

Instituto de Ecología A.C.

Cementos Holcim Apasco  
planta Orizaba

Centro de Capacitación  
Agropecuaria y Forestal A.C.

# **Monitoreo Ecológico**

de una cantera rehabilitada por cementos  
**Holcim Apasco en Veracruz**



# **Monitoreo Ecológico**

**de una cantera rehabilitada por cementos  
Holcim Apasco en Veracruz**

*Carlos Fragoso y Patricia Rojas Fernández*  
*Editores*

Primera edición, 2012

D.R. © por Instituto de Ecología, A.C.  
Km 2.5 carretera antigua a Coatepec No. 351  
Congregación El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México

DR. © Cementos Apasco S.A. de C.V.

ISBN 978-607-7579-24-3, primera edición

Título: Monitoreo Ecológico de una cantera rehabilitada por cementos  
Holcim Apasco en Veracruz.  
Impreso en México ~ Printed in Mexico

Forma sugerida para citar este libro:

C. Fragoso y P. Rojas (Eds). 2012. Monitoreo Ecológico de una cantera  
rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz. INECOL y  
Holcim Apasco. México, 258 pp.

Diseño editorial: Instituto Literario de Veracruz, S.C.

Revisión de estilo: Ana Valderrama

Fotografías de la portada: Cementos Holcim Apasco Orizaba.

D.R. © Ninguna parte de esta publicación, incluyendo el diseño de la  
cubierta, puede ser reproducida, traducida, almacenada o transmitida en  
manera alguna ni por ningún medio, ya sea electrónico, químico,  
mecánico, óptico de grabación o de fotocopia, sin permiso previo del  
editor. Párrafos pequeños o figuras aisladas pueden reproducirse,  
dentro de lo estipulado en la Ley Federal del Derecho de Autor y el  
Convenio de Berna, o previa autorización por escrito de la editorial.

# Conceptos y Métodos en Monitoreo Ecológico, Restauración y Rehabilitación

	pág.
<b>Capítulo 1</b>	<b>15</b>
Monitoreo ecológico de la rehabilitación. <i>Carlos Fragoso y Patricia Rojas</i>	
<b>Capítulo 2</b>	<b>25</b>
La restauración del paisaje y sus ecosistemas. <i>Fabiola López y Sergio Guevara</i>	
<b>Capítulo 3</b>	<b>45</b>
La rehabilitación ambiental implementada por CECAF y Holcim Apasco en la cantera Cuautlapan, Orizaba, México. <i>Salvador Gallaga y Benito Juárez</i>	

## Parte I

# Contenido

## Monitoreo Ecológico

	<i>pág.</i>
<b>Capítulo 4</b>	<b>93</b>
La vegetación y su potencial en la rehabilitación ecológica en minas a cielo abierto en Orizaba, Veracruz. <i>Gonzalo Castillo y Benito Juárez</i>	
<b>Capítulo 5</b>	<b>119</b>
Cambios de la fertilidad y la fauna del suelo en ambientes rehabilitados de la cantera Cuautlapan. <i>Carlos Fragoso, Patricia Rojas, Maricruz Rodríguez y Antonio Ángeles</i>	
<b>Capítulo 6</b>	<b>145</b>
Monitoreo de las hormigas del suelo en una mina de roca caliza rehabilitada. <i>Patricia Rojas, Daniel Palacios, Antonio Angeles y Lizbeth Hernández</i>	
<b>Capítulo 7</b>	<b>181</b>
Anfibios, reptiles y mamíferos del cerro Buenavista y la cantera Cuautlapan: inventario, y conservación. <i>Alberto González y Areli Rizo</i>	
<b>Capítulo 8</b>	<b>219</b>
Las aves en una mina en proceso de rehabilitación. <i>Fernando González, Gerson Alducin e Ian MacGregor</i>	

# Parte II

## Conclusiones

	<i>pág.</i>
<b>Capítulo 9</b>	<b>249</b>
Rehabilitación, restauración y monitoreo: retos ecológicos del siglo XXI. <i>Carlos Fragoso y Patricia Rojas</i>	

# Parte III

# **CAPÍTULO 4**

## **La vegetación y su potencial en la rehabilitación ecológica en minas a cielo abierto en Orizaba, Veracruz**

**Gonzalo Castillo-Campos**

Red de Biodiversidad y Sistemática  
Instituto de Ecología, A.C. (INECOL)  
gonzalo.castillo@inecol.edu.mx

**Benito Juárez López**

CECAF Orizaba  
Holcim Apasco planta Orizaba  
benito.juárez@holcimapasco.com.mx

## Resumen

Las minas a cielo abierto impactan de forma sobresaliente en el medio natural donde se desarrollan. Rehabilitar ecológicamente el área siempre será difícil, sin embargo, es necesario considerar en primer lugar a las especies nativas de la flora de la zona afectada para llevar a cabo la rehabilitación. En este estudio se realizó un inventario de la vegetación original en áreas aledañas. La vegetación en otras zonas afectadas fue evaluada seis años después de iniciados los trabajos. Para el muestreo de la vegetación original se realizaron cuadros de 100 m<sup>2</sup> y para la vegetación del área en proceso de rehabilitación cuadros de 25 m<sup>2</sup>; se incluyeron todos los taxa enraizados al suelo (árboles, arbustos, hierbas y bejucos). Se diferenciaron cuatro comunidades vegetales: encinar, comunidad de *Coccoloba*, vegetación secundaria derivada de bosque mesófilo y un cafetal bajo sombra. Las cuatro comunidades vegetales fueron ricas en especies, con un promedio de 50 taxa por cada 100 m<sup>2</sup>. La rehabilitación con especies exóticas como casuarina y bambú fue exitosa, lo cual generó las condiciones ecológicas necesarias para la llegada de otras especies arbóreas y arbustivas nativas de las comunidades vegetales aledañas. Al momento del estudio el área presentaba una cobertura vegetal verde formada por las especies introducidas para la rehabilitación y las que llegaron solas por diferentes medios de dispersión. La diversidad alfa del área de rehabilitación fue alta (28 taxa/25 m<sup>2</sup>), aún cuando había transcurrido poco tiempo para obtener una rehabilitación satisfactoria, caracterizada por la incorporación de especies residentes de la vegetación original.

## Abstract

Open-cast mines have a great impact on the environment. Its rehabilitation is always a very difficult task, and for its implementation, consideration of all native species is preferable. Accordingly, in this study an inventory of the surrounding original vegetation was done six years after a census in some rehabilitated areas was performed. Plots of 100 m and 25 m were taken for samples of the original vegetation and the area in process of rehabilitation, respectively. An inventory of all terrestrial taxa (trees, shrubs, herbs and climbers) was done. Four plant communities were differentiated: oaks, *Coccoloba*, secondary vegetation derived from cloud forest and a shaded coffee plantation. The four vegetation communities were generally rich, with an

average of 50 taxa per 100 m. Rehabilitation with exotic species like casuarinas and bamboo was successful. They generated conditions necessary for recruitment of native trees and shrubs from adjacent communities. Currently, the area presents a mixed vegetation cover formed by the introduced species for rehabilitation and recruitment by different means of dispersal. Alpha diversity of the rehabilitation area was high (28 taxa/25 m), even though the time necessary to obtain a satisfactory rehabilitation (incorporation of the resident species) was short.

