



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA BARRANCA DE
TARANGO, MÉXICO, D. F.: PROPUESTA PARA SU
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

TESIS

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

P R E S E N T A

FRANCISCO DE JESÚS GUERRA MARTÍNEZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. ANA ELENA
MENDOZA OCHOA

CÓMITE TUTOR. DRA. ALMA LUCÍA DELFINA OROZCO
SEGOVIA, DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ
TUTOR INVITADO: DR. GILBERTO VELA CORREA



INSTITUTO
DE ECOLOGÍA
UNAM

MÉXICO, D. F.

MARZO 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA BARRANCA DE
TARANGO, MÉXICO, D. F.: PROPUESTA PARA SU
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

TESIS

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

P R E S E N T A

FRANCISCO DE JESÚS GUERRA MARTÍNEZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. ANA ELENA
MENDOZA OCHOA

CÓMITE TUTOR. DRA. ALMA LUCÍA DELFINA OROZCO
SEGOVIA, DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ

TUTOR INVITADO: DR. GILBERTO VELA CORREA



INSTITUTO
DE ECOLOGÍA
UNAM

MÉXICO, D. F.

MARZO 2012

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

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 28 de febrero de 2011, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** del (la) alumno (a) **GUERRA MARTÍNEZ FRANCISCO DE JESÚS** con número de cuenta **509021263** con la tesis titulada **“CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA BARRANCA DE TARANGO, MÉXICO D. F.: PROPUESTA PARA SU RESTAURACIÓN ECOLÓGICA”**, realizada bajo la dirección del (la) **DRA. ANA ELENA MENDOZA OCHOA**:

Presidente: DR. ZENÓN CANO SANTANA
Vocal: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ
Secretario: DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ
Suplente: DRA. JULIETA BENÍTEZ MALVIDO
Suplente: DRA. ALMA DELFINA LUCIA OROZCO SEGOVIA

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

A T E N T A M E N T E
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
Cd. Universitaria, D.F., a 22 de febrero de 2012.

M. del Coro Arizmendi

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a)

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por ser parte de mi formación profesional y al Instituto de Ecología.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la manutención, la cual está registrada con el número 225388.

Al proyecto PAPIIT IN222508 de la UNAM por el apoyo económico para el material de campo.

A la fundación Packard por el apoyo económico para las salidas de campo, congresos y cursos.

A los miembros del comité tutor, mi tutora principal, la Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa, la Dra. Alma Orozco Segovia, el Dr. Efraín Tovar Sánchez y el Dr. Gilberto Vela Correa, que con sus muy acertados consejos me orientaron en los momentos más oportunos.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A la Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa por su amistad y por todo el apoyo y confianza que tuvo y tiene en mí, por ser la guía en el momento justo, gracias en verdad. Su experiencia y conocimiento me orientaron para cumplir este ciclo.

Agradezco profundamente al Dr. Gilberto Vela Correa por abrirme las puertas del Laboratorio de Edafología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. A los compañeros del laboratorio que me apoyaron en los análisis de suelo, en especial a Armando, Chona y Beni.

A los miembros del Jurado por la revisión del manuscrito y las aportaciones que enriquecieron el trabajo, Dr. Zenón Cano Santana, Dr. Luis Zambrano González, Dr. Efraín Tovar Sánchez, Dra. Alma Orozco Segovia y Dra. Julieta Benítez Malvido.

Al M. en C. Armando Navarrete Segueda por su gran apoyo en los muestreos de suelo.

A todos los camaradas que me auxiliaron en las salidas al campo, Alejandra Luevano, Noemi Ventura, Rocío Esteban, Armando Navarrete, Aslam Narváez, Donají López, Jorge Vega, Luis Vidal y Juana García.

A mis compañeros y amigos del laboratorio de ecología de poblaciones vegetales, Luz Ruíz, Nadia Rodríguez, Noemi Ventura, Alejandra Luevano, Rocío Esteban, Elizabeth Chávez, Emilio de la Cruz, Gabriela Espino, Elizabeth León y Yadira Gómez.

