

El Colegio de la Frontera Sur

**Establecimiento de sistemas agroforestales para  
rehabilitar canteras en Mérida, Yucatán**

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de  
Doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable

por

**Patricia Irene Montañez Escalante**

2009

## RESUMEN

En Mérida, Yucatán, México la explotación de canteras es una actividad minera que impacta al ambiente al eliminar tanto la cobertura vegetal como el suelo. Esta actividad requiere aplicar medidas de mitigación, pero los altos costos de inversión para rehabilitarlas, el clandestinaje, la poca claridad en las leyes y sus reglamentos dificultan recuperar las canteras ya explotadas. Desde hace algunos años se ha evaluado el establecimiento y desarrollo de algunas especies arbóreas nativas bajo las condiciones de cantera, a través del manejo de sistemas agroforestales que satisfagan necesidades económicas y, al mismo tiempo, de mitigación y conservación. En este trabajo se evaluaron dos especies arbóreas, caoba (*Swietenia macrophylla* King) y ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.). La caoba fue asociada con tamarindo (*Tamarindus indica* L.), y con tamarindo y achiote (*Bixa orellana* L.). El ramón fue asociado con huaxin (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), y con huaxin y pixoy (*Guazuma ulmifolia* Lam.). Se determinaron los efectos de las asociaciones sobre el crecimiento en altura y diámetro de la caoba y el ramón. En las especies asociadas se determinó la producción de forraje y frutos. Los resultados muestran que no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos en el crecimiento en altura y diámetro de caoba y ramón. Asociar al ramón con especies de rápido crecimiento como huaxín y pixoy, requirió podas para permitir la entrada de luz. La producción de forraje de huaxín y pixoy fue  $2 \text{ t PS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , sin diferencias significativas entre ellos ( $p > 0.05$ ). El tiempo requerido para alcanzar la edad productiva de especies como caoba y ramón ofrece oportunidades para utilizar efectivamente los interespacios durante su período de crecimiento inicial. La gestión de sistemas agroforestales como los estudiados es una estrategia innovadora y eficaz para rehabilitar canteras abandonadas.

**Palabras clave:** *Brosimum alicastrum*, *Swietenia macrophylla*, asociaciones, interacciones, recuperar.

## ÍNDICE

<b>Resumen</b>	1
<b>Índice</b>	3
<b>Capítulo I. Introducción</b>	5
Objetivo	8
Estructura de la tesis	8
Literatura Citada	9
<b>Capítulo II. Marco Teórico</b>	11
2.1 Estado del arte: restaurar o rehabilitar canteras	11
2.2 Rehabilitación de canteras	15
2.3 Los sistemas agroforestales y su papel en la rehabilitación de canteras	21
2.4 La biodiversidad en los sistemas agroforestales	23
2.5 Breve descripción de las especies seleccionadas	27
Literatura citada	33
<b>Capítulo III. Materiales y Métodos</b>	40
3.1 Descripción del sitio	40
3.2 Selección de plantas	41
3.3 Diseño experimental	44
3.4 Análisis de los datos	47
Literatura citada	48
<b>Capítulo IV. Resultados</b>	50
4.1 Primer artículo publicado: Quarry reclamation in Mérida, Yucatán, México: A review on achievement and current limitations	51

Summary y Resumen	51
Introduction	51
Methods	52
Results	53
Limitations and possibilities of quarries reclamation	55
Possibilities	56
References	57
4.2 Segundo artículo publicado: Establecimiento de	
asociaciones arbóreas con caoba y ramón en una	59
cantera abandonada en Yucatán, México	
Resumen y Summary	60
Introducción	60
Material and Métodos	61
Resultados y Discusión	62
Conclusiones	64
Referencias	64
<b>Capítulo IV. Discusión General</b>	67
Literatura citada	
<b>Capítulo V. Conclusiones Generales</b>	79
<b>Apéndice. Instrucciones para los autores de la revista</b>	81
<b>Tropical and Subtropical Agroecosystems</b>	
<b>Lista de Figuras</b>	
Figura 1. Croquis de la distribución de las parcelas en el	45
sitio de estudio	
Figura 2. Arreglo de las especies en cada tratamiento	46

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Las diferentes actividades de desarrollo humano impactan sobre los recursos naturales y, muchas de ellas, causan graves pérdidas o alteraciones en la biodiversidad de los ecosistemas. En las sociedades modernas el suelo, con frecuencia, es degradado por las actividades humanas a través de la agricultura, el desarrollo urbano e industrial y la minería (Clemente et al. 2004). Satisfacer las necesidades de desarrollo urbano e industrial, requiere de gran cantidad de materiales para construcción, los cuales son obtenidos de las canteras (Jim 2001). Las canteras son minas a cielo abierto donde se extrae el material pétreo para producir la materia prima utilizada en la industria de la construcción.

En México, se ha incrementado notablemente la explotación de canteras. En la década de los 90's esta actividad generó más del 25% (3 000 millones de pesos) de la producción en valores básicos de la industria minera del país (valor de la producción antes de incluir el monto por impuestos netos de subsidios a los productos: IVA, derechos de importación, impuestos especiales) (INEGI 2000). La expansión progresiva de estas minas tiene un impacto ambiental grave, crea un significativo impacto visual y problemas de degradación de los ecosistemas. La vegetación y la estructura del suelo se pierden al remover los diferentes perfiles del suelo, y altera drásticamente la topografía original (Clemente et al. 2004).

En Mérida, Yucatán, un alto porcentaje de las canteras son abandonadas al concluir su vida útil y, con frecuencia, se convierten en basureros. Dada la morfología plana, con presencia de algunos pequeños lomeríos (Lugo 1999), la distancia de la superficie al manto freático es cercana a los 12 m. Esta cercanía

ocasiona que al terminar de excavar, los mantos acuíferos sean susceptibles de contaminación, y generen problemas de salud pública.

La restauración ecológica se define como el proceso basado en promover el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2002). Este proceso tiene como finalidad generar las condiciones ambientales y bióticas para recuperar el sistema natural afectado y que sea autosostenible. La recuperación de las áreas de cantera no es fácil, se requiere crear nuevos ecosistemas e integrarlos al paisaje (Jorba y Vallejo 2008). Debido a todo lo que implica el concepto de Restauración, el impacto tan grande que deja la minería de canteras y considerando que no podrá lograrse una recuperación del sitio original, en este trabajo utilizaremos el término de *Rehabilitación*. Con éste término nos referimos a los procesos de recuperación para hacer nuevamente útil la tierra después de un disturbio (SER 2002, van Diggelen et al. 2001). La rehabilitación no restablece, necesariamente, la condición original del sitio pero favorece la presencia de especies locales, imitando en cierta medida al ecosistema original.

En la actualidad hay interés mundial en la rehabilitación de canteras (Corry et al. 2008, Moreno-Peñaranda et al. 2004, Jorba y Vallejo 2006, Yuan et al. 2006). Se están realizando estudios sobre recuperación del suelo, ensayos con especies herbáceas y arbustivas, evaluación de asociaciones, etc. Sin embargo, aún no hay resultados concretos ni metodologías concretas para la rehabilitar estos sitios.

Invertir en la rehabilitación de canteras es costoso debido a factores como: escasez de suelo y de nutrimentos, cercanía al manto freático (en ocasiones menos de 1 m), elevada radiación solar y alto reflejo de la luz debido a la roca calcárea expuesta. Rehabilitar canteras creando áreas que permitan el desarrollo de nuevos ecosistemas, requiere dedicar dinero y esfuerzo para proteger, manejar y regular

(Clewell 2001) las diversas actividades para alcanzar esa meta. Esto hace que pocas compañías cementeras inviertan en el proceso, aunque por ley están formalmente obligadas a hacerlo.

Una alternativa para motivar a invertir en la rehabilitación de canteras es a través del manejo de sistemas agroforestales con varias especies arbóreas con distinta velocidad de crecimiento y fenología. El escalonamiento genera ingresos económicos tempranos, intermedios y tardíos y la diversidad produce, además, beneficios ecológicos. Para manejar correctamente la diversidad de especies, es necesario identificar el tipo de interacciones que se presentan entre los diferentes componentes del sistema durante cada una de las etapas de crecimiento para potenciar aquellas que resulten positivas. Al favorecer las interacciones positivas aumentará la productividad del sistema, mejorará la producción de la asociación arbórea, disminuirán los insumos y se diversificará la producción.

Al iniciar con el establecimiento de un sistema agroforestal como alternativa para rehabilitar canteras, se requiere identificar las especies vegetales y/o animales que serán capaces de interactuar y coexistir. Existen pocos reportes (Armendáriz 1998, Castillo y Cervera 1998, Cobá 1998) que señalen especies potenciales y su manejo para rehabilitar canteras en Yucatán. Es necesario realizar ensayos de diseño, plantación y manejo de diferentes tipos de sistemas agroforestales para elegir los más apropiados.



## **Objetivo**

El objetivo de este estudio fue diseñar sistemas agroforestales multiestrato en condiciones de cantera y valorar si las especies arbóreas que crecen y producen más rápido en la asociación reducen significativamente el crecimiento de las especies más lentas.

## **Estructura de la tesis**

En el primer capítulo de esta tesis se presenta la Introducción, donde se presenta en forma general el trabajo de investigación. Se describe parte de la problemática de las canteras y se presenta el objetivo de la investigación.

En el segundo capítulo se presenta el Marco Teórico de la investigación. Se describe el estado del arte de la restauración y se conceptualiza el término de rehabilitación de canteras. Se menciona la importancia del manejo de sistemas agroforestales para rehabilitar canteras dando ejemplos de algunos estudios realizados en el mundo. Se presenta el fundamento teórico del manejo de sistemas de policultivo y sobre la coexistencia de las especies para alcanzar producciones satisfactorias. También se describen las especies seleccionadas para este estudio.

En el Capítulo III se describe la Metodología y se explican las características del sitio de estudio, el diseño experimental empleado y los análisis realizados. Se da información relevante para contextualizar el desarrollo del estudio.

En el Capítulo IV se presentan los Resultados publicados en dos artículos. En el primero se plantea la problemática para rehabilitar canteras, y se justifica porque la mayoría de las empresas no realiza esta actividad, a pesar de existir una normatividad al respecto. Se analizan aspectos legales, económicos y ecológicos, y se proponen algunas alternativas para hacer efectiva la normatividad. En el segundo

artículo se discuten los efectos, en la etapa de establecimiento, de asociar especies de rápido crecimiento con otras de lento crecimiento bajo diferentes combinaciones. Se analiza la influencia de las prácticas de poda sobre algunas especies forrajeras de rápido crecimiento y cómo esto favorece a otras especies más lentas.

En el Capítulo V se presenta una Discusión General de los alcances de la investigación. Se señalan los principales resultados y se discute sobre los beneficios de establecer sistemas agroforestales en canteras abandonadas y sobre las interacciones que se presentaron en cada diseño planteado.

En el Capítulo VI se presentan las Conclusiones Generales sobre los beneficios de establecer sistemas agroforestales en canteras abandonadas.

### **Literatura citada**

- Armendáriz Y.I.R. 1998. Indigenous fodder legume trees: Their influence on soil fertility and animal production on tropical pastures of Yucatán, México. Tesis de doctorado. University of London, Wye College. 70 p.
- Castillo C.J.B. y Cervera B.A.1998. La recuperación de canteras con sistemas agrosilvopastoriles en Yucatán, México. Red de Gestión de Recursos Naturales, 10: 46-52.
- Clemente A.S., Werner C., Máguas C., Cabral M.S., Martins-Loução M.A. y Correia O. 2004. Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs. Restoration Ecology, 12(1): 20-28.
- Clewell A.F. 2001. Resístanse to Restoration. Guest Editorial. Ecological Restoration, 19(1): 3-4.

- Cobá L.F. 1998. Estudio sobre características y alternativas de manejo de los bancos de materiales abandonados en la ciudad de Mérida. Tesis de maestría Universidad Autónoma de Yucatán, México. 60 p.
- Corry R.C., Laforteza R., Brown R.D., Kenny N. y Robertson P.J. 2008. Using landscape context to guide ecological restoration: An approach for pits and quarries in Ontario. *Ecological Restoration*, 26(2): 120-127.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía e Informática). 2000. Sistema de cuentas nacionales de México 1988-1998. México.
- Jim C.Y. 2001. Ecological and landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong. *Restoration Ecology*, 9(1): 85-94.
- Jorba M. y Vallejo R. 2008. La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riego. *Ecosistema*, 17(3): 119-132.
- Lugo H.J. 1999. El relieve de la Península de Yucatán. Atlas de procesos territoriales de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, México, D. F. Pág. 169.
- Moreno-Peñaranda R., Lloret F. y Alcañiz J.M. 2004. Effects of sewage sludge on plant community composition in restored limestone quarries. *Restoration Ecology*, 12(2): 290-296.
- SER, Society for Ecological Restoration. 2002. The SER primer on ecological restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org)
- Van Diggelen R., Grootjans A.P. y Harris J.A. 2001. Ecological restoration: State of the art or state of the science. *Restoration Ecology*, 9(2): 115-118.
- Yuan J.G., Fang W., Fan L., Chen Y., Wang D.Q. y Yang Z.Y. 2006. Soil formation and vegetation establishment on the cliff face on abandoned quarries in the early stages of natural colonization. *Restoration Ecology*, 14(3): 349-356.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1 Estado del arte: restaurar o rehabilitar canteras**

En la historia de la degradación y restauración de ecosistemas se han propuesto diferentes definiciones de lo que significa restaurar. Este concepto no es sólo un objetivo con diferentes categorías determinadas por el conocimiento de las ciencias naturales. El concepto depende de los sistemas de valor e intereses de cada uno de los actores involucrados, así como de las instituciones donde se insertan los programas (Weiss 2004).

De acuerdo con la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, 2002), la restauración ecológica es “el proceso de asistir la recuperación y el manejo de la integridad biológica de un sistema que ha sido degradado, dañado o destruido”. La integridad biológica incluye rangos críticos de variabilidad en la biodiversidad, los procesos y estructuras ecológicas, el contexto regional e histórico y prácticas culturales sustentables.

La restauración es considerada como la intervención humana para recuperar la integridad de la naturaleza, la cual está amenazada debido a actividades humanas como la minería, la agricultura, la industria y la recreación (Swart *et al.*, 2001). En este sentido Van Digglen y colaboradores (2001) consideran que no existe una estructura metodológica que dirija el proceso de restauración. Por otro lado, son más las intenciones de recuperar las áreas deterioradas o salvar a las especies lo que dirige el proceso. Consideran que bajo este enfoque restaurar es más un arte que una ciencia.

A principios de este siglo se propuso un nuevo término “Restauración del Paisaje Forestal” (RPF), acuñado en 2001 por un grupo de expertos en restauración forestal reunidos en Segovia, España. Definen este concepto como: *proceso destinado a recuperar la integridad ecológica y mejorar el bienestar humano en zonas deforestadas o paisajes forestales degradados* (Maginnis et al. 2005).

La RPF propone manejar la dinámica y las interacciones, a menudo complejas, entre poblaciones, recursos naturales y usos de la tierra que en conjunto constituyen el paisaje (Maginnis et al. 2005). La RPF utiliza métodos cooperativos para compatibilizar las decisiones de las distintas partes interesadas en relación con el uso de la tierra para restaurar la integridad ecológica, aumentar el desarrollo de las comunidades locales y las economías nacionales.

Las actividades específicas de cualquier iniciativa de RPF puede incluir uno o más de los siguientes componentes (Maginnis et al. 2005): rehabilitación y ordenación de bosques primarios degradados, ordenación y manejo de bosques secundarios, restauración de las funciones de los bosques primarios en tierras forestales degradadas, fomento de la regeneración natural en tierras degradadas y en tierras agrícolas marginales, restauración ecológica, plantaciones y bosques plantados, y sistemas agroforestales y otras configuraciones de fincas forestales.

Lo que diferencia a la RPF de otros métodos más convencionales de restauración es (Maginnis y Jackson 2005):

1. La restauración, por sí sola, a través de intervenciones en áreas específicas (por ejemplo, programas de forestación) no puede producir la gama total de bienes y servicios que necesitan la sociedad y las comunidades locales.

2. El objetivo de la RPF no es recrear el pasado sino mantener abiertas las opciones futuras, para el bienestar humano y para la funcionalidad del ecosistema (incluida la conservación de la biodiversidad).
3. Los usos de la tierra y los ecosistemas cambian con el transcurso del tiempo. Un eje fundamental de la RPF es la adaptabilidad y el manejo adaptable a esos cambios.
4. Para producir resultados significativos a escala del paisaje se precisa un conocimiento cabal de cómo las políticas de ordenamiento territorial y los medios de sustento de la población se reflejan en la calidad y disponibilidad general de los bienes y servicios forestales dentro del paisaje.

Cualquiera que sea el término que adoptemos, lo importante es recuperar los sitios degradados y, al mismo tiempo generar satisfactores a la sociedad. Los objetivos de la restauración se formulan con el conocimiento detallado de las características estructurales y funcionales básicas de los ecosistemas naturales, sin embargo, con frecuencia esto es desconocido. La restauración ecológica, implícitamente busca que todos los atributos sean activados. En el contexto práctico de la restauración se consideran los aspectos siguientes: velocidad de logro, económicos (o costo-beneficio), alcance y estabilidad a largo plazo con un costo razonable (Bradshaw 1993).

De acuerdo a las metas que se establezcan en el proyecto de restauración, Van Digglen et al. (2001) definen tres niveles:

1. El primer nivel es llamado reclamación y consiste en incrementar la biodiversidad *per se*, en sitios muy perturbados.
2. El segundo nivel es llamado rehabilitación y consiste en reintroducir ciertas

funciones del ecosistema. La rehabilitación se hace a nivel del paisaje e intenta que sea en apariencia más natural, pero no requiere del incremento de la biodiversidad.

3. El tercero y más ambicioso nivel es llamado verdadera restauración y consiste en reconstruir el ecosistema previo. Esto incluye no sólo restablecer las funciones, sino también las especies y comunidades características.

Por su parte Ehrefeld (2000), propone cuatro líneas para los proyectos de restauración que varían de acuerdo a la complejidad de los procesos de restauración. Cada una de estas líneas refleja un curso de desarrollo de la teoría y la práctica de restauración:

- a) Una línea es derivada de la biología de la conservación y está centrada en la restauración de especies individuales.
- b) La segunda línea se basa en disciplinas como la geografía y la ecología del paisaje. Aquí se realizan estudios de especies individuales, y se basa en el manejo del ecosistema completo.
- c) La restauración de humedales sería la tercera línea. Esta surge más como un mandato legislativo para disminuir el daño a los humedales por el desarrollo económico y por la agricultura.
- d) La cuarta línea se basa en la rehabilitación de áreas muy alteradas. En esta línea (a diferencia de las tres anteriores), no se pretende crear una réplica de los ecosistemas originales. La meta es establecer un nuevo ecosistema funcional.

De acuerdo a las propuestas de Van Diggelen et al. (2001) y de (Ehrenfeld 2000) en las canteras abandonadas la meta será rehabilitar el área degradada. La

rehabilitación del nuevo ecosistema se alcanzará al aplicar técnicas o prácticas que requieren el aporte constante de energía (especies, sistemas de labranza o siembra, fertilizantes, riego, etc.).

Con la restauración se pretende restablecer algunos o todos los vínculos que controlan los procesos involucrados en el flujo de materia y energía a través del ecosistema. Con la rehabilitación el grado al cual estos vínculos son reparados y reinstalados dependerá de los objetivos y el alcance de la transformación (Holmes y Richardson 1999).

De acuerdo con Jorba y Vallejo (2006) recuperar áreas de cantera no es una tarea fácil, pues la afectación de los ecosistemas es total. Ellos sugieren utilizar la frase “creación de nuevos sistemas” en lugar de “restauración ecológica”, que debe aplicarse solo a situaciones con alteraciones menores. Los sistemas naturales que forman nuestro paisaje son el resultado de complejas interacciones entre los factores ambientales (clima y suelo) y los organismos vivos que los habitan (fauna y vegetación) cambian y evolucionan conjuntamente a lo largo del tiempo. Intentar recuperar todas las interacciones entre ambiente y organismos con unas pocas intervenciones de revegetación y en pocos años es, sin duda, imposible.