## 1. Introducción

La vegetación del centro del Estado de Veracruz es muy diversa, principalmente la que se encuentra en las faldas del Pico de Orizaba, en donde se localiza un mosaico de comunidades vegetales sobre levantamientos de roca caliza muy poco conocidas florísticamente. Es común ver en esta zona una mezcla de elementos tanto de las zonas tropicales como de las templadas. La región del centro del Estado de Veracruz, se ha caracterizado por ser una de las más biodiversas desde el punto de vista florístico, debido a que el gradiente altitudinal que se establece forma una serie de condiciones ecológicas que contribuyen al establecimiento de diversos tipos de vegetación y cuyo contacto incrementa la biodiversidad. Se trata además de ambientes poco explorados desde el punto de vista florístico, que siguen aportando nuevos registros y especies a la ciencia botánica de México (Acevedo y Castillo-Campos 1986). En estos ambientes se encuentran además entre 20 y 43 taxa endémicos que están amenazados o en peligro de extinción (Avendaño 1998, López-Ferrari y Espejo-Serna 2002, Castillo-Campos *et al.* 2005). En la formación montañosa denominada cerro Buenavista del municipio de Ixtaczoquitlán, la cual fue utilizada durante varios años por Cementos Holcim Apasco para la extracción de barro y roca caliza (cantera Cautlapan), se encuentra una buena representación de la mezcla de las comunidades vegetales que caracterizan a la zona de los alrededores de Orizaba. Aun cuando la región es muy diversa florísticamente, son pocos los estudios realizados en el municipio. En los alrededores se han hecho algunos inventarios florísticos (Chiang 1976, Acevedo 1986, Pérez 1986, Robles 1987, Márquez 1999, Castillo-Campos *et al.* 2003), a pesar de lo cual el conocimiento florístico sobre el municipio de Ixtaczoquitlán sigue siendo muy escaso.

Las minas a cielo abierto para la extracción de roca caliza tienen impactos verdaderamente desastrosos sobre la biodiversidad vegetal y animal, en el germoplasma del banco de semillas y en las interrelaciones ecológicas. De modo que, y con objeto de desarrollar con mayor eficiencia los programas de rehabilitación ecológica, se requieren estudios florísticos de la cobertura vegetal y de la diversidad animal, antes y después de la extracción o cambio de uso del suelo.

En este capítulo se abordará de forma general la biodiversidad de las comunidades vegetales primarias y secundarias en las zonas aledañas no afectadas y en los ambientes rehabilitados de la cantera Cuautlapan, señalando para algunas especies su potencial en la rehabilitación ecológica. Para este último caso, una de las primeras recomendaciones es utilizar especies nativas presentes en las comunidades vegetales naturales, aledañas a las canteras de extracción. De modo que contar con un buen conocimiento de la flora nativa garantiza la selección de las especies más adecuadas para las distintas etapas en la rehabilitación ecológica de las áreas afectadas.

Se considera que en México hay aproximadamente 2,500 especies que tienen potencial para ser usadas en proyectos forestales (Rzedowski 1993), aunque muy pocas de esas especies se han estudiado con detalle (Pedraza y Williams-Linera 2003). De entre estas especies se estima que hay 233 árboles nativos con potencial para la rehabilitación o la restauración (Vázquez-Yanes *et al.* 1999). El estudio de Pedraza y Williams-Linera (2003) es la referencia más cercana sobre la utilidad de algunas especies de árboles nativos que pueden ser usados para la rehabilitación del bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz. En los últimos 20 años se han hecho esfuerzos considerables para seleccionar especies que puedan ser incorporadas en los proyectos de restauración y rehabilitación ecológica (Butterfield 1993, Chaverri *et al.* 1997, Hagggar *et al.* 1997, Cuevas y Lugo 1998, Lamb 1998, Standley y Montagnini 1999, Holl *et al.* 2000).

En este estudio, y con base en los inventarios de la flora realizados en las comunidades vegetales aledañas del cerro Buenavista, se recomendaron algunas especies nativas con potencial para rehabilitar la cantera Cuautlapan.

## **2. Localización, topografía, clima y suelos del sitio de estudio**

Gallaga y Juárez (2012) presentan con detalle la ubicación geográfica del cerro Buenavista y de la cantera de roca caliza en donde se efectuó el

estudio; ambos sitios se encuentran en la región central del Estado de Veracruz, a 5 km al oriente de la ciudad de Orizaba. El acceso principal se encuentra en el Km 323 de la carretera federal número 150 México-Córdoba (ver Figura 1 del capítulo 3 de este libro, Gallaga y Juárez 2012).

La topografía del cerro Buenavista es muy pronunciada con inclinaciones superiores a los 40° y con una pendiente promedio de 45°. El relieve corresponde a una formación montañosa de altitud media, comprendida entre los 1,000 y 1,400 msnm. La mayoría de los suelos son delgados; en ciertos lugares, sin embargo, la intemperización de la roca ha sido profunda. La fertilidad de los suelos en el bosque es alta ya que el horizonte superficial es rico en materia orgánica y además la roca madre es abundante en calcio, magnesio y potasio. Los suelos son jóvenes de tipo molisol, dividido en dos subórdenes, *rendolls* y *udolls* (USDA 1999).

El clima del área es templado húmedo, del tipo C(m)w"b, con una precipitación promedio anual de 2,155 mm (García 1988). La mayor parte de la lluvia se presenta durante los meses de junio a septiembre, registrándose en este periodo alrededor del 70% de la precipitación total anual. La temperatura media anual es de 20°C, con el valor más alto en el mes de mayo (23°C) y el más bajo en enero (15°C).

El cerro se localiza en la subcuenca del río Blanco, que atraviesa tanto la zona montañosa como la planicie costera y que nace en Acultzingo y desemboca en la laguna de Alvarado. El principal afluente de esta cuenca, localizado en las proximidades del cerro Buenavista es el río Tendido, el cual cruza por la parte oeste del cerro, a lo largo de una falla que divide formaciones del cuaternario y del cretácico (INEGI 1987).

### 3. Métodos

Las actividades de rehabilitación de la cantera se iniciaron en 1993, divididas en 3 periodos en los años 1993, 1995 y 1996, que corresponden a las etapas de abandono de las áreas de extracción de la roca. Los métodos de rehabilitación aplicados fueron distintos para las diferentes áreas y mejorados de acuerdo a los resultados que se observaron de manera cualitativa (véase Gallaga y Juárez 2012, para detalles de los métodos empleados en la rehabilitación). Debido a la gran pendiente de la cantera también fue necesario acondicionar el terreno, de tal forma que quedara accesible para facilitar los trabajos. Fue por esto que se hicieron terraplenes o

pequeñas terrazas escalonadas en toda la cantera. Asimismo, y debido a que todo el suelo orgánico fue removido y extraído, fue necesario añadir suelo orgánico para dar inicio a la introducción de las especies (véase el Capítulo 3, Cuadro 2, para más detalles de la rehabilitación y especies introducidas en cada zona).

Los inventarios de la vegetación se realizaron mediante cuadros permanentes, tanto en los sitios en proceso de rehabilitación como en las áreas naturales aledañas. En el año 1994 se muestrearon en el Cerro Buenavista dos ambientes naturales (encinar, 9 cuadros, y comunidad de *Coccoloba*, 10 cuadros) y dos perturbados (acahual de bosque mesófilo con más de 10 años de edad, 8 cuadros, y cafetal, 10 cuadros). Seis años más tarde, se muestrearon tres áreas de la Cantera Cuautlapan: T13 (5 cuadros, rehabilitada en septiembre de 1993), T18 (10 cuadros, rehabilitada en diciembre de 1995 y modificada por CECAF en junio de 1996) y T24 (10 cuadros, rehabilitada en julio de 1996).

En total se establecieron 62 cuadros permanentes de 25 m<sup>2</sup> (5 x 5 m) en las áreas de bosque y acahual y a lo largo de las terrazas o terraplenes establecidos en cada sitio en proceso de rehabilitación, lo que cubrió un total de 1,550 m<sup>2</sup>.

En el año 2000, además de coleccionar todas las especies en cada cuadro, se midió la cobertura para cada especie que se registró en el muestreo, según la tabla codificada de Braun Blanquet modificada por Van Der Maarel (1979), la cual comprende los siguientes valores: 1 (1 a 3 individuos y menos del 5% de cobertura), 2 (3 a 10 individuos y menos del 5%), 3 (más de 10 individuos y menos del 5%), 4 (<5% poco abundante), 5 (del 5 al 12.5%), 6 (del 12.6 al 25%), 7 (del 26 al 50%), 8 (del 51 al 75%), 9 (del 76 al 100%). Para cada cuadro de muestreo se anotaron otros factores ambientales como % de pendiente, altitud y orientación. Las especies fueron identificadas con claves dicotómicas y por comparación con los ejemplares del herbario XAL del Instituto de Ecología, A.C., determinados por especialistas y donde han quedado depositadas.