A Georgina García y Luz María Aranda por su amistad y apoyo en todos los procedimientos administrativos de la maestría. Así mismo, al Dr. Ernesto Armando Rodríguez que facilitó la etapa final para la obtención de grado.

A mi familia que es la cuna de mi formación y a quienes debo mi entusiasmo y dedicación, mis padres Isabel Martínez López y Mariano T. Guerra Martínez, mis hermanos Mariano e Isamari Guerra Martínez. Todo lo que significa el cariño y el amor se materializa a su lado.

A Laura Osorio por permitirme compartir mi vida a su lado y apoyarme durante este ciclo. Eres el motor de mis tiempos. Resucitas al tiempo con tu mirada y haces reaccionar al viento con tu ternura. Agradezco a su familia por su amistad y apoyo siempre otorgados, al Sr. Alfredo Osorio, la Sra. Consuelo Olvera y a Luis Osorio.

A todos los que colaboraron en esta etapa, muchas gracias.

Francisco Guerra, Febrero de 2012.

*A mis abuelos
y a los padres de mis abuelos...*

*A mis padres Isabel y Mariano,
a mis hermanos Mariano e Isamari*

*A Laura Osorio
por todo su cariño*

ÍNDICE

Resumen	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	16
Objetivos	30
Material y métodos.....	31
Sitio de estudio.....	31
Composición florística	41
Caracterización de los suelos del bosque de encino	42
Identificación de áreas prioritarias para la restauración ecológica.....	43
Resultados.....	46
Composición y estructura del bosque de encinos	46
Caracterización del suelo del ecosistema de referencia.....	54
Identificación de áreas prioritarias para la restauración ecológica.....	63
Discusión	70
Composición y estructura del bosque de encinos	70
Caracterización del suelo del ecosistema de referencia.....	74
Identificación de áreas prioritarias para la restauración ecológica.....	76
Propuesta de restauración ecológica para la Barranca de Tarango.....	80
Introducción	80
Propuesta de restauración ecológica.....	82
Conclusiones	97
Literatura citada.....	98
Apéndices.....	107

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización de la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.
- Figura 2. Geología de la Barranca de Tarango, basado en la carta E14A39 de INEGI (1978).
- Figura 3. Geología de la Ciudad de México, en azul claro se muestra la Formación Tarango, en un círculo rojo el área correspondiente a la Barranca de Tarango (tomado de Mooser, 1996).
- Figura 4. Climograma de la estación climatológica Tarango (Villa Obregón), situada a 300 metros de distancia al sureste de la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón D. F.
- Figura 5. Geomorfología de la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F. Tomado del Laboratorio de Ecología de Poblaciones Vegetales del Instituto de Ecología (IE) de la UNAM (datos no publicados).
- Figura 6. Edafología de la Barranca de Tarango, basado en la carta E14A39 de INEGI (1977a).
- Figura 7. Uso de suelo de la Barranca de Tarango, basado en la carta E14A39 de INEGI (1977b).
- Figura 8. Vegetación de la Barranca de Tarango. Delegación Álvaro Obregón, D. F. Tomado del Laboratorio de Ecología de Poblaciones Vegetales del Instituto de Ecología (IE) de la UNAM (datos no publicados).
- Figura 9. Organización de los cuadros permanentes de observación (CPO) para el muestreo de la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea.
- Figura 10. Representación de la distribución espacial de la vegetación.
- Figura 11. Valores de importancia relativa en ambos sitios de muestreo; a, b y c corresponden a los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo del sitio 1; d, e y f corresponden a los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo del sitio 2.
- Figura 12. Clases diamétricas de los especies arbóreas con mayor importancia relativa en ambos sitios de estudio. En el sitio 1, a) *Q. castanea*; b) *Q. obtusata*; y c) *Q. rugosa*. En el sitio 2, d) *Q. castanea*; e) *Q. rugosa*; y f) *Crataegus mexicana*.
- Figura 13. Perfiles de suelo realizados en el bosque de referencia. A) sitio 1 y B) sitio 2.
- Figura 14. Mapa altimétrico de la Barranca de Tarango.
- Figura 15. Mapa de la orientación de las laderas de la Barranca de Tarango.
- Figura 16. Mapa de pendientes de las laderas de la Barranca de Tarango.