## **2.2 Rehabilitación de canteras**

Las canteras son minas de cal a cielo abierto donde se extrae la roca caliza para obtener materiales que se utilizan en la industria de la construcción. Donde ésta actividad sucede, el suelo se elimina, el paisaje se altera y el ecosistema se destruye (Gardner 2001).



En sitios degradados como en las canteras donde el suelo se ha removido o perdido, hay que iniciar con la rehabilitación física antes de recuperar las funciones y biodiversidad del ecosistema. Donde sea posible, el suelo original debe colocarse de nuevo porque contiene nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, microflora y fauna esenciales para los procesos del ciclo de nutrientes, así como mejor capacidad para retener y absorber agua. Además contiene una importante fuente de propágulos de plantas ya adaptadas a la localidad (Holmes y Richardson 1999).

Las leyes y normas sociales de la minería en muchas partes del mundo actual establecen que algunas formas de rehabilitación de la tierra han sido diseñadas para situaciones posteriores al cierre (Johnson et al. 1994). En otras épocas la meta de las actividades en las canteras era tan solo abastecer a las fábricas de las materias primas necesarias para su proceso, sin considerar las alteraciones sobre el medio ambiente que pudieran causar la afectación o eliminación de los ecosistemas presentes (Cisternino 2000). Ahora son consideradas antes de otorgar los permisos para planear y operar una nueva mina (Johnson et al. 1994). Las consideraciones de rehabilitación se incorporan al planear la mina y es un factor importante al operarlas, disponer de la basura y cerrar el sitio. Sin embargo, también es necesario implementar un plan de acción general que contemple recuperar yacimientos en situación de abandono y generar nuevos ecosistemas con una función propia (Cisternino 2000).

A continuación se describen algunas experiencias en la rehabilitación de canteras.

En España se creó el proyecto EcoQuarry, patrocinado por el programa LIFE-Medio Ambiente y tuvo una duración de 3 años (2004-2007) (Jorba y Vallejo 2006).

En el proyecto EcoQuarry, se aplicaron conocimientos ecológicos actuales en experiencias de restauración reales que sirvieron de base a la preparación de una guía de buenas prácticas de restauración ecológica para el sector extractivo. Las experiencias piloto aún se desarrollan en Cataluña, Comunidad Valenciana y Setúbal (Portugal), en 11 explotaciones de las empresas participantes. Una de las empresas es CEMEX-España (Cementos Mexicanos concesionaria en España). En estas experiencias se realizan diferentes ensayos con especies vegetales, sustratos y dosis de riego. El desarrollo del proyecto está concebido como un sistema de control de calidad de todo el proceso de restauración donde se supervisan los materiales utilizados (proveedores), la ejecución de los tratamientos (procesos) y la evolución de la restauración (producto).

Otro proyecto realizado también en Cataluña, España, fue probar el lodo de las aguas residuales como sustrato para favorecer el crecimiento de las plantas en canteras de acantilado abandonadas (Moreno–Peñaranda et al. 2004). Este lodo actúa como fertilizante, tiene capacidad para mejorar las características físico-químicas del suelo, incrementa la capacidad de retención de agua y contribuye al control de la erosión. Las plantas establecidas en las parcelas que tuvieron como sustrato al lodo presentaron un mejor crecimiento y desarrollo que las parcelas control. Sin embargo, también causó problemas como el aumento de la salinidad del suelo durante los primeros años y el depósito de metales pesados.

En China, desde hace menos de una década las minas de cantera se están abandonando para dejar que ocurra la restauración natural. Antes estos sitios eran transformados en áreas habitacionales o centros recreativos (Shu et al. 2003). Ahora debido a la conciencia sobre el deterioro ambiental negativo que generan y a la legislación del gobierno se fomenta su rehabilitación. Algunos de los estudios

realizados se refieren a los efectos de las propiedades del suelo para establecer la vegetación (Yuan et al 2006). Entre los resultados han observado que en canteras de acantilado con pendientes arriba de los 60°, las concavidades formadas como resultado del raspado de las colinas, proveen espacios ideales para acumular suelo y que se establezca la vegetación. También se observó que hay una relación directa entre el volumen de suelo que se acumula y la cobertura de la vegetación que se establece durante las primeras etapas sucesionales.

Las canteras abandonadas en Ontario, Canadá, al terminar su explotación suelen abandonarse o transformarse en lagos, tierras de cultivo, pasturas, campos de golf, humedales, bosques o desarrollos residenciales. Para rehabilitar las canteras de Canadá Corry y colaboradores (2008) proponen un enfoque innovador y más generalista. Aplicando la teoría de la ecología del paisaje describen la relación de los patrones del ecosistema y el flujo de materiales, energía y especies a través del paisaje. El objetivo es identificar especies que estén amenazadas al destruirse sus hábitats y al formarse los parches de vegetación. Con esto pretenden identificar los tipos de ecosistemas que deben crearse para formar corredores biológicos que unan esos parches. El análisis del contexto del paisaje incluye los patrones del paisaje local (la estructura del mosaico, las localizaciones, formas y tamaños de los elementos del paisaje) la conectividad del paisaje local con los flujos ecológicos (la permeabilidad o resistencia de diferentes tipos de cobertura de la tierra) y el terreno, sustrato y condiciones vegetativas de la variabilidad microclimática.

En Argentina en la localidad de de Puesto Viejo, Departamento El Carmen, en el sudeste de la provincia de Jujuy (al norte de la República Argentina) se ejecutan planes para rehabilitar y reforestar canteras (Cisternino 2000). El objetivo es reinsertar las zonas explotadas en el paisaje circundante y crear un ecosistema

integral con funciones nuevas. Para ello se estableció un trabajo sistemático y planificado al mismo tiempo que las actividades de explotación. Se planifica el uso de las maquinarias como cargadoras, volquetes, topadoras, motoniveladoras, camiones de riego, etc., tanto para explotar las canteras como para rehabilitarlas.

En México existe poca información publicada sobre la rehabilitación de canteras. Empresas como CEMEX y Lafarge Cementos en México mencionan que realizan tres tipos de actividades con las canteras explotadas: reintegran el sitio de explotación al hábitat natural existente, desarrollan sitios recreativos o generan sitios productivos. Pero no realizan investigación sistemática al respecto.

En Yucatán, México, la empresa Materiales Anillo Periférico S.A. (MAPSA) explota canteras desde hace más de 20 años en la periferia de Mérida. Desde 1990 realiza la rehabilitación de las canteras explotadas y enfoca el trabajo en evaluar el establecimiento de especies de plantas arbóreas y herbáceas. La rehabilitación inicia con la reforestación y el establecimiento de diferentes asociaciones vegetales. Esta empresa inició estableciendo cultivos forrajeros para alimentar ganado bovino y después lo sustituyó por ganado ovino. En la actualidad ya no maneja la producción pecuaria. El primer ensayo que realizaron consistió en establecer plantaciones mixtas de huaxín (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) y pasto estrella (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst). La sobrevivencia y el crecimiento de las plantas fueron registrados periódicamente durante la estación lluviosa en cada ensayo. Después de seis años de uso, las plantaciones de huaxin presentaron un 96% de sobrevivencia (Castillo y Cervera, 1998).

Con el éxito obtenido, en 1994 se diversificó el sistema, con la introducción de otras especies arbóreas: pixoy (*Guazuma ulmifolia* Lam.), sac yab (*Gliricidia sepium* (Jacq) Standl.), ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.), bojón (*Cordia alliodora* (R. & P.)

Cham.), algarrobo (*Albizia lebbbeck* (L.) Benth.), cedro (*Cedrela odorata* L.), caoba (*Swietenia macrophylla* King) y laurel (*Ficus indica* (L.) Miller), todas asociadas con pasto estrella (sembrado en callejones). De estas especies el pixoy, el huaxin y el algarrobo se desarrollaron con más del 90% de sobrevivencia (Castillo y Cervera, 1998). Se evaluó la producción y calidad de los forrajes (Armendariz 1998). Llamas (2004) encontró que sac yab y pixoy fueron las especies más productivas de forraje con 2 193 y 1 467 kg de materia seca por hectárea por año, respectivamente. El algarrobo no fue una especie exitosa en condiciones de la cantera.

Otro estudio realizado en MAPSA fue el análisis de los costos básicos del proceso de extracción de roca y del proceso de rehabilitación del área a través de sistemas agroforestales (Cobá 1998). El objetivo fue identificar posibilidades de internalizar los costos del proceso de regeneración. Este estudio estimó que el volumen del material que se extrae de una hectárea de la cantera es de 84,466 m<sup>3</sup>. Los gastos totales de todo el proceso de extracción fueron (en 1998) de 959, 832 pesos por hectárea. Esta extracción generaba ingresos por la venta del material por 1'689,320 pesos, y utilidades (ingresos – costos totales) por 729,488 pesos por hectárea.

En la actualidad la empresa continúa realizando ensayos con diversas especies y ha aumentado el área rehabilitada. Hoy día hay más de 25 ha rehabilitadas con diferentes asociaciones arbóreas: cedro-ramón (*C. odorata*-*B. alicastrum*), ciricote-huaxin-huano (*Cordia dodecandra*-*L. leucocephala*-*Sabal japa*), cedro-ramón-huaxin, huaxin-ramón pixoy y plantaciones de *G. arborea* y de teca (*T. grandis*).

### 2.3 Los sistemas agroforestales y su papel en la rehabilitación de canteras

Dada la profunda transformación que ha sufrido la vegetación nativa y los ecosistemas en todo el mundo durante los últimos cinco siglos, un “regreso” o restauración completa al estado de referencia histórica es imposible (Aronson et al. 2002). Ni el desarrollo rural ni la conservación biológica pueden, de manera razonable, ser enfrentadas por separado. En cambio, una combinación de Conservación, Manejo y Restauración es más factible (realista).

La agroforestería, una forma de agricultura que en forma deliberada integra árboles y cultivos y/o animales, combina dos funciones principales: proveer productos y servicios forestales (Bonkougou 2001). Esta práctica es considerada como prometedora para rehabilitar agroecosistemas dañados, con producción agrícola rentable y sostenida, para restaurar la fertilidad del suelo de tierras degradadas y para la conservación biológica (Hobbs et al. 1993, Aronson et al. 2002, Huang et al. 2002, Jackson y Maginnis 2005). La agroforestería es una herramienta de apoyo a la conservación para amortiguar la pérdida de germoplasma. Algunos sistemas agroforestales mantienen entre el 50 al 80 % de la diversidad comparable al bosque natural circundante (Nobel y Dirzo, 1997).

En Kenia la cantera de Bamburi ha utilizado a los SAF como una herramienta para la regeneración de un área de 600 hectáreas abandonadas y degradadas por una compañía cementera. Se realizó mediante la plantación de árboles fijadores de N, como *Casuarina equisetifolia* (Jackson y Maginnis 2005). Young (1997) reporta 10 países donde se ha realizado la recuperación de áreas degradadas a través de la agroforestería y señala que con esta práctica se mejora notablemente la materia orgánica del suelo y sus propiedades fisicoquímicas.

Los árboles multipropósito tienen un papel clave en los procesos de rehabilitación. Por ejemplo, al utilizar leguminosas fijadoras de nitrógeno, que al mismo tiempo producen forraje, en combinación con otras especies puede acelerar los procesos de recuperación del suelo.

Un paso importante es la selección de especies que se utilicen en agroforestería para recuperar áreas degradadas. Se deben considerar los atributos de los grupos funcionales que se encuentran en la vegetación circundante (Huang et al. 2002). Un grupo funcional es definido como un grupo de especies (taxa) con impacto similar al de las especies originales, sobre los procesos del ecosistema (Hobbs et al. 1993). Las especies presentan un grupo de atributos biológicos que los relacionan con su ambiente. Algunos de los atributos que deben considerarse son: formas de vida (arbórea, arbustiva, herbácea y lianas), rasgos morfológicos (coníferas, hojas anchas, etc.), propiedades de crecimiento (anuales, perennes), atributos biológicos (fijadoras de nitrógeno, no fijadoras).

En minería de canteras hay pocos estudios (Armendariz 1998, Castillo y Cervera 1998, Cobá 1998, Jackson y Maginnis 2005) que reporten el manejo de sistemas agroforestales como una alternativa para su rehabilitación. Las principales actividades de rehabilitación en canteras se centran en el establecimiento de herbáceas para garantizar la conservación del suelo y después incorporar arbustos y árboles (Cisternino 2000, Aronson et al. 2002, Shu et al. 2003, Jorba y Vallejo, 2006, Yuan 2006). Son más frecuentes los reportes de uso de sistemas agroforestales para la recuperación de tierras degradadas por usos agrícolas (Young 1997, Bonkougou 2001).

Para rehabilitar las áreas de cantera, disminuir el impacto ambiental derivado de su explotación y restablecer la naturaleza productiva de las zonas explotadas, es

necesario identificar los factores ecológicos, económicos y sociales que interfieren en los objetivos de la rehabilitación.

El proceso de rehabilitación se logra mediante el diseño y la evaluación de asociaciones agroforestales de árboles, arbustos, hierbas y animales, acordes a las condiciones de suelo y del productor. Se busca realizar el uso eficiente de los recursos (luz, suelo y espacio) y generar ingresos a corto, mediano y largo plazo.

## **2.4 La biodiversidad en los Sistemas Agroforestales**

Una característica importante de los sistemas agroforestales es el manejo de la diversidad de sus componentes. La biodiversidad engloba la riqueza y la variedad de vida de este planeta. En términos antropocéntricos, es el reservorio de alimentos, combustible y fibras que sostienen a la especie humana (Halloway 1991).

De acuerdo con Altieri (2000), en los cultivos complejos y diversificados, como en los sistemas agroforestales, las interacciones entre cultivos, animales y árboles, pueden resultar en sinergismos benéficos que permiten a los agroecosistemas asegurar su propia fertilidad, controlar plagas y aumentar la productividad. La biodiversidad de plantas dentro de un sistema puede tener un efecto positivo en la estabilización de los procesos del agroecosistema.

La respuesta del ecosistema a la riqueza de plantas podría ocurrir vía el uso complementario de los recursos si las plantas difieren (diversidad funcional) en la forma de capturar nutrimentos, luz y agua. La complementariedad puede darse en espacio (diferencias en la profundidad radicular), en tiempo (diferencias en la demanda del recurso por la planta como una respuesta a su fenología) o en la



preferencia de nutrientes (nitrato vs amonio vs nitrógeno orgánico disuelto) (Hooper y Vitousek 1997).

El número de especies, el número de grupos funcionales o la composición de especies del ecosistema influyen en diversos procesos del mismo. La composición y la diversidad determinan muchos de los procesos del ecosistema. La diversidad funcional (diferencias en fenología, necesidades y respuestas de las plantas dentro de un mismo sistema) puede influir más en estos procesos que el número total de especies, *per se*. Sin embargo, ambas están correlacionadas y cada una es importante por sí misma (Tilman *et al.* 1997).

De acuerdo con Bengtsson *et al.* (2000), hasta principios de los 70's, el argumento aceptado era que ecosistemas más diversos y complejos tenían mayor número de vías posibles para el flujo de energía y nutrientes. Este argumento se basaba en la estabilidad de los procesos del ecosistema, no en el número de poblaciones ni en la composición de especies.

A partir de los 80's, la investigación en sistemas agroforestales ha tenido relevancia precisamente porque en ellos se da la combinación de diferentes asociaciones vegetales y/o animales. Se fomenta el manejo de la diversidad para obtener mayor estabilidad de los sistemas, aprovechar mejor el espacio físico, distribuir la producción en diferentes escalas de tiempo, abarcar diversos mercados y establecer cultivos perennes, para reducir el avance de la frontera agrícola.

Sin embargo, y a pesar de todos los esfuerzos, el reto ha estado en identificar y domesticar las especies que pueden coexistir y desarrollarse en el mismo espacio, sin causar interferencia y obtener sobreproducción (García-Barrios y Ong 2004).

Cuando se establecen diversas especies en asociación continua y en suelos con baja fertilidad, como en el caso de las canteras, las plantas en policultivo

compiten por los recursos escasos. La luz, humedad y nutrimentos del suelo son los recursos limitantes más comunes. Los árboles y la vegetación herbácea compiten tanto arriba (por luz) como por abajo (agua y nutrimentos) del suelo (Goldberg 1990). Tanto los efectos benéficos como los competitivos surgen de las interacciones entre las plantas y de cómo se distribuyen el uso de los recursos disponibles (Hunter y Anderson 1988). Por lo tanto, la competencia inter e intraespecífica difiere fuertemente. Cuando actúan de manera simultánea diferentes plantas estas dos interacciones producen diferentes situaciones (García-Barrios y Ong, 2004). En un extremo, las plantas coexisten y “sobre-producen” (es decir se requiere mayor cantidad de tierra en los monocultivos de cada especie por separado para obtener la misma producción del policultivo). En el otro extremo, una sola especie es la dominante y reduce el rendimiento de las otras.

De acuerdo con García-Barrios (2003), para que un sistema de cultivo múltiple sea viable, las especies que lo componen deben poder coexistir y tener ventajas sobre los monocultivos de las especies correspondientes. A través del Índice de Superficie Equivalente en Monocultivo (ISEM) puede estimarse esta viabilidad. Este índice es definido como:  $(\text{Rendimiento de A en policultivo} / \text{rendimiento máximo de A en monocultivo}) + (\text{Rendimiento de B en policultivo} / \text{rendimiento máximo de B en monocultivo})$ . Al utilizar el ISEM obtenemos la superficie de monocultivo que se requiere de A y B para igualar los rendimientos de A y B en una unidad de superficie de policultivo. Cuando obtenemos un  $\text{ISEM} > 1.0$  significa que las especies coexisten y esto genera una sobreproducción. Cuando  $\text{ISEM} < 1.0$  las especies pueden coexistir, pero no se obtiene sobreproducción. Si el  $\text{ISEM} = 1.0$  nos dice que tanto las interferencias intra como interespecíficas son idénticas al interior de cada especie (Vandermeer 1995, en García-Barrios 2003).

En un policultivo sustitutivo tenemos 50% de cada uno de los monocultivos que lo constituyen. La competencia intraespecífica disminuye porque la densidad es menor que en el monocultivo, es decir la distancia entre individuos de la misma especie aumenta (García-Barrios 2003). La relación que se establezca entre las plantas de cada especie afectará el valor del ISEM. Si las plantas sustitutas son más agresivas, entonces  $ISEM < 1.0$ . Si son menos agresivas  $ISEM > 1.0$  y se dice que opera el principio de producción competitiva (A y B explotan los recursos ambientales diferencialmente y los recursos que limitan el rendimiento están disponibles en mayores cantidades en el policultivo que en los monocultivos) (Vandermeer 1989 en García-Barrios 2003).

Los policultivos aditivos (100% de A más cualquier porcentaje de la especie B) también pueden alcanzar un  $ISEM > 1.0$  si las interferencias interespecíficas son menores que las interferencias intraespecíficas experimentadas en los monocultivos (García-Barrios 2003).

Un tema controvertido es la teoría de diferenciación de nichos que se refiere a la tendencia que muestran las especies que coexisten a diferenciarse en los requisitos de sus nichos, (Begon et al., 1986). Esta teoría nos dice que la producción competitiva debiera presentarse en la mayoría de los policultivos y esto explicaría la coexistencia de las especies (Vandermeer 1989). Sin embargo, se ha reconocido (García-Barrios 2003) que la competencia interespecífica débil es sólo una de muchas condiciones, y no siempre la más común, que puede explicar la coexistencia de las especies en una comunidad natural de plantas.

Cuando se inicia el establecimiento de una plantación, los árboles jóvenes pueden ser sobrepasados y sombreados por la vegetación herbácea o arbustiva de rápido crecimiento (Sharrow 1999). Esto causa cierta inhibición en la tasa de

crecimiento de las plántulas. La complementariedad en el uso de espacios diferentes es, a veces, posible cuando los recursos del suelo son limitantes y las especies en policultivo presentan marcadas diferencias en el hábito de crecimiento de la raíz (Loomis y Connor 2004).