El muestreo se realizó en dos etapas, una en la época seca y la otra en la lluviosa, ya que en la seca las especies anuales desaparecen y en la temporada lluviosa la mayor parte de las perennes y anuales se encuentran en la etapa de floración y fructificación. Los datos de cobertura y presencia/ausencia de las especies se analizaron mediante técnicas de clasificación aglomerativa y politética usando los paquetes estadísticos del programa MVSP 3.1.

## 4. Resultados

### 4.1 Comunidades vegetales del cerro Buenavista

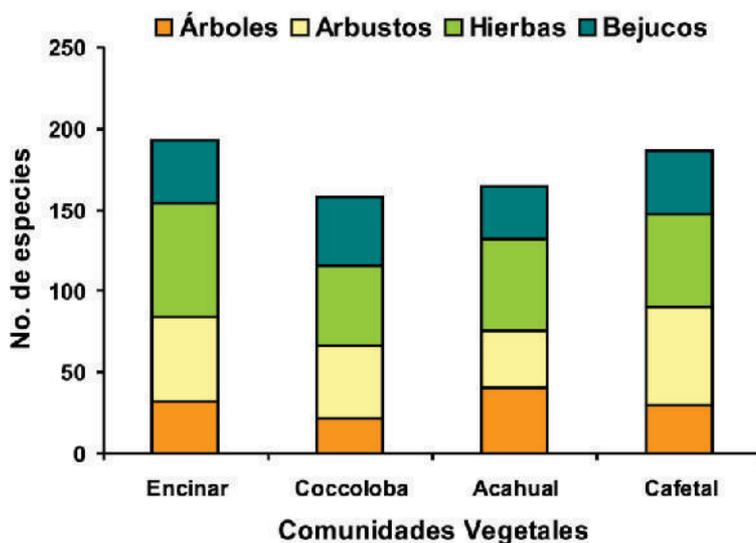
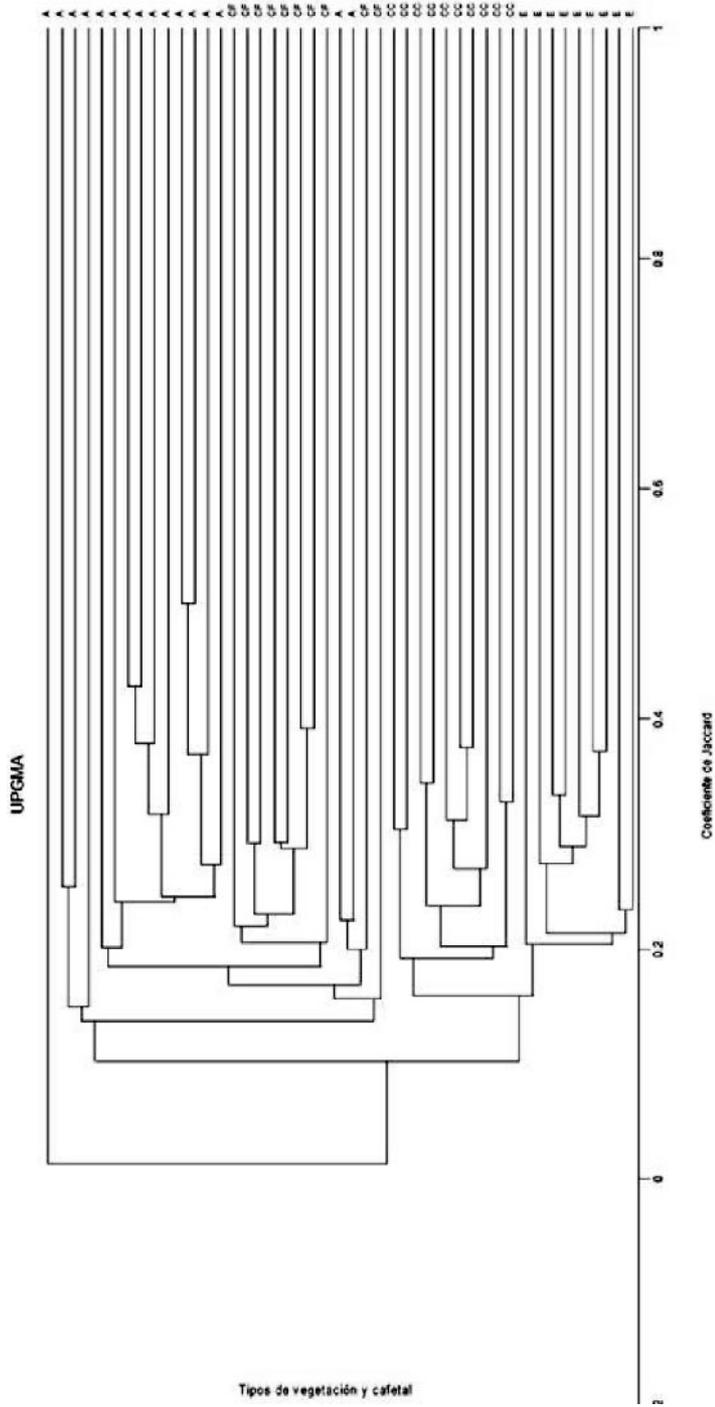


Figura 1. Riqueza de especies por forma biológica en las comunidades vegetales estudiadas del Cerro Buenavista.

Las comunidades vegetales originales de esta zona son de las más diversas, tanto los encinares y la de *Coccoloba*, como el acahual y los cafetales (Figura 1). En general la riqueza de especies en promedio por unidad de superficie supera las 50 especies por cada 100 m<sup>2</sup>. Esta diversidad alfa puede considerarse entre las más altas que este tipo de comunidades vegetales presenta. El encinar y la comunidad de *Coccoloba* fueron los sitios con mejor estado de conservación y que se agrupan juntos en el análisis de similitud (Figura 2). El acahual del bosque mesófilo de montaña fue una de las comunidades vegetales que conservó elementos arbóreos del bosque original como *Ostrya virginiana* (Miller.) K. Koch. El bosque mesófilo de montaña es considerado como uno de los tipos de vegetación más ricos y diversos por unidad de superficie de México (García *et al.* 2008); aunque no llega a cubrir más del 1% del territorio nacional (Rzedowski 1996), contribuye con cerca del 10% a la diversidad vegetal de México y tiene un alto porcentaje de endemismos (Rzedowski 1993). Si bien el acahual de bosque mesófilo se diferenció del cafetal, algunos de los cuadros de los acahuales fueron más semejantes a los cafetales (Figura 2).



**Figura 2.** Dendrograma de similitud de especies de las principales comunidades vegetales primarias y secundarias del cerro Buenavista (E= Encinar, CC= Comunidad de Coccoleba, CI= Cultivo de café o cafetal y A= Acahual). Se utilizó el coeficiente de Jaccard como medida de asociación y el método UPGMA para la aglomeración.

#### 4.1.1 Encinar

El encinar *sensu* Rzedowski (1978) se localizaba en la parte oeste del cerro de Buenavista, en sitios de rocas aflorantes con pendientes de 52° y 62°, los cuales fueron desmontados para la extracción de la roca caliza (Figura 3). Este es el tipo de vegetación que presentó la estructura vertical mejor desarrollada, caracterizado en el estrato arbóreo por especies dominantes como *Quercus aff. castanea* Née, *Q. affinis* Scheidw., *Q. laurina* Bonpl., *Q. obtusata* Bonpl. y *Q. salicifolia* Née, así como *Lysiloma divaricatum* (Jacq.) Macbr.

El estrato arbustivo estuvo representado por *Eugenia acapulcensis* Steud., *Hampea integerrima* Schltdl., *Clusia orizabae* Hemsl. y *Psychotria clivorum* Standl. y Steyerf. Por su parte el estrato herbáceo estuvo dominado por *Pilea acuminata* Liebm., *Campelia zanonii* (L.) Kunth, *Anthurium schlechtendalii* Kunth y otras especies del género *Philodendron*. Este es el tipo de vegetación que presentó una alta diversidad de epifitismo de las familias Orchidaceae y Bromeliaceae (Figura 3).



**Figura 3.** Encinar en la ladera oeste del cerro Buenavista en el año 1994. Se puede observar el proceso de desmonte para dar inicio a los trabajos de extracción de la roca caliza (Fotografía de G. Castillo).

