.1 Caracterización del sitio de estudio

#### *Historia de uso*

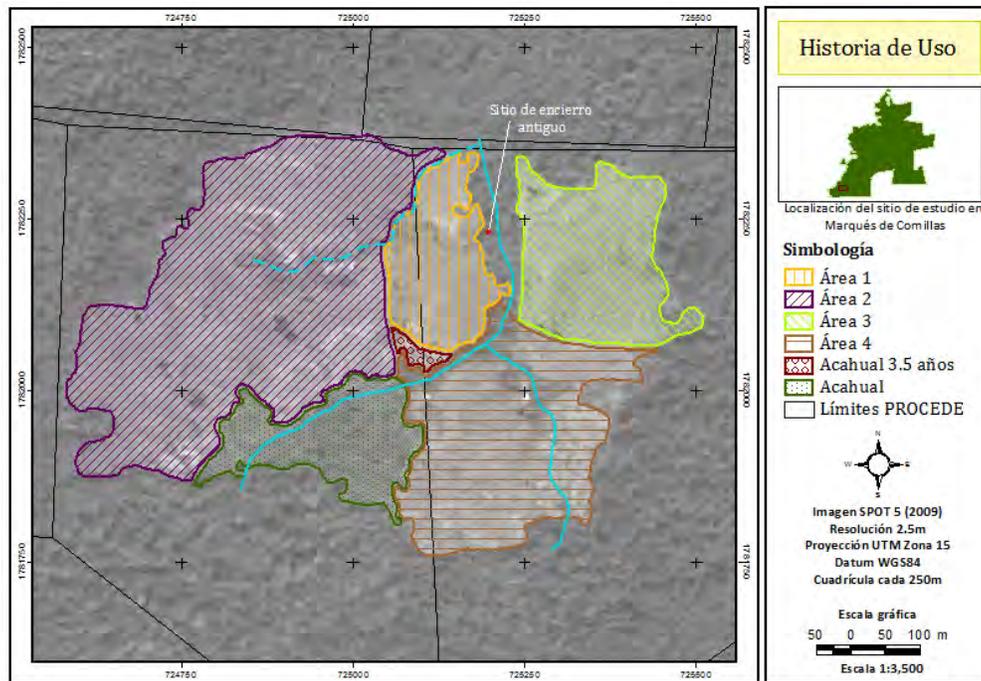
La deforestación del terreno comenzó hace 14 años. Durante los primeros dos años la parcela se utilizó para sembrar maíz y posteriormente fue destinada a la ganadería. Una vez abandonada la actividad agrícola, los propietarios eliminaron constantemente y de manera manual, las hierbas y arbustos para fomentar el desarrollo de gramíneas, además de que introdujeron diferentes especies de pastos exóticos. En el potrero se manejó un promedio de 55 cabezas de ganado por 12 años (1.5 cabezas/ha).

El establecimiento de las 37 ha de potrero se hizo en varias etapas y la velocidad del cambio de suelo dependió en gran medida de la capacidad económica de los productores para adquirir insumos y pagar mano de obra, mientras que la selección de zonas de trabajo obedeció principalmente a la accesibilidad de cada zona, dada por la cercanía al camino. Los propietarios introdujeron dos especies de pastos exóticos: *Brachiaria decumbens* y *Echinochloa polystchia* para los sitios más inundables.

En enero de 2010, un jaguar (*Panthera onca*) comenzó a cazar al ganado, por lo que los propietarios decidieron abandonar el potrero y destinarlo a la restauración, ante la expectativa de contar con un beneficio económico.

Se definieron cuatro áreas en función de la historia de uso de la parcela (Fig.5). El área 1 se desmontó en 1996; en ella se introdujo *B. decumbens* (pasto chontalpo); tras un tiempo, el propietario de la parcela observó la colonización del área por otra especie de gramínea. El área 2 también se desmontó en 1996, y al igual que en el área 1 se introdujo *B. decumbens*. Ambas áreas se diferencian entre sí por

que el área 2 tiene un año más de abandono respecto al resto de la parcela. El área 3 se desmontó en 1997; el propietario la considera un sitio de suelos profundos y fértiles, en ella también se estableció *B. decumbens*. El área 4 se deforestó en 1996 y por sus características de zona inundable se introdujo *E. polystchia* (pasto alemán).

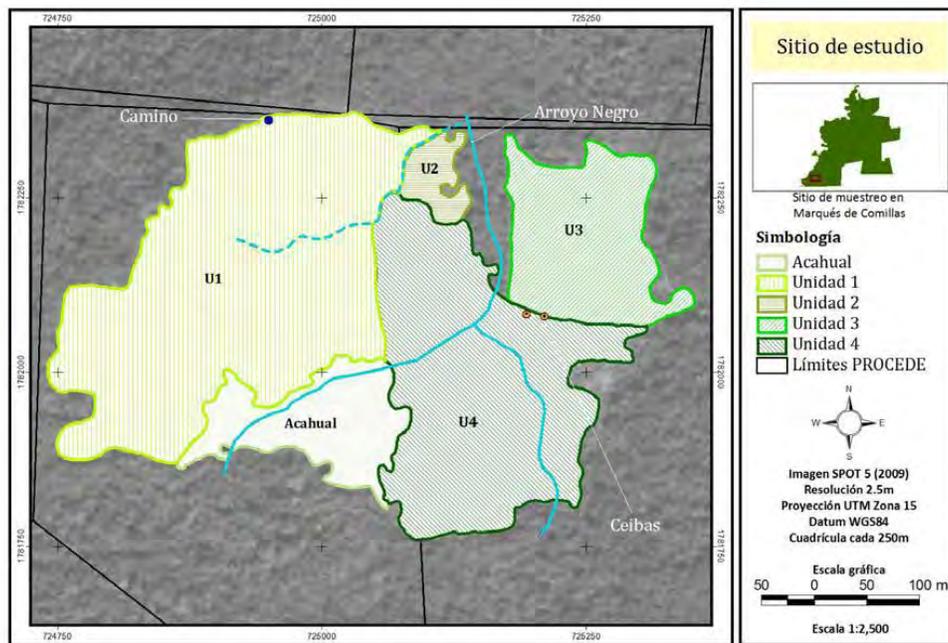


**Figura 5.** Historia de uso del sitio de estudio. Se muestra la división de la parcela en cuatro áreas.

### *Tipo de vegetación y relieve*

En función de las comunidades vegetales observadas, de la forma del relieve y de la historia de uso, se identificaron cuatro unidades en el sitio de estudio (Fig.6). La unidad 1 tiene una dimensión de 16.37 ha y se localiza en una pendiente ligeramente inclinada ( $3^\circ$ ); en ella dominan pastos introducidos y se observan algunas ciperáceas, además de pocos árboles característicos de vegetación secundaria como *Schyzolobium parahyba* (plumillo) y *Byrsonima crassifolia* (nanche). La unidad 2 tiene una dimensión de 0.84 ha; corresponde a una zona inundable donde predominan las ciperáceas; se observan algunos arbustos típicos

de vegetación secundaria. La unidad 3 tiene una dimensión de 5.1 ha; es un área plana que presenta dos estratos de vegetación bien diferenciados: gramíneas de aproximadamente 30 cm de altura y una población considerable de árboles y arbustos de acahual que no sobrepasan los 3 m de altura. La unidad 4 tiene una dimensión de 11.09 ha; es un terreno plano, con alta densidad de ciperáceas, dónde se observan arbustos y algunos árboles típicos de acahual.



**Figura 6.** El sitio de estudio se dividió en cuatro unidades distintas, en función de la comunidad vegetal presente y de la forma del relieve.

### *Descripción de perfiles de suelo*

En la unidad 1 se describieron dos perfiles, uno de 73 cm de profundidad en un sitio plano-convexo y uno de 50 cm en un sitio plano, ambos localizados en la parte baja de un lomerío kárstico (anexo 1).

El perfil 1 (coordenadas UTM: 0724785, 1782084  $\pm$ 5 m) corresponde a un Cambisol estagnico. Presenta profundidad fisiológica mediana, con drenaje deficiente, y coloración distintiva de cada horizonte: los horizontes A muestran colores pardos, mientras que los horizontes B tienen un patrón de coloración estagnico. La pedregosidad limita el desarrollo de raíces a profundidad. Los horizontes suprayacentes presentan una estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos; con pocos poros finos; a diferencia de los horizontes subyacentes que presentan un menor desarrollo de estructura. La densidad de la raíces es muy alta en el primer horizonte, y alta en el segundo; comienza a bajar a partir del tercer horizonte, donde se observa que el drenaje es ineficiente, la textura se vuelve más arcillosa y hay evidencias de óxido-reducción de hierro (anexo 1).

La disponibilidad de nutrimentos es mediana. Los datos indican que la vegetación está limitada principalmente por la manera en la que el perfil administra el agua, que conlleva a una importante falta de aireación. Las condiciones de drenaje son deficientes, especialmente en los horizontes B. Esta característica, aunada a la textura más arcillosa y a la baja capacidad de aireación limita el desarrollo de raíces a profundidades mayores a 24cm. Las características del suelo muestran que en los primeros dos horizontes el agua puede drenar sin dificultad, mientras que el drenaje se vuelve deficiente en los horizontes subyacentes, esto limita el establecimiento de vegetación, ya que disminuye la capacidad de aireación.

El perfil 2 (coordenadas UTM: 0724676, 1782083  $\pm$ 4 m) se definió como un Cambisol háplico (dístrico, límico) (anexo 1). Presenta una profundidad fisiológica media, con condiciones de drenaje deficientes. La coloración de los horizontes A es parda, mientras que en los horizontes B se observa un patrón estágnico. A diferencia del perfil 1, éste presenta un horizonte Ap de coloración pardo grisáceo muy oscuro, de 8 cm de profundidad. Debido a la presencia de tocones quemados, sugerimos que las cenizas tienen origen en las quemas para el manejo agropecuario. A partir de los 20 cm de profundidad hay una pedregosidad muy alta que limita el desarrollo de raíces. La estructura es subangular en bloques, moderada, fina, que rompe en bloques subangulares finos, con poros comunes vesiculares e intersticiales (anexo 1).

El sitio presenta condiciones deficientes de drenaje y un problema de aireación importante. Uno de los factores limitantes para el desarrollo de la vegetación es la alta pedregosidad (capacidad de campo). A pesar de la baja disponibilidad de nutrientes, parece que el sitio es un poco más propicio para el desarrollo de la vegetación, en comparación al perfil 1, gracias a la presencia de cenizas.

El perfil 3 se localiza en la unidad 3, en una superficie plana convexa, a 30 m del Arroyo Negro (coordenadas UTM: 0725322, 1782231  $\pm$  4 m) y corresponde a un Gleysol mólico (eútrico) (anexo 1). Presenta una profundidad fisiológica mediana y drenaje deficiente. La coloración en el primer horizonte es negro parduzco, lo que contrasta con los horizontes subyacentes, de color pardo amarillo grisáceo que recuerda los patrones gleycos. Los horizontes A presentan estructura subangular en bloques medianos que rompen en bloques subangulares finos y muy finos, mientras que los horizontes B tienen una estructura angular en bloques mediana que rompe en fina. Los poros son comunes, vesiculares e intersticiales. Destaca además, la presencia frecuente de concreciones de óxido de hierro, de tamaño grande y forma irregular. Se observa la ocurrencia de un proceso de óxido-reducción a través del patrón de color estágnico.

La principal limitante para el desarrollo de vegetación es la baja aireación que resulta en una profundidad fisiológica limitada. Las características del suelo indican la continua saturación de agua. Se sugiere que el establecimiento de vegetación se ve fuertemente limitado por las condiciones de anoxia y el drenaje deficiente, que resultan en una profundidad de desarrollo de raíces baja. Así mismo, la cantidad de bases intercambiables es baja, así como la disponibilidad de nitrógeno y fósforo, lo que representa una limitante para el desarrollo de las plantas. Estas características podrían relacionarse con el reducido establecimiento de vegetación por regeneración natural, si se le compara con la unidad 1.

La interpretación edafocológica indica que en todos los casos, la principal limitante para el establecimiento y desarrollo de vegetación es la falta de aireación en el suelo, lo que limita el desarrollo de raíces. Este problema está acentuado en la unidad 3.

### 5.3.2 Análisis del cambio en la composición y estructura de la vegetación arbórea y arbustiva

#### *Descripción de las zonas experimentales*

- Composición Florística

En el muestreo realizado en septiembre de 2011 se encontraron 33 especies de árboles y arbustos que pertenecen a 26 familias; 27 en la zona 1 y 20 en la zona 2; 14 especies son comunes a ambas zonas.

Las 27 especies registradas en la zona 1 pertenecen a 20 familias. Dieciocho familias estuvieron representadas por una sola especie. La familia Fabaceae tuvo la mayor riqueza específica, con cuatro especies, seguida por la familia Myrtaceae

con dos especies. Tres morfoespecies aún no han sido identificadas. El total de individuos registrados fue de 505. La familia mejor representada por número de individuos fue Asteraceae, con 139 registros, a la que siguió Myrtaceae con 83. Sapindaceae, Malastomataceae, Hypericaceae y Annonaceae tuvieron 64, 51, 38 y 35 individuos respectivamente. Tres familias (Boraginacea, Burseraceae y Lauraceae) sólo tuvieron un individuo.

Por su parte, las 20 especies registradas en la zona 2 pertenecen a 18 familias distintas. Seis de ellas sólo aparecen en esta zona. La familias Fabaceae y Asteraceae tuvieron dos especies, mientras que las otras 18 familias estuvieron representadas por un solo individuo (anexo 2). Una morfoespecie no ha sido identificada. La abundancia fue mucho menor que la registrada en la zona 1, con únicamente 133 individuos. La familia mejor representada por número de individuos fue Hypericaceae. A ésta siguieron Asteraceae con 24, Annonaceae con 21, Flacourtiaceae con 13 y Melastomataceae con 10 individuos. Cuatro familias estuvieron representadas únicamente por un individuo.

El índice de similitud de Sorensen fue de 59.57, lo que indica una diferencia considerable en cuanto a la composición de especies entre ambas zonas. Únicamente se registraron 14 especies comunes, pertenecientes a 12 familias.

- Estructura de la vegetación (densidad, frecuencia y cobertura)

Se registraron 505 individuos en la zona experimental 1 y 133 individuos en la zona experimental 2.

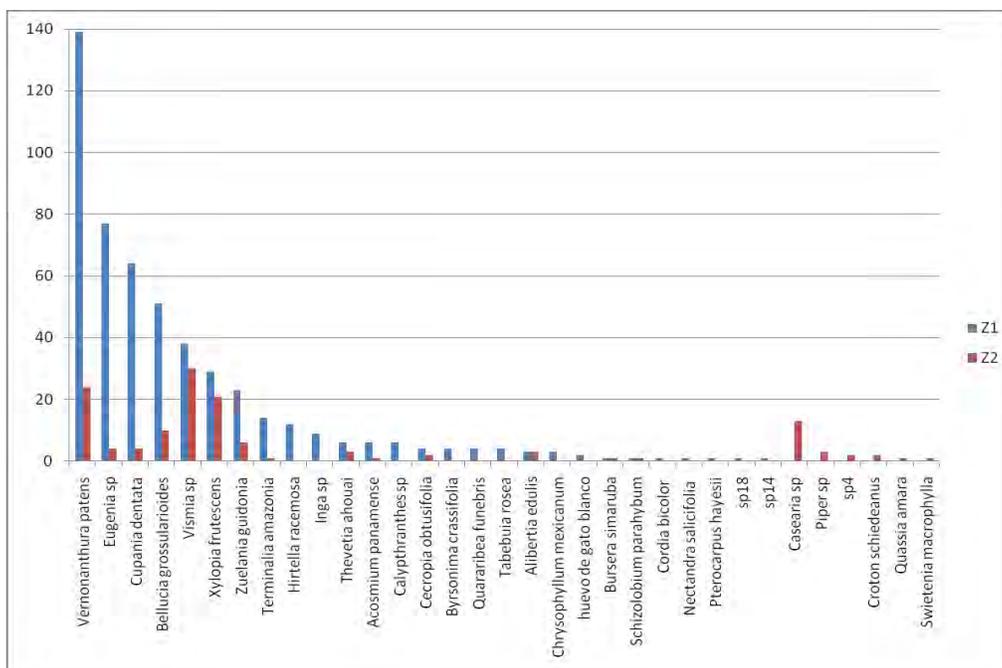
La densidad de la zona experimental 1 fue de 1,496 individuos/ha, mientras que en la zona experimental 2 fue de 394 individuos/ha.