Sharrow (1999) menciona que un sistema bien diseñado es más que la suma de sus partes. La distribución de los recursos en tiempo y en espacio es fundamental para activar la sinergia dentro de los sistemas agroforestales. Esta distribución incluye la interacción entre los componentes para obtener los recursos de una misma fuente (verdadera distribución) y la segregación, donde cada componente obtiene los recursos de diversas fuentes y en diferente tiempo y espacio.

## **2.5 Breve descripción de las especies seleccionadas**

Las especies seleccionadas para este estudio fueron *Swietenia macrophylla* (L.) Jacq, *Tamarindus indica* L., *Bixa orellana* L., *Brosimum alicastrum* Sw., *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Algunas de ellas (caoba y huaxin) han sido ampliamente estudiadas pero en condiciones de plantaciones monoespecíficas y para recuperar áreas degradadas por sistemas de cultivo. No se encontró información de su uso en rehabilitación de canteras, excepto lo reportado en estudios anteriores realizados en MAPSA (Castillo y Cervera 1998, Armendáriz 1998, Llamas 2001).

La principal razón para seleccionar a la caoba y el ramón como cultivos principales, fue el buen resultado reportado por Castillo y Cervera (1998), y el interés de los propietarios de la empresa para cultivar estas especies dado su alto valor en

el mercado. Las otras especies arbóreas asociadas a estas se seleccionaron porque tienen valor como alimentos y forrajes y se pueden empezar a aprovechar más temprano en tanto se desarrollan las de mayor interés de los concesionarios de la cantera.

A continuación se describe brevemente a cada una de las especies seleccionadas (Agroforetree. Data base, 1998):

- i. *Swietenia macrophylla* (L.) Jacq.- Es una especie nativa de México, donde es conocida como caoba. Pertenece a la familia Meliaceae. Es un árbol muy grande que alcanza una altura promedio entre 30-40 m. En condiciones favorables alcanza hasta 60 m de altura y 9 m de diámetro. El tronco es recto y cilíndrico. Se le puede encontrar entre los 0 a 1 500 m snm y en áreas con una temperatura media anual entre los 20 a 28 °C, con una precipitación media anual de 1 600 a 2 500 mm. Esta especie crece mejor en suelos bien drenados. Los árboles jóvenes son poco tolerantes a la sombra. En plantaciones forestales, se recomienda sembrar esta especie a 10 x 3 m, con una densidad de 333 plantas/ha, debido a que requiere grandes cantidades de luz. Para tener un buen aprovechamiento de la madera, se requieren de 30 a 40 años. De la caoba pueden aprovecharse la madera, la resina o goma, taninos, lípidos de la semilla y se le reportan usos medicinales en América Central.

La madera es altamente valiosa. En el 2002 fue la primera especie forestal incluida en la lista del Apéndice II Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) (Grogan et al. 2005). En Colombia se reporta como una especie en peligro de extinción y su madera tiene un alto precio y demanda (Cajas-Giron y Sinclair, 2001).

Gullison y colaboradores (2003) demostraron que las plántulas de caoba sobreviven a eventos de inundación y crecen vigorosamente después de la muerte del dosel.

Las plántulas de caoba son heliofílicas, requieren elevados niveles de luz para un crecimiento temprano óptimo. Su rápido crecimiento conserva la forma vertical de la planta aun en competencia con otras especies vecinas (Grogan et al. 2005).

Las especies de caoba son susceptibles al ataque del barrenador (*Hypsipyla* spp.), quizá la plaga de insectos mejor conocida para un árbol tropical (Newton et al. 1993). La larva del barrenador entra al ápice del tallo, destruye el meristemo apical y la yema. Esto ocasiona la bifurcación o deformación del tronco. El ataque del barrenador virtualmente evita el establecimiento de *Swietenia* en plantaciones en muchas partes de los neotrópicos. Aunque muchos esfuerzos e investigación se desarrollan para controlar esta plaga, poco es el éxito alcanzado.

- ii. *Tamarindus indica* L.- Es una especie exótica. En México es conocida como tamarindo. Pertenece a la familia Fabaceae – Caesalpinioidea. Es un árbol que puede alcanzar hasta 30 m de altura, con un diámetro arriba de 1 m, copa densa y muy ancha. El tamarindo crece bien en un amplio rango de condiciones de suelo y clima. Prefiere áreas semiáridas y asociaciones con pastizales. Tiene un sistema radicular extensivo que le ayuda a resistir la sequía y el viento. Requiere una estación seca bien marcada para fructificar. Se localiza de 0 hasta 1 500 msnm, en áreas con una temperatura media anual arriba de los 37°C, precipitación media anual entre 350 a 1 500 mm y

crece en todo tipo de suelo, aunque prefiere los profundos y bien drenados. El método de siembra es muy variable: hay plantaciones de 5 x 5 m, 8 x 10 m y hasta m 13 x 13 m. Las bajas densidades de siembra son para monocultivos. *T. Indica* crece lento, la plántula incrementa cerca de 60 cm de altura anualmente. La fase juvenil termina después de los 4 años. Los árboles jóvenes se podan para permitir alrededor de 3 m de espaciamiento entre las ramas. Se aprovechan los frutos para alimento, el follaje tiene un alto valor forrajero, las flores producen una rica miel, sus ramas se utilizan para leña y carbón, la madera es fuerte y durable, los aceites y los taninos son utilizados y también se le reportan características medicinales.

iii. *Bixa orellana* L.- Nativa de México, donde es conocida como achiote. Pertenece a la familia Bixaceae. Es un arbusto siempre verde, de 2 a 8 m de altura, con tallo arriba de 10 cm de diámetro. Crece en áreas de clima cálido y soleado, hasta alturas de más de 2 000 m con temperatura media anual entre 20 a 26 °C y 1 250 a 2 000 mm de precipitación media anual. Crece bien en todo tipo de suelos, pero prefiere los bien drenados y ligeramente alcalinos. Es una especie condimenticia y sus flores son fuente de néctar para miel. Se utiliza como leña. Los taninos tienen múltiples usos y se le atribuyen características medicinales a las hojas.

iv. *Brosimum alicastrum* Sw.- Nativa de México, donde es conocida como ramón. Pertenece a la familia Moraceae. Es un árbol que crece hasta alturas de 20 a 40 m, y el tronco puede alcanzar entre 1 y 1.5 m de diámetro. Se localiza entre 0 y 1 000 m snm, crece en áreas con una temperatura media anual de 18 a 25 °C y de 600 a 4 000 mm de precipitación media anual crece mejor

sobre suelos tipo litosoles. Algunos estudios (Pardo y Sánchez 1977, Chavellas y Devall 1990) reportan que a densidades de 4 x 4 m se obtienen rendimientos de 2 ton/ha/año de forraje, incrementando de forma gradual hasta el décimo año cuando alcanza la producción de 60 ton. Varios estudios han reportado que sus hojas, ramas y semillas tienen un alto valor nutricional para los humanos y los animales (Pérez et al. 1995, Santos-Ricalde y Abreu Sierra 1995). Otros usos que se le reportan son: sombra para animales y humanos, medicinal, ornamental y maderable (Chavellas-Polito y Devall 1990). En 1975, la US National Academy of Sciences, en una encuesta sobre las plantas tropicales más importantes, incluyó al árbol del ramón como una especie prometedora (Peters y Pardo-Tejeda 1982).

En Yucatán el ramón es una especie muy apreciada y cultivada en los huertos familiares. Los árboles adultos requieren riego durante la fase temprana de crecimiento, pero cuando crecen ya no. Esto sugiere que las raíces acceden a la humedad del suelo o al manto freático (Gillespie et al. 2004, Quejereta et al. 2006).

- v. *Guazuma ulmifolia* Lam.- Nativa de México, donde es conocida como guácimo, guazuma, pixoy, entre otros. Pertenece a la familia Sterculiaceae. Es un árbol que alcanza alturas de 30 m con tallos entre 40-30 cm de diámetro. Se desarrolla bien en climas cálido-húmedos, en áreas muy soleadas. Se localiza entre 400 y 1 200 m snm y crece en áreas con una temperatura media anual de 24 °C y de 600 a 1 500 mm de precipitación media anual, crece bien sobre suelos con pH superior a 5.5 desde texturas livianas hasta pesadas con buen drenaje. No existe suficiente experiencia en



cuanto a es de la plantación, aunque el espaciamiento de 2 x 2 m parece permitir un buen desarrollo inicial (Mendoza, 1996). Los frutos son utilizados para la alimentación humana, las ramas, rebrotes y frutos son buen forraje (Cajas-Giron y Sinclair, 2001), su madera se utiliza para poste, sus flores producen néctar y se utiliza en la apicultura, también se le atribuyen características medicinales a las semillas. La poda incrementa la producción de forraje. En un estudio en Honduras se hicieron 4 podas al año de pixoy y obtuvieron una producción de 10 kg/árbol/año de materia seca.

- vi. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.- Nativa de México, donde es conocida como guaje y huaxín. Pertenece a la familia Fabaceae–Mimosoideae. Es un pequeño árbol perenne con altura variable (alrededor de 5 m) y copa ligeramente abierta y rala. Es una especie tropical que requiere de climas cálidos para un crecimiento óptimo. Es una especie colonizadora agresiva de sitios ruderales y de vegetación secundaria después de una perturbación. Se localiza entre 0 y 1 500 m snm. Crece en áreas con temperatura media anual de 25 a 30 °C y con 600 a 3 000 mm de precipitación media anual. Crece bien sobre suelos calcáreos con pH superior a 8. Se recomiendan altas densidades de siembra para la producción de forraje (30 x 30 cm, 1 x 1 m). Es necesario dejar tocones de 10 a 30 cm para asegurar una producción vigorosa y abundante de rebrotes (Mendoza, 1996). En las décadas de los 70's y 80's fue conocida como el árbol milagro debido a que es un árbol forrajero altamente nutritivo y tiene gran variedad de otros usos. Las semillas son utilizadas para alimento humano. Es uno de los árboles forrajeros con más alta calidad y más palatable, también se utiliza como leña de buena

calidad y como madera. Presenta alto potencial de fijación de nitrógeno (100-300 kg N/ha/año) relacionado con su abundante nodulación radicular. Es una de las especies más utilizadas para intercultivos.

En la región de Xiaokua en Yuanmou, China, *Leucaena leucocephala* fue utilizada para trabajos de restauración ecológica. Se estableció una plantación artificial de esta especie y rápidamente dominó el espacio y desplazó a otras especies (Shoujia et al. 2008).

### **Literatura citada**

- Altieri M.A. 2000. Biodiversidad multifuncional en la agricultura tradicional latinoamericana. En: Semillas para la agrobiodiversidad, *Boletín ILEIA*, 15(3-4):14.
- Armendáriz Y.I.R. 1998. Indigenous fodder legume trees: Their influence on soil fertility and animal production on tropical pastures of Yucatán, México. Tesis de doctorado. University of London, Wye College. 70 p.
- Aronson J., Ovalle C., Avendaño J., Longeri L. y Del Pozo A.. 2002. Agroforestry tree selection in central Chile: biological nitrogen fixation and early plant growth in six dryland species. *Agroforestry Systems* 56: 155-166.
- Begon M., Harper J.L. y Townsend C.R. 1986. *Ecology, Individuals, Populations and Communities*. Blackwell, Oxford, England.
- Bengtsson J., Nilsson S.G., Franc A. y Menozzi P. 2000. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *For. Ecol. and Man.*, 132:39-50.
- Bradshaw A.D. 1993. Restoration ecology as a science. *Restoration Ecology*, June.

- Bonkougou E. 2001. Network on agroforestry and soil conservation. Background document. Secretariat of the Convention to Combat Desertification. 42 pp.
- Cajas-Giron Y.S. y Sinclair F.L. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. *Agroforestry Systems* 53: 215-225.
- Castillo C.J.B. y Cervera B.A. 1998. La recuperación de canteras con sistemas agrosilvopastoriles en Yucatán, México. *Red de Gestión de Recursos Naturales*, 10: 46-52.
- Cisternino P. 2000. Trabajos de rehabilitación y reforestación de canteras. Juan Minetti S.A. Planta Puesto Viejo. Provincia de Jujuy. <http://www.ceads.org.ar/casos/2000/Minetti%20Trabajos%20de%20rehabilit.pdf>
- Cobá L.F. 1998. Estudio sobre características y alternativas de manejo de los bancos de materiales abandonados en la ciudad de Mérida. Tesis de maestría Universidad Autónoma de Yucatán, México. 60 p.
- Corry R.C., Laforteza R., Brown R.D., Kenny N. y Robertson P.J. 2008. Using landscape context to guide ecological restoration: An approach for pits and quarries in Ontario. *Ecological Restoration* 26(2): 120-127.
- Chavellas P.J. y Devall M.S. 1990. Descripción de la familia Moraceae. *Brosimum alicastrum*. INIFAP-SARH. Chetumal, Quintana Roo. Boletín técnico, 10 pp.
- Ehrenfeld J.G. 2000. Defining the limits of restoration: The need for realistic goals. *Restoration Ecology*, vol. 8(1):2-9.
- García- Barrios L. 2003. Plant-plant interactions in tropical agricultura. En: Varndemeer J. (ed.), *Tropical Agroecosystems*. CRC Press, New York, USA. Pp: 11-58.

- García-Barrios L. y Ong C.K. 2004. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:221-236.
- Gardner J. 2001. Rehabilitating mines to meet land use objectives: bauxite mining in the Jarrah forest of Western Australia. *Unasylva* 207 (52): 3-8.
- Gillespie A.R., Bocanegra-Ferguson D.M. y Jiménez-Osornio J.J. 2004. The propagation of ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.; Moraceae) in mayan homegardens of the Yucatan Peninsula of Mexico. *New Forests* 27: 25-38.
- Goldberg D. 1990. Components of resource competition in plant communities. En: Grace J.B. and D. Tilman (eds.), *Perspectives on plant competition*. Academic Press, New York, USA. Pp: 27-49.
- González-García E., Cáceres O., Archimede H. y Santana H. 2008. Nutritive value of edible forage from two *Leucaena leucocephala* cultivars with different growth habit and morphology. *Agrorest Syst.* DOI 10.1007/s10457-008-9188-4
- Grogan J., Landis R.M., Ashton M.S. y Galvao J. 2005. Growth response by big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) advance seedling regeneration to overhead canopy release in southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 204: 399-412.
- Gullison R.E., Vriesendorp C. y Lobo A. 2003. Effects of large scale flooding on regeneration of big-leaf mahogany in the Bolivian Amazon. En: Lugo A., Figueroa Colón J.C. y Alayón M. (eds.), *Big-leaf mahogany: Genetics, Ecology and Management*. Springer-Verlag, New York, USA. Pp: 209-236.
- Halloway J. 1991. Biodiversity and Tropical agriculture: A biogeographic view. *Outlook on agriculture*, 20:9-13.

- Hobbs S.E., Jensen D.B. y Chapin F.S. 1993. Resource supply and disturbance as controls over present and future plant diversity. En: Schulze E.D. y Mooney H.A. (eds). *Biodiversity and ecosystem function*. Springer-Verlag, Berlín, pp: 385-408.
- Holmes P. M. y Richardson D.M. 1999. Protocols for restoration based on recruitment dynamics, community structure and ecosystem function: Perspectives from South African Fynbos. *Restoration Ecology* vol. 7(3):215-230.
- Hooper D.U. y Vitousek P. M.. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystems process. *Science*, 277:1302-1305.
- Huang W., Luukkanen O., Johanson S., Kaarakka V., Räisänen S. y Vihemäki H. 2002. Agroforestry for biodiversity conservation of nature reserves: functional group identification and analysis. *Agroforestry Systems* 55:65-72.
- Hunter A.F. y Anderson L.W. 1988. Plants helping plants. *Bioscience*, 38:34. ICRAF. 1997. *Annual report*. Nairobi, Kenya.
- Jackson W. y Maginnis S. 2005. Movilizando apoyo para la RPF. En: Restaurando el paisaje forestal. Sobral F.M. y Steiner A. (eds.), *Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales*. Serie Técnica OIMT N° 23, ITTO-IUCN. Págs.: 27-34.
- Johnson K.H., Vogt K.A., Clark H.J., Schmitz O.J. y Vogt D.J. 1994. Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 11(9):372-377.
- Jorba P. M. y Vallejo C. R. 2006. La restauración ecológica en minería: El proyecto Ecoquarry. *Canteras*, No. 891: 16-23.

- Loomis R.S. y Connor D.J. 2004. Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. Mundi Prensa, Madrid, España. 591 pp.
- Maginnis S. y Jackson W. 2005. ¿En qué consiste la RPF y como se diferencia de los métodos actuales? En: Sobral F.M. y Steiner A. (eds.), Restaurando el paisaje forestal. Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie Técnica OIMT N° 23. Pp: 9-13.
- Maginnis S., Rietbergen-McCracken J. y Jackson W. 2005. Introducción. Capítulo 1. En: Sobral F.M. y Steiner A. (eds.), Restaurando el paisaje forestal. Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie Técnica OIMT N° 23. Pp: 9-13.
- Mendoza, H. 1996. Cinco árboles forrajeros para la península de Yucatán. Identificación, establecimiento y evaluación agronómica. Revista de geografía agrícola. Estudios de la agricultura mexicana, Núm. 22-23:153-170.
- Moreno-Peñaranda R., Lloret F. y Alcañiz J.M. 2004. Effects of Sewage Sludge on Plant Community Composition in Restored Limestone Quarries. Restoration Ecology Vol. 12 No. 2, pp. 290-296.
- Newton A.C., Leakey R.R.B. y Mesén J.F. 1993. Genetic variation in mahoganies: its importance, capture and utilization. Biodiversity and Conservation 2: 114-126
- Nobel I.R. y Dirzo R. 1997. Forest as human-dominated ecosystems. Science 277: 522-525.
- Pérez R.J.D., Zapata B.G.J. y Sosa R.E.E. 1995. Utilización del ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.) como forraje en la alimentación de ovinos en crecimiento. Agroforestería en las Américas 2: 17-21.
- Peters C.M. y Pardo-Tejeda E. 1982. *Brosimum alicastrum* (Moraceae): uses and potencial in México. Economic Botany 36: 166-175.

- Quejereta J.I., Estrada-Medina H., Allen M.F., Jiménez-Osornio J.J. y Ruenes R. 2006. Utilization of bedrock water by *Brosimum alicastrum* trees growing on shallow soil atop limestone in a dry tropical climate. *Plant Soil* 287: 187-197.
- Santos-Ricalde R.H. y Abreu Sierra J.E. 1995. Evaluación nutricia de *Leucaena leucocephala* y *Brosimum alicastrum* y su empleo en la alimentación de cerdos. *Veterinaria México*, 26: 51-57.
- Sharrow, S. H. 1999. Silvopastoralism: competition and facilitation between trees, livestock, and improved grass-clover pastures on temperate rainfed lands. En: *Agroforestry in sustainable agricultural systems*.
- SER, Society for Ecological Restoration. 2002. The SER primer on ecological restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org)
- Shoujia H., Chengfei L., Yanxian Y., Zhixian P, Yucang S. y Zhonghua J. 2008. Landscape ecological evaluation on the artificial forest of *Leucaena leucocephala*. *Wuhan University Journal of Natural Science* vol. 13 (3): 285-290.
- Shu W.S., Lan C.Y., Wang M.H. y Zhang Z.Q. 2003. Early natural vegetation and soil seeds banks in an abandoned quarry. *Acta Ecológica Sinica* 23:1305-1312.
- Swart J.A.A., van der Wilt H.J. y Keulartz J. 2001. Valuation in nature of conservation and restoration. *Restoration Ecology* 9:230-238.
- Tilman D., Knops J., Wedin D., Reich P., Ritchie M. y Siemann E. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277:1300-1302.
- Vandermeer, J.H. 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 237 pp.