La pendiente fuerte es el factor determinante para que este tipo de vegetación se encuentre en buen estado de conservación. Asimismo, es el tipo de vegetación más diverso de esta zona variando su diversidad alfa entre 51 y 70 especies por 100 m<sup>2</sup>, con un promedio de 66 y con una mayor diversidad en los estratos arbustivo y herbáceo (Figura 1).

#### 4.1.2 Comunidad de *Coccoloba*

Este tipo de comunidad vegetal, que ya desapareció, se localizaba en la cima suroeste del cerro Buenavista. Se trataba de una comunidad en buen estado de conservación. El estrato arbóreo estuvo caracterizado principalmente por *Bunchosia lindeniana* A. Juss., *Celtis caudata* Planch., *Coccoloba belizensis* Standl., *Cupania dentata* DC., *Hampea integerrima* Schlttdl. y *Heliocarpus americanus* L.

En el estrato arbustivo las especies más frecuentes fueron: *Acalypha macrostachya* Jacq., *Aphelandra schiedeana* Schlttdl. y Cham., *Casearia nitida* (L.) Jacq., *Cnidocolus multilobus* (Pax) I.M. Johnst., *Psychotria costivenia* Griseb. y *Urera caracasana* (Jacq.) Gaudich. ex Griseb. En el herbáceo las especies más características que se encontraron fueron: *Anthurium scandens* (Aubl.) Engl., *Begonia manicata* Brongn. ex F. Cels, *Chamaedorea elegans* Mart., *Ch. oblongata* Mart., *Peperomia blanda* (Jacq.) Kunth, *Pilea acuminata* Liebm. y *Syngonium podophyllum* Schott.

Entre los bejucos más comunes estuvieron *Cardiospermum grandiflorum* Sw., *Cissus sicyoides* L., *Dioscorea mexicana* Scheidw., *Ipomoea mairetii* Choisy, *Passiflora adenopoda* DC. y *Sicydium schiedeana* Schlttdl.

Se trataba de una comunidad vegetal restringida a la cima del cerro Buenavista con una alta diversidad florística, aunque menor que la del encinar y las otras comunidades vegetales secundarias. La riqueza de especies de esta comunidad vegetal varió entre 30 a 50 especies por cada 100 m<sup>2</sup> con un promedio de 40. Esta fue la comunidad vegetal que presentó la menor diversidad de especies arbóreas (Figura 1)..

#### 4.1.3 Acahual de Bosque Mesófilo

El acahual derivado del bosque mesófilo de montaña se localizó en la ladera noreste de la parte más alta del cerro Buenavista. El estrato arbóreo se distingue de las demás comunidades vegetales (Figura 1) por la presencia de algunos árboles remanentes del bosque original como *Liquidambar styraciflua* L., *Quercus acutifolia* Née y *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh.

Las especies arbóreas más frecuentes fueron: *Fraxinus uhdei*, *Hampea integerrima* Schltdl., *Lysiloma divaricatum* (Jacq.) Macbr., *Persea schiedeana* Nees, *Quercus laurina* Bonpl. y *Urera caracasana* (Jacq.) Gaudich. ex Griseb. Entre las especies más comunes encontradas en el estrato arbustivo estuvieron: *Cestrum nocturnum* L. y *Hamelia calycosa* J.D. Smith. El estrato herbáceo estuvo caracterizado por *Impatiens balsamina* L., *Peperomia blanda* (Jacq.) Kunth, *Phyllanthus niruri* L., *Pilea acuminata* Liebm., *Selaginella galeotti* Spring y *Syngonium podophyllum* Schott. También fueron frecuentes algunas especies de bejucos como *Cardiospermum grandiflorum* Sw., *Dioscorea convolvulacea* Schltdl. y Cham., *Dioscorea mexicana* Scheidw. y *Passiflora adenopoda* DC.

La riqueza de especies de esta comunidad vegetal también fue alta y muy semejante a la del encinar, con un rango de 31 a 45 especies y un promedio de 38 taxa por 100 m<sup>2</sup>.



**Figura 4.** Cafetal bajo sombra del Cerro Buenavista. Nótese la dificultad para diferenciarlo de las comunidades vegetales originales (Fotografía de G. Castillo).

#### 4.1.4 Cafetal

Generalmente el cafetal a sombra está asociado con otras especies que se dejan o se introducen para proporcionar sombra a ese tipo de cultivo, y es difícil distinguir entre un cultivo de café a sombra y una comunidad vegetal natural u original (Figura 4). Entre las especies arbóreas más comunes que se introdujeron (o que se dejaron asociadas) se encontraron *Inga* spp., *Hampea integerrima* Schltld., *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth y diversas especies de cítricos del género *Citrus*. El árbol más frecuente fue el café (*Coffea arabica* L.), seguido de otras especies del acahual como *Urera caracasana* (Jacq.) Gaudich. ex Griseb y *Hamelia calycosa* Donn. Sm. El estrato herbáceo estuvo caracterizado principalmente por *Gibasis schiedeana* (Kunth) D.R. Hunt, *Impatiens balsamina* L., *Ichnanthus nemorosus* (Sw.) Döll y *Pilea acuminata* Liebm.

La riqueza de especies del cafetal también fue alta, variando entre 32 y 70, con un promedio de 50 especies por 100 m<sup>2</sup>, muy semejante a la encontrada en el encinar y en el acahual del bosque mesófilo de montaña. La mayor riqueza de especies del cafetal se concentró en el estrato herbáceo y arbustivo (Figura 1), debido principalmente al manejo de limpieza del cultivo que propicia una mayor diversidad de especies anuales.



**Figura 5.** Panorámica de la cantera Cautlapan en 1993, antes de su rehabilitación (Fotografía de Cementos Holcim Apasco Orizaba).



**Figura 6.** Panorámica de la cantera Cuautlapan en el año 2000, siete años después de su rehabilitación (Fotografía de Cementos Holcim Apasco Orizaba).

#### *4.2 Rehabilitación*

La restauración o rehabilitación de un área que ha recibido modificaciones o impactos tan fuertes como lo son las minas a cielo abierto, no es nada sencillo. La estrategia implementada por Holcim Apasco y CECAF en la cantera Cuautlapan dio mayor importancia al aspecto funcional para recuperar una cobertura vegetal, conservar el suelo y cambiar el impacto visual de un suelo desnudo gris (Figura 5) a un área con cobertura vegetal verde (Figura 6). Debido a esto (y como lo muestran Gallaga y Juárez en el Capítulo 3 de este libro) se dio preferencia a la siembra de especies nativas y exóticas de rápido crecimiento, resistentes y fijadoras de nitrógeno, fijadoras y formadoras de suelo orgánico y propias para suelos degradados (Cuadro 1).

#### 4.2.1 Selección de especies vegetales

Para dar inicio a la rehabilitación de la cantera Cuautlapan, se utilizaron especies arbóreas nativas comunes de rápido crecimiento, como *Acacia pennatula* (Schltdl. y Cham.) Benth. (huizache), *Alnus acuminata* H.B. y K. subsp. *arguta* (Schlechtendal) Furlow (ilite, aile), *Bocconia frutescens* L.(gordolobo, llora sangre), *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (chaca, palo mulato), *Erythrina americana* Mill.(gasparito), *Heliocarpus appendiculatus* Turcz. (jonote), *H. donnellsmithii* Rose (jonote), *Leucaena diversifolia* (Schltdl.) Benth. (guaje), *Ricinus communis* L. (higuerilla), *Solanum umbellatum* Mill. (berenjenilla), *Trema micrantha* (L.) Blume (nigua, palo de ishpepe), *Wigandia urens* (Ruiz y Pav.) Kunth (ortiga) y *Yucca elephantipes* Regel (flor de izote). Entre las exóticas se utilizaron *Bambusa* sp. (carrizo), *Casuarina equisetifolia* L.(casuarina), *Cupressus benthamii* Endl., *Eryobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. (níspero), *Eucalyptus globulus* Labill. (eucalipto), *Ficus benjamina* L. (laurel de la India) y *Ligustrum japonicum* Thunb. (trueno). Asimismo, se asociaron otras especies arbóreas nativas de lento crecimiento como *Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken (hormiguillo, súchil), *Liquidambar styraciflua* L. (liquidámbar), *Fraxinus udhei* (fresno), *Juglans pyriformis* Liebm. (nogal) y *Quercus* spp. (encino).