Las especies con mayor densidad y frecuencia fueron distintas en ambas zonas. La más abundante en la zona experimental 1 fue *Vernonanthura patens*, con 139

individuos, seguida de *Eugenia* sp con 77, *Cupania dentata* con 64, *Bellucia grossularioides* con 51 y *Vismia* sp con 38 registros (Fig.7). Las especies *Bellucia grossularioides*, *Eugenia* sp y *Vismia* sp también aparecen entre los valores más altos de cobertura. Sin embargo, *Inga* sp es la cuarta especie con mayor cobertura, aunque sus valores de densidad y frecuencia son bajos. Esto nos indica la presencia de pocos individuos de *Inga* sp aislados y de gran tamaño. Por otro lado, siete de las 27 especies registradas sólo estuvieron presentes en un cuadro, mientras que sólo *Cupania dentata* se registró en todos los cuadros.

Las especies más abundantes de la zona experimental 2 fueron *Vismia* sp, *Vernonanthura patens*, *Xylopia frutescens*, *Casearia* sp y *Bellucia grossularioides* con 30, 24, 21, 13 y 10 individuos respectivamente. *Vernonanthura patens*, *Bellucia grossularioides* y *Vismia* sp aparecen entre las especies más abundantes de ambas zonas. Mientras que *Casearia* sp, teniendo una de las abundancias más altas de la zona 2, no tuvo registros en la zona 1 (figura 5).

En la zona 2, las especies con mayor densidad y frecuencia relativa fueron *Vismia* sp, *Vernonanthura patens*, *Xylopia frutescens*, *Casearia* sp y *Bellucia grossularioides* y *Zuelania guidonia*. Todas ellas aparecen como las especies con mayor cobertura absoluta, con excepción de *Bellucia grossularioides* que registró una cobertura baja en comparación con sus valores de densidad y frecuencia, lo que indica la presencia constante de individuos de tamaños pequeños. Nueve de las 20 especies registradas sólo aparecieron en un cuadro, mientras que únicamente *Vernonanthura patens*, *Casearia* sp y *Xylopia frutescens* se censaron en la mitad o más cuadros de muestreo.

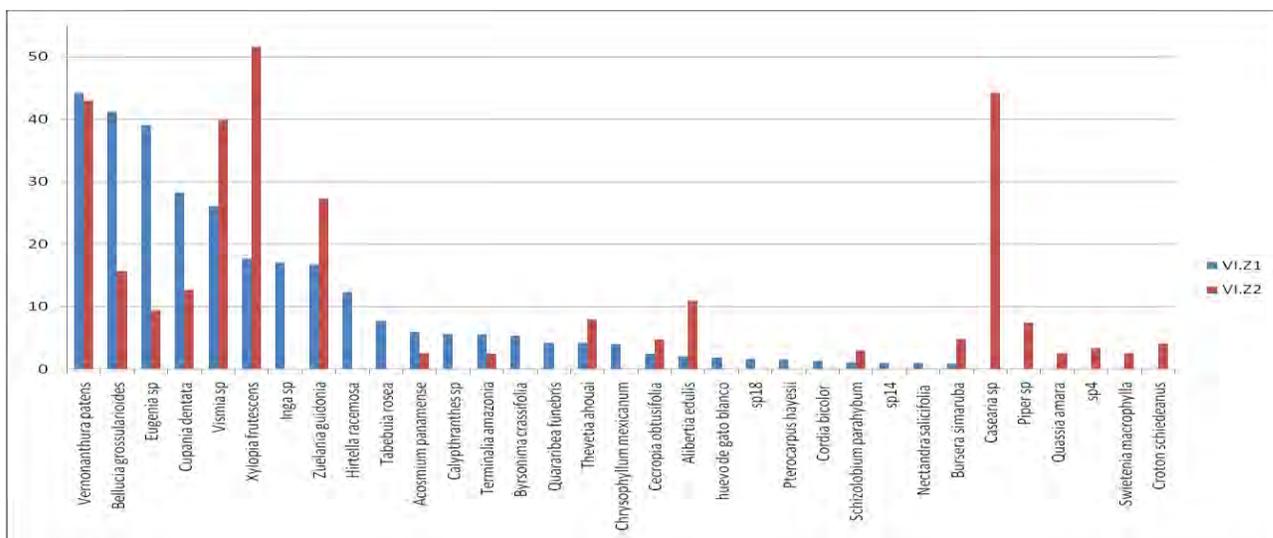


**Figura 7.** Abundancia de las especies registradas en la zona experimental 1 y 2 durante septiembre de 2011

- Valor de Importancia Relativo

Se calculó el valor de importancia relativo para las 33 especies registradas durante el primer muestreo, tanto de la zona 1 como de la zona 2 (figura 8). Las cinco especies más representativas de zona experimental 1 fueron *Vernonathura patens* (VI= 44.22), *Bellucia grossularioides* (VI= 41.21), *Eugenia* sp (VI= 39.00), *Cupania dentata* (VI= 28.23), y *Vismia* sp (VI= 26.08). El resto de las especies mostraron valores de importancia menores a 18 (tabla 1).

Por otro lado, las especies más representativas de la zona experimental 2 fueron *Xylopia frutescens* (VI= 51.58), *Casearia* sp (VI=44.2), *Vernonathura patens* (VI=42.93), *Vismia* sp (VI= 39.86) y *Zuelania guidonia* (VI=27.28; tabla 1).



**Figura 8.** Valor de importancia de las especies registradas en la zona experimental 1 y en la zona experimental 2. Se muestran los resultados del primer muestreo de vegetación (septiembre de 2011).

**Tabla 1.** Valor de importancia (VI) de las cinco especies más representativas de la zona experimental 1 y de la zona experimental 2. Se muestra la frecuencia relativa (FR), la densidad relativa (DR) y la cobertura relativa (CR)

<b>ZONA 1</b>				
<b>Especie</b>	<b>FR</b>	<b>DR</b>	<b>CR</b>	<b>VI</b>
<i>Vernonanthura patens</i>	9	27	6	<b>44</b>
<i>Bellucia grossularioides</i>	9	15	14	<b>41</b>
<i>Eugenia sp</i>	9	15	14	<b>39</b>
<i>Cupania dentata</i>	10	12	5	<b>28</b>
<i>Vismia sp</i>	6	7	12	<b>26</b>
<b>ZONA 2</b>				
<i>Xylopia frutescens</i>	11	15	24	<b>51</b>
<i>Casearia sp</i>	11	9	22	<b>44</b>
<i>Vernonanthura patens</i>	13	18	11	<b>42</b>
<i>Vismia sp</i>	8	22	8	<b>39</b>
<i>Zuelania guidonia</i>	10	12	12	<b>27</b>

La zona 1 y 2 comparten dos especies con los valores de importancia más altos (*Vernonathura patens* y *Vismia* sp); se trata de especies arbustivas comunes en las orillas de las carreteras y los sitios acahualados. Además, se encontraron 13 especies en la zona 1 que no fueron registradas en la zona 2. De éstas, tres especies tuvieron valores de importancia mayores a siete: *Inga* sp (VI= 17.0), *Hirtella racemosa* (VI= 12.32) y *Tabebuia rosae* (VI= 7.6).

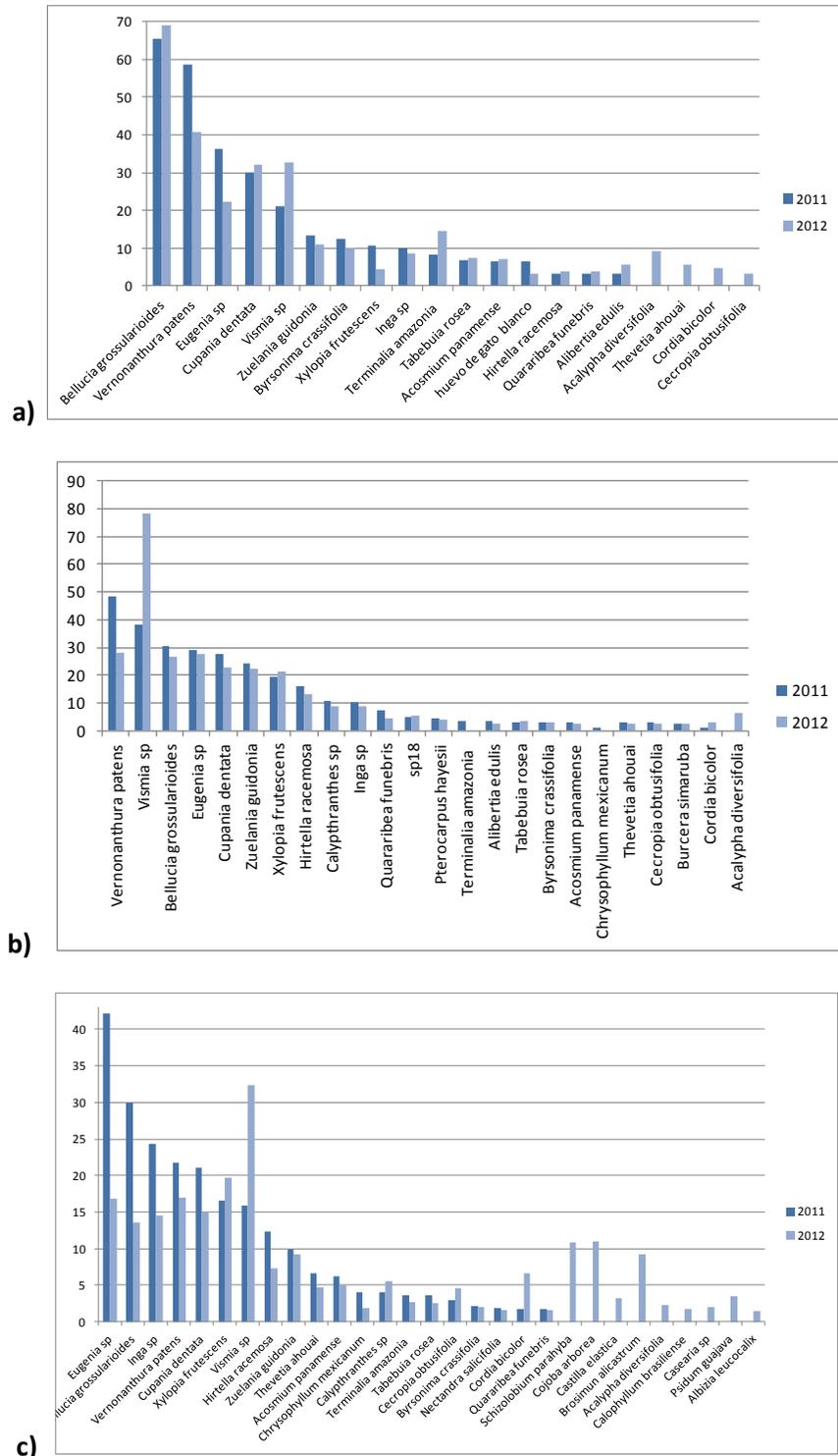
Llama la atención el elevado valor de importancia de *Casearia* sp en la zona 2, que está dado, principalmente, por su cobertura relativa. Esta especie no se encontró en la zona 1.

Así mismo, se registraron cuatro especies en la zona 2 que, aunque con valores de importancia bajos, tienen un valor ecológico importante y que no fueron encontradas en la zona 1: *Piper* sp (VI= 7.4), *Croton schiedeanus* (VI= 4.11), *Quassia amara* (VI= 2.5) y *Swietenia macrophylla* (VI= 2.5). *Piper* sp es una especie que se encuentra en el sotobosque de la selva y es un atrayente de fauna, especialmente de quirópteros. Por otro lado, es común encontrar a las especies arbóreas *Croton schiedeanus*, *Quassia amara* y *Swietenia macrophylla* en la vegetación de la selva conservada, tanto de los fragmentos, como de la RBMA. *Croton schiedeanus* es una especie primordialmente ribereña, mientras que *Quassia amara* y *Swietenia macrophylla* se asocian la vegetación primaria. Debido a la extracción selectiva de maderas preciosas, es poco común encontrar individuos de *Swietenia macrophylla* de tallas grandes, incluso en los fragmentos conservados.

#### *Comparación de los tratamientos a través del tiempo*

- Zona experimental 1

Se comparó el valor de importancia a través del tiempo, en cada tratamiento.



**Figura 9.** Valor de importancia de las especies registradas en la zona experimental 1 durante 2011 y 2012. a) control, b) remoción de pasto y c) remoción de pasto + introducción de árboles nativos.

En el control se registraron 20 especies, 16 durante el primer muestreo, y veinte durante el segundo. En 2012 aparecieron cuatro nuevos registros, las especies *Acalypha diversifolia*, *Cecropia obtusifolia*, *Cordia bicolor* y *Thevetia ahouai*, que alcanzaron valores de importancia de 9.30, 5.73, 4.82 y 3.31, respectivamente. Las cinco especies más representativas del control en ambos muestreos fueron: *Bellucia grossularioides*, *Vernonanthura patens*, *Eugenia sp*, *Cupania dentata*, y *Vismia sp* (tabla 2). Sin embargo, se pueden observar algunos cambios en la estructura de la comunidad a través del tiempo. El valor de importancia de *Vernonanthura patens* y *Eugenia sp* decreció, mientras que el de *Terminalia amazonia* aumentó (Fig. 9).

En el tratamiento 1 se registraron 24 especies, de éstas 23 estuvieron presentes durante 2011, y 22 durante el muestreo de 2012. Las especies que no se encontraron durante el segundo muestreo fueron *Terminalia amazonia* y *Chrysophyllum mexicanum*. Los valores de importancia que obtuvieron durante el primer muestreo fueron muy bajos (VI= 1.2 y 3.5, respectivamente). Ambas son especies arbóreas perennes, y su ausencia en el segundo muestreo podría estar reflejando un efecto de herbivoría, o bien, la remoción accidental al momento de hacer los trabajos de mantenimiento (chaponeo).

El grupo de especies más representativas del tratamiento 1 en ambos muestreos fueron: *Vernonanthura patens*, *Vismia sp*, *Bellucia grossularioides*, *Eugenia sp* y *Cupania dentata*. Así mismo, destaca el incremento del 105% del valor de importancia de *Vismia sp*, lo que sugiere que el establecimiento de dicha especie estuvo favorecido por la remoción de la vegetación herbácea. Puede observarse que el valor de importancia de *Vernonanthura patens* disminuyó casi 60%, de 48.14 a 28.30. Esta disminución se debió principalmente a la pérdida de individuos en los tratamientos. A pesar de que *Vernonanthura patens* es una especie perenne, su establecimiento está asociado a sitios perturbados, como potreros abandonados y orillas de carreteras. Esto podría sugerir un cambio en la direccionalidad en la sucesión, que pareciera favorecer a las especies asociadas a

etapas sucesionales posteriores o incluso a la vegetación primaria. Sin embargo, no podemos descartar un efecto por el chaponeo selectivo de la especie, que los ejidatarios perciben como una herbácea asociada a sitios perturbados.

**Tabla 2.** Valor de importancia de las cinco especies más representativas del tratamiento 1 en la Z1, durante el primer y segundo muestreo. Se muestra la frecuencia relativa (FR), la densidad relativa (DR) y la cobertura relativa (CR)

<b>Especie</b>	<b>VI (2011)</b>	<b>VI (2012)</b>
<i>Vernonathura patens</i>	<b>48</b>	<b>28</b>
<i>Vismia</i> sp	<b>38</b>	<b>78</b>
<i>Bellucia grossularioides</i>	<b>30</b>	<b>26</b>
<i>Eugenia</i> sp	<b>29</b>	<b>27</b>
<i>Cupania dentata</i>	<b>27</b>	<b>22</b>

En el tratamiento 2 (remoción de pastos) se registraron 29 especies, 20 durante el primer muestreo y 29 durante el segundo. Hubo nueve registros nuevos. Cuatro especies se introdujeron como parte de las acciones de restauración, mientras que la aparición de las otras cinco especies es atribuible a la regeneración natural del sitio. Las especies que aparecieron por efectos de regeneración natural fueron: *Acalypha diversifolia*, *Calophyllum brasiliense*, *Casearia* sp, *Psidium guajava* y *Albizia leucocalix*.