- Vandermeer, J.H. 1995. The ecological basis of alternative agriculture. *Annu.Rev. Ecol. Sust.* 26: 201-24.
- Van Diggelen R., Grootjans A.P. y Harris J.A. 2001. Ecological restoration: State of the art or state of the science? *Restoration Ecology*, 9(2): 115-118.
- Weiss G. 2004. The political practice of mountain forest restoration- comparing restoration concepts in four European countries. *Forest Ecology and Management* 195:1-13.
- Young, A. 1997. *Agroforestry for soil conservation*. CAB International. Wallingford, Oxon, U.K. ICRAF. 276 pp.
- Yuan J.G., Fang W., Fan L., Chen Y., Wang D.Q. y Yang Z.Y. 2006. Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization. *Restoration Ecology* vol. 14 (3): 349-356.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del sitio

La investigación comprendió la fase de establecimiento de las plantaciones, de agosto de 2000 a julio de 2002, en una cantera explotada (Materiales Anillo Periférico S.A. de C.V., MAPSA), en la periferia de la Ciudad de Mérida, Yucatán, México (21° 51' N y 89° 41' O). La zona tiene una precipitación anual de 984 mm y una temperatura media de 26.8°C (Orellana et al.1999). La vegetación está clasificada como selva baja caducifolia (Durán et al.1999). Antes de la explotación de la cantera la vegetación provenía de henequenales abandonados, con diversos tipos de perturbación (por ampliación de carretera, incendios, etc). En la zona predominan los suelos leptosoles líticos (Duch, 1991).

El proceso de extracción en los bancos de materiales de MAPSA consiste en seis fases:1) Desmonte, se elimina toda la vegetación del sitio con la ayuda de un tractor de orugas. El producto del desmonte se acumula en la periferia del sitio y en ocasiones se aprovecha como leña por la gente de los alrededores. 2) Despalme, en esta fase se retira la capa de tierra (aproximadamente 20 cm) que cubre la roca caliza para dejarla expuesta y limpia. Se utiliza un tractor que realiza el arrastre hasta un sitio de depósito temporal. Este sustrato contiene la materia orgánica, banco de semillas, flora y fauna del sitio y es utilizado para rehabilitar la cantera al cese de su explotación. Otras empresas suelen vender esta tierra para jardinería o alguna otra actividad. 3) Plantilla, consiste en determinar el número y la distribución donde se barrenará para realizar la voladura. 4) Voladura, las partes barrenadas se rellenan con materiales explosivos para fragmentar la roca. 5) Carga y transporte, el

material fragmentado es transportado a la trituradora. 6) Trituración, el material fragmentado es triturado para la producción de polvo y grava.

Al finalizar la explotación de la cantera sólo queda como sustrato parte de la roca madre, a menos de 1m del manto freático. Se acondicionaron 16,800 m<sup>2</sup> en el fondo de la cantera con ayuda de la misma maquinaria que utiliza la empresa para extraer el material pétreo. Para nivelar el terreno se colocó una capa de escombros combinado con tierra y rocas, formando una capa de 1m de altura. El material utilizado en la nivelación tiene poco valor para ser vendido, por lo que se selecciona y separa de manera continua durante la transformación de los productos de la cantera. Por último, se distribuyó una capa de tierra (0.5) m que proviene de la fase de despalle. Después de todo este proceso, el manto freático queda a 1.5 m de profundidad. Esta es la altura recomendada para el cultivo de árboles, basados en la experiencia de los propietarios de la empresa quienes han observado que es suficiente para evitar la inundación de las parcelas durante la temporada de lluvias, cuando sube el nivel del agua del manto freático.

Una vez terminado el proceso de nivelación se hicieron pocetas manualmente, con pico y pala (50 cm<sup>3</sup>). Con el propósito de conocer la calidad del sustrato, previo a la plantación se determinó pH, materia orgánica, N, P y K. Para las determinaciones de N y P, las muestras se digirieron en mezcla de ácido sulfúrico/peróxido de hidrógeno. El N se determinó con el método de Kjeldhal y el P por colorimetría (Anderson e Ingram, 1993).

### **3.2 Selección de Plantas**

Para este estudio se seleccionaron las siguientes especies: *Swietenia macrophylla* King (caoba), *Tamarindus indica* L. (tamarindo), *Bixa Orellana* L. (achiote),

*Brosimum alicastrum* Sw. (ramón), *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. (huaxín) y *Guazuma ulmifolia* Lam. (pixoy).

Para el primer experimento se diseñó un sistema agroforestal de parcelas multiestratificadas. Este tipo de sistema agroforestal se caracteriza por presentar mezclas de árboles forestales y otros cultivos comerciales leñosos, por lo general cultivados para la producción de especias (Nair, 1993). Las especies seleccionadas fueron caoba, tamarindo y achiote. La caoba como cultivo forestal principal que ocupa rápidamente el estrato superior y con producción a largo plazo (40-50 años). El tamarindo como cultivo perenne asociado que ocupa el estrato medio y con producción de frutos a mediano plazo (5-8 años). El achiote como cultivo perenne asociado que ocupa el estrato inferior y con producción de frutos a corto plazo (3-4 años).

El Estado de Yucatán se encuentra dominado por vegetación secundaria, donde las especies de madera preciosa, que en la antigüedad se encontraban formando parte de la vegetación natural, ahora están ausentes. La producción de especies forestales es poco atractiva por la gran cantidad de años (más de 30) que es necesario esperar para su aprovechamiento. Identificar asociaciones de especies que puedan ser aprovechadas a corto y mediano plazo, mientras que otras como la caoba llegan a su etapa productiva, puede hacer más atractiva las actividades de rehabilitación. Por otro lado, la producción de pulpa de tamarindo y semillas de achiote para producir condimentos tienen mercado potencial en la región.

El segundo experimento consistió en el diseño de un sistema agroforestal de banco de proteínas. El banco de proteínas es un sistema en bloques donde se cultivan especies forrajeras que serán podadas para alimentar al ganado, es un

sistema de corte y acarreo (Nair 1993). Se seleccionó al ramón como cultivo forrajero principal, con producción a mediano plazo (5-6 años) para ocupar el estrato superior. El huaxin y el pixoy, productores de forraje desde el primer año, se seleccionaron para el estrato inferior. Huaxin es una especie fijadora de nitrógeno. Esta y el pixoy se destinarían como alimento para la producción de ganado ovino que realiza como actividad secundaria la empresa MAPSA. La alimentación de los animales ha dependido previamente del pastoreo de praderas de zacate (*Cynodon nlemfluensis*), de huaxin y de silos de naranja (*Citrus sinensis*) en la época de seca. Esta dieta no ha cubierto las necesidades de proteína del hato. El cultivo del ramón, que es una especie perennifolia, es una alternativa para solucionar este problema. Así mismo, en trabajos anteriores (Castillo y Cervera, 1998) se observó que el pixoy se desarrollaba bien bajo las condiciones de la cantera y que resistía las presiones de poda, por lo que también fue otra especie alternativa. En la región, el huaxin es una especie invasora y pionera en áreas perturbadas, se sabe de su capacidad de fijar nitrógeno y del alto valor proteínico de su follaje.

Las especies vegetales utilizadas fueron obtenidas de viveros de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), de viveros comerciales de Oxkutzcab, Yucatán y del Centro de Investigación Científica de Yucatán. Los individuos fueron seleccionados de acuerdo a su vigor, tallos rectos y tallas similares. Las tallas al momento del implante fueron ( $\pm 10$  cm): caoba 65 cm, tamarindo 63 cm, achiote 74 cm, ramón 70 cm, huaxin 25 cm ( $\pm 5$  cm) y achiote 60 cm. Las plántulas estaban en bolsas y se cuidó que no tuvieran raíces enrolladas ni estuvieran enraizadas en el vivero. El proceso de selección de las plantas fue intenso y estricto, desechándose cerca del 80% de las plantas adquiridas porque no cumplían con los requisitos de selección.

El implante de las especies fue en septiembre de 2000. Se substituyeron plántulas muertas, hasta seis meses después de haber sido sembradas teniendo el cuidado de sembrar plantas de la misma talla promedio que las sobrevivientes.

La fase de establecimiento de las plantas se consideró terminada después de haber pasado por dos temporadas de sequía. Después de ese tiempo se esperaba que algunas de las plantas ya tuvieran sus raíces desarrolladas hasta el nivel del manto freático (1.5 m), lo que las haría más resistentes a las temporadas de secas.

### **3.3 Diseño experimental**

Cada uno de los dos experimentos diseñados tuvo tres tratamientos con seis repeticiones, en parcelas de 32 x 24 m (a 8 m de distancia entre ellas). Cada tratamiento ocupó una sub-parcela de 8 x 24 m (a 4 m entre ellas). Las doce parcelas fueron distribuidas al azar en el predio experimental (Figura 1).

En el primer experimento la caoba se plantó en una matriz de 4 x 4 m (625 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) para los tres tratamientos: 1) caoba en monocultivo; 2) caoba más tamarindo (asociación aditiva) colocado entre las filas de caoba. La distancia fue 4 m (625 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) entre tamarindos y la distancia a la caoba más cercana fue 2 m; 3) la mitad de las plantas de tamarindo substituida por achiote (asociación substitutiva) con el mismo arreglo (Figura 2).

En el segundo experimento, el ramón se plantó en una matriz de 4 x 4 m (625 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) para los tres tratamientos: 1) ramón en monocultivo; 2) ramón más huaxin (asociación aditiva) plantados entre las filas de ramón; la distancia fue 2 m (1,875 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) entre plantas de huaxin y ramón; 3) la tercera parte de las plantas de huaxin fue substituida por pixoy (asociación substitutiva) con el mismo arreglo (Figura 2).

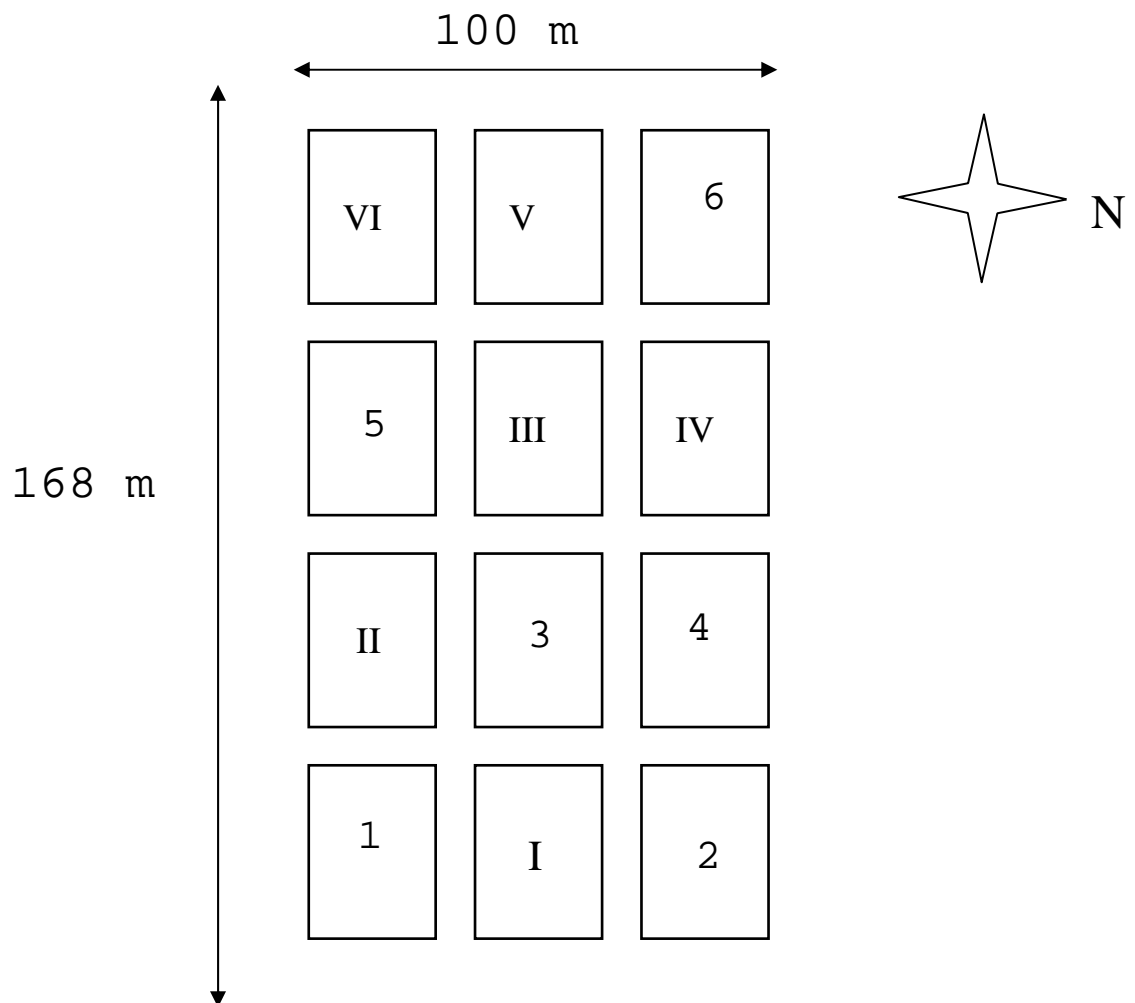


Figura 1. Croquis de la distribución de las parcelas en el sitio de estudio. 1-6 señalan la distribución de las parcelas del experimento 1 con caoba, tamarindo y achiote, en sus diferentes asociaciones. I-VI señalan la distribución de las parcelas del experimento 2 con ramón, huaxin y pixoy, en sus diferentes asociaciones.

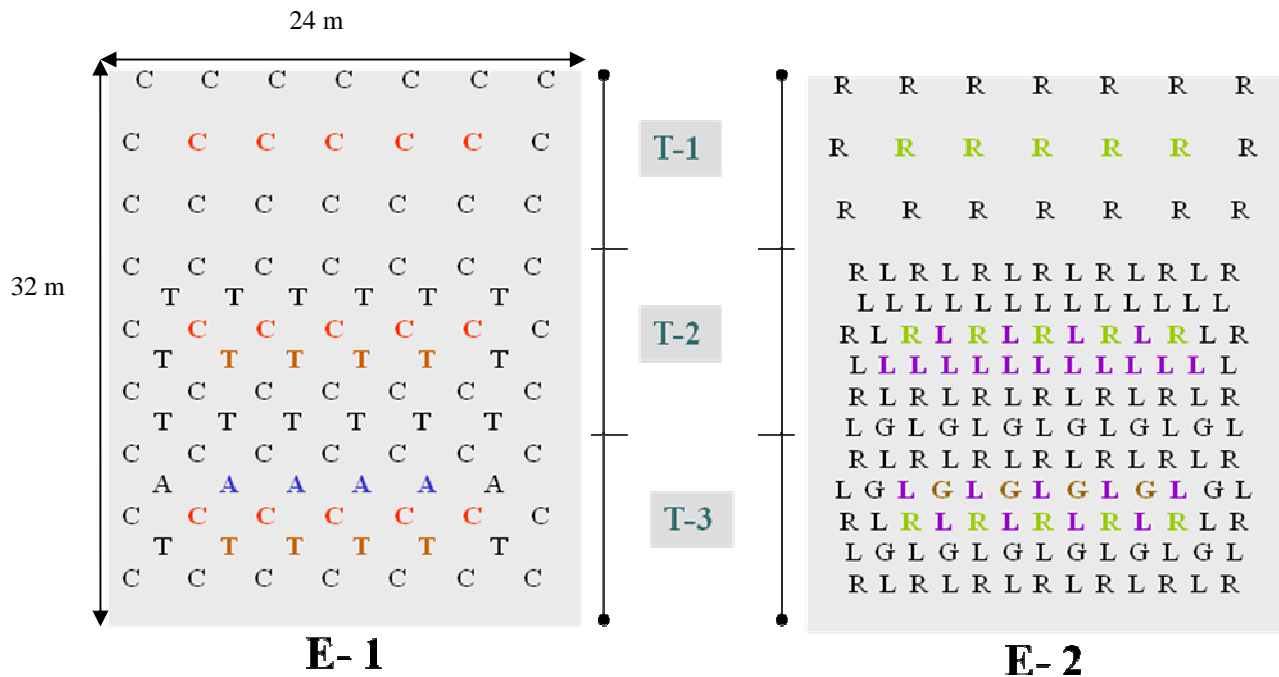


Figura 2. Arreglo de las especies en cada los tratamientos. E1= experimento 1, parcelas multiestratificadas y E2 = experimento 2, banco de proteínas. Las letras con color distinto al negro representan a los individuos que se encontraban dentro de la parcela útil y que fueron evaluados. C= caoba, T= tamarindo, A= achiote, R= ramón, L= huaxin y G= pixoy. T1= tratamiento en monocultivo, T2= tratamiento en asociación aditiva, T3= tratamiento en asociación sustitutiva.

La siembra de las plántulas se realizó en agosto de 2000. A partir de los 270 días de siembra las plantas de huaxin y pixoy recibieron podas totales de follaje hasta 1m de altura cada 90 días.

De noviembre de 2000 a abril de 2001 (temporada de estiaje), las plantas de caoba y ramón recibieron riego de auxilio tres veces por semana. Todos los tratamientos fueron deshierbados cada 30 días.

### **3.4 Análisis de los datos**

La evaluación se realizó durante la fase de implante de las especies, de agosto de 2000 a julio de 2002.

Se midió el crecimiento de las plantas sembradas dentro del área útil (16 x 4 m), para evitar los efectos de borde y porque corresponden a los individuos que se encontraban rodeados del mismo arreglo de vecindario (Figura 2). En cada tratamiento se midieron 5 plantas de caoba y ramón. Cuatro fueron los individuos evaluados de tamarindo y achiote en los tratamientos 2 y 3. El número de individuos de huaxin evaluados en el tratamiento 2 fueron 15 y 9 en el tratamiento 3, mientras que para pixoy fueron 4. De las plantas de ramón se obtuvo el diámetro basal (DAB) a 10 cm sobre el nivel del suelo y para caoba, el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.3 m de altura. Para huaxin y pixoy se registró el peso seco del follaje podado por hectárea por año.

Los efectos de las asociaciones sobre el crecimiento de las plantas de caoba y ramón se determinaron comparando las alturas promedios de cada especie en los respectivos tres tratamientos. Para ello se hizo un análisis de varianza a un nivel de significancia del 95% y una comparación de promedios (HSD de Tukey al 95%) (Underwood 1997). Se demostró mediante un análisis de varianza que no hubo diferencia entre los individuos de una especie establecidos en distintos tratamientos.

La diferencia en producción de forraje de huaxin entre los tratamientos 2 y 3 del experimento 2 se determinó con una prueba de t con un nivel de significancia del 95%, usando SPSS 10.0 para Windows 2002.

Se registraron los costos de inversión para acondicionar el sitio donde se establecieron los experimentos. Estos comprenden las actividades siguientes:



nivelar, preparar el sitio, poceteo y siembra. Se obtuvo a través de los registros contables de la empresa y de forma continua durante el desarrollo del estudio. Los costos de mantenimiento de cada tratamiento (deshierbe, podas y cosecha) se estimó en pesos por hectárea por año. Esta cantidad fue obtenida a partir de los registros del tiempo dedicado a cada actividad y fue medida en jornales. Un jornal es igual a 4 horas de trabajo y el costo, en ese tiempo, era de 30 pesos.

### **Literatura citada**

- Anderson, J.M. e Ingram J.S.I. 1993. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods of analysis. CAB International. 220 pp.
- Castillo, J.B. y Cervera A. 1997. La recuperación de canteras con sistemas agrosilvopastoriles en Yucatán, México. Red Gestión de Recursos Naturales, 10:46-52.
- Duch, G. 1991. Fisiografía del estado de Yucatán. *Su relación con la agricultura*. Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional de la península de Yucatán.
- Durán G.R., González-Iturbe A.J.A., Granados C.J., Olmsted I.C. y Tun D.F. 1999. Vegetación. En: Chico-Ponce de León P.A. (Coordinador General de la Obra), Atlas de procesos territoriales de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán-PROEESA, Mexico, D.F. Pp: 183-194.
- Nair P.K.R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 499 pp.
- Balam K.M., Bañuelos R.I., García de Miranda E., González-Iturbe A.J.A., Herrera C.F., Orellana L.R. y Vidal L.J. 1999. Evaluación climática. En: Chico-Ponce de León P.A. (Coordinador General de la Obra), Atlas de procesos territoriales de

Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán-PROEESA, Mexico, D.F. Pp:163-182.