**Figura 7.** Inicio de la rehabilitación en el área T13, donde se introdujeron especies exóticas (casuarina y bambú) (Fotografía de Cementos Holcim Apasco Orizaba).

La incorporación de las especies se realizó en diferentes etapas. Primero se añadieron, en un área relativamente pequeña, las hierbas como pasto en rollo de *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. (pasto estrella gigante) y *Paspalum* sp. Después se introdujeron las especies arbustivas y arbóreas (CECAF 1994, Gallaga y Juárez 2012). En este segundo caso, y con objeto de facilitar el proceso y reducir el tiempo de la rehabilitación, se utilizaron especies exóticas provenientes de viveros y que no se reproducen de forma natural. Entre estas especies (Figura 7 y Cuadro 1) destacan los árboles de casuarina (*Casuarina equisetifolia* L.) y de bambú (*Bambusa* sp.). La introducción se llevó a cabo en una pequeña superficie del área de rehabilitación, lo que resultó en un ensayo exitoso, pues la presencia de especies de rápido crecimiento y que prosperan en condiciones favorables de humedad, actuó como facilitador para el establecimiento de otras especies locales. Estas plantas, además de generar suficiente materia orgánica en el suelo (Fragoso *et al.* 2012, Capítulo 5 de este libro), incrementaron la cobertura y establecieron condiciones ambientales de protección para la fauna local.

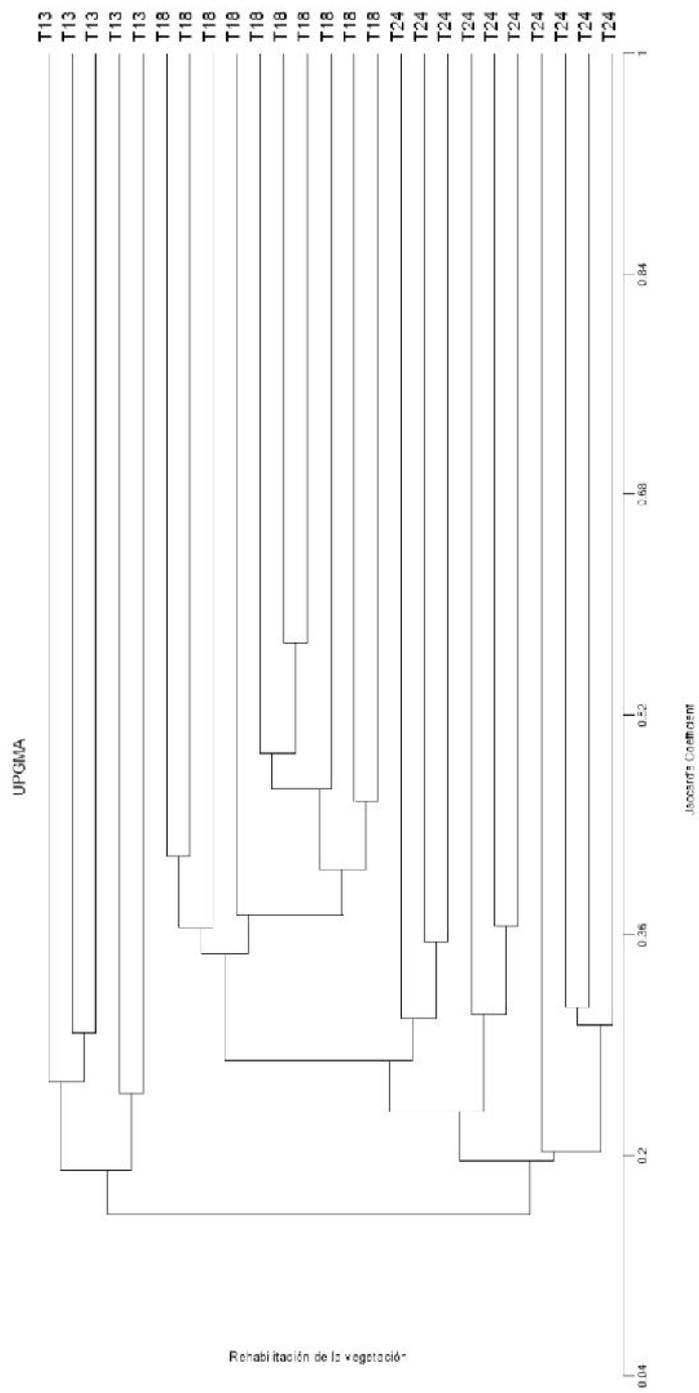
En las tres áreas estudiadas (T13, T24 y T18) la riqueza de especies por 25 m<sup>2</sup> varió entre 12 y 32 y no hubo diferencias significativas entre cada área. Sin embargo en cuanto a la identidad de las especies, sí se observaron diferencias notables. Esto se pudo observar en la clasificación por similitud de especies de todos los cuadros. En la Figura 8 se puede observar que los cuadros se agruparon en dos grupos. En uno quedaron los cuadros del área más vieja T13 (casuarinas y bambú) y en el otro los cuadros de las dos áreas más recientes T24 y T18.

#### 4.2.2. Área T13 (Casuarinas y Bambú) (Figura 9)

En esta área se registró una riqueza de más de 80 especies, con una variación por cuadro de 23 a 32 y con un promedio de 28 taxa por 25 m<sup>2</sup> (Figura 10a). En el espectro biológico predominó la flora herbácea con el mayor porcentaje de flora registrada en el área (64%); en contraste hubo una menor cantidad de especies en los estratos arbóreo (13%) y arbustivo (16%) (Figura 10b). Si bien las especies arbóreas como *Acacia pennatula*, *Casuarina equisetifolia*, *Cedrela odorata* L., *Fraxinus uhdei* y *Heliocarpus apendiculatus*, fueron introducidas como parte del programa de rehabilitación (Cuadro 1), se observa que comenzaron a llegar especies arbóreas secundarias como *Lippia myriocephala* Schlttdl. y Cham. y *Ostrya virginiana*. Esta última corresponde al bosque mesófilo de montaña original, además de ser una especie que se

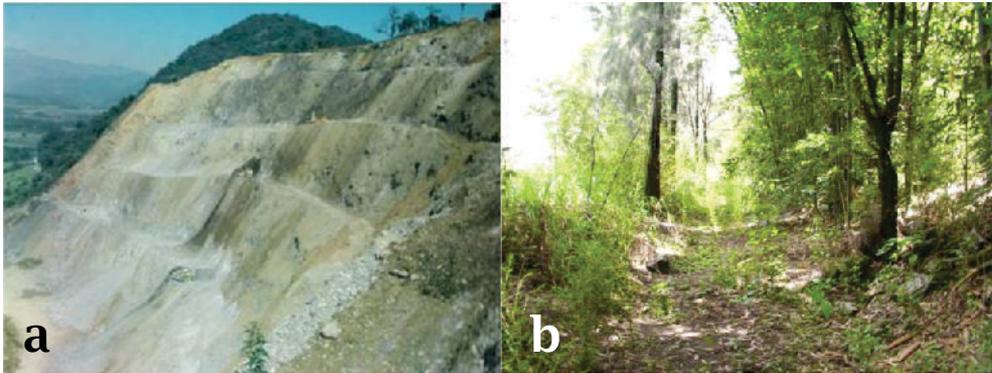
**Cuadro 1.** Lista de especies arbóreas y arbustivas de las áreas T13, T18 y T24 encontradas en el año 2000. Las especies en negritas llegaron solas; las otras fueron introducidas como parte de la rehabilitación.