Figura 17. Mapa de caminos y veredas de la Barranca de Tarango.

Figura 18. Mapas de restricciones, las áreas en verde corresponden a los sitios que cumplen con los criterios para la restauración de la Barranca de Tarango.

Figura 19. Criterios empleados para la selección de sitios para la restauración de la Barranca de Tarango. Los cuadros verdes representan los criterios elegidos para la restauración del sitio, para cada uno de ellos existe información geográfica que se superpone e indica los sitios a restaurar.

Figura 20. Sitios para la restauración ecológica de la Barranca de Tarango.

Figura 21. Sitio característico del conjunto 1 de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Figura 22. Conjunto 1 de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Figura 23. Conjunto 2 de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Figura 24. Sitio característico del conjunto 3 de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Figura 25. Conjunto 3 de unidades de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Figura 26. Conjunto 4 de unidades de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Coordenadas geográficas y aspectos fisiográficos de los sitios de estudio.

Cuadro 2. Criterios elegidos para la elección de sitios prioritarios para restauración ecológica.

Cuadro 3. Valores de importancias relativas de las especies en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo para ambos sitios de muestreo del bosque de encinos. AB= área basal ($m^2 ha^{-1}$), C= cobertura ($m^2 ha^{-1}$), D= densidad ($ind ha^{-1}$), F= frecuencia (número de cuadros en los que aparece la especie) y VIR= valor de importancia relativa.

Cuadro 4. Distancia mínima entre los individuos de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbóreo en el sitio 1.

Cuadro 5. Distancia mínima entre los individuos de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbóreo en el sitio 2.

Cuadro 6. Distancia mínima entre los individuos de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbustivo en el sitio 1.

Cuadro 7. Distancia mínima entre los individuos de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbustivo en el sitio 2.

Cuadro 8. Descripción de los horizontes del perfil de suelo del sitio 1.

Cuadro 9. Descripción de los horizontes del perfil de suelo del sitio 2.

Cuadro 10. Propiedades físicas del suelo en el sitio 1.

Cuadro 11. Propiedades físicas de las muestras simples de suelo en el sitio 1. La letra M hace referencia al número de submuestras 1-5.

Cuadro 12. Propiedades físicas del suelo en el sitio 2.

Cuadro 13. Propiedades físicas de las muestras simples de suelo en el sitio 2. La letra M hace referencia al número de submuestras 1-5.

Cuadro 14. Propiedades químicas del suelo en el sitio 1.

Cuadro 15. Propiedades químicas de las muestras simples de suelo en el sitio 1. La letra M hace referencia al número de submuestras 1-5.

Cuadro 16. Propiedades químicas del suelo en el sitio 2.

Cuadro 17. Propiedades químicas de las muestras simples de suelo en el sitio 2. La letra M hace referencia al número de submuestras 1-5.

Guerra, M. F. 2012. Caracterización ecológica de la Barranca de Tarango, México, D. F.: propuesta para su restauración ecológica. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