Las especies introducidas alcanzaron valores de importancia de entre 3 y 11 (tabla 3). *Schizolobium parahybum* tuvo un alto número de registros, además de valores de coberturas grandes, mientras que de *Castilla elastica* hubo pocos registros de individuos. La presencia de estas especies en el segundo muestreo tuvo un efecto importante en la riqueza específica del sitio.

**Tabla 3.** Valor de importancia de las cuatro especies introducidas en el tratamiento 1 en la zona 1. Se muestra la frecuencia relativa (FR), la densidad relativa (DR) y la cobertura relativa (CR)

<b>Especie</b>	<b>VI (2011)</b>	<b>VI (2012)</b>
<i>Schizolobium parahybum</i>	<b>0</b>	<b>10</b>
<i>Brosimum alicastrum</i>	<b>0</b>	<b>11</b>
<i>Cojoba arbórea</i>	<b>0</b>	<b>3</b>
<i>Castilla elástica</i>	<b>0</b>	<b>9</b>

Las especies que tuvieron mayores valores de importancia, tanto en el primer como en el segundo muestreos, fueron *Eugenia* sp, *Bellucia grossularioides*, *Inga* sp, *Vismia patens*, *Cupania dentata*, *Xylopia frutescens* y *Vismia* sp. Éstas son también las especies más representativas del control y del tratamiento 1, con excepción de *Inga* sp; su elevado valor de importancia se debe principalmente a la cobertura relativa, ya que existen algunos individuos aislados de talla grande (tabla 4). Es de notarse, sin embargo, que el IVI disminuyó ligeramente a lo largo del tiempo, con excepción de *Vismia* sp. que tuvo un decremento notable.

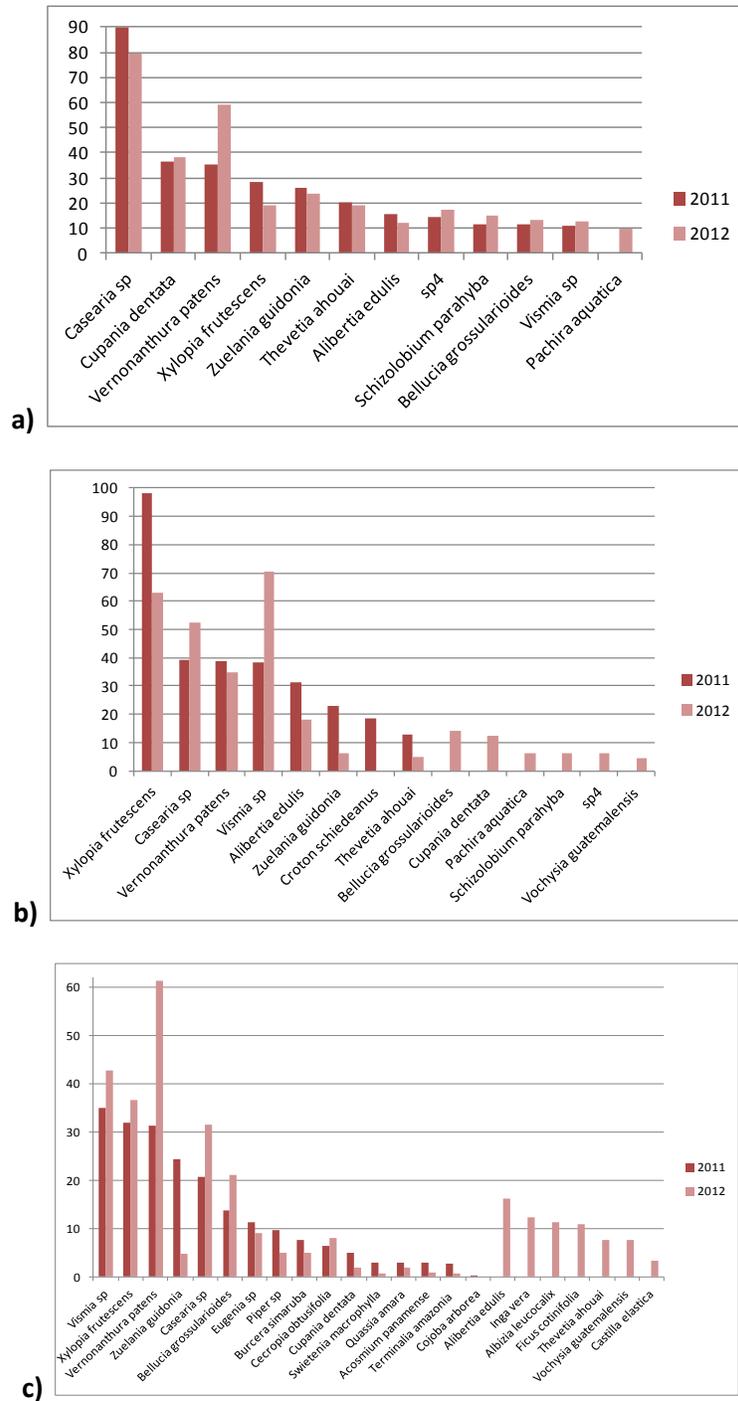
**Tabla 4.** Valor de importancia de las cinco especies más representativas del tratamiento 2 en la Z1, durante el primer y segundo muestreo. Se muestra la frecuencia relativa (FR), la densidad relativa (DR) y la cobertura relativa (CR)

<b>Primer muestreo (2011)</b>		
<b>Especie</b>	<b>VI (2011)</b>	<b>VI (2012)</b>
<i>Eugenia sp</i>	42	16
<i>B. grossularioides</i>	29	13
<i>Inga sp</i>	24	14
<i>V. patens</i>	21	17
<i>C. dentata</i>	21	15
<i>Xylopia frutescens</i>	16	19
<i>Vismia sp</i>	15	32

En resumen, a pesar de que los cambios que se observan en los tres tratamientos parecen ir en la misma dirección, se puede apreciar una diferencia sustancial en la magnitud de dichos cambios. El aumento en la riqueza específica fue mucho mayor en el tratamiento 2, a éste siguió el tratamiento 1 y el control en último lugar. Además, destaca el aumento en el valor de importancia de *Vismia* sp en todos los tratamientos, que en el control fue del 52%, en el tratamiento 1 del 105% y en el tratamiento 2 del 213%. Este cambio estuvo relacionado principalmente con el aumento en la densidad relativa, ya que se observó el establecimiento de un número considerable de plántulas de dicha especie, que se favoreció con la remoción de los pastos.

- Zona experimental 2

En el control de la zona experimental 1, se registraron 12 especies en total. Destaca el nuevo registro de *Pachira aquatica*, una especie asociada a vegetación riparia conservada y afín a sitios inundables. Las cinco especies más representativas de la comunidad en ambos muestreos fueron *Casearia* sp, *C. dentata*, *V. patens*, *X. frutescens* y *Z. guidonia*. Se registró un aumento del 68% en el IVI de la especie *V. patens*, que está asociada a vegetación perturbada (figura 11).



**Figura 11.** Valor de importancia de las especies registradas en la zona experimental 2 durante el primer (septiembre de 2011) y segundo (septiembre de 2012) muestreo de vegetación. Se muestran los resultados de a) el control, b) el tratamiento 1 y c) el tratamiento 2.

En el tratamiento 1 se registraron 12 especies en total, 8 durante el primer muestreo y 11 durante el segundo. A pesar de que se puede asumir que la especie *C. schiedeanus* se removió accidentalmente durante las acciones de mantenimiento, destaca la aparición de seis nuevos registros: *B. grossularioides*, *C. dentata*, *P. aquatica*, *S. parahyba*, *V. guatemalensis* y sp4, que aumentaron significativamente la riqueza específica del sitio. Estas especies, además están asociadas a comunidades de selva conservada. En ambos muestreos, las especies con valores de importancia más elevados fueron: *X. frutescensis*, *Casearia* sp, *V. patens*, *Vismia* sp y *A. edulis*.

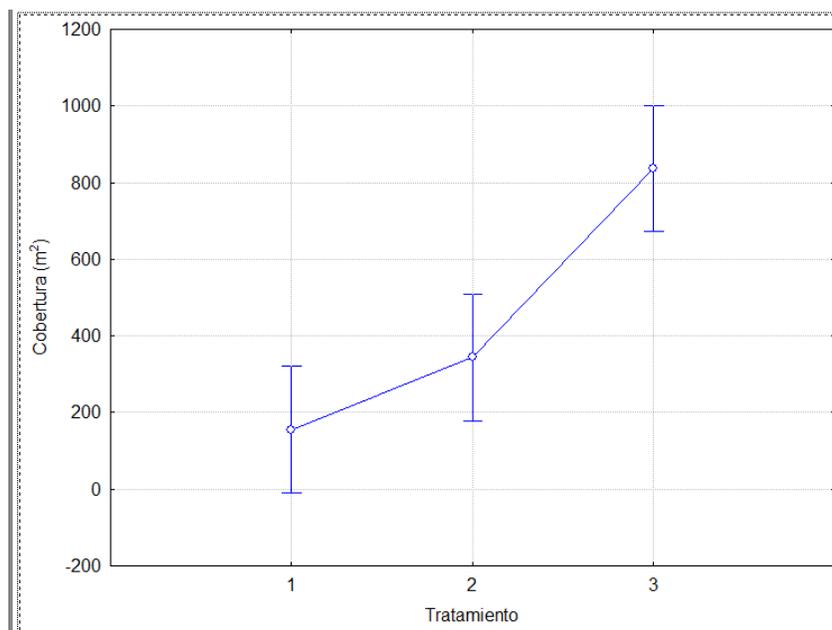
En el tratamiento 3 se registraron 23 especies, 16 en el primer muestreo y 22 en el segundo. Al igual que en el tratamiento 2, se perdió una especie por efecto accidental de las acciones de mantenimiento, esta vez fue *Cojoba arborea*. Sin embargo, sobresale la aparición de tres nuevas especies por regeneración natural: *A. edulis*, *T. ahouai* y *V. guatemalensis*. Además de la introducción de cuatro nuevas especies por reforestación: *F. cotinifolia*, *A. leucocalix*, *I. vera* y *C. elástica*, lo que aumentó significativamente la riqueza específica. Las especies con mayores valores de importancia en ambos muestreos fueron *Vismia* sp, *V. patens*, *Z. guidonia*, *Casearia* sp y *B. grossularioides*. Sobresale el aumento de más del 100% en el VI de *V. patens*. Esta especie está más asociada a sitios perturbados que a vegetación conservada, lo que no sucede con el resto de los árboles y arbustos que se registraron en el estudio. Sugerimos que sea removida al momento de hacer los trabajos de remoción de la vegetación.

**Tabla 5.** Porcentaje de aumento en la cobertura relativa de tres especies registrada en la zona experimental 2

<b>Especie</b>	<b>CONTROL</b>	<b>TRATAMIENTO 1</b>	<b>TRATAMIENTO 2</b>
<i>Casearia</i> sp	<b>49</b>	<b>251*</b>	<b>93*</b>
<i>X. frutescens</i>	<b>-73</b>	<b>175*</b>	<b>113*</b>
<i>V. patens</i>	<b>847*</b>	<b>-97</b>	<b>530*</b>
<i>Vismia</i> sp	<b>400*</b>	<b>1416**</b>	<b>192*</b>

### *Cobertura Absoluta*

Observamos que los tratamientos tuvieron un efecto significativo sobre el aumento de la cobertura arbórea en las parcelas experimentales ( $F=4,54$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 12). A pesar de que las unidades de estudio se situaron en sitios con condiciones de humedad del suelo contrastantes e historias de uso distintas, no contamos con suficientes evidencias para decir que las condiciones ambientales influyen de manera significativa en el desarrollo de dichos cambios ( $F= 21.8$ ;  $p\geq 0.05$ ) (tabla 6).



**Figura 12.** Cambio en la cobertura arbórea a través del tiempo. Se muestran los resultados de los tratamientos: a) control, b) remoción de pasto y c) remoción de pasto + introducción de árboles nativos.

**Tabla 6.** Se muestran los resultados de la ANOVA aplicada al diseño experimental de bloques al azar. Los tratamientos presentaron cambios significativos ( $p \leq 0.05$ ).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Tratamiento	2473589	1	5948285	21.8621	0.000086
Bloque*Tratamiento	826160	2	413080	1.51822	0.238625
Error	6802052	25	272082		

La prueba de Tuckey reveló que la única diferencia significativa se detectó entre el control y el tratamiento 3 (remoción de pastos + introducción de árboles nativos) ( $p < 0.05$ ). A pesar de que se observan cambios entre el tratamiento 2 (remoción de pastos) y el control, estos no llegan a ser significativos (figura 12) ( $p > 0.05$ ). Es probable que esta diferencia entre el efecto de los tratamientos este explicada por el efecto de los árboles introducidos, ya que éstos además de ser numerosos (150 individuos en total) son especies de rápido crecimiento. El efecto de la cobertura es importante ya que esta permitirá disminuir el crecimiento de los pastos y con ello permitir la colonización por nuevos individuos arbóreos.

**Tabla 6.** Se muestran los resultados de la ANOVA aplicada al diseño experimental de bloques al azar. Los tratamientos presentaron cambios significativos ( $p \leq 0.05$ ).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Tratamiento	2473589	1	5948285	21.8621	0.000086
Bloque*Tratamiento	826160	2	413080	1.51822	0.238625
Error	6802052	25	272082		

### 5.3.3 Supervivencia de las especies introducidas

A un año de la reforestación, en la zona experimental 1 sobrevivió el 61.25% del total de plantas introducidas. Las especies más exitosas fueron las leguminosas *Cojoba arborea* y *Schizolobium parahyba*, con 85% de supervivencia. Mientras que la supervivencia de *C. elástica* fue de tan sólo el 15% (Fig.13).