Underwood, A.J. 1997. Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance. Ed.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 PRIMER ARTÍCULO PUBLICADO**

En este capítulo se presenta uno de los dos artículos de investigación generados y publicados como resultado del proyecto de investigación de la tesis doctoral. Se intitula "Quarry reclamation in Mérida, Yucatán, México: A review on achievements and current limitations [Regeneración de canteras en Mérida, Yucatán, México: Una revisión sobre sus posibilidades y limitantes]. Fue aprobado y publicado en la revista *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 5(2005):101-108 (Revista electrónica: <http://www.ccba.uady.mx/publicaciones/journal/vol5-3/62-mapsa.pdf>).

Las instrucciones para los autores de la revista se presentan en la sección de Apéndices.

En este artículo se presenta información sobre el estado actual de la rehabilitación de canteras en Yucatán, México. Algunos resultados obtenidos en trabajos previos son presentados. Resultados preliminares sobre el establecimiento de sistemas agroforestales indican que es posible rehabilitar canteras en Yucatán, utilizando especies como caoba y ramón. Se presenta un análisis sobre la problemática legal, económica y ecológica para realizar la rehabilitación de canteras. Finalmente se sugieren algunas alternativas para alcanzar la rehabilitación indicando las implicaciones que esto tiene.

**QUARRY RECLAMATION IN MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO:  
A REVIEW ON ACHIEVEMENTS AND CURRENT LIMITATIONS**

**[REGENERACIÓN DE CANTERAS EN MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO:  
UNA REVISIÓN SOBRE SUS POSIBILIDADES Y LIMITANTES]**

**P. Montañez-Escalante<sup>1</sup>, L. García-Barrios<sup>2</sup>, and J. Jiménez-Osornio<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Dep. Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales,  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán,  
Km 15.5 carr. Mérida-Xmatkuil, Apdo. 28 Cordemex 97110, Mérida, Yucatán, México.  
E-mail: pimbalam@sureste.com, josornio@tunku.uady.mx*

<sup>2</sup> *Dep. Agroecología, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas,  
Chiapas, México. E-mail: lgarcia@scl.ecosur.mx*

*\*Corresponding autor*

**SUMMARY**

In Merida, Yucatan, Mexico, quarry exploitation is one of the mining activities which most impacts the environment, eliminating vegetation as well as soil. This activity requires restoration measures after exploitation. Nevertheless, few companies are implementing reclamation projects. Motives are diverse and range from legal to economic. The Materiales Anillo Periferico Company (MAPSA) has established and successfully managed several types of agroforestry systems on exploited land. At present they are evaluating native tree species which can grow under quarry conditions. The goal is to establish multi-species systems which satisfy owners' needs and at the same time provide conservation. Restoring sites to this original condition is impossible. After exploitation, no vegetation is left, and the remaining substrate is only a layer of the bed-rock on the ground water table. However, it is possible to stimulate investment in productive quarry use. Among the factors which make difficult the propagation of experiences generated in MAPSA are high investment costs of regeneration, clandestine mining, and lack of enforcement. It is necessary to identify mechanisms which link economic, ecological and social aspects. At the same time it is necessary to establish links among productive, business, and scientific sectors, and publicize the results in order to stimulate reclamation of quarry sites.

**Key words:** agroforestry systems, quarry exploitation, regulations.

**INTRODUCTION**

Where open quarry mining takes place (i.e. the exploitation of rock layers to obtain materials for construction industry use), generally the soil is

**RESUMEN**

En Mérida, Yucatán, México la explotación de canteras es una de las actividades mineras que más impacta al ambiente pues elimina tanto la vegetación como el suelo. Esta actividad requiere de la aplicación de medidas de mitigación después de la explotación. Sin embargo, son pocas las empresas con áreas ya explotadas que están llevando a cabo algún proyecto de regeneración. Los motivos son diversos y van desde los legales hasta los económicos. La empresa Materiales Anillo Periférico (MAPSA) ha establecido y manejado con éxito diversos tipos de sistemas agroforestales. Actualmente, se están evaluando nuevas especies arbóreas nativas que puedan desarrollarse bajo las condiciones de cantera. La meta es establecer sistemas agroforestales que satisfagan necesidades de los propietarios y al mismo tiempo realizar prácticas de conservación. Alcanzar la restauración histórica del sitio es imposible. Después de la explotación no hay vegetación y el sustrato que queda es sólo una fracción de la roca madre. Pero sí es posible estimular la inversión en el uso productivo de las canteras. Entre las limitantes que dificultan la propagación de las experiencias generadas en MAPSA están los altos costos de inversión en la regeneración, el clandestinaje, la poca claridad en las leyes y sus reglamentos. Es urgente identificar mecanismos que vinculen los aspectos económico, ecológico y social. Se requiere establecer vínculos entre los sectores productivo, empresarial y científico, y difundir los resultados generados para estimular la regeneración de los sitios de cantera

**Palabras clave:** sistemas agroforestales, explotación de canteras, reglamentación.

denuded, the landscape is altered, and the ecosystem is destroyed. Inappropriate management of mining activities may provoke severe impacts on neighboring sites. This is due to discharge of contaminants, sediments, chemicals or metals (Gardner 2001). Many

exploited mines are abandoned and their sites are left highly disturbed, with little or no recovery. These sites are then often used as public dumps. As a consequence, they are a source of bad odors, contaminated soils, leachates containing pathogens or toxins that contaminate groundwater, and promote proliferation of bothersome fauna (mosquitoes, rats, etc.) (Meyer *et al.*, 1999).

Mining near cities is an undesirable economic activity, even though it plays an important role in the development and maintenance of living standards (Gardner 2001). Nevertheless, cases exist of activities which promote mine reclamation processes in different parts of the world (Jim 2001, Gardner 2001, Griffith and Toy 2001, Sarraillh and Ayrault 2001, Clemente *et al.*, 2004). Efforts range from applying decontamination treatments to the site to “creating” new soil layers (Holmes and Richardson 1999).

One of the most important mining activities in Yucatan, Mexico is limestone quarry exploitation. Limestone is obtained from quarries to be used in construction materials (gravel, lime, cement). The visual impact produced by the resulting landscape alteration is great, due to drastic modification of relief and vegetation (Clemente *et al.*, 2004). It is common to find large abandoned holes which accumulate garbage near tourist or urban developments and highways, and few measures are employed to restore exploited quarries.

The use of limestone in the construction industry in Yucatan dates from prehistoric times. In his writings, De Landa (1556) informs: “*Yucatan is a land of the least soil which I have seen... There are few parts in which a new City could be dug without reaching a large rock slab.*” The ancient Mayas took advantage of this rare quality. Morley (1987) reports that the Mayan pyramids are made of a cementing material which is very easy to work with. This material is limestone which, upon being burnt, produces lime. It is mixed with gravel to provide support to buildings. Populations still exist who produce lime in the same manner as did the ancient Mayas. During colonial times (1522-1821), the Mayas were forced to raise new population centers and construct roads. For these purposes they used materials obtained from limestone (Meyer *et al.*, 1999).

Currently, various Federal and State government plans are considering the development of new roads and infrastructure throughout the state. This is promoting new quarry exploitation. The government itself exploits rock material near its construction sites.

An Environmental Protection Law exists for the state of Yucatan which regulates quarry exploitation and regeneration activities. Nevertheless, little has been

achieved in this respect. The Yucatan State Government Secretary of Ecology (SECOL) is charged with providing follow-up on quarry regeneration actions. In 2003, this institution estimated there were 19 companies of varying size dedicated to quarry exploitation in the state (G. Valladares 2004, SECOL, Yucatan, personal communication). Principal companies include: CEMEX, Apasco, Predeco, Procom, Mitza, Cementos Maya, MAPSA, and the state government itself.

It is necessary to identify regeneration options for active and inactive areas in order to reverse impact. One alternative, which does not require great effort, is allowing natural succession processes to take effect. However this takes decades. Another option is to productively regenerate these areas, establishing “designer ecosystems” which give rise to future forests, as MacMahon (1998) proposes. A site may be restored for a particular function or to conserve certain species. This may, for instance, include restoring the forest architecture without restoring all its species. For example, in Quintana Roo, Mexico, the architecture of the acahual (secondary vegetation growth after shifting cultivation) promotes a rapid fire cycle, and at the same time diminishes the diversity of species. A return to mature forest structure using a designer approach may both break the fire cycle and promote biodiversity. This implies manipulating altered systems, not only leaving them to natural succession processes (Allen *et al.*, 2003). Another option is constructing diverse agroecosystems that are both productive and mimic to a certain extent the forest architecture.

The purpose of this paper is to review the literature on quarries reclamation and to discuss the limitations and possibilities for limestone mine reclamation in the outskirts of the city of Merida, Yucatan. We present a successful reclamation experience based on agroforestry systems, and analyze some current limitations and needs for extending it throughout the region. As part of this review we provide our own tree growth and survival data from the agroforestry plots most recently established by MAPSA.

## METHODS

Anillo Periferico Materials S.A. (MAPSA) is a Yucatan company which has been dedicated to quarry exploitation for 27 years. Quarry exploitation implies extracting all rock material, until arriving to a meter or less of the ground water level (Figure 1). At the end of the process, only a carbonate rock lacking organic material and biological activity remains (Sims 1990). For almost three decades, the company has exploited 65 hectares. Of these, 30 hectares are being recovered by establishing and managing agroforestry systems.



Figure 1. Exploited MAPSA quarry. Soil mounds which were separated before exploitation may be observed. In the lower part, rising of the ground water table may be observed (Photo by: Montañez 2000).

In 1990, MAPSA started rehabilitating its quarries. It planted 12 Has with a tree-grass mixture of *Leucaena leucocephala* (huaxín) and *Cynodon nlemfuensis* (Star grass). Success with this trial motivated the owners to plant two more Has. With a mixture of legume trees as forage for cattle (*L. leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* and *Albizia lebbek*) at a global density of 1,250 plants ha<sup>-1</sup>. Survival, growth and adaptation of these trees was evaluated by Castillo and Cervera, 1998. Since 1995 the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science of the Universidad Autónoma de Yucatán has been collaborating with MAPSA on this project. The goals are (1) reestablishment of plant cover, (2) efficient productive use of light, soil and space, and (3) short, medium, and long term income generation (Armendáriz 1998, Castillo and Cervera 1998).

In January 2000, three more Has. were prepared for planting agroforestry systems. The first step of this recovery strategy was to separate the first 20 cm of soil at the moment of opening a new rock extraction area. Regeneration was initiated by applying a 1-m thick gravel fill at the bottom of the exploited quarry, above which the stored top soil was placed. The depth of the aquifer (1.5 m below the new ground level) should be sufficient to avoid flooding during the rainy season. Mahogany (*Swietenia macrophylla*) and ramon (*Brosimum alicastrum*) plantations were established in order to evaluate their survival in quarry conditions. Mahogany was planted in a 4 x 4 m arrangement, as a monoculture and associated with tamarindo (*Tamarindus indica*), or with tamarindo and achiote (*Bixa orellana*). Ramon was planted in a 4 x 4 m arrangement, also as a monoculture and associated

with huaxín (*L. leucocephala*) or with huaxín and pixoy (*G. ulmifolia*).

Planting was done manually in August 2000. Nine months after planting, *Leucaena* and *Guazuma* foliage was completely pruned up to one meter in height. Pruning continued every 90 days between September 2001 and June 2002 in order to avoid light competition. From November 2000 to April 2001 (the dry season), the mahogany and ramon plants were watered three times weekly. All plots were weeded every 30 days.

Data on the trees was collected every three months from September 2000 to June 2002. Survival percentages of each species were recorded. Total height was measured with a metric pole. For mahogany, diameter at breast height (DBH) was measured.

## RESULTS

By the second year after transplanting, the survival of all tree species established in 2000 was higher than 90%. Tree growth was also successful. Mahogany trees had an outstanding growth: in two years, they reached 5 m heights and a DBH of 5 cm (Table 1, Figure 2). Soil fertility and soil depth as well as the proximity of the water table to plant roots can explain these results. Other plots established previously by MAPSA in a contiguous quarry show qualitatively similar results.

The hurricane Isidore in 2002 demonstrated that this system can be resistant when local climate conditions are extreme. With the high precipitation conditions

caused by Isidore, the site remained flooded for five months. Water rose to two meters above ground, and 60% of trees planted in 1994 and in 2000 were lost (Figure 3). Mahogany, tamarind and pixoy plants survived these conditions. Polycultures which combine tree species with different physiology can reduce the risk of total loss when natural disaster strikes.

Table 1. Growth of the species after two years.

Specie	Common name	Height in year 2002 (m)
<i>Swietenia macrophylla</i>	mahogany	5
<i>Brosimum alicastrum</i>	ramón	3
<i>Bixa orellana</i>	achiote	2
<i>Tamarindus indica</i>	tamarindo	2.5
<i>Leucaena leucocephala</i>	huaxin	prunning
<i>Guazuma ulmifolia</i>	pixoy	prunning

**Review of other studies carried out in quarries managed by MAPSA**

The survival rates of species planted in 1994 was greater than 90%. Forage production and quality was evaluated for some species (Armendáriz, 1998). One conclusion of these studies was that given the quarry's soil conditions and micro-environment, it is possible to develop agroforestry systems. This allows for the

regeneration of these areas, while generating income at the same time.

Another study conducted in MAPSA was an analysis of basic costs of the rock extraction process, and of the regeneration process through a silvopastoral system (SPS). The goal was to identify possibilities of internalizing the costs of the regeneration process (Coba, 1998). This study estimated that extracting material from one hectare of quarry costs 123,682.71 dollars and the gross profit generated (before taxes) was 94,000.11 dollars.

If we consider that reclamation must be carried out by law, that costs represent only 16% of gross profits, then companies should not object to carrying out regeneration. High profits can be obtained from quarry exploitation, so investing in agroforestry systems for regeneration and productive purposes should not be resisted by companies.

In 2001, Llamas (2004) evaluated forage yield and quality of *L. leucocephala*, *G. ulmifolia*, *A. lebbek* and *G. sepium*, 6 years after planting. The most productive species were *G. sepium* and *G. ulmifolia* with 2,193 and 1,467 kg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, respectively. *A. lebbek* did not perform well under quarry conditions and is not recommended.



Figure 2. Multispecies agroforestry system where the main crop is *Swietenia macrophylla*. Sanitary pruning are realized to control the shoot borer (*Hypsiphylia* sp.) (Photo by: Montañez 2002).



Figure 3. Multispecies agroforestry system established in the MAPSA quarry, which was flooded for five months after Hurricane Isidore in 2002. The aquifer rose more than 1 m (Photo by Montañez 2002).

MAPSA is a successful example of limestone mine regeneration. This is demonstrated by the fact that after 14 years, the owners continue to be interested in creating and innovating reclamation practices with agroforestry systems. In 2002, the SECOL administration officially recognized MAPSA for their successful recovery actions.

By linking businesses and universities, management strategies and activities are being identified for accelerating the recovery process. This link has benefited both parties. Universities have the opportunity to expand research in relevant fields, and the business continues to obtain new concessions, while obtaining further income from agroforestry products.

#### **Limitations and possibilities of quarries reclamation**

In the state of Yucatan, several uses for abandoned quarries have been proposed. Recreational parks have been created, and some companies have tried to carry out aquaculture and deer raising. These options have not been very successful. In contrast, only one company (MAPSA) has regenerated a large area, through the establishment of agroforestry systems.

Upon regenerating quarries, one should consider additional evaluation criteria, besides ecological factors. Among these are economic, historical, cultural, social, moral, and aesthetic criteria (Higgs 1997, Swart *et al.*, 2001, Winterhalder *et al.*, 2004).

Other essential factors are political will and government capacity to coordinate the interests of those parties involved in regeneration.

Several causes explain the small numbers of results obtained in quarry reclamation in Yucatan (Table 2). We identify legal, economic, and ecological limitations. Quarry exploitation regulation in the Yucatan is relatively recent, unclear, and inefficient. This allows for negligence on the side of companies. Fifteen years ago, no law existed compelling companies to carry out regeneration projects. Currently, the Environmental Protection Law of Yucatan (1999) states that "in order to exploit and extract minerals not reserved to the Federation, an Environmental Impact Statement is required". This statement should contain a description of possible environmental consequences due to the activity. Also, it should express measures to prevent and mitigate exploitation, considering protection and restoration of soil, flora, and fauna.

Although the law requires a reclamation program in these areas, upon ceasing exploitation, it is common for quarries to be totally abandoned. Often, required exploitation permits are not sought, and clandestine mining is realized. Because of this, the current SECOL administration demands that research groups provide a current list of those quarry areas already exploited and under exploitation, as well as management recommendations (G. Valladares 2004, SECOL, Yucatán, personal communication).



Table 2. Factors to consider upon realizing quarry regeneration projects in Merida, Yucatan, Mexico.

	Limitations	Possibilities
Legal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unclear laws</li> <li>• Lack of follow-up on mitigation activities</li> <li>• Lack of current information on regeneration activities</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualize laws and enforce them</li> <li>• Training of personnel in charge of follow-up</li> <li>• Renovating information on active and passive quarries</li> </ul>
Economic	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High investment costs</li> <li>• Few profits</li> <li>• Negligence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determine who should pay</li> <li>• Establish productive conservation systems</li> <li>• Motivate investment</li> </ul>
Ecological	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scarce, infertile soil</li> <li>• Long term recuperation</li> <li>• Lack of studies recommending management practices</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Site conditioning</li> <li>• Studies identifying native species which activate and facilitate ecological succession</li> <li>• Support for research projects</li> <li>• Publicizing information generated</li> </ul>

SECOL identifies several difficulties with applying state environmental regulations in controlling quarry exploitation (G. Valladares 2004, SECOL, Yucatán, personal communication). First, few economic resources are available for vigilance. Secondly, legal administrative procedures favor the offender. Thirdly, when a business owner is negligent, environmental costs of investment are rarely internalized. Finally, the change in governmental administrations every six years does not facilitate program continuity, as it takes time to train new personnel.

An important economic limitation is the high investment cost of regeneration. Business owners try to satisfy their own interests and refuse to invest in activities which do not generate income. This currently leads to financial responsibility falling on taxpayers (Hobbs and Norton 1996; Holl and Howarth 2000). For this reason, it is important to establish productive systems such as AFS, through which economic and ecological benefits may be obtained.

One of the main ecological limitations is that little soil remains after exploitation. Other limitations include the closeness of the aquifer, the risk of flooding, and the difficulty in finding local species adapted to these conditions which may also generate income. Scientific research is necessary in order to identify useful and adequate species and intercropping schemes, optimal planting densities, and sound productive management practices.

**Possibilities**

Quarry regeneration in the Yucatan has possibilities of success if some of the aforementioned problems can be solved. It is necessary to identify who should pay for regeneration of exploited quarries. Is it the

government, which is financed by citizens' tax money? Is it the business, which benefits from the resource exploitation? Or is it the consumer, who demands the product to satisfy certain needs?

In the legal aspect, it is important to consider, as part of authorizing documents, those obligations and specific regeneration tasks for which the business would be responsible. This would help the authority to verify compliance on the site.

Quarry restoration only for conservation purposes implies high investment costs, and few are willing to assume them. Rather, successful restoration requires carrying out regeneration practices using viable productive systems, like agroforestry systems which mimic to a certain extent those natural communities which have been displaced. This approach results to be more attractive for business owners.

It is necessary to identify species mixtures which could be established under extreme site degradation conditions. These should generate clear benefits, and short term investment recovery. The challenge is, and has been, to improve project management and to select appropriate and compatible plant species in order to increase the benefit/cost ratio.