RESUMEN

El uso y manejo inadecuados de los recursos naturales, así como la presión demográfica, han propiciado la degradación ambiental de las barrancas de la ciudad de México, tal como es el caso de la Barranca de Tarango (267 ha), la cual representa una importante fuente de servicios ecosistémicos para la ciudad. El objetivo del trabajo es elaborar una propuesta de restauración sustentada en la teoría ecológica, por medio de la caracterización edáfica, distribución espacial, estructura y composición del bosque de referencia y los sistemas de información geográfica. Se obtuvieron valores de importancia relativa (VIR) para las especies. Se analizó la distribución espacial de cada individuo en campo por medio de un sistema de coordenadas cartesianas. Se calculó el índice de diversidad de Simpson (D). Se cavaron calicatas y se describió el perfil del suelo en el bosque de referencia. Se identificaron mediante una evaluación multicriterio sitios prioritarios para la restauración. La flora está comprendida por 43 especies, distribuidas en 20 familias y 33 géneros. Respecto a otros bosques en el país, los bosques del sitio presentan mayor diversidad y menor dominancia de las especies de encinos. Entre las especies útiles para la restauración ecológica se encuentran: *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Baccharis conferta*, *Ageratina petiolaris*, *Agave salmiana*, *Sedum oxypetalum*, *Arbutus xalapensis*, *Eysenhardtia polystachya*, *Salvia mexicana*, *Crataegus mexicana*, *Prunus serotina* var. *capuli*, *Bouvardia ternifolia* y *Loeselia mexicana*. Los suelos sobre los que se asientan los bosques no presentan limitantes de nutrientes para el establecimiento, crecimiento y desarrollo de la vegetación. Se obtuvieron 12 unidades de restauración ecológica agrupadas en cuatro conjuntos de restauración. Se proponen las especies a reintroducir, las técnicas a emplear y las acciones de manejo a ejecutar para cada conjunto. La evaluación multicriterio arrojó que la superficie restaurable para el sitio es de 26 ha, equivalente al 10% del área de estudio.

Palabras clave: barranca, estructura, composición, diversidad, evaluación edafocológica, evaluación multicriterio.

ABSTRACT

The use and inadequate management of natural resources and population pressure, have led to environmental degradation of the gullies of Mexico City, as is the case of the Barranca de Tarango (267 ha), which represents an important supply of ecosystem services for the city. The aim of this work is to develop a proposal of restoration, based on the ecological theory, through soil characterization, spatial distribution, structure and composition of the reference forest and geographic information systems. The frequency of each individual was recorded and we also obtained the relative importance values (RIV). The spatial distribution of each individual was analyzed in the field through a system of Cartesian coordinates. To determine the alpha diversity, we calculated the Simpson diversity index (D). Pits were dug and the soil profile was described in the reference forest. Priority sites for restoration were identified by a multi-criteria evaluation. The flora is comprised of 43 species, distributed in 20 families and 33 genera. The total woody species richness of forest considering both sites is 34 woody species. The diversity on the site, regarding the diversity of other oak forests in the country, shows that the forests of the site have greater diversity and less dominance of oak species. Useful species for ecological restoration of the Barranca de Tarango are: *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Baccharis conferta*, *Ageratina petiolaris*, *Agave salmiana*, *Sedum oxypetalum*, *Arbutus xalapensis*, *Eysenhardtia polystachya*, *Salvia mexicana*, *Crataegus mexicana*, *Prunus serotina* var. *capuli*, *Bouvardia ternifolia* and *Loeselia mexicana*. The soils on which the forests lie have no nutrient limitation for the establishment, growth and development of vegetation in the area. We obtained 12 units of ecological restoration, which were grouped into four sets of restoration where it is proposed to reintroduce species, the techniques to use and the management actions to implement. Multicriteria Evaluation threw that the restorable surface for the site is 26 ha, an equivalent extension to 10% of the study area.

Keywords: gully, structure, composition, diversity, edaphoecological assessment, multicriteria evaluation.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento del área urbana en la Ciudad de México está provocando la disminución de gran cantidad de bosques circundantes (García-Romero, 2001); lo que repercute en la provisión de servicios ecosistémicos al ser humano. En la Barranca de Tarango, la recarga de los acuíferos se está viendo disminuida producto del deterioro y eliminación de la vegetación en el sitio (Canedo, 2007).

En este escenario de degradación y eliminación de los recursos naturales en el que nos encontramos, reparar los ecosistemas, y por ende sus funciones y los servicios que proveen, son una estrategia de supervivencia (Hobbs y Harris, 2001). Es claro el aumento por el interés de conservación, recuperación y uso duradero de los recursos forestales debido a los efectos de la disminución de las áreas boscosas (Ramírez-Marcial *et al.*, 2005). En este sentido, la restauración ecológica es una herramienta que puede emplearse para recuperar los ecosistemas degradados o eliminados a lo largo del planeta.