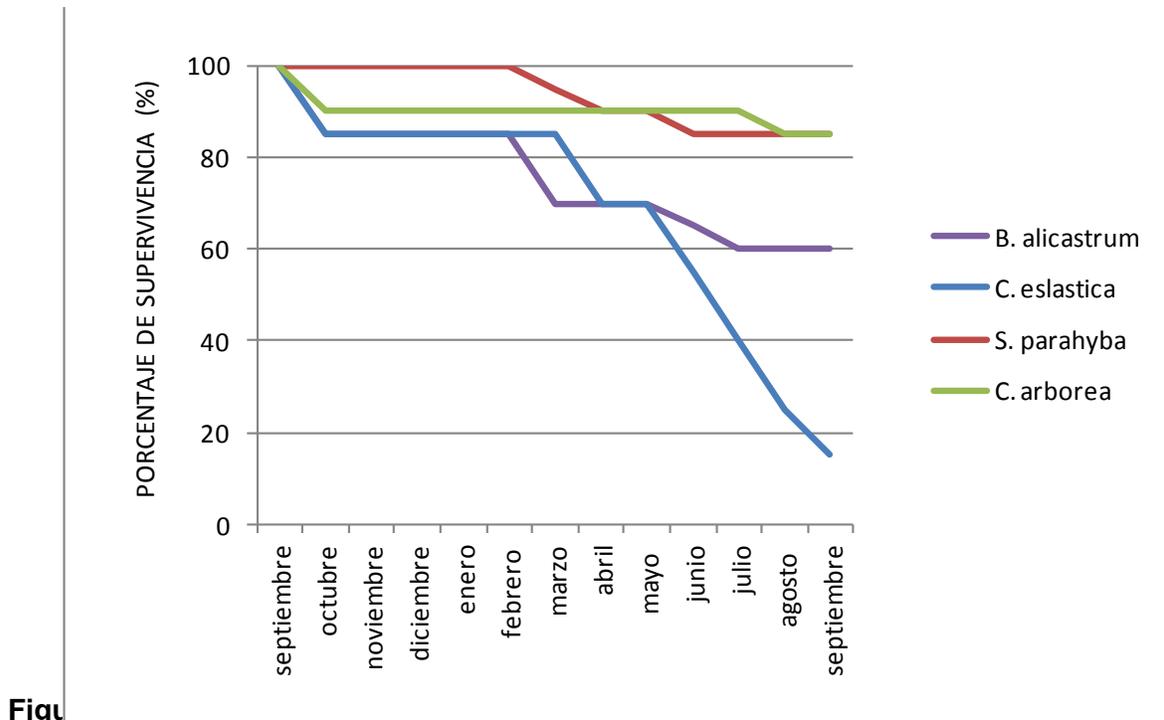
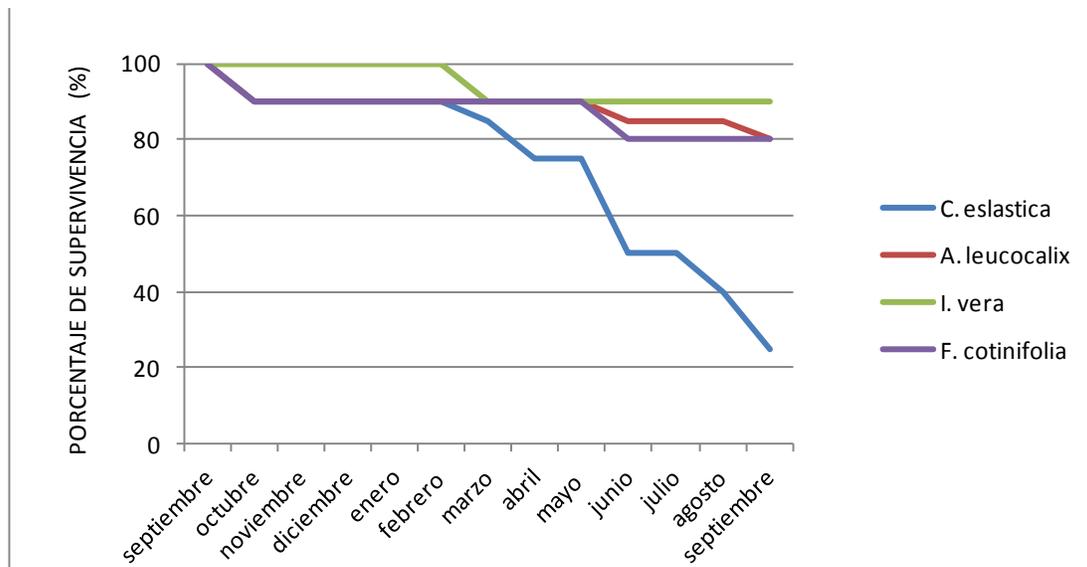


Figura 13. Supervivencia de las especies introducidas de la zona experimental 1.

En la zona experimental 2, se registró que la supervivencia de todas las plantas introducidas fue de 68.75% durante el primer año de muestreo. La especie más exitosa fue *I. vera*, ya que tuvo 90% de supervivencia, a ésta siguieron *F. cotinifolia* y *A. leucocalix* con 80%. La supervivencia de *C. elastica* fue muy baja, de tan sólo el 25% (Fig.14).



**Figura 14.** Porcentaje de supervivencia de las especies introducidas en el tratamiento 2 de la zona experimental 2.

En ambas zonas y para todas las especies introducidas, puede observarse que la mayor mortandad de individuos ocurrió durante los meses de febrero a mayo, que comprenden la época de secas. La supervivencia de *Castilla elastica* fue muy baja en ambas zonas.

#### 5.3.4 Evaluación de los costos económicos de la aplicación de distintas técnicas de restauración de claros antropogénicos

##### *Adquisición de planta*

El costo registrado para la construcción de un vivero rústico fue de aproximadamente \$7,005 (tabla 8). En cuanto a los costos de producción se encontró que aproximadamente el 50% del costo es imputable a la compra de insumos, mientras que el otro 50% está generado por los jornales de trabajo. Según los gastos registrados, se invirtieron \$8,054 en la producción de 7,000 plantas (tabla 9).

Si suponemos un tiempo de producción de 10 años, a una tasa de inflación de  $r=0.12$ , el costo fijo total (CFT) es de \$12,965; el costo fijo unitario (CFU) es de \$0.21; el costo variable unitario (CVU) es de \$0.60; mientras que el costo total unitario (CTU) fue calculado en \$0.82.

En contraste, el precio por planta en un los viveros comerciales locales, certificados por la Conafor, es de \$1.75. En el municipio existen cinco viveros certificados. Los precios son los mismos en todos ya que los fija el gobierno.

En las Reglas de Operación de la Conafor (anexo 3) se recomienda una densidad de siembra de 625 plantas/ha. Por lo que la reforestación de un terreno de 37 ha requeriría una inversión en planta de \$40,469, si se adquiere en un vivero comercial, o bien, de \$26,593.75 si se producen en un vivero rústico. A este costo habría que sumarle la inversión inicial para la construcción del vivero, lo que arroja un total de \$33,599.

**Tabla 8.** Costo de producción de planta en un vivero rústico

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Actividades</b>				
Colecta de semillas	Jornales	20	\$100	\$2,000
Aplicación de tratamientos pregerminativos	Jornales	2	\$100	\$200
Colecta de sustrato	Jornales	2	\$100	\$200
Siembra de semillas	Jornales	10	\$100	\$1,000
Mantenimiento del vivero	Jornales	4	\$100	\$400
<b>Subtotal</b>				<b>\$3,800</b>
<b>Insumos</b>				
Costales	unidad	10	\$5	\$50
Bolsas de papel	paquete de 100 piezas	1	\$14	\$14
Charolas de unicel	unidad	60	\$60	\$3,600
Bolsas plásticas chicas	Kg	1	\$15	\$15
Bolsas plásticas grandes	Kg	1	\$15	\$15
Insecticida para jardinería	lata de 25mL	1	\$55	\$55
Otros*				\$500
<b>Subtotal</b>				<b>\$4,249</b>
<b>Total</b>				<b>\$8,054</b>

\*clavos; armellas; abrazadoras; alambre; bisagras; postes y tablas de madera para sustituir; entre otros.

**Tabla 9.** Costo de la construcción de un vivero rústico

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Actividades</b>				
Montaje de cerco y puerta	jornales	4	\$100.00	\$400.00
Montaje de mesas y malla sombra	jornales	7	\$100.00	\$700.00
<b>Insumos</b>				
Malla ciclónica	20m	66m	\$800.00	\$2,640.00
Malla sombra al 50%	Metro cuadrado	30m <sup>2</sup>	\$16.00	\$480.00
Postes para cerco	Unidad	7	\$25.00	\$175.00
Postes para malasombra	Unidad	9	\$25.00	\$225.00
Postes para mesas	unidad	40	\$25.00	\$1,000.00
Clavos	Kilogramo	2	\$29.38	\$58.76
Martillo	Unidad	1	\$71.00	\$71.00
Carretilla	Unidad	1	\$702.33	\$702.33
Pala de mango largo	Unidad	1	\$108.00	\$108.00
Manguera de 1/4"	Metro	25	\$3.40	\$85.00
Machete	Unidad	1	\$60.00	\$60.00
Otros*				\$300.00
<b>Total</b>				<b>\$7,005.09</b>

\*armellas, abrazadoras, alambre, bisagras, etc.

### *Implementación de las distintas técnicas de restauración*

Las parcelas control representan un caso de restauración pasiva, en la que sólo se retira al ganado, esperando que el ecosistema se regenere por sí mismo. Por lo tanto, no es necesario invertir en ninguna acción.

Por otro lado, los costos generados en el tratamiento 1 recaen en los jornales de trabajo invertidos para la remoción manual de la vegetación. Esta acción debe realizarse al inicio de la restauración, y de manera más frecuente mientras el crecimiento de las herbáceas sea lo suficientemente agresivo como para impedir el establecimiento de nuevos árboles y arbustos. La etapa inicial requirió más jornales por unidad de superficie, debido a la gran densidad y altura de las herbáceas. Se registró una inversión inicial de 20 jornales para chaponear un área de 2,250m<sup>2</sup> (10 cuadros experimentales) al inicio de la restauración. Por lo que el costo total fue de \$8,889/ha. El chaponeo de mantenimiento se realizó en noviembre, diciembre y marzo. Se cuantificaron cuatro jornales en cada mes, es decir \$5, 333/ha. Esto hace un total de \$14,222/ha durante el primer año (tabla 10).

**Tabla 10.** Costo del tratamiento 1

<b>Acción:</b>	<b>Jornales</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo total</b>
<b>chaponeo</b>	<b>2,250 m<sup>2</sup></b>	<b>2,250 m<sup>2</sup></b>	<b>ha</b>
<b>Inicio</b>			
septiembre	20	\$2,000.00	\$8,889
<b>subtotal</b>			<b>\$8,889</b>
<b>Mantenimiento</b>			
noviembre	4	\$400	\$1,778
diciembre	4	\$400	\$1,779
marzo	4	\$400	\$1,778
<b>subtotal</b>			<b>\$5,333</b>
<b>Total</b>			<b>\$14,222</b>

El tratamiento 2 incluye las acciones de reforestación descritas en el tratamiento 1, a las que deben sumarse los costos derivados de la reforestación: la producción o compra de los árboles, su traslado desde el vivero y su trasplante. El costo de las plantas será de \$719 a \$908 por hectárea, si los árboles se producen en un vivero rústico, o bien de \$1,094 a \$1,382 por hectárea si se compran en el vivero local. Los árboles se trasladaron hasta el claro antropogénico en animales de carga. El costo de la renta de cada animal es de \$100.00, lo cual corresponde a un costo estimado de entre \$781 y \$987 por hectárea. Sin embargo, se pueden buscar alternativas para reducir los costos de traslado, un ejemplo es el acarreo con la técnica tradicional del mecupal. En el caso del mecupal estimamos un costo de traslado de \$156 a \$197 por hectárea. Con los datos recabados, estimamos que el costo del trasplante es de aproximadamente un jornal por cada 100 plantas. De modo que la reforestación de una hectárea generaría un costo de \$625 a \$790. En resumen, el costo total del tratamiento 2 en un área de 2, 225m<sup>2</sup> fue de \$3, 646.40, lo cual equivale a un costo aproximado de entre \$15,341/ha y \$16,592/ha (tabla 11).

**Tabla 11.** Costo de la implementación del tratamiento 2. Los costos se calcularon para una densidad de 625 a 790 plantas/ha, suponiendo que las plantas a) se producirán en un vivero rústico o b) se comprarán en un vivero local

a)

Acción	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total (ha)
chaponeo (inicial y de mantenimiento)	jornales	142.22	\$100.00	\$14, 222.21
Planta	planta	625 a 790	\$0.54	\$337.50 a \$426.60
traslado de planta	animales de carga	0.52 a 0.65	\$300.00	\$156.25 a \$197.50
Trasplante	jornales	6.25 a 7.90	\$100.00	\$625.00 a \$790.00
<b>Total</b>				<b>\$15, 341 a \$15, 636</b>

b)

Acción	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$/ha)
chaponeo (inicial y de mantenimiento)	jornales	142.22	\$100.00	\$14, 222.21
Planta	planta	625 a 790	\$1.75	\$1, 093.75 a \$1, 382.5
traslado de planta	animales de carga	0.52 a 0.65	\$300.00	\$156.25 a \$197.50
Trasplante	jornales	6.25 a 7.90	\$100.00	\$625 a \$790
<b>Total</b>				<b>\$16, 097 a \$16, 592</b>

En síntesis, el tratamiento control no genera ningún costo económico; el tratamiento 1 requiere una inversión estimada de \$14,222/ha; mientras que el tratamiento 2 tiene un costo de \$16,097/ha a \$16,592/ha (tabla 11).

**Tabla 11.** Costo de la implementación de cada técnica

<b>Costo/Tratamiento</b>	<b>Control</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento 2</b>
<b>Costo registrado en 2, 250 m<sup>2</sup></b>	\$0.00	\$3, 200.00	\$3, 646.40
<b>Costo total estimado para una hectárea</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$14, 222</b>	<b>\$16, 097 a \$16, 592</b>

#### **5.4 Discusión y conclusiones**

El análisis del cambio en la composición y estructura de la vegetación arbórea y arbustiva reveló que en el control no hay mayores cambios al cabo de un año de estudio. No se registró un número considerable de nuevos individuos, no hubo un incremento sustancial en la cobertura de especies leñosas y la diversidad de los sitios no aumentó considerablemente. Esto es atribuible en gran medida a la competencia con pastos. Diversos autores han señalado que en la región tropical la tasa de recuperación de áreas agropecuarias abandonadas es muy lenta e incluso parece estar detenida (Román, 2011; Holl *et al.*, 2011). Entre las barreras que limitan o impiden el establecimiento de especies arbóreas nativas destaca la competencia con los pastos exóticos. Con los datos recabados podemos concluir que en tiempos cortos, no basta con detener la actividad ganadera y abandonar el terreno para que ocurra el proceso de sucesión. De este modo, y a pesar de los altos costos económicos asociados, es necesario intervenir.

Por su parte, en el tratamiento 1 se observaron cambios considerables en la estructura de la comunidad vegetal. En ambos sitios hubo un incremento en la cobertura de las especies leñosas. Los datos indican que la eliminación de los pastos y malezas es suficiente para permitir el crecimiento de los individuos que llegaron al sitio de manera natural. Aunado a esto, se registró un cambio en la

estructura de la comunidad vegetal, reflejada en un incremento considerable en el número de individuos, prioritariamente de especies con dispersión anemócora y de rápido crecimiento, muchas de ellas asociadas a vegetación secundaria.

El tratamiento 2 también registró cambios importantes en la estructura de la comunidad. Además de esto, los cambios en la composición arbórea son mayores que en el tratamiento 1. La reintroducción de especies resultó importante para acelerar el proceso sucesional y permitir que la diversidad del sitio se incremente desde las primeras etapas de la restauración. Las especies de etapas sucesionales más avanzadas, y de dispersión zóocora, tienen el potencial de atraer dispersores que, a mediano plazo, podrán incrementar la diversidad específica y funcional del sitio.

Por otro lado, los costos asociados a las técnicas de restauración son imputables de mayor manera, a las acciones de limpieza de los pastos, y no a la reintroducción de especies arbóreas y su mantenimiento. De esta manera, y con los datos recabados en un año de estudio sugerimos que la técnica de restauración más recomendable para la recuperación de los claros antropogénicos, incluye la eliminación de pastos exóticos, el trasplante de especies arbóreas y deshierbes de mantenimiento que aseguren el establecimiento de la vegetación introducida.

Cabe mencionar que los costos estimados podrían estar sobreevaluados debido a que las acciones de restauración se realizaron en cuadros distribuidos al azar dentro del potrero. Esto incrementa el tiempo de trabajo en campo. Si las acciones se realizarán en áreas compactas y sin distinción de tratamiento, se podría disminuir el tiempo de traslado y organización de los jornaleros. Los egresos podrían bajar hasta un 20%. De cualquier manera, el mayor costo de la restauración está dado por la eliminación de la cobertura herbácea y no por la introducción de plantas arbóreas. Las diferencias entre los costos de la técnica 1 con respecto a los costos de la técnica 2 no son relevantes.

## **6. ANÁLISIS DEL COSTO DE OPORTUNIDAD DE LA RESTAURACIÓN DE UN CLARO ANTROPOGÉNICO DESTINADO A LA GANADERÍA**

### **6.1 Introducción**

La restauración de los claros antropogénicos en el municipio de Marqués de Comillas requiere del abandono de los potreros para su reconversión. Esto significa que los programas gubernamentales deben de contener incentivos económicos lo suficientemente atractivos para convencer a los ganaderos locales de restaurar sus predios, especialmente a aquellos cuyos potreros están introducidos en fragmentos importantes de selva. Por lo tanto, el primer apartado de este análisis se enfocará en entender qué significa la ganadería en términos económicos para las unidades de producción familiar y el segundo en conocer los instrumentos económicos que aplica el gobierno mediante sus programas para incentivar la restauración.

### **6.2 Método**

Se comparó la ganancia de la actividad ganadera con el ingreso obtenido mediante los programas gubernamentales por la restauración de claros antropogénicos. Para esto, se hizo una revisión bibliográfica de los trabajos realizados en la zona, además de que se obtuvo información mediante entrevistas realizadas a los productores-ganaderos. Para conocer el costo actual de la ganadería, se hizo una investigación de campo sobre el precio de los insumos en la zona.