Finally, it is important to establish robust alliances among universities, research centers, companies and social organizations, through which long term research projects can be developed. It is also necessary to publicize these studies and their recommendations. Only then will it be possible to make progress in regenerating exploited quarry areas and recover a small part of the harmony in which the ancient Mayas lived with their environment.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by CONACYT-SISIERRA grant FMVZ-990605 and the Interamerican Institute for Global Changes Research. A fellowship was provided to the first author by CONACYT. We thank Alfredo, José, Héctor and Augusto Cervera from MAPSA for providing information about their Company. We are also grateful with Holm Tiessen, Bruce Ferguson, Rocio Ruenes, and José Castillo for their helpful comments on the manuscript.

#### REFERENCES

- Allen, E.B., H.A. Violi, Allen, M.F. and Gómez-Pompa, A. 2003. Restoration of tropical seasonal forest in Quintana Roo. In: Gómez-Pompa, A., Allen, M.F., Fedick, S.L. and Jiménez-Osornio, J.J., (ed). The lowland Maya area: Three millennia at the human-wildland interface. Food Product Press, New York, USA. Pp. 587-598
- Armendáriz, Y.I.R. 1998. Indigenous fodder legume trees: Their influence on soil fertility and animal production on tropical pastures of Yucatán, México. PhD thesis. Wye Collage, University of London.
- Castillo, C.J.B., and Cervera, B.A.1998. La recuperación de canteras con sistemas agrosilvopastoriles en Yucatán, México. Red de Gestión de Recursos Naturales 10:46-52.
- Clemente, A.S., Werner, C., Máguas, C., Cabral, M.S., Martins-Loução, M.A. and Correia., O. 2004. Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs. Restoration Ecology 12:20-28.
- Coba, L.F. 1998. Estudio sobre características y alternativas de manejo de los bancos de materiales abandonados en la ciudad de Mérida. Dissertation. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- De Landa, D. 1556. Relación de las cosas de Yucatán. Ed. Porrúa, S.A. México, D.F.
- Gardner, J. 2001. Rehabilitating mines to meet land use objectives: bauxite mining in the Jarrah forest of Western Australia. Unasyilva 207(52):3-8.
- Griffith, J.J., and Toy, T.J. 2001. Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais State, Brazil. Unasyilva 207(52): 9-15.
- Higgs, E.S. 1997. What is good ecological restoration? Conservation Biology 11:338-348.
- Hobbs, J., and Norton, D.A. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology 4:93-110.
- Holl, K.D., and Howard, R.B. 2000. Paying for restoration. Restoration Ecology 8:260-267.
- Holmes, P.M., and Richardson, D.M. 1999. Protocols for restoration based on recruitment dynamics, community structure, and ecosystem function: Perspectives from South African Fynbos. Restoration Ecology 7:215-230.
- Jim, C.Y. 2001. Ecological and landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong. Restoration Ecology 9:85-94.
- Environmental Protection law of the Yucatán. 1999. Diario Oficial del Estado de Yucatán. Friday, April, 23 1999.
- Llamas García E. 2004. Rendimiento y calidad del follaje de árboles forrajeros en una cantera en Mérida Yucatán, México. MSc. Thesis. FMVZ. Universidad Autónoma de Yucatán, México
- MacMahon, J.A. 1998. Empirical and theoretical ecology as a basis for restoration: An ecological success story. In: Pace, M.L. and Groffman, P.M. (ed). Successes, limitations, and frontiers in ecosystem science. Springer-Verlag, New York, USA. Pp: 220-246
- Meyer, A.K.S., Mitre, L.M, Nava, F., and Oropeza, O. 1999. Impacto ambiental. In: Atlas de procesos territoriales de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, México. Pp: 247-266
- Morley, S.G. 1987. La civilización Maya. Fondo de cultura económica. 6ª reimpresión, México D.F. Pp. 326-337.
- Sarrailh, J.M., and Ayrault., N. 2001. Rehabilitation of nickel mining sites in New Caledonia. Unasyilva 207(52): 16-20
- Sims, G. 1990. Biological degradation of soil. In: Lal, R. and Steward, B.A. (ed). Soil degradation. Advances in soil science 11. Springer-Verlag, New York. Pp. 289-330
- Swart, J.A.A.; van der Windt, H.J., and Keulartz, J. 2001. Valuation of nature in conservation and restoration. Restoration Ecology 9:230-238.

Montañez-Escalante *et al.*, 2005

Wintherhalder, K., Clewell, A.F., and Aronson, J.  
2004. Values and science in ecological

restoration- A response to Davis and  
Slobodkin. *Restoration Ecology* 12:4-7.

*Submitted March 01, 2005 -- Accepted July 07, 2005*  
*Revised received August 13, 2005*

## 4.2 SEGUNDO ARTÍCULO PUBLICADO

En este capítulo se presenta el segundo de los artículos de investigación generados y publicados como resultado del proyecto de investigación de la tesis doctoral. Se intitula “Establecimiento de asociaciones arbóreas con caoba y ramón en una cantera abandonada en Yucatán, México”. Fue aprobado y publicado en la revista *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(2009):177-183 (Revista electrónica: <http://www.veterinaria.uady.mx/ojs/index.php/TSA>).

Las instrucciones para los autores de la revista se presentan en la sección de Apéndices.

En este artículo se presentan resultados experimentales sobre la influencia en el crecimiento y desarrollo de árboles asociados a cultivos de caoba y ramón. Los efectos de las asociaciones se determinó con base al crecimiento en diámetro y altura alcanzado por cada una de las especies, así como en la producción de forraje y frutos. Los resultados indican que caoba y ramón pueden crecer con cultivos acompañantes sin que esto afecte su desarrollo. Al ser estas dos especies de producción a largo y mediano plazo, respectivamente, es posible utilizar los interespacios para cultivar especies como tamarindo, achiote, huaxin y pixoy las cuales producen en menor tiempo.

ESTABLECIMIENTO DE ASOCIACIONES ARBÓREAS CON CAOBA Y RAMÓN EN UNA CANTERA ABANDONADA EN YUCATÁN, MÉXICO

[ESTABLISHMENT OF TREE ASSOCIATION WITH CAOBA AND RAMON IN AN ABANDONED QUARRY IN YUCATAN, MEXICO]

Patricia Montañez-Escalante<sup>1\*</sup>, Luis García-Barrios<sup>2</sup>, Juan Jiménez-Osornio<sup>1</sup> and José Nahed-Toral<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cuerpo Académico de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil, A.P. No. 28 Cordemex 97110, Mérida, Yucatán, México. Emails: montanez@uady.mx, josornio@uady.mx.

<sup>2</sup>Departamento de Agroecología, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, CP 29290 México. lgarcia@scl.ecosur.mx y jnahed@scl.ecosur.mx

\*Corresponding author

RESUMEN

Se determinó la influencia de árboles asociados sobre el crecimiento y desarrollo de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.) durante la etapa de establecimiento de una plantación en el fondo de una cantera ya explotada en Mérida, Yucatán, México. Se establecieron tres tratamientos para la caoba, en monocultivo, asociada a tamarindo (*Tamarindus indica* L.) y con achiote (*Bixa orellana* L.). Los tres tratamientos para el ramón fueron en monocultivo, con huaxín (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.) y con pixoy (*Guazuma ulmifolia* Lam.). Se determinó los efectos de las asociaciones sobre crecimiento en altura y diámetro de la caoba y el ramón. En las especies asociadas se determinó la producción de forraje y frutos. Los resultados muestran que no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos en el crecimiento en altura y diámetro de caoba y ramón. Asociar al ramón con especies de rápido crecimiento como huaxín y pixoy, requirió podas para permitir la entrada de luz. La producción de forraje de huaxín y pixoy fue 2 t PS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, sin diferencias significativas entre ellos ( $p > 0.05$ ). El tiempo requerido para alcanzar la edad productiva de especies como caoba y ramón ofrece oportunidades para utilizar efectivamente los interespacios durante su período de crecimiento inicial.

**Palabras clave:** *Tamarindus indica*, *Bixa orellana*, *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia*, *Swietenia macrophylla*, *Brosimum alicastrum*.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales simultáneos (SAS) son aquellos donde se integran de manera conjunta y continua los cultivos anuales o perennes, árboles

SUMMARY

The influence of the association trees on the height and diameter growth of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.) plantations during the establishment period in an quarry near the city of Merida, Yucatan, Mexico, was evaluated. Associated trees to mahogany were tamarindo (*Tamarindus indica* L.) and achiote (*Bixa orellana* L.). Associated trees to ramón were huaxín (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.) and pixoy (*Guazuma ulmifolia* Lam.). Tree association effects on the growth in height and diameter of mahogany and ramón were analyzed. The production of fruits and forage in the associated tree species was determined. There were no significant differences in mahogany and ramón diameter and height growth ( $p > 0.05$ ) among treatments. To associate the ramón with other species of fast growth like huaxín and pixoy pruning was repeatedly conducted on this species to obtain the light levels required for ramón. The forage production of haxin and pixoy was 2 t dry matter ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> and there were not significant differences ( $p > 0.05$ ). The time required to get productive age in the species like ramon and mahogany offer opportunities to use the interspaces during growth period.

**Key words:** *Tamarindus indica*, *Bixa orellana*, *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia*, *Swietenia macrophylla*, *Brosimum alicastrum*.

maderables, frutales o de uso múltiple, y/o ganadería. En algunos SAS la posibilidad de competencia entre los cultivos aumenta cuando algunas especies de árboles presentan arquitecturas radicales y del dosel similares (García y Ong, 2004). Es necesaria una

selección adecuada de las especies para lograr niveles de interacción intra e interespecífica cuyo balance neto permita que el sistema sea viable y productivo.

Algunos estudios (Montagnini *et al.*, 1997; Swaminathan, 2001; Hagggar *et al.*, 2003) reportan que en los SAS la imbricación de árboles genera mayores ingresos económicos que en los monocultivos. La mayor productividad se alcanza mediante la complementariedad ecológica entre los componentes del dosel superior e inferior (Hagggar y Ewel, 1997).

Los sistemas agroforestales son una alternativa para reforestar áreas de cantera, una actividad minera a cielo abierto que afecta significativamente al ambiente (Montañez *et al.*, 2005). En esta actividad se elimina toda la cubierta vegetal, se retira el suelo y se extraen las capas de roca. Al final sólo quedan grandes agujeros con sustratos inertes (Figura 1) (Clemente *et al.*, 2004).



Figura 1. Condiciones de la cantera al finalizar la explotación. En la parte inferior de la fotografía puede observarse el afloramiento de agua del manto freático.

En México existen leyes que regulan la recuperación de las áreas de cantera. Sin embargo son ineficientes y poco claras (Montañez *et al.*, 2005). Es común que al cesar la explotación, estas áreas sean abandonadas y utilizadas como basureros porque las compañías concesionadas no quieren invertir en su rehabilitación. Consideran que la inversión es alta y la evitan, aunque tienen el compromiso legal y ético de recuperarlas. Algunas alternativas de recuperación han sido convertirlas en parques recreativos, acua-parques (debido al afloramiento del manto freático) y áreas para producción animal. Sin embargo, estas actividades pueden causar contaminación del agua y afectar los acuíferos circunvecinos utilizados para consumo doméstico. Otra opción es el establecimiento de sistemas agroforestales que promuevan la repoblación de áreas aprovechadas previamente como minas de cantera y eviten la contaminación del ambiente.

El objetivo de esta investigación fue conocer el crecimiento y desarrollo de los cultivos de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.) asociados a tamarindo (*Tamarindus indica* L.) y achiote (*Bixa orellana* L.) para el primero y huaxín (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.) y pixoy (*Guazuma ulmifolia* Lam.) para el segundo durante la etapa de establecimiento en una cantera abandonada. La hipótesis fue que mientras el ramón alcanza la edad productiva y la caoba cierra su dosel, el estrato inferior puede ser aprovechado con árboles acompañantes de menor talla y con producción a corto plazo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Descripción del sitio

La investigación se realizó en una cantera explotada (Materiales Anillo Periférico S.A. de C.V., MAPSA), en la periferia de la Ciudad de Mérida, Yucatán, México (21° 51' N y 89° 41' O). El área tiene una precipitación anual de 984 mm y una temperatura media de 26.8°C (Orellana *et al.*, 1999). La vegetación está clasificada como selva baja caducifolia (Durán *et al.*, 1999). Antes de la explotación de la cantera la vegetación provenía de henequenes abandonados, con diversos tipos de perturbación (por ampliación de carretera, incendios, etc). En la zona predominan los suelos leptosoles líticos (Duch, 1991).

Al finalizar la explotación de la cantera sólo queda como sustrato parte de la roca madre. Se acondicionaron 16,800 m<sup>2</sup> en el fondo de la cantera colocando una capa de relleno de piedras calizas (1 m) y luego una capa de tierra (0.5 m). Esta tierra corresponde a los primeros 20 cm de suelo original, la cual es removida antes de iniciar la explotación del área porque no se utiliza en el proceso de transformación. Con el propósito de conocer su calidad a este sustrato, previo a la plantación, se determinó pH, materia orgánica (MO), N, P y K. Para las determinaciones de N y P, las muestras se digirieron en mezcla de ácido sulfúrico/peróxido de hidrógeno. El N se determinó con el método de Kjeldhal y el P por colorimetría (Anderson e Ingram, 1993).

### Diseño experimental

La evaluación se realizó durante la fase de implante de la caoba y el ramón, de agosto de 2000 a julio de 2002. Se diseñó un experimento para caoba y otro para ramón, cada uno con tres tratamientos y seis repeticiones, en parcelas de 32 x 24 m (8 m distancia entre ellas); cada tratamiento ocupó una sub-parcela de 8 x 24 m (4 m entre ellas). Las doce parcelas se distribuyeron al azar en el predio experimental (Figura 2).

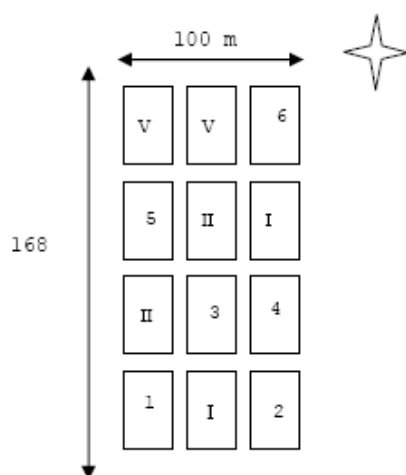


Figura 2. Croquis con la distribución de las parcelas en el sitio de estudio. I-VI señalan las repeticiones con ramón, huaxín y pixoy en sus diferentes asociaciones. 1-6 señalan las repeticiones de parcelas con caoba, achiote y tamarindo en sus diferentes asociaciones.

En el primer experimento la caoba se plantó en una matriz de 4 x 4 m (625 plantas ha<sup>-1</sup>) para los tratamientos: 1) caoba en monocultivo; 2) caoba más tamarindo (*Tamarindus indica* L.) (asociación aditiva) colocado entre las filas de caoba. La distancia fue 4 m entre tamarindos (625 plantas ha<sup>-1</sup>) y la distancia a la caoba más cercana fue 2 m; 3) la mitad de las plantas de tamarindo fue sustituida por achiote (*Bixa orellana* L.) (asociación sustitutiva) con el mismo arreglo.

En el segundo experimento el ramón se plantó en una matriz de 4 x 4 m (625 plantas ha<sup>-1</sup>) para los tratamientos: 1) ramón en monocultivo; 2) ramón más huaxín (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.) (asociación aditiva) plantados entre las filas de ramón, la distancia fue 2 m (1,875 plantas ha<sup>-1</sup>) entre plantas de huaxín y ramón; 3) una tercera parte de las plantas de huaxín fue sustituida por pixoy (*Guazuma ulmifolia* Lam.) (asociación sustitutiva) con el mismo arreglo.

La siembra de las plántulas se realizó en agosto de 2000. A partir de los 270 días de implante, los individuos de huaxín y pixoy recibieron podas totales hasta 1m de altura cada 90 días. De noviembre de 2000 a abril de 2001 (temporada de estiaje), las plantas de caoba y ramón recibieron riego de auxilio tres veces por semana. Las parcelas fueron deshierbaradas cada 30 días.

#### Análisis de los datos

Se midió el crecimiento de las plantas sembradas dentro del área útil (16 x 4 m), para evitar los efectos de borde. La altura total de cada individuo fue medida con una garrocha métrica. Para las plantas de ramón se obtuvo el diámetro basal (DAB) a 10 cm sobre el nivel del suelo y para caoba el diámetro normal (DAP) a 1.3 m de altura. Para huaxín y pixoy se registró el peso seco del follaje por hectárea por año.

Los efectos de las asociaciones sobre el crecimiento de las plantas de caoba y ramón se determinaron con análisis de varianza con un nivel de significancia del 95% (Underwood, 1997). La diferencia en producción de forraje de huaxín entre los tratamientos 2 y 3 se determinó con una prueba de t con un nivel de significancia del 95%, usando SPSS 10.0 para Windows (2002).

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La muestra agregada del suelo reincorporado y utilizado como cama de siembra registró un pH de 7.6-8.2, 7.3% de materia orgánica, MO, 0.4% de nitrógeno total, N total, 4.4 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo extraíble, P extraíble y 200 mg kg<sup>-1</sup> K intercambiable. El porcentaje de supervivencia de las especies, después de dos años de implante fue de 90%. La selección rigurosa de las plántulas en vivero y la fertilidad del suelo favorecieron la supervivencia. Raíces bien desarrolladas, tallos erectos y plántulas sanas, son características que aseguran el desarrollo de las plantas después del trasplante. Un año después de iniciar la plantación se eliminó el riego porque las plantas habían desarrollado sus raíces hasta el manto freático que estaba a menos de 2 m. Esto les aseguró la disponibilidad permanente de agua aún en la temporada de estiaje.

El crecimiento en altura y diámetro de las plantas de caoba en monocultivo fue similar ( $p > 0.05$ ) al de las asociadas con tamarindo y con tamarindo y achiote (Figura 3). Después de dos años de imbricación, la caoba alcanzó una altura promedio (error estándar) de 5 m (0.5 m) y 5 cm (EE 0.4 cm) de diámetro normal, DAP.

Los árboles de caoba alcanzaron alturas superiores a lo referido para plantaciones forestales en Quintana Roo, México, (Snook y Negreros, 2004) y en Costa Rica (Piotto *et al.*, 2004). La caoba no es una especie común en el sitio donde se realizó este estudio, pero es una especie heliófita que se adapta bien a áreas perturbadas y demanda luz durante la fase de crecimiento temprano. Esto favorece una alta tasa de crecimiento en sitios abiertos que le permite ocupar rápidamente el

estrato superior (Mayhew y Newton, 1998). Las plantas de caoba no desarrollaron copas extendidas y, por lo tanto, no sombrearon en exceso a las plantas de achiote y tamarindo, ambas de menor porte que la caoba.

El crecimiento en altura y diámetro de las plantas de ramón no fue estadísticamente diferente ( $p>0.05$ ) al de las plantas asociadas con huaxín y con huaxín y pixoy. Antes de las podas los árboles asociados sombrearon al ramón, con este manejo la cantidad de sombra producida por las plantas de huaxín y pixoy se redujo. A los 630 días del implante (y término del estudio), el ramón alcanzó en promedio (error estándar) 3 m (1 m) de altura y 4 cm (1 cm) de diámetro basal.

A los 270 días de plantación, huaxín y pixoy habían desarrollado copas de 4 m (0.9 m) de diámetro y alturas promedio de 2 m (0.8 m). A esa edad sombreaban a las plantas de ramón. La talla promedio del ramón era en promedio menor a 1.5 m (Figura 4) y sus hojas presentaban amarillamiento. Las plantas de ramón en monocultivo tuvieron alturas promedio similares a las asociadas con huaxín y pixoy, pero no presentaron amarillamiento foliar. Después de aplicar una poda total para permitir la entrada de luz al estrato inferior y en el muestreo inmediato posterior a ello (360 d), las hojas de las plantas de ramón asociadas a huaxín y pixoy recuperaron su color verde característico, probablemente como respuesta a la entrada de una mejor calidad y cantidad de radiación solar.