La restauración ecológica es una actividad relativamente nueva tanto en México como en la mayor parte del mundo (Sarr *et al.*, 2004; Sarukhán, 2007). Ésta se define como un proceso intencional que consiste en orientar la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004). Este proceso planea dirigir un sistema degradado hacia una meta que pretende restablecer el sistema que existía antes de la perturbación o uno comparable a un sistema no perturbado el cual es usado como ecosistema de referencia (Bradshaw 1984, 1987). La restauración ecológica puede tomar una definición más amplia en cuanto a crear un ecosistema con ciertas características funcionales deseadas y no uno que sea idéntico al sistema de referencia (Ubranska *et al.*, 1997). La restauración intenta subsanar el deterioro ambiental de áreas alteradas por medio de la generación de cambios ecológicos que ocurrirán de manera natural dado un tiempo suficiente (Begon *et al.*, 2006). La línea o dirección de la trayectoria que debe llevar la restauración debe estar sustentada en el conocimiento de la estructura del ecosistema previa al disturbio, la composición y funcionamiento, así como en estudios de ecosistemas semejantes que no se encuentren

deteriorados y, finalmente, en información sobre las condiciones ambientales regionales y de referencia histórica y cultural (SER, 2004).

La restauración, además, debe de tomar ventaja de la sucesión natural de la vegetación para establecer algunas consideraciones que faciliten el proceso de recuperación del ecosistema (Sayer *et al.*, 2004). La restauración se considera un proceso orientado a acelerar la sucesión ecológica para contrarrestar el deterioro ambiental, pero en un tiempo mucho menor respecto a los procesos naturales (Luken, 1990; González *et al.*, 2007). Este intento de acelerar el proceso de sucesión busca concluir en la recuperación de funciones del ecosistema, parcial o completamente eliminadas. La sucesión ecológica ocurre después de un disturbio como una secuencia de cambios relativamente previsible en la composición de una comunidad (Townsend, 2007). La sucesión ecológica se define como un proceso no estacional, direccional y que presenta patrones continuos de colonización y extinción de poblaciones sobre sitios recientemente expuesto a disturbios, generalmente, toma varios cientos de años para seguir su curso (Begon *et al.*, 2006). En las áreas degradadas ocurren procesos de colonización y sucesión, sin embargo, éstos son lentos debido principalmente al empobrecimiento de la flora y fauna (Dobson *et al.*, 1997). En un ecosistema suceden eventos naturales que perturban atributos tales como la abundancia, biomasa y diversidad de los organismos, así como sus funciones ecosistémicas y la calidad de servicios que aportan los ecosistemas dependiendo de la intensidad del disturbio y del origen del mismo, los mecanismos de regeneración y la sucesión ecológica conducen con el tiempo a un ecosistema a las condiciones previas antes del disturbio en caso de que éste sea de baja magnitud; por otro lado, en ocasiones la sucesión ecológica no funciona o se encuentra detenida y se vuelve necesario el uso de herramientas como las que provee la restauración ecológica que permitirán recuperar las condiciones del ecosistema previas al disturbio (Martínez-Ramos y García-Orth, 2007).

Existen procesos claves en la ecología de la restauración que deben ser integrados en el desarrollo práctico de la restauración; es necesario identificar los procesos que promueven la degradación o deterioro de los sitios, además, deben desarrollarse métodos para revertir o aminorar tal degradación, determinar metas reales para el restablecimiento de especies y de la función de los ecosistemas, desarrollar técnicas prácticas para implementarlas de acuerdo

con el tipo de problema, documentar y comunicar las técnicas para promover su inclusión en el desarrollo de planes y estrategias de manejo y monitorear variables claves para cuantificar el éxito relativo de la restauración y de ser necesario, modificar las estrategias y procedimientos empleados hasta el momento (Hobbs y Norton, 1996). En este último punto, se observa la importancia de que las prácticas de restauración tengan la capacidad de adaptarse a las contratiempos que aparecen en el transcurso del proceso, de aquí se desprende el concepto de restauración adaptable (Zedler, 2003).