Se hizo una investigación sobre los actuales instrumentos económicos gubernamentales, de potencial aplicación para la restauración de vegetación, y se analizó cuáles de ellos son viables en el caso de los claros antropogénicos.

## 6.3 Resultados

### 6.3.1 Unidades de producción campesina

Obregón (2007) señaló que en promedio cada ejidatario posee una dotación de tierras de 30 a 50 ha. Las actividades productivas en estos terrenos se enfocan principalmente al autoconsumo, y una parte de ellas al comercio. Algunos campesinos dedican una fracción de sus tierras a la conservación de la selva o al barbecho, por lo que cuentan con una superficie aproximada de selva o acahual maduro de 20 ha (Obregón, 2007 y Carabias *et al.*, 2009). De acuerdo al estudio realizado por Obregón (2007), el patrón de uso de suelo en la región puede tipificarse de la siguiente manera:

1. Agricultura. Esta actividad se practica en la modalidad de temporal o de tornamil; usualmente no rebasa las 5 ha.
2. Ganadería. La producción bovina se presenta principalmente en la modalidad de venta de becerros al destete, asociada a ranchos de engorda. Generalmente los ejidatarios destinan entre 10 y 20 ha para la actividad ganadera.
3. Conservación. Se refiere a una superficie de selva conservada como reserva para futuras necesidades o para transferirla a sus hijos, quienes no tienen tierra. Generalmente se destina un área de 20 ha.

La interacción de los sistemas productivos básicos (milpa, tornamil, ganadería), aunado a otras actividades de subsistencia (manejo de traspatio, caza y recolección) es una estrategia que garantiza que las unidades familiares aseguren su alimentación y la compra de bienes de consumo cotidiano. Las actividades productivas comerciales en el municipio están orientadas tanto por las políticas

gubernamentales (federales y estatales) mediante los programas y subsidios, como por la demanda del mercado (por ejemplo, cultivo de chile o palma africana). La comercialización de los productos suele ocurrir a través de intermediarios, como es el caso de los comerciantes de ganado para engorda (Obregón, 2007).

Aunado a esto, algunos pobladores también se dedican al comercio local o al empleo temporal, y una parte importante del ingreso familiar depende de las remesas que llegan desde los Estados Unidos de América (Carabias *et al.*, 2009).

### 6.3.2 Análisis de los estudios realizados en la región

Con la finalidad de determinar cuál es el costo de oportunidad que se debe de pagar para incentivar el abandono de la actividad ganadera y el comienzo de la restauración de los potreros, se realizó un balance económico de la actividad ganadera.

La ganadería bovina ha sido impulsada por los programas gubernamentales con el objetivo de capitalizar a las unidades de producción. Según Obregón (2007): “ha logrado cumplir una función estratégica en el desarrollo marginal de las familias campesinas, pero en detrimento de la aptitud forestal de la región”. Los productores se apropiaron de la actividad debido a que, aunque de manera poco sustantiva, mejoró la calidad de vida de las unidades familiares, permitiéndoles adquirir activos y una entrada monetaria. Además, en las últimas dos décadas han tenido mayor éxito que otros productores, quienes fracasaron en el cultivo de cacao, arroz, cardamomo, vainilla y hule (Carabias *et al.*, 2009). Según Montoya *et al.* (2006) la ganadería es la única actividad económica en la que se ha observado un crecimiento constante. Sin embargo, después de más de 30 años de ganaderización en la zona, esta actividad no ha constituido una fuente de

capitalización, ni la solución al desarrollo local, pero sí ha representado una de las principales causas de cambio de uso de suelo y pérdida de la biodiversidad (Natura Mexicana, 2011).

La ganadería inició en 1982 mediante créditos bancarios, y continuó en la década de los 90 con los apoyos proporcionados por el Fondo Nacional de Apoyo para las Empresas en Solidaridad (Fonaes), un organismo desconcentrado en un inicio de la Secretaría de Desarrollo Social y ahora de la Secretaría de Economía. A finales de los años 90, el Instituto Nacional Indigenista (INI) trató de mejorar la infraestructura pecuaria regional, sin embargo obtuvo pocos resultados: la infraestructura terminó siendo abandonada o quedó en desuso (Obregón, 2007).

Recientemente, con el Programa de Certificación de Derechos Ejidales Comunes (Procede), se intensificó la venta de tierras ejidales a agentes externos, principalmente ganaderos de la región de Tapachula (Carabias *et al.*, 2009), con lo cual aumentó la superficie destinada a esta actividad.

Actualmente existen dos modalidades de ganadería bovina en el municipio: la venta de becerros al destete, y la venta y engorda de becerros. El primero se desarrolla por campesinos de bajos recursos que necesitan ingresos, aunque bajos, de manera inmediata y constante. El segundo sistema es manejado por productores provenientes de otras regiones, quienes han comprado terrenos ejidales y por los ejidatarios que han acumulado capitales provenientes de distintas fuentes. Los últimos establecen los precios de compra, tienen vínculos con el mercado y acaparan la producción. (Obregón, 2007). El presente análisis se enfoca en el primer tipo de productores.

- Costo de producción

Según Obregón (2007) la roza, tumba y quema es la primera actividad hacia el cambio de uso de suelo para la ganadería. Usualmente, una vez que se realizó la apertura del terreno, se establece una milpa, en la que se cultivan principalmente maíz y frijol, pero también otros productos para el consumo local, como calabaza, yuca y camote. Este sistema perdura en promedio dos años. Al cabo de este tiempo y tras la quema del terreno se induce el crecimiento del pasto nativo del género *Paspalum sp*, y se introducen pastos exóticos, como *Brizantha brizantha* (brizanta) y *Brachiaria humidicola* (humidícola). El mismo autor reporta un costo estimado para el establecimiento de una pradera superior a \$20,000/ha.

En el municipio Marqués de Comillas se crían dos especies de bovinos: el cebú (*Bos indicus*) y el europeo (*Bos taurus*). De acuerdo a las características de la región, un potrero bien manejado podría sostener hasta tres cabezas de ganado por hectárea, sin embargo el promedio se mantiene en una cabeza de ganado por hectárea. Los productores no están en posibilidades de alcanzar el rendimiento máximo potencial, ya que el trabajo y dinero requerido no se lograría recuperar por falta de canales adecuados de comercialización (Obregón, 2007).

El ganado se maneja dentro de potreros cercados con alambre de púas, con lo que se mantiene en confinamiento. Sin embargo, el manejo al interior del potrero tiene un carácter extensivo, basado en la rotación de potreros cada mes; en el uso de quemas para mejorar la calidad del pasto; y en la aplicación de vacunas, desparasitantes y fumigaciones como mecanismos de control sanitario. Además, como un complemento en la alimentación se proporciona sal blanca y mineral. La vigilancia que se realiza es nimia, necesaria para garantizar los alumbramientos y

destetes. Según un estudio realizado por Gaia y Natura Mexicana (2012) el costo de producción anual de una parcela tipo de 40 ha, supera los \$81, 000 (tabla 12).

**Tabla 12.** Costo de producción anual de becerros al destete en una parcela tipo de 40 ha. Tomado de Gaia-Natura Mexicana, 2012.

<b>Superficie (Has)</b>	<b>40</b>	Descripción. Modelo de producción que se desarrolla bajo las siguientes condiciones: - Lomeríos - Pastizales enmontados (descuidados) y/o acahuales - Suelos arenosos - Suelos agotados		
<b>Cabezas de Ganado</b>	<b>52</b>			
<b>Agostadero</b>	1.3			
<b>Número de Toros</b>	1			
<b>Periodo de cambio de toro (años)</b>	3			
<b>Actividades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades de medida</b>	<b>Costo/ unitario</b>	<b>40 Has</b>
<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN ANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD</b>				
Limpia (5 jornales/ha) - 2 limpias por año	400	Jornales	100	\$ 40,000.00
Mantenimiento de alambre y cercas	40	jornales	100	\$ 4,000.00
Guardaraya (por tarea) \$1 x metro	4400	metro	1	\$ 4,400.00
Aplicación de herbicida	120	Jornales	100	\$ 12,000.00
Vacunado	2	jornales	100	\$ 200.00
Desparasitación	2	Jornales	100	\$ 200.00
Vitaminado	2	Jornales	100	\$ 200.00
Baño garrapaticida	2	Jornales	100	\$ 200.00
Venta (pesado)	2	Jornales	100	\$ 200.00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 61,400.00</b>

Insumos				
Herbicida (2 l x ha) -herbipol, faena, edonal, gramoxone(botoncillo)	80	Litro	100	\$ 8,000.00
Desparasitante (balbasen, panacur, hiberful, ivermectina, etc. - 2 veces al año. \$12/cabeza	104	Aplicación	12	\$ 1,248.00
Vitaminas \$11.50 /cabeza (una vez al año)	52	Aplicación	11.5	\$ 598.00
Vacuna Deriengue o rabia - 1 vez al año	52	Dosis	10	\$ 520.00
Vacuna Bacterina Triple Bovina, 7,etc.(\$170 el frasco para 50)	104	Dosis	5	\$ 520.00
Sal mineral	136	kg (bulto 10kg)	24	\$3, 264.00
Sal Blanca	544	KG	2	\$1, 088.00
Garrapaticidas (butox, tactic) - 8 banos/año. 16 bombas para todo el año	32	Carga/bomba	25	\$ 800.00
Semental - \$6000 por año / por parte del productor	2	Toro	\$2,000	\$ 4,000.00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$20, 038.00</b>
<b>COSTO TOTAL DE MANEJO</b>				<b>\$81, 438.00</b>

- Comercialización de los hatos

Según Natura y Ecosistemas Mexicanos (2011) “el sistema productivo de becerros al destete es una de las formas de producción de carne de res que crea mayores desigualdades, más deterioro”. Los productores locales están obligados a vender el producto a precios bajos, corren todo el riesgo de la reproducción de los becerros y de esta manera subsidian a los ranchos de engorda (Obregón, 2007). Mientras que los últimos mantienen tasas de ganancia altas, los primeros no reciben un ingreso suficiente para capitalizarse y se mantienen en la subsistencia (Natura y Ecosistemas Mexicanos, 2011). Los productores locales pueden alcanzar un precio de venta de alrededor de \$16.50/Kg en su ejido y con los intermediarios, mientras que el comprador final paga un promedio de \$65/Kg de carne.

El precio de venta se alcanza entre los 200 y los 220 Kg, a los siete ó 10 meses de edad (Obregón, 2007). Un becerro de esas dimensiones alcanza un precio de \$18/Kg. El precio disminuye conforme el becerro aumenta de tamaño: el precio de una vaquilla o torillo adulto es de \$14/Kg. El valor de producción para un potrero de 40 ha alcanza \$60,240 al año (tabla 13) (Gaia-Natura Mexicana, 2012).

**Tabla 13.** Valor de la producción de un potrero de 40 ha. Tomado de Gaia-Natura, 2012.

**BENEFICIO EN 40 HA**

**Beceros (machos)**

<b>Cantidad</b>	16			
<b>Peso (Kg)</b>	180			
Peso en pie	2880	<b>Precio</b>	\$18	<b>\$51,840.00</b>

**Vaquillas**

<b>Cantidad/</b>	4			
<b>Peso</b>	150			
Peso en pie	600	<b>Precio</b>	\$14	<b>\$8,400.00</b>

<b>BENEFICIO TOTAL</b>	<b>\$60,240.00</b>			
------------------------	--------------------	--	--	--

- Relación beneficio-costo de la venta de becerros al destete

Según el estudio realizado por Gaia-Natura Mexicana (2012), la relación beneficio-costo para la venta de becerros al destete es de 0.74. De acuerdo con estos datos, la inversión requerida para establecer y manejar un potrero es mucho mayor que la ganancia potencial, por lo tanto la relación beneficio-costo es deficitaria. A pesar de la baja redituabilidad de la ganadería, la actividad continúa creciendo. Una posible explicación es que a diferencia de otras opciones, permite disminuir drásticamente el esfuerzo invertido y aun así, tener acceso al mercado y garantizar la adquisición de recursos monetarios (Obregón, 2007). A este respecto, Barrera (2001) señala que la viabilidad de la actividad se debe a tres mecanismos: 1) los créditos bancarios; 2) los convenios entre ganaderos establecidos y ejidatarios interesados en tener un potrero; y 3) la reinversión de las ganancias derivadas de otras actividades, como la producción de chile, la extracción de madera y las remesas, entre otras. En esta zona los campesinos no solicitan crédito pero sí reciben los subsidios gubernamentales como Progan. Además algunos ganaderos reinvierten las ganancias económicas provenientes de otras actividades productivas, e incluso de algunas actividades ilícitas.

Por otro lado, hay que considerar que en los costos de producción están cuantificadas actividades que realiza el propio dueño del potrero o su familia. Si bien es correcto cuantificar en el balance económico de la actividad productiva estos jornales, es también necesario para entender por qué la ganadería sigue siendo una alternativa en crecimiento en la región. En la tabla 14 se identifican los jornales que generalmente son ejercidos por el propio ejidatario. Adicionalmente se realizó una entrevista al propietario del sitio de estudio.

**Tabla 14.** Jornales ejecutados por el ejidatario

Actividades	Cantidad	Unidades de medida	Costo/ unitario	40 ha
<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN ANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD</b>				
Limpia (5 jornales/ha)-2 limpias por año	100	jornales	100	\$ 10,000.00
Mantenimiento de alambre y cercas	20	jornales	100	\$ 2,000.00
Aplicación de herbicida	30	Jornales	100	\$ 3,000.00
Vacunado	2	jornales	100	\$ 200.00
Desparasitación	2	Jornales	100	\$ 200.00
Vitaminado	2	Jornales	100	\$ 200.00
Baño garrapaticida	2	Jornales	100	\$ 200.00
Venta (pesado)	2	Jornales	100	\$ 200.00
<b>160</b>			<b>TOTAL</b>	<b>\$16, 000.00</b>

Es decir, al beneficio obtenido de la venta de los becerros de \$ 60, 240 habría que añadir la ganancia de los jornales de \$16, 000. Ello, si bien no elimina el déficit del balance económico de la ganadería, sí explica por qué el productor continúa con la actividad, ya que, gracias a su trabajo, acaba teniendo dinero en efectivo al final de la transacción.

- Análisis de la entrevista al ejidatario

Elección del sitio. El señor Gutiérrez señaló que el rendimiento de un potrero depende principalmente del sitio donde éste está ubicado. La decisión de establecer un potrero rodeado de selva conservada se debió a que éstas tierras eran las únicas que quedaban disponibles para su uso (el resto ya estaban repartidas). Por lo tanto, la decisión de abrir el claro antropogénico para la ganadería no estuvo fundada en una estrategia económica ni ambiental, sino que dependió de la disponibilidad de las tierras y de la manera en la que éstas se repartieron en el ejido. Así mismo, señaló que la ganadería es mucho más rentable si se establece en tierra *barrial* (fértil) o de vega. Ya que el pasto que ahí crece contiene muchos más nutrientes. El claro antropogénico se abrió en un sitio donde “la tierra no era tan buena”. Por lo tanto hay que invertir más dinero en antibióticos, desparasitantes y sales.

Riesgos de la actividad. Según el señor Gutiérrez, el riesgo por pérdida en la actividad ganadera radica principalmente en la muerte del ganado por enfermedades que “sólo se curan con vacunas”. Aunado a esto, los potreros ubicados en claros antropogénicos tienen otros riesgos, por ejemplo la pérdida del ganado por ataque de la fauna silvestre.

Subsidios. El señor Gutiérrez declaró que no recibió ningún incentivo gubernamental para reconvertir sus tierras a la ganadería, tampoco un crédito bancario. La selva se desmontó en distintas etapas debido a que no contaba con el dinero suficiente para la inversión. Éste lo obtuvo a partir de otras actividades productivas, como la agricultura. Así mismo, reinvertía el dinero obtenido por la venta de los becerros. Hace cuatro años comenzó a recibir Progan.