	Área T13	Área T18	Área T24
<b>Especies arbóreas y arbustivas</b>			
<i>Acacia pennatula</i> (Schltdl. y Cham.) Benth.	X	X	X
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	-	-	X
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	X	X	X
<i>Cedrela odorata</i> L.	X	-	-
<i>Erythrina mexicana</i> Krukoff	X	X	X
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	X	X	X
<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.	X	X	X
<i>Leucaena diversifolia</i> (Schltdl.) Benth.	-	X	X
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	X	-	X
<i>Psidium guajava</i> L.	X	-	X
<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	-	-	X
<i>Quercus</i> sp.	-	X	X
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	-	X	-
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) A. DC.	-	X	-
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	X	X	-
<i>Yucca elephantipes</i> Regel	-	X	X
<b><i>Bocconia frutescens</i> L.</b>	-	-	X
<b><i>Lippia myrioccephala</i> Schltdl. y Cham.</b>	X	-	-
<b><i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J.F. Macbr.</b>	-	X	-
<b><i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch</b>	X	-	-
<b>Especies arbustivas</b>			
<i>Bambusa</i> sp.	X	-	-
<i>Gardenia jasminoides</i> J. Ellis	X	-	-
<i>Mimosa albida</i> Humb. y Bonpl. ex Willd.	X	-	X
<i>Ricinus communis</i> L.	-	X	X
<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray	X	X	-
<b><i>Baccharis conferta</i> Kunth</b>	X	-	-
<b><i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz y Pav.) Pers.</b>	-	X	X
<b><i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray</b>	-	-	X
<b><i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.</b>	X	-	-
<b><i>Lasianthaea fruticosa</i> (L.) K.M. Becker</b>	X	X	X
<b><i>Mimosa albida</i> Humb. y Bonpl. ex Willd.</b>	X	-	-
<b><i>Pluchea carolinensis</i> (Jacq.) G. Don</b>	X	X	X
<b><i>Robinsonella lindeniana</i> (Turcz.) Rose y Baker f.</b>	X	-	X
<b><i>Schistocarpha bicolor</i> Less.</b>	-	-	X
<b><i>Solanum umbellatum</i> Mill.</b>	X	-	-
<b><i>Verbesina turbacensis</i> Kunth</b>	X	-	X
<b><i>Wigandia urens</i> (Ruiz y Pav.) Kunth var. <i>urens</i></b>	X	X	X



**Figura 8.** Dendrograma de similitud de especies vegetales de las áreas en proceso de rehabilitación T13, T18 y T24 de la cantera Cuautlapan en el año 2000. Se utilizó el coeficiente de Jaccard como medida de asociación y el método UPGMA para la aglomeración.

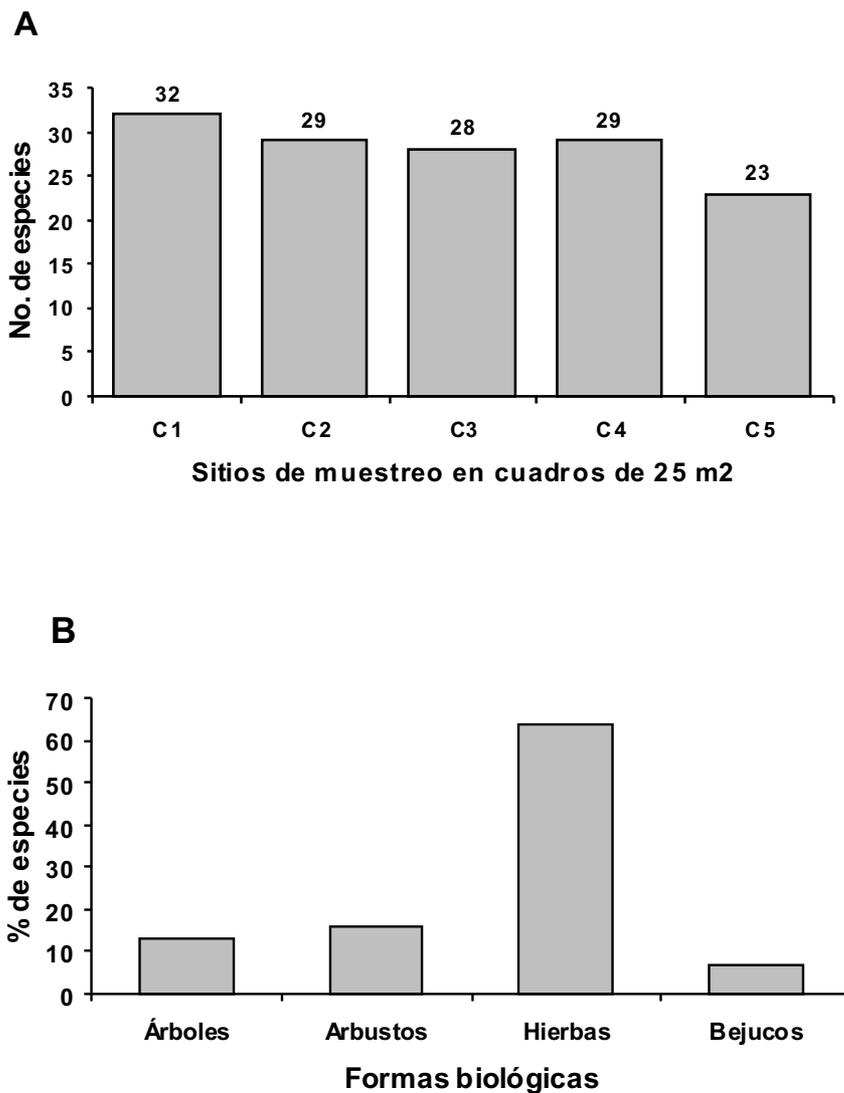
encuentra en la Norma Oficial Mexicana en la categoría de amenazada de extinción. Aunque muchas de las especies arbóreas fueron introducidas en el área, la mayoría de las arbustivas llegaron solas (nueve de 13 especies arbustivas), entre las cuales se encuentran *Baccharis conferta* Kunth, *Indigofera suffruticosa* Mill., *Lasianthea fruticosa* (L.) K.M. Becker, *Mimosa albida* Humb. y Bonpl. ex Willd. y *Pluchea carolinensis* (Jacq.) G. Don.



**Figura 9.** Área T13. a) Aspecto en el año 1993, antes del inicio de la rehabilitación. b) Vista en el año 2000 durante el monitoreo de la vegetación (Fotografías de Cementos Holcim Apasco Orizaba).

#### 4.2.3. Área T24 (Figura 11)

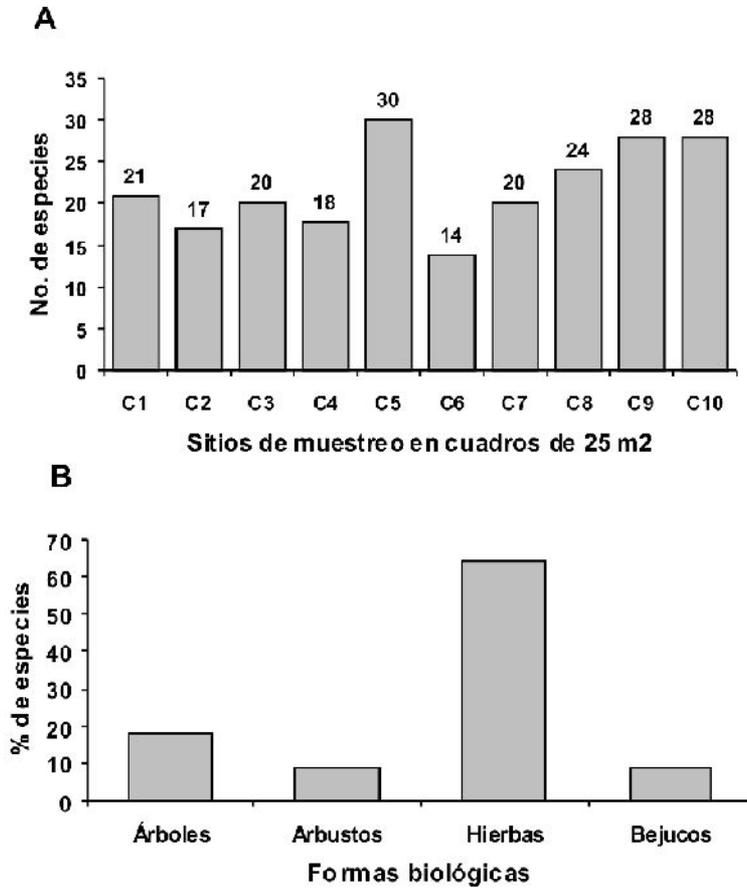
En esta área se registraron 69 especies en los 10 cuadros de 25 m<sup>2</sup>, con una variación en la riqueza de especies de 14 a 30 y un promedio de 16 especies por 25 m<sup>2</sup> de superficie (Figura 12a). Todas las especies arbóreas encontradas en esta área fueron introducidas, estando entre las más comunes *Acacia pennatula*, *Casuarina equisetifolia*, *Erythrina mexicana*, *Fraxinus uhdei*, *Heliocarpus appendiculatus* y *Leucaena diversifolia*. También se registraron individuos de especies arbóreas que llegaron solas, como el caso de *Lysiloma divaricatum*. La rehabilitación de esta área es más reciente que la anterior (casi tres años después), lo que explica el reducido número de especies arbustivas, de las cuales el 70% llegaron solas al área pues sólo *Ricinus communis* y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray fueron introducidas (Cuadro 1). En el espectro biológico fue notable la alta riqueza del estrato herbáceo (Figura 12b), el cual representó el mayor porcentaje (64%) de las especies registradas.