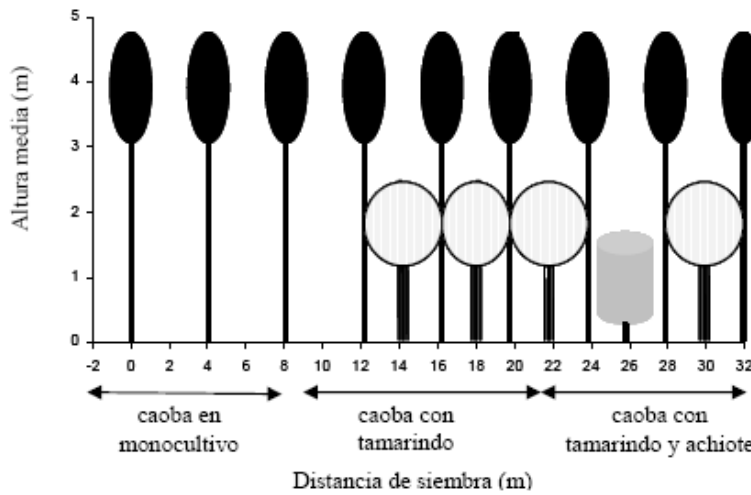


Figura 3. Arreglo de las parcelas con caoba y las especies asociadas, dos años después del implante (julio de 2002).

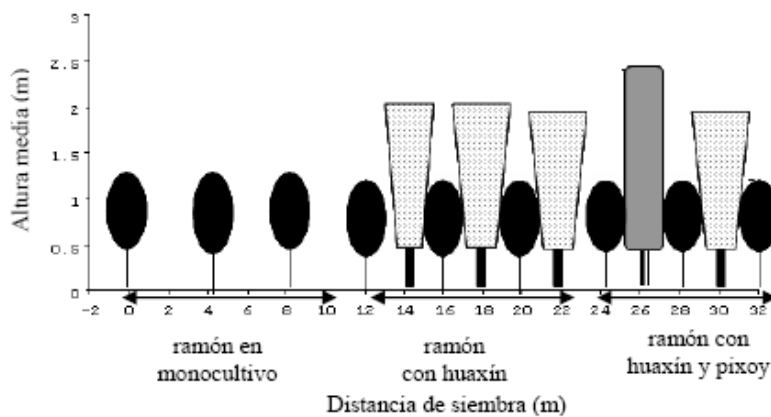


Figura 4. Perfil de las plantaciones de ramón en monocultivo y en asociación con huaxín y pixoy (junio de 2001, 270 días después del implante).



El ramón es una especie de crecimiento lento que tarda en ocupar el estrato superior; es demandante de luz y tolerante a la sequía cuando ha pasado la etapa juvenil (Ayala y Sandoval, 1995). Asociar al ramón con especies de rápido crecimiento como huaxín y pixoy que ocupan el estrato superior y cuyo follaje disminuye la entrada y calidad de luz, requirió podas. Sánchez-Velázquez *et al.* (2004) refieren, que en el oeste de México las plantas de ramón pueden desarrollarse bajo la sombra de algunas especies nodrizas, como *Acalypha cincta* Muell y *Thouinia serrata* Radlk, pero no de otras como *Acacia macilenta* Rose y *Tabebuia chrysantha* (Jacq) G. Nicolson.

Ninguna especie sufrió graves daños por la presencia de plagas o enfermedades en el período de observación. En huaxín y caoba es común el ataque por plagas que acaban incluso con plantaciones completas (Mayhew y Newton, 1998), este podría ser otro efecto positivo de imbricar otras especies arbóreas durante la etapa de implante (Gliessman, 1998).

#### Producción de los árboles en el corto plazo

A los 540 días de implante se obtuvo la primera cosecha del achiote cuya producción de semillas fue en promedio (error estándar) de 154 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (60 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). El rendimiento de una plantación de achiote depende de un conjunto de variables (suelo, edad de la planta, etc.), y en promedio se obtienen 500 a 600 kg semilla ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, cuando la planta está en la madurez productiva (6 años) (Pérez y Becerra, 2003). El tamarindo produjo las primeras flores al término de este estudio.

La producción de forraje por árbol de huaxín fue similar ( $p > 0.05$ ) cuando estuvo asociado con ramón, y cuando la mitad del huaxín fue sustituido con pixoy. En el primer caso la producción de forraje de huaxín fue en promedio (error estándar) 2.3 (EE 0.5) t peso seco ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (t PS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y en el segundo fue en promedio 1.7 (0.4). La producción de forraje por planta de pixoy fue en promedio de 2 (0.3) kg PS (1.3 t PS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). La suma de la producción total por tratamiento indica que asociando ramón con huaxín y pixoy sería posible tener mayores rendimientos de forraje por ha (3 t PS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

La gestión de la plantación, tipo de suelo, fertilización, estado de madurez de la planta, edad del corte, frecuencia e intensidad de las podas, influyen en los rendimientos de las especies (Strehle *et al.*, 1994). En este estudio las plantaciones eran muy jóvenes y el ramón aún no empezaba a producir biomasa en forma que depende de la adaptación al sistema (Figura 5).

## CONCLUSIONES

La asociación de árboles frutales y forrajeros con cultivos de caoba y ramón durante la etapa de establecimiento fue positiva por la ausencia de las típicas plagas y enfermedades que afectan a estas plantaciones. A pesar de que los árboles asociados (tamarindo, achiote, huaxín y pixoy) son de rápido crecimiento no causaron interferencia negativa sobre el crecimiento de las plantas de caoba y ramón. La aplicación de podas en los árboles asociados con el ramón evitó interacción negativa sobre este último. El tiempo requerido para alcanzar la edad productiva de especies como caoba y ramón ofrece oportunidades para utilizar efectivamente los interespacios durante su período de crecimiento inicial y proporciona beneficios directos adicionales como es la producción de frutos y forraje.

La gestión de SAS como los ejemplificados en este estudio puede ser una estrategia eficaz para la restauración de canteras abandonadas que contribuyan al cumplimiento de la normatividad correspondiente sobre la recuperación de las canteras.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)-SISIERRA, FMVZ-990605, y el Interamerican Institute for Global Changes Research. El primer autor recibió una beca del CONACYT. A Alfredo, José y Héctor Buenfil Cervera, dueños de la empresa MAPSA. A Augusto Cervera, R. Ruenes, L. Albornoz, J. Castillo, A. Castillo, A. Caamal, C. Catzin, H. Estrada y J. May por su valiosa ayuda. A los revisores anónimos, que con sus comentarios enriquecieron este artículo.

## REFERENCIAS

- Ayala, A., y S. M. Sandoval. 1995. Establecimiento y producción temprana de forraje de ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) en plantaciones a altas densidades en el norte de Yucatán, México. *Agroforestería en las Américas* 7: 10-16.
- Anderson, J.M., and J.S.I. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. CAB International, Wallingford, UK. 220 p.
- Clemente, A.S., C. Werner, C. Máguas, M.S. Cabral, M.A. Martins-Loução, and O. Correia. 2004. Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs. *Restoration Ecology*. 12: 20-28.

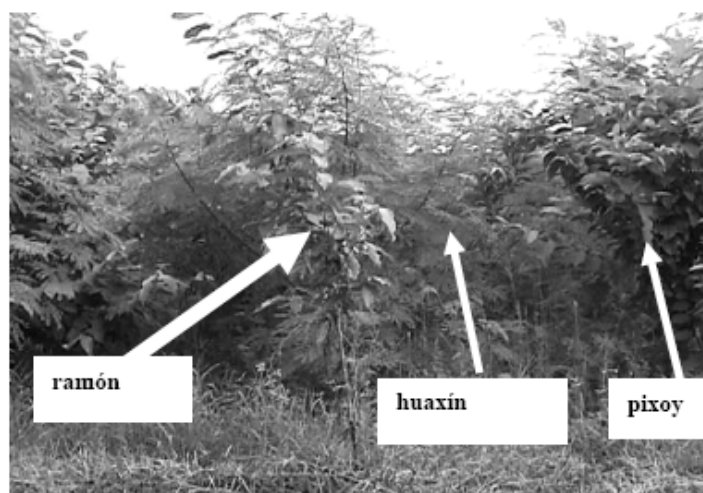


Figura 5. Condiciones de la plantación de ramón en asociación con huaxín y pixoy, después de dos años del implante (agosto de 2002).

- Duch G., J. 1991. Fisiografía del Estado de Yucatán—su relación con la agricultura—. Centro Regional de la Península de Yucatán, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 229 p.
- Durán R., J.A. González-Iturbe, J. Granados, I. Olmsted and F. Tun. 1999. Vegetación. In: García de Fuentes A, J. Córdoba y Ordóñez and P. Chico Ponce de León (eds). Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, pp: 187-194.
- García B., L., and C.K. Ong. 2004. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61: 221-236
- Gliessman, S.R. 1998. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Ann Arbor, Michigan. U.S.A. 357 p.
- Haggar, J.P., and J.J. Ewel. 1997. Primary productivity and resource partitioning in model tropical ecosystems. *Ecology* 78: 1211-1221
- Haggar, J.P., R. Rheingans, P. Arroyo, and B. Alvarado. 2003. Benefits and costs of intercropping reforestation in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 25:41-48.
- Mayhew, J.E., and A.C. Newton. 1998. The Silviculture of Mahogany. CABI Publishing, Wallingford, UK. 226 p.
- Montagnini, F., F. Sánchez, E. González, C. Porras, A. Moulart, y A. del Mónaco. 1997. Plantaciones forestales puras y mixtas con especies nativas para la reforestación de terrenos degradados en Costa Rica: Estudio comparativo del crecimiento, daño por plagas, regeneración natural y costos de establecimiento. *Biocenosis* 12: 25-34.
- Montañez E., P., L. García B. and J. Jiménez O. 2005. Quarry reclamation in Mérida, Yucatán, México: A review about the achievements and current limitations. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 5: 101-108.
- Orellana R, Balam-Ku M, Bañuelos-Robles I, García E, González-Iturbe JA, Herrera-Cetina F, Vidal-López J. (1999) Evaluación climática. In: García de Fuentes A, Córdoba y Ordóñez J, Chico Ponce de León P (eds). Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, pp: 163-182
- Pérez S., M., y R. Becerra. 2003. El achiote. *Biodiversitas* 46: 7-11.
- Piotto, D., E. Viquez, F. Montagnini, and M. Kanninen. 2004. Pure and mixed forest plantations with native species of the dry

- tropics of Costa Rica: a comparison of growth and productivity. *Forest Ecology and Management*. 190: 359-372.
- Sánchez-Velásquez L.R., S. Quintero G., F. Aragón C., and M.R. Pineda L. 2004. Nurses for *Brosimum alicastrum* reintroduction in secondary tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 198: 401-404.
- Snook, L.K. and P. Negreros C. 2004. Regenerating mahogany (*Swietenia macrophylla* King) on clearings in Mexico's Maya forest: The effects of clearings method and cleaning on seedling survival and growth. *Forest Ecology and Management* 189: 143-160.
- Strehle, U., A. Granados, M. Vallejo y J. Benavides. 1994. Efecto de la especie y la posición del tallo sobre la germinación de éstas en tora blanca y tora morada (*Verbesina* sp.) en Puriscal, Costa Rica. In: Árboles y Arbustos Forrajeros de América Central. Vol. II. Benavides J.E. (Comp. y ed). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 721 p.
- Swaminathan, C. 2001. Sustainable tree mixtures: Optimum species combination for a tropical alfisol of southern India. *Biological Agriculture and Horticulture* 18: 259-268.
- Underwood, A.J. 1997. *Experiments in Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp: 100-139.

*Submitted October 06, 2008 – Accepted February 07, 2009*  
*Revised received February 27, 2009*

## **CAPITULO V**

### **DISCUSIÓN GENERAL**

Aunque el término de restauración de ecosistemas tiene más de 40 años de emplearse (Ormerod 2003), hoy día se identifican diversos términos que refieren diferentes niveles de restauración (Ehrefeld 2000, Van Digglen et al. 2001). Esto depende del sitio a restaurar, pero sobre todo de los objetivos de esta actividad. En el sector minero es frecuente que los resultados de la restauración se limiten a aspectos paisajísticos sencillos que se centran en minimizar rápidamente el impacto visual generado por la explotación (Jorba y Vallejo 2006). La demanda de rapidez supera a la demanda de calidad y la colocación de tierras y las siembras con mezclas herbáceas de rápido crecimiento siguen siendo las actuaciones más extendidas.

Las afectaciones ambientales de la minería son drásticas: suponen la alteración profunda del paisaje y la destrucción prácticamente total de los ecosistemas afectados (Jorba y Vallejo 2006). En México, la restauración de estos espacios después de obtener el mineral, aún no está legislada. Es de competencia estatal y corresponde a cada entidad federativa aplicar la normatividad correspondiente. Sin embargo, si se revisa el marco legal se observa que las exigencias técnicas y ambientales están poco definidas. Dentro de este marco legislativo ambiguo, se desarrollan las distintas actividades de restauración y se evalúan según los criterios de los responsables de cada organismo competente.

En Yucatán, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medioambiente (SEDUMA) promueve, para su evaluación, el Anteproyecto de Norma para Bancos de Material Pétreo en el Estado de Yucatán. Se presenta la norma técnica ambiental nta-001-

seduma-09, que establece las medidas y los parámetros que deben observarse en los bancos de materiales, durante la explotación y su posterior restauración. A través de manifestaciones de impacto ambiental es obligatorio para las empresas, describir el escenario ambiental modificado por la actividad. Deben expresar las medidas para prevenir y mitigar la explotación, y considerar rehabilitar los suelos, la flora y la fauna silvestres. Este anteproyecto de norma requiere de revisiones y su posterior aprobación, sin embargo es un paso importante para rehabilitar las áreas degradadas por la explotación de canteras.

Para que la reconversión de canteras en Yucatán tenga posibilidades de éxito se requiere determinar quién debe pagar por la recuperación de estas áreas. ¿El gobierno, los empresarios, los consumidores o quizá los tres? La aplicación de la ley debe ser más estricta y considerar las obligaciones y las tareas de reconversión específicas que son responsabilidad de los empresarios. Es necesario monitorear y verificar que estas tareas sean cumplidas o en su caso aplicar la sanción correspondiente con base en la normatividad.

Son pocos los estudios realizados y publicados sobre la rehabilitación de canteras y la mayoría reportan actividades de revegetación para estabilizar los suelos (Cisternino 2000, Aronson et al. 2002, Shu et al. 2003, Jorba y Valejo, 2006, Yuan 2006). Sin embargo, cada día es creciente el interés en esta práctica y nuevos resultados y propuestas se generan.

MAPSA es una empresa que ha estado ensayando con diferentes asociaciones arbóreas para rehabilitar sus canteras. En el Capítulo II se han mencionado algunos de los estudios publicados, pero aún hay información no documentada. Registrar en forma sistemática los resultados alcanzados en los

diferentes ensayos, permitirá proponer metodologías y estrategias de rehabilitación que pueden emplearse en otras canteras.

Entre los estudios publicados está el de Cobá (1998). Cobá reporta que la explotación de canteras genera utilidades económicas por 729,488 pesos por hectárea. Para este estudio realizamos el registro de los costos de inversión en la rehabilitación de una hectárea de la cantera y se obtuvo que acondicionar el sitio (nivelar, preparar el sitio, poceteo y siembra) costaba 194,341 pesos más 25,000 pesos por hectárea por año que consideraban los costos de mantenimiento (deshierbe, podas y cosecha). Esto da un costo total de 219,431 pesos por hectárea para el primer año y representa la tercera parte de las utilidades.

Rehabilitar las canteras sólo para conservar implica una gran inversión que pocos quieren hacer. Es necesario promover prácticas de rehabilitación de sitios vía la construcción de sistemas productivos rentables sin olvidar la conservación de los recursos. Los sistemas agroforestales presentan una oportunidad para combinar ambas metas. Esto resulta más atractivo para los propietarios. Jorba y Vallejo (2006) proponen valorar el costo económico versus el beneficio ambiental de forma consensuada entre los distintos actores implicados en el proceso de rehabilitación (científicos, técnicos, empresas y administración). Esto permitirá seleccionar las actuaciones más rentables con criterios de economía ecológica. Sin embargo, este es un aspecto que no se evaluó en este estudio.

Al regenerar canteras es necesario considerar criterios de evaluación adicionales a los ecológicos, como los históricos, culturales, sociales, económicos, morales y estéticos (Swart et al. 2001, Sweeney y Czapka 2004, Winterhalder et al. 2004). Otros factores esenciales son la voluntad política y la capacidad del gobierno para concertar los intereses de las partes involucradas en la regeneración.

Entre los propósitos de la rehabilitación de un sitio hay que considerar que algunos de los productos pueden generar beneficios económicos para los propietarios de la tierra. Por ejemplo Sweeney y Czapka (2004) mencionan que para restaurar un área ribereña en EU utilizaron especies que mejoraban las condiciones del río o que generaban algún producto comercial (madera) para los propietarios. Estas especies benefician la vida silvestre a través de la producción de hojas, frutos y sombra y también representan dinero potencial para los propietarios. Se incluyeron como fuentes de ingreso y esto motivó a los propietarios para realizar la restauración de los sitios.

La agroforestería es considerada como forma potencial para mejorar la sostenibilidad socioeconómica y ambiental tanto en los trópicos como en las regiones templadas (Alavalapati and Nair 2001, Garrett et al. 2000, Nair 2001). Los sistemas agroforestales proveen diferentes productos como alimentos, madera y forraje para el ganado, que pueden generar ingresos económicos. Al mismo tiempo, generan servicios ambientales como la conservación del suelo, mejoran la calidad del agua y el aire, conservan la biodiversidad y belleza escénica (Alavalapati et al. 2004).

Los diseños de los sistemas agroforestales evaluados en este estudio presentaron porcentajes de sobrevivencia de las especies mayor al 90%. La caoba no es una especie común en el sitio donde se realizó este estudio, sin embargo, al ser una especie heliófita pudo alcanzar alturas superiores a lo reportado por Macario-Mendoza (2003) para caobas en las selvas de Quintana Roo, México. La caoba es una especie de rápido crecimiento y en sitios abiertos logra ocupar rápidamente el estrato superior (Mayhew y Newton 1998). Las plantas de caoba no

desarrollaron copas extendidas y, por lo tanto, no sombrearon en exceso a las plantas de achiote y tamarindo, ambas de menor porte.

Por su parte el ramón es una especie de crecimiento lento que tarda más de tres años en ocupar el estrato superior, es demandante de luz y tolerante a la sequía cuando ha pasado la etapa juvenil (Ayala y Sandoval 1995). Asociar al ramón con especies de rápido crecimiento como huaxín y pixoy que ocupan el estrato superior y cuyo follaje disminuye la entrada y calidad de luz, requirió de podas. Sánchez-Velázquez et al. (2004) encontraron que en el oeste de México las plantas de ramón pueden desarrollarse bajo la sombra de algunas especies nodrizas, como *Acalypha cincta* Muell y *Thouinia serrata* Radlk, pero no de otras como *Acacia macilenta* Rose y *Tabebuia chrysantha* (Jacq) G. Nicolson.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las especies estudiadas coexistieron durante la etapa de establecimiento. Las especies compartieron el mismo hábitat sin una interferencia aparente, aunque pudo existir un traslape en sus nichos (Gliessman 1998). En esta etapa las plantas suelen ser aún pequeñas en porte y los espacios entre los individuos son amplios. Cuando las especies crecen expanden su zona de influencia tanto arriba del suelo como debajo. Esto ocasiona que las especies sobrelapen sus zonas de influencia y algunos de los recursos reduzcan hasta el punto donde el crecimiento, la sobrevivencia o la actividad reproductiva de al menos uno de ellos se afecta de manera negativa (Begon et al. 1986, en García-Barrios 2003).

Las poblaciones mixtas son capaces de coexistir debido a variados mecanismos como: repartición de los recursos, diversificación de nichos, o cambios fisiológicos, conductuales o genéticos que reducen la competencia (Gliessman 1998). Un mecanismo antropocéntrico que afecta a todos los demás es el manejo.



Las actividades culturales que los productores aplican a sus cultivos afecta la respuesta de cada una de las especies relacionadas y del sistema en general. El entendimiento de los mecanismos de interferencia que hacen posible la coexistencia es fundamental para considerarlos en el diseño de agroecosistemas con cultivos múltiples, como los sistemas agroforestales, y para aplicar las mejores técnicas de manejo.