Establecimiento de la pradera. De acuerdo a la información proporcionada por el señor Gutiérrez, el potrero se estableció como un sistema de “pie de cría o de becerros al destete”, después de que su padre le regaló una cabeza de ganado. Al cabo de los años contaba con un semental “cebú braman” y vientres cruzados o mixtos (de cebú y europeo). Prefería tener vientres europeos, de tipo “suizo”. Para iniciar el establecimiento de un potrero solo hizo falta contar con una pareja de ganado (un vientre y un semental). Según los datos proporcionados por el señor Gutiérrez, el costo actual de un semental “de registro” es de \$6,000 a \$12, 000. Mientras que un vientre tiene un valor de \$5,000 a \$7,000. La inversión real corresponde a la mitad de estos precios, pues los incentivos cubren el 50% del costo.

En el sitio, se introdujeron pastos comerciales: alemán, chontalpo y brizanta.

El desmonte de la selva se realizó contratando jornaleros. El señor Miguel estimó que se requieren \$4, 600.00 para abrir una hectárea de selva (tabla 15).

Cabe mencionar que el precio que se proporcionó para el trazado de la guardarraya no corresponde con otros estudios realizados en la zona, por lo que tenemos que verificar esta información. De acuerdo con estos datos, la apertura de una hectárea de selva tiene un costo mucho menor al reportado por Obregón (2007), en el que se calculan 20 mil pesos por hectárea. De acuerdo al Sr. Gutiérrez, la apertura de 37 ha de selva debió de requerir una inversión de \$170,200 (tabla 15).

**Tabla 15.** Costo de la apertura de un potrero de 37 ha, según los datos proporcionados por el señor Miguel Gutiérrez

Actividad	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo (\$)	
				1ha	37 ha
roza y tumba	jornales	30	100	3, 000	111, 000
Quema	jornales	1	100	1 00	37, 000
guardarraya	jornales	15	100	1, 500	55, 500
<b>Total</b>				<b>4, 600</b>	<b>170, 200</b>

Manejo del potrero. El señor Gutiérrez señaló que él mismo manejaba el potrero, por lo que no pagaba ningún jornal por las actividades de vigilancia, rotación del ganado y quemas. Los costos del manejo se derivaban de la compra de insumos, como vacunas, desparasitantes, garrapaticidas y sales. La vigilancia se realizaba cada cuatro días, en la temporada baja, y a diario en la temporada “de trabajo”, es decir en la época reproductiva. Las 37 ha de potrero contaban con cuatro divisiones. El ganado se rotaba cada 10 ó 15 días, por lo que la tierra descansaba por un periodo de tiempo aproximado de mes y medio. Las quemas se realizaban en la época de secas. El señor Gutiérrez procuraba no hacer quemas todos los años.

La razón que dio es que a pesar de que el fuego mejora la calidad del pasto para el siguiente año, también erosiona la capa fértil, por lo que el fuego reduce el tiempo productivo del potrero.

El único suplemento que se daba al ganado era sal. Ésta se proporcionaba cada tercer día, o bien, cada seis u ocho días en la época de secas. El ganado se rociaba con garrapaticida cada 15 días, y se utilizaban aproximadamente 60 litros en cada baño. La desparasitación ocurría dos veces al año: La primera aplicación del medicamento se daba de forma inyectada y la siguiente de forma oral. Las vacunas (la “triple” y la “carbonosa”) se aplicaban una vez al año.

Según la información proporcionada por el Sr. Gutiérrez, el costo del manejo de un potrero de estas dimensiones, tomando en cuenta los insumos y los jornales invertidos, es de \$78,203 (tabla 16).

**Tabla 16.** Costo de producción de un potrero de 37 ha, según los datos proporcionados por el señor Miguel Gutiérrez.

<b>Superficie (ha)</b>	<b>37</b>			
<b>Cabezas de Ganado</b>	<b>48.1</b>			
<b>Agostadero</b>	1.3			
<b>Número de Toros</b>	1			
<b>Actividades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades de medida</b>	<b>Costo/ unitario</b>	<b>37 ha</b>
<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN ANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD</b>				
<b>Actividades</b>				
Quema (incluye guadarraya)	556	jornales	100	\$55,600.00
Vigilancia (incluye aplicación de vacunas, sales, baño garrapaticida, y otros)	144	Jornales	100	\$14,400
Rotación (incluye mantenimiento)	24	Jornales	100	\$2,400.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$72,400.00</b>
<b>Insumos**</b>				
Desparasitante	1	Medicamento	1,231.00	\$1,231.00
Vacuna	1	medicamento	11.45	\$11.45
Sal	0.72	Kg	0.99	\$0.71
Garrapaticida	24	litros	190	\$4,560.00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$5,803.16</b>
<b>COSTO TOTAL DE MANEJO</b>				<b>\$78,203.16</b>

\*\*Los costos de los insumos se calcularon utilizando como referencia los precios de una veterinaria ubicada en Comitán de Domínguez, Chiapas (Farmacia Mercantil Agropecuaria de Chiapas).

Capacidad de carga y comercialización de los hatos. El señor Gutiérrez declaró que un potrero de 50 ha en tierra fértil puede sostener entre 50 y 80 cabezas de ganado. Una parcela con estas características puede producir al año entre 70 y 75 animales. Usualmente, se ponen a la venta todos los becerros machos, 50% de las novillas y 50% de los vientres que ya han pasado la edad reproductiva. Así mismo, el señor Gutiérrez señaló que un potrero ubicado en una tierra no fértil, tiene una productividad menor, de aproximadamente el 60%.

Los becerros alcanzan un peso de 250Kg a los siete u ocho meses en tierra fértil. En ese mismo periodo de tiempo, los becerros criados en una tierra “pobre” llegan a un peso de 150 a 180Kg. Los becerros alcanzan su punto de venta entre los 180Kg y los 250Kg de peso. El señor Gutiérrez reportó un precio de compra de \$20/Kg de carne. Los becerros no deben de pasar de los 300Kg, pues su precio baja.

Finalmente, el señor Gutiérrez declaró que en su potrero contaba con 37 vientres en reproducción, un semental y entre “65% a 75% de becerros de diferentes edades”.

Con estos datos, el valor de producción anual, puede calcularse en \$74,740 (tabla 17).

**Tabla 17.** Valor de producción anual de un potrero de 37 ha, según los datos proporcionados durante la entrevista

**BENEFICIO EN 37 ha**

**Becerras (machos)**

<b>Cantidad</b>	14.8			
<b>Peso (Kg)</b>	215			
Peso en pie	3, 182	<b>Precio</b>	\$20.00	<b>\$63, 640.00</b>

**Vaquillas**

<b>Cantidad/</b>	3.7			
<b>Peso</b>	150			
Peso en pie	555	<b>Precio</b>	\$20.00	<b>\$11, 100</b>

<b>BENEFICIO TOTAL</b>	<b>\$74, 740.00</b>			
------------------------	---------------------	--	--	--

Redituabilidad de la actividad. Con los datos proporcionados por el señor Gutiérrez es posible calcular el beneficio-costo de la producción de becerros al destete en el sitio de estudio. A este respecto, el propietario de la *parcela* señaló que la ganadería no es una actividad redituable económicamente: “sirve como un *ahorro*, pero el dinero que se obtiene de ella no alcanza para la subsistencia”. La relación beneficio costo se calcula en 0.95. Sin embargo, si se toman en cuenta los jornales de autoempleo, la actividad no resulta deficitaria (tabla 18).

**Tabla 18.** Jornales ejecutados por el Sr. Gutiérrez

Actividades				
Quema (incluye guadarraya)	1	jornales	100	\$100.00
Vigilancia (incluye aplicación de vacunas, sales, baño garrapaticida, y otros)	144	Jornales	100	\$14,400.00
Rotación (incluye mantenimiento)	24	Jornales	100	\$2,400.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$16,900.00</b>

De acuerdo a la información recabada en la entrevista, el Sr. Gutiérrez obtenía \$91,640 al año. Si se resta el costo del manejo, la ganancia neta sería de \$13,436, es decir, \$363/ha. Estos datos no concuerdan con la información obtenida en la investigación bibliográfica, por lo tanto, es necesario hacer entrevistas adicionales, tanto al Sr. Gutiérrez como a otros ganaderos de la zona.

*Programa especial para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de la selva Lacandona, en el estado de Chiapas.*

Uno de los instrumentos gubernamentales que pueden usarse en el caso de estudio es el de los “Lineamientos del Programa Especial para la Conservación, Restauración y Aprovechamiento Sustentable de la Selva Lacandona, en el Estado de Chiapas” (Anexo 3). Este instrumento se desprende del programa de la Conafor llamado hasta 2012 ProÁrbol, que a su vez se desprende de las Reglas de Operación Nacionales de la mencionada comisión.

A diferencia de las Reglas de Operación, los Lineamientos del Programa Especial contemplan la heterogeneidad ambiental, social y económica del territorio mexicano, por lo que están diseñados pensando únicamente en las necesidades de la región de la Selva Lacandona.

Según los Lineamientos del Programa Especial, la restauración del sitio de estudio es una zona elegible en el componente A1 (Regeneración de Selvas). Los Lineamientos Especiales consideran que para lograr el éxito de la restauración de un claro antropogénico de estas características, de gran importancia biológica, es necesario: a) pagar las acciones de la reforestación, de forma que el ejidatario no deba de invertir en reforestar y b) estimular que el ejidatario decida llevar a cabo la reforestación mediante un pago que equivalga, al menos, a la ganancia obtenida por la actividad previamente desarrollada en el predio a restaurar, en este caso, la ganadería. A esto la Conafor le denomina costo de oportunidad.

- Pago de las acciones de reforestación

A continuación se hace un análisis de los conceptos de apoyo y los montos otorgados para la restauración del sitio en el primer año. Finalmente se hace una comparación entre los costos económicos calculados para la aplicación de cada técnica y el monto que el ejidatario recibiría de entrar en el Programa Especial.

El tratamiento 2 en el primer año correspondería a los conceptos de apoyo de remoción de vegetación indeseable y reforestación con especies pioneras y de valor comercial. Según los Lineamientos del Programa Especial, la remoción de vegetación indeseable es una actividad preparatoria de las actividades de restauración y se debe de hacer de forma manual; por su parte la reforestación con especies pioneras y de valor comercial incluye la adquisición de planta, su transporte, trasplante, y el mantenimiento de la reforestación durante el primer año (acciones de deshierbe o control de malezas).

El monto otorgado para ambos conceptos es de \$6, 676/ha (tabla 19), por lo que en el primer año de restauración, se otorgarían \$247, 012 para restaurar un área de 37 ha.

**Tabla 19.** Apoyos recibidos durante el primer año para restaurar un claro antropogénico, según los Lineamientos del Programa Especial

<b>Concepto de apoyo</b>	<b>Monto de apoyo (M.N.)</b>
Remoción de vegetación indeseable	\$2, 000.00/ha
Reforestación con especies pioneras y de valor comercial	\$4, 676.00/ha
<b>Total</b>	<b>\$6, 676.00/ha</b>

Si comparamos este monto con los costos calculados para el tratamiento 2, que fueron de por lo menos \$16, 097/ha, es decir \$595,485.77 por las 37 ha, el déficit es de \$348, 474. Por lo que en términos económicos, la realización del tratamiento 2 resulta inviable. Si recordamos, el costo de esta técnica de restauración está dado fundamentalmente por la remoción de la vegetación indeseable. Esto implica que la técnica debe de ser ajustada, lo cual se analiza más adelante.

- **Pago del costo de oportunidad en los Lineamientos del Programa Especial**

El costo de oportunidad es un subsidio independiente del monto asignado para realizar la reforestación. Para estimular el cambio de la actividad ganadera por la de reforestación, la Conafor otorga un subsidio de \$1, 500/ha al año; una vez establecido el acuerdo, la Conafor otorgará el estímulo durante cinco años. Lo que significa que el ejidatario recibirá \$55,500 al año, y \$277,500 en cinco años.

### *Reglas de Operación Nacionales del Programa ProÁrbol*

Las Reglas de Operación Nacionales se desprenden del programa de la Conafor llamado ProÁrbol, un instrumento que opera en todo el territorio nacional. Los Lineamientos de las Reglas de Operación están diseñados para todos los estados de la República, por lo que no toman en cuenta las características particulares de cada región.

- Pago de las acciones de reforestación

Cuando comparamos los montos y condiciones que aparecen en las Reglas de Operación de la Conafor, sin tomar en cuenta al Programa Especial, la viabilidad de la restauración de los claros antropogénicos resulta más difícil. En las Reglas de Operación nacionales, la Conafor apoya con \$1,155.00/ha para llevar a cabo las acciones de reforestación. Lo cual, para una superficie de 37 ha implica la cantidad de \$42,735. Si comparamos este monto con el costo de implementar el tratamiento 2, encontramos un déficit de \$552,751, es decir, \$204,277 más que con el Programa Especial. En este caso, la técnica 2 también resultaría inviable en términos económicos.

- Pago del costo de oportunidad por las Reglas de Operación

Respecto al pago por el costo de oportunidad, las Reglas de Operación nacionales apuntan lo siguiente: “para terrenos ganaderos de aptitud forestal y con vocación para la reconversión con acciones de reforestación, se asignará por única vez un monto de \$674/ha, como costo de oportunidad”.

#### 6.3.4 Análisis del costo de oportunidad de la reforestación

De acuerdo a los datos proporcionados por el Sr. Gutiérrez, la ganancia que el ejidatario obtiene por la actividad ganadera, considerando tanto el ingreso por la venta de los becerros como por los jornales ejercidos por él mismo, es de \$363/ha al año, es decir \$67,183 por 37 ha en cinco años. A reserva de verificar los datos proporcionados por el Sr. Gutiérrez, podemos concluir que al término del convenio del Programa Especial el ejidatario recibirá \$210,317 más de lo que hubiera obtenido con la actividad ganadera. Por lo tanto, el monto asignado al costo de oportunidad sí representa un estímulo atractivo.

Por otro lado, si el ejidatario entra a las Reglas de Operación, en el primer año recibiría \$24,938.00, es decir, \$11,501 más de lo que percibiría por la actividad ganadera. En este caso, las Reglas de Operación nacionales otorgan un estímulo para la reconversión de uso de suelo, que si bien excede la ganancia potencial de la ganadería, no resulta tan atractivo como el costo de oportunidad que otorgan los Lineamientos del Programa Especial.

## **7. CONCLUSIONES GENERALES: RECOMENDACIONES PARA LA RESTAURACIÓN DE CLAROS ANTROPOGÉNICOS**

Por su valor ecológico, la aplicación del tratamiento 3 es sumamente recomendable. Más aún si se toma en cuenta el bajo costo extra de este tratamiento comparado con el tratamiento 2.

Con la finalidad de hacer viable la reforestación en estos sitios, y tomando en cuenta lo establecido en los Lineamientos del Programa Especial, propusimos una alternativa al tratamiento 2. Durante el análisis identificamos que el mayor costo de la restauración recae en la eliminación de la vegetación herbácea. La propuesta contempla los beneficios ambientales de la eliminación de la vegetación y de la reforestación, así como los montos asignados por la Conafor para llevar a cabo estas acciones.

Cabe mencionar, que el análisis está sujeto a ajustes ya que tendremos que integrar los datos del último muestreo de vegetación, así como los costos que puedan sumarse hasta completar el año de estudio.

Con la finalidad de disminuir los costos por remoción de la vegetación, proponemos que el chaponeo se realice en líneas de un metro separadas entre sí cada dos metros. De este modo, si estimamos que en una jornada de trabajo se pueden chaponear  $150\text{m}^2$ , el costo por remoción de la vegetación podría disminuir a \$81,400.00 (M.N.) para 37 ha. Así mismo, estimamos que el chaponeo de mantenimiento tendrá un costo de \$100 por cada  $600\text{m}^2$ , lo que equivale a \$20,350.00 en 37 ha, durante cada mes de mantenimiento.

Los costos de la adquisición de la planta, del transporte y del trasplante se mantienen igual. Bajo este esquema de reforestación, calculamos un gasto total de \$93,969 en 37 ha, durante el primer año, es decir, \$39,843 menos de lo que paga el Programa Especial (tabla 16). Con esta propuesta, la reforestación sería viable en términos económicos. Cabe mencionar que aún habría que comprobar esto de manera experimental.