**Figura 10.** Área T13. A) Riqueza de especies registrada siete años después de haberse iniciado la rehabilitación, B) Porcentaje de especies de cada forma biológica de crecimiento.



**Figura 11.** Área T24. a) Aspecto en el año 1995, antes del inicio de la rehabilitación. b) Aspecto en el año 2000, durante el monitoreo de la vegetación (Fotografías de Cementos Holcim Apasco Orizaba).



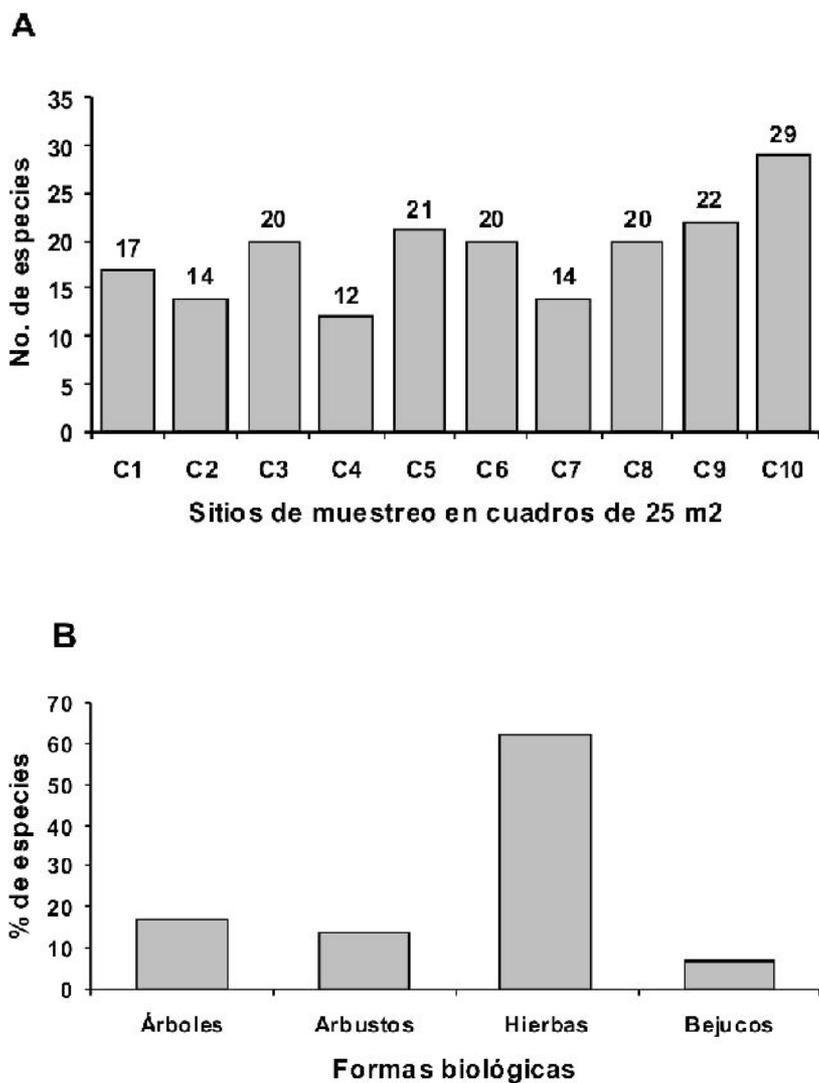
**Figura 12.** Área T24. A) Riqueza de especies registrada cuatro años después de haberse iniciado la rehabilitación, B) Porcentaje de especies de cada forma biológica de crecimiento.

#### 4.2.4. Área T18 (Figura 13)

En esta área se registraron 77 especies en los 10 cuadros de 25m<sup>2</sup>, con una variación entre 12 y 29 y un promedio de 19 taxa por 25 m<sup>2</sup> (Figura 14a). En el momento del muestreo, después de cuatro años de iniciada la rehabilitación, el área era aún poco diversa en el número de especies por superficie. Las 12 especies arbóreas registradas (Cuadro 1) fueron introducidas, entre las cuales se tienen *Acacia pennatula*, *Bursera simaruba*, *Casuarina equisetifolia*, *Erythrina mexicana*, *Heliocarpus appendiculatus* y *Leucaena diversifolia*. La única especie arbórea que llegó sola fue *Bocconia frutescens*, la cual es característica de la vegetación secundaria. El estrato arbustivo estuvo caracterizado por diez especies, siendo las más comunes *Baccharis salicifolia* (Ruiz y Pav.) Pers., *Brickellia veronicifolia* (Kunth) A. Gray, *Lasianthaea fruticosa*, *Mimosa albida*, *Pluchea carolinensis* y *Robinsonella lindeniana* (Turcz.) Rose y Baker f. La mayoría de las especies arbustivas llegaron solas y sólo *Ricinus communis* fue introducida. En esta área (Figura 14b) el estrato herbáceo fue el de mayor porcentaje (62%).



**Figura 13.** Área T18. a) Aspecto en el año 1993, antes del inicio de la rehabilitación. b) Vista en el año 2000 durante el monitoreo de la vegetación (Fotografías de Cementos Holcim Apasco Orizaba).



**Figura 14.** Área T18. A) Riqueza de especies registrada cuatro años después de haberse iniciado la rehabilitación, B) Porcentaje de especies de cada forma biológica de crecimiento.

## 5. Discusión

En general, las comunidades vegetales que se localizan en el cerro Buenavista y en las áreas aledañas a la cantera Cuautlapan, son muy ricas en especies por unidad de superficie. Aunque la mayoría presenta diversos grados de alteración, contiene una alta diversidad del germoplasma local que puede ser utilizado para restaurar o rehabilitar la cantera y el cerro Buenavista. Presentan una alta diversidad de especies arbóreas tanto de la vegetación primaria como de la secundaria, las cuales contienen especies de rápido y lento crecimiento que pueden ser utilizadas en las tareas de rehabilitación ecológica. En estas comunidades vegetales hay también especies que están bien adaptadas a los ambientes degradados, destacando los encinos (*Quercus aff. castanea*, *Q. affinis*, *Q. laurina*, *Q. obtusata* y *Q. salicifolia*), las guayabas (*Psidium guajava* L.), la ortiga (*Wigandia urens*), el huizache (*Acacia pennatula*) y el guaje (*Leucaena diversifolia*). El establecimiento de viveros *in situ* (como el del CECAF) es fundamental para contar con plántulas de estas especies, ya que por lo general estas especies no se encuentran en los viveros locales o regionales. El transplante de estas plántulas deberá hacerse cuando hayan alcanzado el tamaño necesario que evite altos porcentajes de mortalidad.

Las especies recomendadas para utilizar en la rehabilitación son generalmente locales, que pertenecen o caracterizan a las comunidades vegetales aledañas (Parrotta y Knowles 1999, Halofsky y McCormick 2005, Grant 2006), ya que han evolucionado en ese tipo de hábitat y por lo tanto están adaptadas a esas condiciones ecológicas.