En este estudio sólo las especies de huaxin y pixoy crecieron lo suficiente para causar interferencia entre ellos y al ramón, el cual era de menor talla. El crecimiento en altura y follaje de huaxin y pixoy causaron sombra a las plantas de ramón. El amarillamiento observado en las hojas de ramón se perdió después de aplicar las podas del follaje de huaxin y pixoy. En este caso al aplicar la práctica de manejo favoreció la recuperación del ramón y permitió que no hubiera traslape de nichos y sí coexistencia. Al mismo tiempo se obtuvo producción de forraje que alimentó al ganado ovino de la misma empresa que se encontraba en otro sistema. La magnitud del efecto de las interacciones entre los componentes de un sistema agroforestal depende de las características de las especies, la densidad de la plantación, el estado de madurez de la planta, el arreglo espacial que permita combinar especies en diferentes estratos y la arquitectura arbórea (Nair 1993, Strehle et al. 1994). El balance entre las interacciones positivas y negativas de las especies vegetales es también influido por las actividades de manejo a lo largo del tiempo (García-Barrios y Ong 2004).

Cuando estudiamos el comportamiento de más de dos especies en intercultivo, en este estudio fueron tres, el número de interacciones bilaterales crece geométricamente con la riqueza de especies y la interpretación de los análisis y la obtención de los datos resulta complicado (Tilman 1990 en García-Barrios 2003).

En este estudio no se establecieron tratamientos de monocultivos para las especies asociadas, sólo para las principales: caoba y ramón. Por lo tanto, no fue posible obtener el valor de ISEM. Para caoba y ramón no se obtuvieron diferencias en los valores de altura y diámetro entre los tratamientos (monocultivo vs asociaciones aditivas). Puesto que caoba y ramón no mermaron en asociación aditiva, y puesto que las especies asociadas a caoba y ramón desarrollaron bien, es muy probable que el ISEM de estas plantaciones sea mayor que uno (García-Barrios 2003). Las interacciones entre los componentes son dinámicas y al pasar el tiempo, cuando las especies crecen, es probable que el valor del ISEM cambie también.

Ninguna especie sufrió graves daños por la presencia de plagas o enfermedades en el período de observación. En cultivos de huaxin y la caoba es común el ataque por plagas que acaban incluso con plantaciones completas (Mayhew y Newton, 1998). Uno de los efectos positivos de manejar sistemas agroforestales es que los arreglos espaciales y la biodiversidad protegen algunos cultivos contra el ataque de plagas (Gliessman 1998).

El período de este estudio comprendió de agosto del 2000 a julio de 2002. En septiembre de 2002, el huracán Isidore impactó la parte norte del estado de la península de Yucatán y causó grandes pérdidas en el ramo industrial, el agropecuario y en otras actividades. Recordemos que la superficie de la cantera donde se establecieron los experimentos tiene alrededor de 1.5 m por arriba del manto freático. Como consecuencia de las altas precipitaciones que trajo Isidore, el nivel del agua aumentó a más de 3 m (casi 2 m arriba del suelo agregado), lo que ocasionó que las plantaciones quedaran inundadas por 5 meses. Como resultado de los vientos por el huracán y la inundación, sólo el 50% de los individuos de caoba, tamarindo y pixoy sobrevivieron. Este es otro de los beneficio del manejo de

sistemas agroforestales, en caso de impactos naturales o plagas algunos de los componentes resisten y mantienen el sistema (Nair 1993, Gliessman 1998, Liebman 1999).

Aunque las plantas sobrevivieron, muchas de ellas resultaron dañadas. Ramas rotas, raíces semidesprendidas, follaje dañado y base del tronco con presencia de hongos fueron los efectos del huracán sobre las plantas sobrevivientes. Algunas de estas plantas murieron después de varios meses a consecuencia de los daños. Esto afectó mucho a los dueños de la empresa quienes decidieron abandonar por completo el sistema, ya que recuperarlo implicaba invertir más dinero. Ya no fue posible dar seguimiento a los individuos que quedaron, y en la actualidad se ha convertido en un área dejada a la sucesión natural.

En la actualidad la empresa ha retomado la tarea de rehabilitar las áreas de cantera y ya cuenta con más de 25 ha rehabilitadas. Entre las nuevas especies que están implantando y que han dado mejores respuestas de crecimiento están *Gmelina arbórea* Roxb. y *Tectona grandis* L.f. ambas consideradas para producción de madera y pulpa para papel. Las dos especies son introducidas y de rápido crecimiento.

La morfología del estado de Yucatán es de grandes planicies estructurales (controladas por las capas de rocas sedimentarias marinas) y lomeríos que no superan los 200m hacia el sur (Lugo-Hubp y García-Arizaga 1999). Los suelos son someros y poco profundos y las especies locales están adaptadas a esta condición. Las especies seleccionadas para este estudio son nativas de México, a excepción del tamarindo, y están bien adaptadas a las condiciones del suelo y del clima de la región yucateca. Esta característica favoreció su establecimiento en la cantera.

La cantidad de suelo agregado a la cantera, que provenía del despalme, permitió el establecimiento de las especies y la producción de algunas de ellas. Sin embargo, la altura considerada (1.5 m) no fue suficiente para impactos tan severos como el del huracán Isidore. Actualmente, la empresa coloca capas del nuevo sustrato con una altura de 2 a 3 m sobre el nivel del manto freático para prevenir las inundaciones.

Este estudio presenta avances sobre la fase de establecimiento de sistemas agroforestales para rehabilitar canteras en Yucatán, sin embargo aún falta mucho por conocer. Es relevante realizar investigaciones sobre temas específicos como: fisiología de las especies en las canteras, dinámica de las interacciones en tiempo y espacio, dinámica de bancos de semillas en canteras, mecanismos de dispersión de semillas, formas para incrementar su efectividad en sitios degradados, presencia de la fauna silvestre, impacto socioeconómicos de los sistemas agroforestales como herramientas para la rehabilitación de canteras, entre otros.

La rehabilitación de un sitio es un proceso que requiere de muchos años. Recuperar algunas de las funciones estructurales que tenía el sitio previo a la explotación debe ser uno de los objetivos de la rehabilitación. Para esto el manejo de las interacciones entre las especies a través del tiempo y del espacio es indispensable. El empleo de sistemas agroforestales para la rehabilitación de canteras es una herramienta que puede generar servicios ambientales y, al mismo tiempo, ingresos económicos. En ellos es posible monitorear la dinámica de las interacciones y ensayar diversas formas de manejarlas en la búsqueda del balance positivo que permita a las especies coexistir y sobreproducir.

## Literatura citada

- Alavalapati J.R.R. y Nair P.K. 2001. Socioeconomic and institutional perspectives of agroforestry. pp. 71–81. En: Palo M. y Uusivuori J. (eds) *World Forests, Society, and Environment—Markets and Policies*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Alavalapati J.R.R., Shrestha R.K., Stainback G.A. y Matta J.R. 2004. Agroforestry development: An environmental economic perspective. *Agroforestry Systems* 61: 299–310.
- Aronson J., C. Ovalle, J. Avendaño, L. Longeri y A. Del Pozo. 2002. Agroforestry tree selection in central Chile: biological nitrogen fixation and early plant growth in six dryland species. *Agroforestry Systems* 56: 155-166.
- Ayala A. y Sandoval S. M. 1995. Establecimiento y producción temprana de forraje de ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) en plantaciones a altas densidades en el norte de Yucatán, México. *Agroforestería en las Américas*, 7: 10-16.
- Begon M., Harper J.L. y Townsend C.R. 1986. *Ecology, Individuals, Populations and Communities*. Blackwell, Oxford, England.
- Cisternino P. 2000. Trabajos de rehabilitación y reforestación de canteras. Juan Minetti S.A. Planta Puesto Viejo. Provincia de Jujuy. <http://www.ceads.org.ar/casos/2000/Minetti%20Trabajos%20de%20rehabilit.pdf>
- Cobá L.F. 1998. Estudio sobre características y alternativas de manejo de los bancos de materiales abandonados en la ciudad de Mérida. Tesis de maestría Universidad Autónoma de Yucatán, México. 60 p.
- García-Barrios L. 2003. Plant-plant interactions in tropical agricultura. En: Varndemeer J. (ed.), *Tropical Agroecosystems*. CRC Press, New York, USA. Pp: 11-58.

- García B. L. y Ong C.K. 2004. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61: 221-236.
- Garrett H.E., Rietveld W.J. y Fisher R.F. 2000. *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 402 pp.
- Gliessman S.R. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor, Michigan. U.S.A. 357 p.
- Jorba P.M. y Vallejo C.R. 2006. La restauración ecológica en minería: el proyecto EcoQuarry. *Canteras*, 891: 16-23.
- Liebman M. 1999. Sistemas de policultivos. En: Altieri M. (ed), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan comunidad, Montevideo, Uruguay. Pp: 191-202.
- Lugo-Hubp J. y García-Arizaga M.T. 1999. Geomorfología. En: Chico-Ponce de León P.A. (Coordinador General de la Obra), *Atlas de procesos territoriales de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán-PROEESA, México, D.F. Pp: 155-162.
- Macario-Mendoza P. 2003. Efecto del cambio de uso del suelo sobre la selva y estrategias para el manejo sustentable de la vegetación secundaria en Quintana Roo. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.
- Mayhew J.E. y Newton A.C. 1998. *The Silviculture of Mahogany*. CABI Publishing. Wallingford, UK. 226 p.
- Nair P.K.R. 1993. *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 499 pp.

- Nair P.K.R. 2001. Agroforestry. In *Our Fragile World: Challenges and Opportunities for Sustainable Development*, Forerunner to The Encyclopedia of Life Support Systems, Chapter 1.25: 375–393. UNESCO, Paris, France & EOLSS, UK.
- Ormerod S.J. 2003. Restoration in applied ecology: editor's introduction. *Journal of Applied Ecology* 40:44-50.
- Sánchez-Velásquez L.R., Quintero S.G. Aragón F.C. y Pineda M.R. 2004. Nurses for *Brosimum alicastrum* reintroduction in secondary tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 198: 401-404.
- Shu W.S., C.Y. Lan, M.H. Wang y Z.Q. Zhang. 2003. Early natural vegetation and soil seeds banks in an abandoned quarry. *Acta Ecológica Sinica* 23:1305-1312.
- Swart J.A.A., van der Windt H.J. y Keulartz J. 2001. Valuation of nature in conservation and restoration. *Restoration Ecology*, 9: 230-238.
- Sweeney B. W. y S.J. Czapka. 2004. Riparian forest restoration: Why each site needs an ecological prescription. *Forest Ecology and Management* 192:361-373.
- Tilman D. 1990. Mechanisms of plant competition for nutrients: the elements of a predictive theory of competition. En: Grace J. y Tilman D. (eds), *Perspectives on plant competition*. Academic Press, New York. Pp:117-141.
- Wintherhalder K., Clewell A.F. y Aronson J. 2004. Values and science in ecological restoration- A response to Davis and Slobodkin. *Restoration Ecology*, 12: 4-7.
- Yuan J.G., W. Fang, L. Fan, Y. Chen, D.Q. Wang y Z.Y. Yang. 2006. Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization. *Restoration Ecology* vol. 14 (3): 349-356.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES GENERALES**

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio tenemos que:

1. Separar la tierra fértil durante el proceso de extracción del material pétreo (fase de despalme) y utilizarla como sustrato para la rehabilitación es una estrategia necesaria.
2. El acondicionamiento del sitio debe considerar una altura superior a los 2 m para prevenir inundaciones ante impactos tan severos como el huracán Isidore.
3. La selección de especies nativas o que estén bien adaptadas a las condiciones de la región favorece su establecimiento al momento de iniciar con la rehabilitación.
4. La selección rigurosa de las plantas desde el vivero, permite obtener altos porcentaje de sobrevivencia de las especies que se implanten.
5. Asociar especies de rápido y lento crecimiento permite aprovechar los diferentes estratos del sistema, las especies pueden coexistir. Además es posible generar algunos productos que generen satisfactores en fases tempranas de los sistemas.
6. Asociar diferentes especies, manejo de la biodiversidad, asegura la obtención de algún producto cuando el sistema es impactado por eventos naturales o por plagas.



7. El diseño de sistemas agroforestales que dieran beneficios económicos resultó atractivo para que la empresa invirtiera en la rehabilitación de sus canteras.
8. Sin embargo, la rehabilitación no debe verse sólo como una forma de continuar obteniendo beneficios económicos. Es necesario considerar áreas de conservación.
9. El registro de los procesos e interacciones ecológicas que se dan durante el proceso de rehabilitación es indispensable para comprender los mecanismos que los regulan.
10. La normatividad legal debe quedar bien establecida y clara para cada uno de los actores involucrados. La vigilancia del cumplimiento de las normas debe realizarse de manera continua y sistemática.
11. La experiencia descrita en este estudio sienta las bases para que otras empresas de materiales apliquen procedimientos similares para rehabilitar sus canteras. De hecho se tiene información sobre otra empresa que ha iniciado con los procesos de rehabilitación aplicando una metodología similar, pero aún no hay información publicada al respecto.

## APÉNDICE

### Instrucciones para los autores de la revista **Tropical and Subtropical Agroecosystems**

#### **Normas para autores/as**

Los originales se remitirán en español o inglés, los procesadores de texto para IBM y compatibles señalados más adelante, empleando la plataforma electrónica.

Al realizar el envío de los manuscritos mediante la plataforma electrónica el título debe ser capturado en MAYÚSCULAS. Los nombres de los autores solo deben emplear mayúscula en la primera letra de cada nombre y apellido. Si algún autor carece de dirección "e-mail"; por favor ingrese un punto (.), no deje el campo vacío.

Los trabajos con tablas y/o figuras las incluirán en la posición deseada de manera tal que sean conservados en un solo documento y no como un enlace activo. Emplee la configuración de página establecida por defecto en el procesador de texto y aplique el menor formato posible. Emplee la herramienta **Tabla** para diseñar las tablas.

Preferentemente formatear la información de las tablas para ser presentada en una hoja en formato vertical y no horizontal.

*Procesadores de texto. **Windows Word.*** De preferencia las figuras deberán ser preferentemente en formato GIF o JPG. Cualquier otro formato es aceptable, sin embargo, las figuras deberán ser insertadas en el archivo Word y asegurarse que éstas pueden ser visualizadas en un PC que no tenga instalado el programa desde el cual fueron generadas.

Los trabajos de investigación (texto mono-espaciado, font size 10, página tamaño carta), se estructurarán como sigue: título (en español e inglés, autores, dirección de los autores (e-mail incluido), palabras clave adicionales y keywords, (no incluidas en el título), summary y resumen (cortos, pero suficientemente explícitos para comprender el trabajo haciendo uso de los cuadros y figuras), introducción (breve, resumiendo el estado actual de la cuestión y planteando los objetivos), material y métodos (concisamente, pero con los detalles que permitan reproducir la experiencia), resultados y discusión, conclusión y referencias. Cuando sea necesario los agradecimientos podrán ser ubicados antes de las referencias.

Las citas en el texto serán de acuerdo a los siguientes ejemplos: Ku-Vera (1990), Wilson y Steel (1998), Martínez *et al.* (1970). Las referencias empleadas se presentaran ordenadas alfabéticamente por autores (los repetidos, por orden cronológico y, si son del mismo año, añadiendo a éste una letra: 1990a, 1990b, 1990c, etc).

En la sección de referencias el año de publicación no es escrito con paréntesis.

### **Revistas:**

Autores, año, título, revista (título completo), volumen y primera y última página.  
Ejemplo: Smith, C.S., Morris, A. 2000. The agroecosystems in the tropics. Journal of Agroecosystems. 29:24-56

### **Libros**

Autores, año, título del libro, No. de edición (a partir de la 2a. edición), editorial, país.

### **Capítulo de libro**

Autores, año, título del capítulo, editor y nombre del libro, editorial, país, primera y última página del capítulo.

Ejemplo: Norton, B.W. 1994. The Nutritive Value of Tree Legumes. In: Gutteridge, R.C. and Shelton, H.M. (eds.). Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture. CAB International, UK. pp. 177-191.

### **Memorias**

Autores, año, título, nombre del evento, editor (si existiese), lugar y fecha del evento, primera y última página.

### **WWW**

Cuando se emplee una referencia electrónica válida proporcionar de ser posible los siguientes campos: Autor, año, título, adicionar la dirección consultada (URL) y la fecha de consulta.

### **Secciones**

Además de los **Artículos de investigación** los siguientes tipos de trabajos pueden ser sometidos:

**Revisiones de literatura** son bienvenidas, la estructura será aquella que permita una mejor comprensión del tema tratado. Sin embargo debe contener; Introducción, conclusión(es) y referencias. Deberá incluir resumen en ambos idiomas.

**Estudios sobre agroecosistemas** - Esta es una sección multidisciplinaria, incluye investigación experimental multitrófica en sistemas de producción agrícola-forestal, acuícola y ganadera. Estudios de caso en agroecosistemas que además de describir

un aspecto situacional, propongan una metodología de estudio, comparen el escenario con otros escenarios posibles (FODA, Ishikawa, etc), desarrollen un modelo de la situación actual y hagan prospectiva, analicen el contexto histórico y valoren el contexto actual. Conocimiento local del entorno tropical con nuevas aplicaciones o aplicaciones tradicionales con mejoras sustanciales tecnológicas y de manejo. Trabajo interdisciplinario para la solución de problemas de manejo de recursos naturales y de los agroecosistemas. Revisión de políticas, normatividad o procesos novedosos o con visiones nuevas de asuntos actuales que influyan en los agroecosistemas tropicales, con bases científicas.

**Las Notas cortas** consisten en avances de trabajos de investigación, noticias de interés científico Su estructura incluirá al menos: Título (Español e Inglés), autores, dirección, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión integrados, tablas y figuras (si es preciso) y bibliografía.

**El foro** será para presentar información breve. Manuscritos inicialmente sometidos como nota corta podrán transferidos a esta sección considerando las recomendaciones de los revisores y cuando a juicio de los editores la información presentada sea valiosa para ser publicada este pero sustentada en información experimental limitada.

**Carta al editor**, editoriales que promuevan la discusión sobre el estudio/investigación de cierta temática de los agroecosistemas. Incluir un resumen de 4-5 líneas indicando claramente el punto a presentar/discutir.

**Presentación de libros** relacionados con las áreas de interés de la revista son bienvenidos. Es deseable elaborar la presentación en ambos idiomas. Sin embargo,

se aceptarán revisiones en un sólo (idioma del libro). Incluir aquella información relevante para que el lector pueda ubicar el libro. Autor, ISBN, Editorial, Año de publicación, No. de páginas y si es apropiado el precio.

Los trabajos de investigación serán evaluados en un proceso de revisión de pares.

Los manuscritos no aceptados serán devueltos a sus autores indicando las causas de su rechazo.

Los autores deberán revisar los archivos conteniendo la versión final de sus artículos una vez que sean cargados en la página web y señalar las correcciones pertinentes en caso de existir.

#### Lista de comprobación de preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos, y que acepten que envíos que no cumplan con estas indicaciones pueden ser devueltos al autor.

1. El envío no ha sido publicado previamente ni se ha enviado previamente a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en Comentarios al / a la editor/a).
2. El fichero enviado está en formato Microsoft Word, RTF.
3. Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.
4. El texto tiene interlineado simple o doble; el tamaño de fuente es 10 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado; y todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde.

5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autoras/es, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
6. Ha proporcionado la información (nombre, institución, e-mail, área de experiencia), de al menos 2 revisores potenciales (incluir como archivo complementario).

#### Nota de copyright

1. Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution License that allows others to share the work with an acknowledgement of the work's authorship and initial publication in this journal.
2. Authors are able to enter into separate, additional contractual arrangements for the non-exclusive distribution of the journal's published version of the work (e.g., post it to an institutional repository or publish it in a book), with an acknowledgement of its initial publication in this journal.

#### Declaración de privacidad

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.