**Tabla 16.** Costo de la reforestación de 37 ha, durante el primer año de restauración, bajo el esquema de la nueva propuesta

Concepto	Acción	Pago	Descripción de la acción	Costo unitario	Costo estimado	Diferencia
Remoción de vegetación indeseable	Remoción de vegetación	74000	líneas de un metro de ancho separadas cada 2 metros	1 jornal (\$100) cada 150m <sup>2</sup>	<b>81400.00</b>	-7400.00
	Compra de planta	173012	23125 plantas	\$1.75 cada planta	40468.75	
Transporte	13 animales con 3 viajes		200+100=300	3900.00		
Transplante	reforestación		1 jornal cada 600m <sup>2</sup>	20350.00		
Chaponeo	primer chaponeo octubre		1 jornal cada 600m <sup>2</sup>	20350.00		
	segunda chaponeada diciembre		1 jornal cada 600m <sup>2</sup>	20350.00		
	3 chaponeada al año marzo		1 jornal cada 600m <sup>2</sup>	20350.00		
					<b>125768.75</b>	47243.25
						<b>39843.25</b>

## 8. LITERATURA CITADA

- Cairns, J. y J. Heckman. 1996. Restoration ecology: the state of an emerging field. *Annual Review of Energy and the Environment* 21: 167-189.
- Bonfil, C. y F. Figueroa. 2011. Unión de científicos comprometidos con la sociedad. *Ciencias* 103: 50-53.
- Carabias, J., P. Meli, G. Hernández y E. Provencio. 2010. Evaluación de áreas prioritarias con mayor biodiversidad y potencial almacenamiento y captura de carbono, mediante la reconversión productiva en Marqués de Comillas, Chiapas, y la disminución de la deforestación a nivel local. Informe técnico. INE-UNAM, México.
- Carabias, J., G. Hernández y P. Meli. 2009. Análisis comparativo de la deforestación de los ejidos de Marqués de Comillas, y determinación de corredores biológicos que conecten los fragmentos de selva de los ejidos con la Reserva de la Biosfera Montes Azules. Informe técnico. INE-UNAM, México.
- Carabias, J., P. Meli y G. Hernández (coords.). 2007. Reforestación y restauración ecológica en siete ejidos de las márgenes del Río Lacantún, al sur de la Reserva de la Biosfera Montes Azules. Informe técnico. CBM–Natura Mexicana, México.
- Cardona, N. 2005. Consideraciones socioeconómicas en el diseño de proyectos sustentables de restauración ecológica, en O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdéz y D. Azuara (eds.), *Temas sobre restauración ecológica*. INE, México, pp. 45-56.
- Cervantes, V., J. Carabias y V. Arriaga. 2008. Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental, en *Capital natural de México*, vol. III: *Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. Conabio, México, pp. 155-226.
- De la Maza, J., J. Carabias, C. Ramírez y P. Meli. 2010. *Bases para una política de sustentabilidad ambiental para la cuenca del río Usumacinta*. IMTA-Natura Mexicana-Quercus, México. 246 pp.
- De Vos, J. 1988. *Oro verde: La conquista de la Selva Lacandona por los madereros tabasqueños, 1822-1949*. FCE, México. 333 pp.

- De Vos, J. 2002. *Una tierra para sembrar sueños: Historia reciente de la Selva Lacandona, 1950-2000*. FCE-CIESAS, México. 505 pp.
- Díaz-Gallegos, J., J. Mas, y A. Velázquez. 2008. Monitoreo de los patrones de deforestación en el Corredor Biológico Mesoamericano, México. *Interciencia* 33: 822-890.
- Estreguil, C. y C. Mouton. 2009. Measuring and reporting on forest landscape pattern, fragmentation and connectivity in Europe: Methods and indicators. JRC Scientific and Technical Reports. European Commission–Joint Research Centre–Institute for Environment and Sustainability, Italia.
- Gaia y Natura Mexicana. 2012. Ordenamiento comunitario del territorio de la microrregión Marqués de Comillas, Chiapas: una iniciativa inter-ejidal para el mejoramiento de los medio de vida rurales en la Selva Lacandona. Gaia-Natura Mexicana-Conafor, México.
- Global Environment. 2003. *Biodiversity: rainforest*, en <<http://www.admwebstudios.co.uk/Biodiversity12.htm>> (consultado en junio de 2011).
- Gourlet–Fleury, S., L. Blanc, N. Picard, P. Sist, J. Dick, R. Nasi, M.D. Swaine y E. Forni. 2005. Grouping species for predicting mixed tropical forest dynamics: looking for a strategy. *Annals of Forest Science* 62: 785–796.
- Guzmán Luna, A. 2012. Éxito de árboles provenientes de reclutamiento natural y propagados en vivero en plantaciones de restauración ecológica. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, UNAM, México. 81 pp.
- Herrerías, D. y J. Benítez–Malvido. 2005. Consecuencias de la fragmentación de los ecosistemas, en O. Sánchez, E., Vega, E. Peters, O. Monrroy-Vilchis (eds). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. INE, México, pp. 113-126
- Hobbs. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4(2): 93-110.

- Holl, K., R. Zahawi, R. Cole, R. Ostertag y S. Cordell. 2011. Planting seedlings in tree islands versus plantations as a large-scale tropical forest restoration strategy. *Restoration Ecology* 19(4): 470–479.
- INE. 2000. *Programa de Manejo: Reserva de la Biosfera de Montes Azules, México*. INE-Semarnap, México. 256 pp.
- Le, H, C. Smith, J. Herbohn y S. Harrison. 2012. More than just trees: Assessing reforestation success in tropical developing countries. *Journal of rural studies* 28(1): 5-19.
- León-Pérez, R., V. Towns, R. Aguilar-Fernández, J. Carabias y F. Ortiz-Rosas, J. Carabias y J. De la Maza. 2012. Restoration and wildlife conservation as an economic income alternative. Proceedings of the IVth International Wildlife Management Congress. Durban, Sudáfrica.
- Lozano-Vilano, M., M. García-Ramírez, S. Contreras-Balderas y C. Ramírez-Martínez. 2007. Diversity and conservation status of the ichthiofauna of río Lacantún basin in the Biosphere Reserve Montes Azules, Chiapas, México. *Zootaxa* 1410: 43-53.
- Luken, J. 1990. *Directing ecological succession*. Chapman and Hall, Cambridge. 251 pp.
- Maass, M. 2003. Principios generales sobre manejo de ecosistemas, en: O. Sánchez, , E. Vega, E. Peters, O. Monrroy-Vilchis (eds). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. INE, México, pp. 117-135.
- Martínez-Garza, C. 2005. Restauración en los trópicos: Acelerando la sucesión natural. *Tropisilva* 1(1). Disponible en <[http://www3.uaem.mx/ebe/april/martinez\\_april05.htm](http://www3.uaem.mx/ebe/april/martinez_april05.htm)>
- 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 X. García-Orth. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80 (suplemento): 69-84.

- Martínez-Ramos, M., *et al.* 2012. Manejo de bosques tropicales: bases científicas para la conservación, restauración y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales. *Investigación ambiental* 4(1): 111-129.
- Meli, P. 2003. Restauración ecológica de bosques tropicales: veinte años de experiencia académica. *Interciencia* 28(10): 581-589.
- Meli, P. y V. Carrasco-Carballido. 2011. *Restauración ecológica de riberas: Manual para la recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la selva Lacandona*. CBMM Serie Diálogos, número 5, Conabio, México. 62 pp.
- Montoya, G., J. Hernández, A. Velasco, L. Reygadas y T. Ramos. 2006. Organización comunitaria para la conservación forestal: Estudio de caso en la selva Lacandona de Chiapas, México. *Papeles de población* 49: 177-204.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons, Nueva York. 547 pp.
- Natura Mexicana. 2009. Bases para el desarrollo de una estrategia de ordenamiento y restauración en Marqués de Comillas, Chiapas. Informe técnico. CBM-Natura Mexicana, México.
- Obregón, R. 2007. Elaboración de proyectos para el fortalecimiento de la agricultura sustentable en los corredores de Chiapas. Informe técnico. CBM, México.
- Palomera-García, C., C. Santana y R. Amparan-Salido. 1994. Patrones de distribución de la avifauna en tres estados del occidente de México. *Anales del Instituto de Biología*, UNAM: 65: 137-175.
- Pardini, R., A. De Arruda, T. Gardner, P. Prado, J. Metzger. 2010. Beyond the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. *Regime Shifts in Biodiversity* 5(10): 1-10.
- Pickett, S. y P. White. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, San Diego. 227 pp.
- Riitters, K. y J. Coulston. 2005. Hot spots of perforated forest in the Eastern United States. *Environmental Management* 35 (4): 483–492.

- Rodríguez-Velázquez, J. 2005. Desempeño de plántulas trasplantadas a praderas ganaderas abandonadas en la región de Marqués de Comillas, Chiapas. Tesis de Maestría. Ciecoc, UNAM. México. 100 pp.
- Román, F. 2011. Plantaciones experimentales de restauración ecológica en la selva Lacandona (Chiapas, México). Tesis doctoral. Ecosur. México. 96 pp.
- Ruiz, L. 2011. Herramientas legales para la conservación y restauración de la vegetación ribereña: Un estudio de caso en la selva Lacandona. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 163 pp.
- Saunders, D., R. Hobbs y C. Margules. 1991. Biological Consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology* 5: 1.
- Sánchez, O. 2005. Restauración ecológica: algunos conceptos, postulados y debates al inicio del siglo XXI, en O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdés y D. Azuara (eds.), *Temas sobre restauración ecológica*. INE, México. 255 pp.
- Saucedo, E. 2011. Regeneración de la comunidad vegetal y de dos poblaciones de artrópodos durante un proceso de restauración ecológica en el área de amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, DF. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 95 pp.
- Segob. 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación, última reforma publicada: 04 de julio de 2012.
- Semarnat. 2006. *La gestión ambiental en México*. Semarnat, México. 468 pp.
- Siebe, C., M. Martínez-Ramos, G. Segura-Warnholtz, J. Rodríguez-Velásquez y S. Sánchez-Beltrán. 1991. Soil and vegetation patterns in the tropical rainforest at Chajul, southeast Mexico. Proceedings of the International Congress on soils of tropical forest ecosystems, 3rd Conference on Forest Soils. Samarinda, Indonesia.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Publicación Especial 4, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C., Chapingo, México. 70 pp.

- SER. 2004. *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. Disponible en <http://www.ser.org/docs/default-document-library/spanish.pdf>
- Vega, E. y E. Peters. 2003. Conceptos generales sobre el disturbio y sus efectos en los ecosistemas, en: O. Sánchez, E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (eds.), *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. INE, México, pp. 137-150.
- Wyant, J., R. Meganck y S. Ham. 1995. A planning and decision-making framework for ecological restoration. *Environmental Management* 19:789-796.
- White, P. y Pickett, S. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, Orlando. Pp.
- Zipperer, W. 1993. Deforestation patterns and their effects on forest patches. *Landscape Ecology* 8(3): 177-184.

## 9. ANEXOS

### 9.1 Descripción de perfiles de suelo

#### *Perfil 1*

#### **I Información acerca de la localidad**

a. número de perfil: 1

b. nombre del sitio: Parcela de Miguel Gutiérrez, ejido Boca de Chajul, Marqués de Comillas, Chiapas. Unidad 1 (parcela experimental 1T1)

c. Clasificación del suelo:

WRB: Cambisol estagnico

d. Fecha de descripción: 28 de julio de 2012

e. Autores: Rocío Aguilar Fernández y Armando Navarrete

f. Localización: aproximadamente a 2.5 Km del ejido Boca de Chajul, por el camino que parte del la pista de aterrizaje.

Coordenadas UTM: 0724785, 1782084  $\pm$  5m

g. Altitud: 1600 msnm

h. Forma del terreno: plana convexa

posición fisiográfica: parte baja de un pequeño lomerío cárstico

i. Pendiente: ligeramente inclinado (3°), exposición: Noreste 70°

j. Uso de suelo o vegetación: Potrero utilizado por 14 años y abandonado hace dos años (acahual joven). Se observan especies típicas de vegetación secundaria de hasta 3m de altura (*Bellucia grossularoides* y *Eugenia* sp, entre otras). Dominan los pastos introducidos (*Brachiaria decumbens*)

k. Clima: Af (tropical húmedo)

Precipitación media anual: 2,800mm, siendo los meses de mayo a octubre cuando ocurre mayor precipitación (más de 100mm mensuales). La temperatura media anual es de 24°C, con oscilaciones isotermales (Datos provenientes de la Estación Meteorológica Automatizada “Lacantún”, ubicada en el ejido Playón de la Gloria a 1600msnm; Comisión Federal de Electricidad)

## **II Información general acerca del suelo**

- a. Material parental:
- b. Drenaje natural: deficiente
- c. Condiciones de humedad en el perfil: mojada (pF 1)
- d. Profundidad del manto freático: desconocida (no influye en el perfil)
- e. Presencia de rocas superficiales: no hay
- f. Evidencia de erosión: zonas de acumulación de hojarasca por erosión laminar moderada
- g. Presencia de sales o soda: ninguna
- h. Influencia humana: la vegetación de la selva tropical húmedo) fue transformada para la actividad ganadera (durante 14 años), posteriormente el potrero fue abandonado (hace dos años). Actualmente corresponde a un sitio destinado a la restauración ecológica (los trabajos de restauración comenzaron en octubre de 2012).

### III Descripción breve del perfil

Perfil de profundidad fisiológica mediana, con drenaje deficiente, y con una coloración distintiva de cada horizonte: los horizontes A muestran colores pardos, mientras que los horizontes B tienen un patrón de coloración estagnico, la pedregosidad limita el desarrollo de raíces a profundidad. Los horizontes suprayacentes presenta una estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos; y con pocos poros finos; mientras que los horizontes subyacentes presentan una menor estructura. La densidad de la raíces es muy alta en el primer horizonte, y alta en el segundo; ésta comienza a bajar a partir del tercer horizonte, donde se observa que el drenaje de agua es ineficiente, la textura se vuelve más arcillosa y hay evidencias de oxido-reducción de hierro y aluminio. La principal limitante para el desarrollo de vegetación es la falta de aireación, misma que limita la profundidad fisiológica.

### IV Descripción del perfil

Ap	0-8 cm	Color pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10 YR 3/2), textura franco-limosa, contenido medio de materia orgánica (3%), ligeramente ácido (pH 6 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad menor al 1%, poros <i>exped</i> e <i>inped</i> comunes, vesiculares y tubulares finos, densidad muy alta de raíces, límite gradual y uniforme.
Ap2	8-24 cm	Color pardo en húmedo (10 YR 4/4), textura franco-limosa, contenido medio de materia orgánica (2%), ligeramente ácido (pH 6 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 5%,

poros *exped* e *imped* comunes, vesiculares finos, densidad alta de raíces, límite gradual y uniforme.

Bw	24-38 cm	Color pardo amarillento pálido en húmedo (10 YR 5/4), textura franco-arcillosa, ligeramente ácido (pH 6 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 20%, pocos poros <i>exped</i> tubulares finos, densidad media de raíces, límite gradual y uniforme.
Bwg2	38-56 cm	Color amarillento en húmedo (10 YR 5/6), textura franca, moderadamente ácido (pH 5 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, media que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 40%, pocos poros vesiculares finos, densidad baja de raíces, límite gradual y uniforme. Con motas vesiculares <i>imped</i> y <i>exped</i> de color pardo (10 YR 5/8).
Bwg3	>56 cm	Color gris claro en húmedo (10 YR 7/1), textura franco-arcillo-limosa, moderadamente ácido (pH 5 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, media que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 50%, pocos poros tubulares finos, no se observan raíces. Con motas vesiculares <i>imped</i> y <i>exped</i> de color pardo (10 YR 5/8).