En el caso de las áreas monitoreadas de la cantera Cuatlapan (T13, T18 y T24) las especies introducidas fueron locales y exóticas de rápido crecimiento, resistentes y propias para suelos degradados. La flora nativa de las comunidades vegetales aledañas, sin embargo, es muy rica y diversa, por lo que muchas de sus especies podrían ser usadas para los fines de rehabilitación ecológica que se requieren en esta zona. La diversidad alfa registrada en los monitoreos, indica que la rehabilitación de estas áreas va por buen camino. Los resultados muestran además, que en unos pocos años es probable que se presente un acahual bien desarrollado, con una alta diversidad de especies vegetales y animales. Aunque el dendrograma de la Figura 8 separa claramente las distintas áreas en rehabilitación, desafortunadamente y dado que no se llevó un control estricto de las plántulas provenientes de las semillas que germinaron, no es posible

diferenciar el impacto de haber añadido semillas al voleo de algunas especies (por ejemplo *Bocconia frutescens*, *Trema micrantha*, etc.) de la siembra directa de otras (e.g. *Bursera simaruba*, *Quercus* spp., *Fraxinus udehi*, *Juglans piriformis*, etc.). En general los taxa registrados durante el monitoreo fueron los que se introdujeron en planta viva. Se recomienda continuar el monitoreo de las áreas en proceso de rehabilitación por lo menos cada 5 años. De este modo se podrá detectar cualquier posible estancamiento del proceso, principalmente en las áreas de mayor pendiente y con mayor riesgo de erosión.

## Agradecimientos

Deseamos agradecer ampliamente a Carlos Fragoso y Patricia Rojas, por invitarnos a participar en este libro, así como a María Elena Medina A., Sergio Gutiérrez y Sergio Avendaño R., por su apoyo técnico y a Edmundo Saavedra y Andrew Vovides por la traducción al inglés del resumen.

## 6. Bibliografía

- Acevedo, R.R.. 1986. *La vegetación de la Sierra de Atoyac, Veracruz, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Veracruz.
- Acevedo, R.R. y G. Castillo-Campos. 1986. Notas del Herbario XAL. VI *Chiococca sessilifolia* Miranda (Rubiaceae, Chiococceae) Nuevo registro para Veracruz. *Biótica* 11. (3): 183-185.
- Avendaño, R.S.. 1998. Bombacaceae. En: V. Sosa (Ed.). *Flora de Veracruz*. 107: 39-40.
- Brown, D., R.G. Hallman, Ch.R. Lee, J.G. Skogerboe, K. Eskew, R.A. Price, N.R. Page, M. Clar, R. Kort y H. Hopkins. 1986. Reclamation and vegetative restoration of problem soils and disturbed land, New Jersey, EU. *Pollution technology review*. 139: 166-181.
- Brown, S. y A.E. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lianas: a key to sustaining development. *Restoration Ecology*. 2: 97-111.
- Butterfield, R.P. 1993. Forestry in Costa Rica: Status, research priorities and the role of La Selva biological station. pp. 327-328. En: McDade L.A., K.S. Bawa, H.A. Hespenheide and G.S. Hartshorn (Eds). *La Selva. Ecology and natural history of a neotropical rain forest*. University Press, Chicago.
- Castillo-Campos, G., R. Robles G. y M.E. Medina A. 2003. Flora y vegetación de la Sierra Cruz Tetela, Veracruz, México. *Polibotánica*. 15: 41-87.
- Castillo-Campos, G., M.E. Medina A., P.D. Dávila A. y J.A. Zavala H. 2005. Contribución al conocimiento del endemismo de la Flora vascular en Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana*. 73: 19-57.

- Centro de Capacitación Agropecuaria y Forestal A.C. (CECAF). 1994. *Programa de restauración (Canteras y Bancos de barro) y reforestación. Cementos Apasco SA de CV Planta Orizaba. Ixtaczoquitlán, Veracruz*. Inédito.
- Chaverri, A., Zúñiga E. y Fuentes A. 1997. Crecimiento inicial de una plantación mixta de *Quercus*, *Cornus*, *Alnus* y *Cupressus* en Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 45: 777-784.
- Chiang, F.. 1976. *La vegetación de Córdoba, Veracruz*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Cuevas, E. y A.E. Lugo. 1998. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. *Ecol. Monog.* 112: 263-279.
- Fragoso C., Rojas P., Rodríguez M. y A. Ángeles. 2012. Cambios de la fertilidad y de la fauna del suelo en ambientes rehabilitados de la Cantera Cuatlapan. pp. 119-144. En: Fragoso C. y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- Gallaga L.S. y B. Juárez. 2012. La rehabilitación ambiental implementada por CECAF y *Holcim Apasco* en la cantera Cuatlapan, Orizaba, México. pp. 45-90. En: Fragoso C. y P. Rojas (Eds.) *Monitoreo ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz*. INECOL y Holcim Apasco. México.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Offset Larios, SA. 4ª edición. México.
- García, F.J.G., G. Castillo-Campos, K. Mehlreter, M.L. Martínez y G. Vázquez. 2008. Composición florística de un bosque mesófilo del centro de Veracruz, México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 83: 37-52.
- Grant, C.D.. 2006. State-and-transition successional model for bauxite mining rehabilitation in the Jarrah forest of western Australia. *Restoration Ecology.* 14(1): 28-37.
- Haggar, J., K. Wightman y R. Fisher. 1997. The potential of plantations to foster woody regeneration within a deforested landscape in lowland Costa Rica. *Ecol. Manag.* 99: 55-64.
- Haggar, J., C.B. Briscoe y R.P. Butterfield. 1998. Native species: a resource for the diversification of forestry production in the lowland humid tropics. *Ecol. Manag.* 106: 195-203.
- Halofsky, J.E. y L.H. McCormick. 2005. Effects of unseeded areas on species richness of coal mines reclaimed with municipal biosolids. *Rest. Ecol.* 13(4): 630-638.
- Holl, K.D., M.E. Loik, E.H.V. Lin y I.A. Samuels. 2000. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: obstacles and opportunities. *Rest. Ecol.* 8: 339-349.
- INEGI. 1987. *Carta topográfica 1: 50,000, Orizaba E14B56* (Puebla y Veracruz).
- Lamb, D.. 1998. Large-scale ecological restoration of degraded tropical forest lands: the potential role of timber plantations. *Rest. Ecol.* 6: 271-279.
- López-Ferrari, A.R. y A. Espejo-Serna. 2002. Amaryllidaceae. En: V. Sosa (Ed). *Flora de Veracruz*. 128: 15-16.
- Márquez, H.R. 1999. *Regeneración de la vegetación en distintos ensayos de restauración de minas de roca caliza a cielo abierto en una industria cementera, Ixtaczoquitlán, Veracruz*. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, AC. Veracruz.
- Parrotta, J.A. y O.H. Knowles. 1999. Restoration of tropical moist forests on bauxite-mined lands in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology.* 7(2): 103-116.
- Pedraza, R.A. y G. Williams-Linera. 2003. Evaluation of native tree species for the rehabilitation of deforested areas in a Mexican cloud forest. *New Forest.* 26: 83-99.
- Pérez, P.A. 1986. *Estudio de vegetación en el municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Veracruz.

- Robles, R. 1987. *La vegetación de la región de Motzorongo, Veracruz, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Veracruz.
- Rzedowski, J.. 1978. *Vegetación de México*. LIMUSA. México.
- Rzedowski, J.. 1993. Diversity and origins of phanerogamic flora of Mexico. pp. 129-144. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.) *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press, NY.
- Rzedowski, J.. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Bot. Mex.* 35: 25-44.
- Standley, W.G. y F. Montagnini. 1999. Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica. *Ecol. Manag.* 113: 91-103.
- USDA (United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service). 1999. *Soil taxonomy a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. EU.
- Van der Maarel, E.. 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio*. 39: 97-114.
- Vázquez-Yanes C., M.A.I. Batis, S.M.I. Alcocer, D.M. Gual. y D.C. Sánchez. 1999. *Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084*. CONABIO-Instituto de Ecología, UNAM, México.