## **V Interpretación de las características del suelo**

### **Procesos pedogenéticos dominantes**

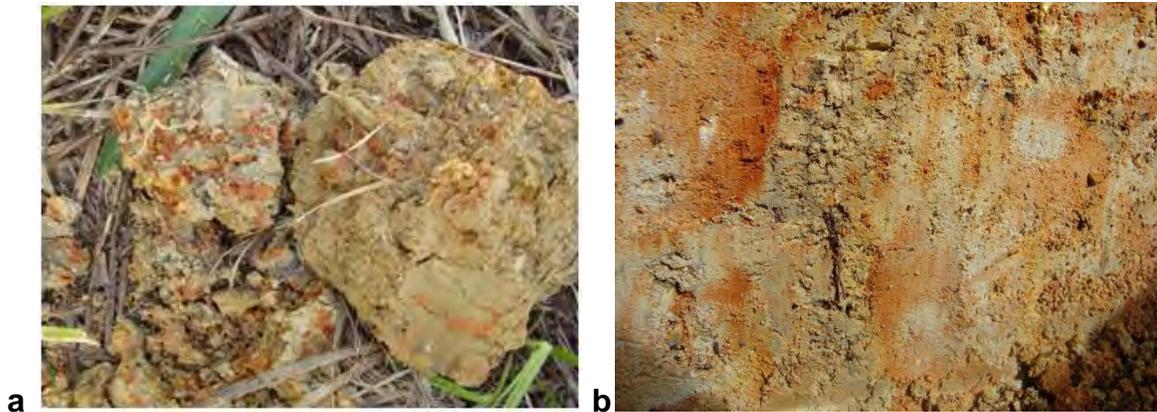
Los dos primeros horizontes muestran acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es Mull. La coloración y textura de los horizontes Bw muestran formación de arcillas. El patrón de color estagnico en de los horizontes Bwg2 y Bwg3 indica la formación de óxidos, así como la óxido-reducción de Al y Fe. La clasificación como Cambisol estagnico se basó principalmente en las características estagnicas de los horizontes Bw.

### **Características ecológicas**

El sitio presenta una profundidad fisiológica media, con una disponibilidad de nutrimentos mediana, por lo que no representa una limitante para el desarrollo y supervivencia de nuevas plántulas. Los datos indican que la supervivencia de la vegetación está limitada principalmente por la manera en la que el perfil administra el agua. Las condiciones de drenaje son deficientes, especialmente en los horizontes B. Esta característica, aunada a la acumulación de arcillas y a la baja capacidad de aireación limita el desarrollo de raíces a profundidades mayores a 24cm. Las características del suelo muestran que en los primeros dos horizontes el agua puede drenar sin dificultad, mientras que el drenaje se vuelve deficiente en los horizontes subyacentes, esto limita el desarrollo de vegetación, ya que disminuye la capacidad de aireación, al tiempo que la capacidad de agua disponible para las plantas es baja. La principal limitante para el desarrollo de vegetación es la falta de aireación, misma que limita la profundidad fisiológica.



**Perfil de suelo 1, desde la superficie hasta el Hz Bw3.**



**En el Hz Bw3 se observan manchas y motas características del patrón de coloración estagnico. a) Agregados; b) Acercamiento a la pared del perfil.**

## Perfil 2

### I Información acerca de la localidad

a. número de perfil: 2

b. nombre del sitio: Parcela de Miguel Gutiérrez, ejido Boca de Chajul, Marqués de Comillas, Chiapas. Unidad 1 (parcela experimental 14T1)

c. Clasificación del suelo:

WRB: Cambisol háplico (dístrico, límico)

d. Fecha de descripción: 28 de julio de 2012

e. Autor: Rocío Aguilar Fernández y Armando Navarrete

f. Localización: a aproximadamente 2.5 Km del ejido Boca de Chajul, por el camino que parte del la pista de aterrizaje.

Coordenadas UTM: 0724676, 1782083  $\pm$  4m

g. Altitud: 1600msnm

h. Forma del terreno: plana

posición fisiográfica: parte baja de un pequeño lomerío

i. Pendiente: ninguna (0%)

j. Uso de suelo o vegetación: Potrero abandonado utilizado por 14 años y abandonado hace dos (acahual joven). Se observan especies típicas de vegetación secundaria de hasta 3m de altura (*Bellucia grossularoides* y *Eugenia* sp, entre otras). Dominan los pastos introducidos (*Brachiaria decumbens*)

k. Clima: Af (tropical húmedo)

Precipitación media anual: 2,800mm, siendo los meses de mayo a octubre cuando ocurre mayor precipitación (más de 100mm mensuales). La temperatura media anual es de 24°C, con oscilaciones isotermales

(Datos provenientes de la Estación Meteorológica Automatizada “Lacantún”, ubicada en el ejido Playón de la Gloria a 1600msnm; Comisión Federal de Electricidad).

## **II Información general acerca del suelo**

- a. Material parental: Presencia de cantos rodados y de cuarzo.
- b. Drenaje natural: deficiente
- c. Condiciones de humedad en el perfil: mojada (pF 1)
- d. Profundidad del manto freático: no determinada
- e. Presencia de rocas superficiales: no hay
- f. Evidencia de erosión: evidencia de erosión hídrica por la acumulación de hojarasca, flujo laminar de grado muy leve.
- g. Presencia de sales o soda: no hay
- h. Influencia humana: la vegetación de la selva tropical húmedo) fue transformada para la actividad ganadera (durante 14 años), posteriormente el potrero fue abandonado (hace dos años). Actualmente corresponde a un sitio destinado a la restauración ecológica (los trabajos de restauración comenzaron en octubre de 2012).

## **III Descripción breve del perfil**

La coloración de los horizontes A es parda, mientras que en los horizontes B se observa un patrón estagnico. A diferencia del perfil 1, éste presenta un horizonte Ap de coloración pardo grisáceo muy oscuro, de 8cm de profundidad. Debido a la presencia de tocones quemados, sugerimos que las cenizas tienen origen en las quemadas para el manejo agropecuario. A partir de los 20cm de profundidad hay una pedregosidad muy alta que limita el desarrollo de raíces. La estructura es subangular en bloques, moderada, fina, que rompe en bloques subangulares finos, con poros comunes vesiculares e intersticiales.

#### IV Descripción del perfil

Ap	0-8 cm	Color pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10 YR 3/2), textura franco-limosa gruesa, contenido medio de materia orgánica (3%), moderadamente ácido (pH 5 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 1%, poros comunes, vesiculares e intersticiales finos, densidad muy alta de raíces, límite claro y regular.
B11	8-20 cm	Color pardo en húmedo (10 YR 4/6), textura franco-limosa muy gruesa, fuertemente ácido (pH 4 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 5%, poros comunes, vesiculares e intersticiales muy finos, densidad alta de raíces. límite claro e irregular.
B12	20-30 cm	Color pardo en húmedo (10 YR 4/6), textura franco-limosa gruesa, fuertemente ácido (pH 4 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 70%, muchos poros vesiculares <i>exped</i> finos, densidad baja de raíces, límite claro y uniforme.
2B	30-50 cm	Color pardo en húmedo (10 YR 5/8), textura arcillo-limosa, fuertemente ácido (pH 4 en agua), estructura subangular en bloques, moderada, fina que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 40%, pocos poros vesiculares e intersticiales, densidad nula de raíces.

## **V Interpretación de las características del suelo**

### **Procesos pedogenéticos dominantes**

Los dos primeros horizontes muestran acumulación de materia orgánica, el tipo de humus es Mull. La coloración y textura de los horizontes B muestran formación de arcillas. El patrón de color estagnico indica la formación de óxidos, así como la óxido-reducción de Al y Fe. A diferencia del perfil 1, éste presenta un horizonte Ap de 8cm de color muy oscuro, podría pensarse en la acumulación de cenizas que bien podrían ser de origen volcánico. En el sitio hay evidencias de que hubo una quema.

### **Características ecológicas:**

El sitio presenta una profundidad fisiológica media. Sin embargo, presenta condiciones deficientes de drenaje. Un factor limitante para el desarrollo de la vegetación es la baja capacidad de agua disponible, la alta pedregosidad, así como la baja retención de agua (capacidad de campo). A pesar de la baja disponibilidad de nutrientes, parece que el sitio es más propicio para el desarrollo de la vegetación, en comparación al perfil 1, gracias a la presencia de cenizas volcánicas o bien, de cenizas provenientes de quemas para el manejo agropecuario.



**Perfil 2.**

### Perfil 3

#### I Información acerca de la localidad

a. número de perfil: 3

b. nombre del sitio: Parcela de Miguel Gutiérrez, ejido Boca de Chajul, Marqués de Comillas, Chiapas. Unidad 2 (parcela experimental 8T1)

c. Clasificación del suelo:

WRB: Plansol, mólico (eútrico)

d. Fecha de descripción: 28 de julio de 2012

e. Autor: Rocío Aguilar Fernández y Armando Navarrete

f. Localización: a aproximadamente 2.5 Km del ejido Boca de Chajul, por el camino que parte del la pista de aterrizaje.

Coordenadas UTM: 0725322, 1782231  $\pm$  4m

g. Altitud: 1600msnm

h. Forma del terreno: plana convexa

posición fisiográfica:

i. Pendiente: moderadamente inclinado (4.5°), exposición: Noreste 310°

j. Uso de suelo o vegetación: Potrero utilizado por 14 años y abandonado hace dos. Se observan especies típicas de vegetación secundaria de hasta 3m de altura (*Xylopia frutescensis*, *Casearia* sp). Predominan los pastos introducidos (*Echinochloa* sp).

k. Clima: Af (tropical húmedo)

Precipitación media anual: 2,800mm, siendo los meses de mayo a octubre cuando ocurre mayor precipitación (más de 100mm mensuales). La temperatura media anual es de 24°C, con oscilaciones isotermas (Datos provenientes de la Estación

Meteorológica Automatizada “Lacantún”, ubicada en el ejido Playón de la Gloria a 1600msnm; Comisión Federal de Electricidad)

## **II Información general acerca del suelo**

- a. Material parental:
- b. Drenaje natural: deficiente
- c. Condiciones de humedad en el perfil: mojada (pF 1)
- d. Profundidad del manto freático: 95cm, a partir de los 35cm el agua corre en sentido horizontal.
- e. Presencia de rocas superficiales:
- f. Evidencia de erosión: hídrica de flujo laminar subsuperficial
- g. Presencia de sales o soda: ninguna
- h. Influencia humana: la vegetación de la selva tropical húmedo) fue transformada para la actividad ganadera (durante 14 años), posteriormente el potrero fue abandonado (hace dos años). Actualmente corresponde a un sitio destinado a la restauración ecológica (los trabajos de restauración comenzaron en octubre de 2012).

## **III Descripción breve del perfil**

La coloración en el primer horizonte es negro parduzco, lo que contrasta con los horizontes subyacentes, de color pardo amarillo grisáceo que recuerda los patrones gleicos. Los horizontes A presentan estructura subangular en bloques, medianos que rompen en bloques subangulares finos y muy finos, mientras que los horizontes B tienen una estructura angular en bloques que rompe en angulares. Los poros son comunes, vesiculares e intersticiales.

## **IV Descripción del perfil**

A	0-20 cm	Color negro parduzco en húmedo (10 YR 2/2), textura franca, contenido medio de materia orgánica (3%), ligeramente ácido (pH 6 en agua), estructura subangular en bloques, mediana que rompe en bloques subangulares finos, pedregosidad del 1%, poros comunes vesiculares intersticiales, densidad muy alta de raíces, límite claro y uniforme.
AB	20-40 cm	Color pardo amarillento pálido en húmedo (10 YR 5/3), textura franca-arenosa, contenido medio de materia orgánica (2%), ligeramente ácido (pH 6 en agua), estructura subangular en bloques, mediana que rompe en bloques subangulares muy finos, pedregosidad del 4%, poros comunes intersticiales, densidad moderada de raíces. límite difuso.
Bwg	40-80 cm	Color pardo amarillo grisáceo en húmedo (10 YR 6/2), textura franco-limosa gruesa, moderadamente ácido (pH 5 en agua), estructura angular en bloques medianos que rompe en bloques angulares muy finos y finos, pedregosidad del 10%, poros comunes intersticiales, densidad moderada de raíces, límite difuso.
Bg2	80-95 cm	Color pardo amarillo grisáceo en húmedo (10 YR 6/2), textura arcillo-limosa, moderadamente ácido (pH 5 en agua), estructura angular en bloques muy finos que rompe en bloques angulares muy finos, pedregosidad del 1%, poros comunes vesiculares, densidad nula de raíces.

## **V Interpretación de las características del suelo**

### **Procesos pedogenéticos dominantes**

Presencia frecuente de concreciones de óxido de hierro, de tamaño grande, y forma irregular. Se observa la ocurrencia de un proceso de óxido-reducción a través del patrón de color estagnico. La escorrentía subsuperficial y la baja capacidad de drenaje en los horizontes subyacentes, indican condiciones de anoxia, y una baja capacidad para el desarrollo de raíces. Hay acumulación materia orgánica en los primeros dos horizontes. Los horizontes B presentan evidencia de acumulación de arcillas, un color más rojizo que los horizontes suprayacentes además de formación de estructura. Estas características, en conjunto con el patrón de coloración moteado que recuerda condiciones de óxido-reducción, indica la continua saturación con agua, proveniente tanto de la escorrentía laminar, como de la cercanía con el manto freático. Los horizontes subyacentes presentan coloración gleyca, lo que indica saturación de agua y baja aireación.

### **V Características ecológicas**

El suelo presenta una profundidad fisiológica mediana, y agua disponible media. Sin embargo, la supervivencia de las plántulas está limitada por la baja aireación, así como por el drenaje deficiente, que resultan en una profundidad de desarrollo de raíces baja. Así mismo, la cantidad de bases intercambiables es baja, así como la disponibilidad de nutrientes. Por lo que la falta de nitrógeno y fósforo disponible en el suelo representan una limitante para el desarrollo de vegetación. Éstas características podrían relacionarse con el reducido establecimiento de vegetación por regeneración natural, si se le compara con la unidad 1. La principal limitante para el desarrollo de vegetación es la baja aireación que resulta en una profundidad fisiológica limitada.



**Perfil 3.**

## 9.2 Listados florísticos

- Muestreo de la unidad experimental 1

### **ANNONACEAE**

*Xylopia frutescens* Aublet

### **APOCYNACEAE**

*Thevetia ahouai* (L.) A.DC

### **ASTERACEAE**

*Vernonathura patens*

### **BIGNONIACEAE**

*Tabebuia rosea* (Jacq.) Nicholson

### **BOMBACEAE**

*Quararibea funebris* (Llave) Vischer

### **BORAGINACEAE**

*Cordia bicolor* DC

### **BURSERACEA**

*Bursera simaruba* (L.) Sarg.

### **CHRYSOBALANACEAE**

*Hirtella racemosa* Lamarck

### **COMBRETACEAE**

*Terminalia amazonia* (J. F. Gmelin)

### **EUPHORBIACEAE**

*Acalypha diversifolia* Jacq.

### **FABACEAE**

*Inga* sp

*Acosmium panamense* (Benth.) Yakovl.

*Pterocarpus hayesii*

*Schizolobium parahybum* (Vell.) Blake

### **HYPERICACEAE**

*Vismia* sp

### **LAURACEAE**

*Nectandra salicifolia*

**MALPIGHIACEAE**

*Byrsonima crassifolia* (L.) H. B. K.

**MELASTOMATACEAE**

*Bellucia grossularioides* (L.) Triana

**MORACEAE**

*Cecropia obtusifolia* Bertol.

**MYRTACEAE**

*Eugenia* sp

*Calythranthes* sp

**RUBIACEAE**

*Alibertia edulis* (L. Rich.) A. Rich. Ex DC

**SALICACEAE**

*Zuelania guidonia*

**SAPINDACEAE**

*Cupania dentata* DC

**SAPOTACEAE**

*Chrysophyllum mexicanum*

- Muestreo de la unidad experimental 2

**ANNONACEAE**

*Xylopiya frutescens*

**ASTERACEAE**

*Thevetia ahouai*

**ASTERACEAE**

*Vernonathura patens*

**BURSERACEAE**

*Bursera simaruba*

**COMBRETACEAE**

*Terminalia amazonia*

**EUPHORBIACEAE**

*Croton schideanus*

**FABACEAE**

*Acosmium panamense*

*Schizolobium parahybum*

**FLACOURTIACEAE**

*Casearia sp*

**HYPERICACEAE**

*Vismia sp*

**MELASTOMATACEAE**

*Bellucia grossularioides*

**MELIACEAE**

*Swietenia macrophylla*

**MORACEAE**

*Cecropia obtusifolia*

**MHYRTACEAE**

*Eugenia sp*

**PIPERACEAE**

*Piper sp*

**RUBIACEAE**

*Alibertia edulis*

**SALICACEAE**

*Zuelania guidonia*

**SAPINDACEAE**

*Cupania dentata*

**SIMAROUBACEAE**

*Quassia amara*