La restauración adaptable es un esquema de manejo flexible que consiste en la ejecución de un conjunto de medidas alternativas aplicadas ante inconvenientes surgidos en el proceso de restauración, la evaluación de sus resultados y la integración del conocimiento adquirido a etapas subsecuentes del manejo del ecosistema para dirigirlo hacia las metas deseadas (Zedler, 2003). El manejo adaptable es una estrategia muy eficaz para la implementación de la restauración ecológica (Lindig-Cisneros *et al.*, 2007). Los proyectos de restauración deben diseñarse y conducirse bajo un enfoque de manejo adaptable, es decir, debe existir un monitoreo permanente del proceso, así como tener opción de cambiar o mantener el rumbo de acuerdo con los resultados que se obtengan en función del objetivo de la restauración (Sarukhán, 2007).

Diversos objetivos se pueden plantear en los proyectos de restauración, por ejemplo el objetivo puede tener fines económicos (producción de madera) o el aumento de cubierta vegetal de una zona, o maximizar la diversidad biológica de la misma; cada meta requiere distintos procesos para ejecutarse y evaluar sus resultados (Sarukhán, 2007). La ejecución de prácticas de restauración en sitios degradados debe considerar, primordialmente, las necesidades de los grupos humanos relacionados, planteándose la rehabilitación de la biodiversidad, funciones del ecosistema o servicios ambientales (Martínez-Ramos y García-Orth, 2007). Las funciones del ecosistema se refieren al hábitat, procesos del ecosistema, propiedades biológicas o propiedades del sistema, mientras que los servicios ambientales representan los productos (p. ej., alimentos) y servicios (p. ej., asimilación de desechos) que el ecosistema provee, directa o indirectamente, para beneficio de las poblaciones humanas (Costanza *et al.*, 1997).

Para aumentar el éxito de los proyectos de restauración se deben considerar elementos claves como un análisis de la actual situación y consideración del estado que se desea alcanzar en el sitio; además, se debe realizar una evaluación de las posibles estrategias de restauración del sitio que promuevan la mitigación de los agentes que causan la degradación; otro punto importante es considerar la predictibilidad de desarrollo de la restauración, así como las escalas de tiempo del mismo; finalmente, en áreas densamente pobladas se deben establecer programas de restauración con múltiples propuestas (van Diggelen *et al.*, 2001).

Una de los grandes retos en el manejo de los ecosistemas es la prevención de los disturbios (Scheffer *et al.*, 2001). El grado de modificación de un sitio depende del régimen del disturbio, el cual está en función de su antigüedad, frecuencia e intensidad (Pickett y White, 1985). Es menos costosa la conservación de los recursos previos a su degradación que la restauración de los mismos una vez deteriorados (Sánchez, 2005). La restauración de sistemas degradados depende, entre otras cosas, de esta mitigación de los factores que promueven la degradación; sin embargo, en muchos casos esto no es suficiente y se requiere de otro tipo de intervenciones para restaurar (Hobbs y Norton, 1996). Un problema recurrente en diversos proyectos de restauración es la falta de esfuerzos por entender los procesos que llevaron a la degradación o eliminación de los bosques (Sayer *et al.*, 2004). Esto, sin duda, es de suma importancia, debido a que es imprescindible mitigar las actividades que ocasionan o promueven los disturbios, facilitando así el proceso de restauración.

La degradación de un sitio implica un esfuerzo, dependiendo de la intensidad del mismo el ecosistema puede pasar un umbral de deterioro en el que se requiere invertir más esfuerzo y energía para regresar a estados anteriores al de la degradación (Hobbs y Norton, 1996). Los cambios a estados estables alternativos en los ecosistemas pueden causar enormes pérdidas de recursos tanto económicos como ecológicos, a su vez, dichas pérdidas requieren de drásticas y costosas herramientas (Mäler, 2000), que permitan recuperar las condiciones eliminadas en los ecosistemas. Si la degradación de un sitio no pasa el umbral en que el ecosistema puede recuperarse de forma autónoma, el simple hecho de mitigar los agentes perturbadores promueve la restauración del sitio, sin embargo, pasar el umbral

implica la necesidad de ejecutar prácticas de restauración en las cuales se invierta un esfuerzo mayor que el aplicado en la degradación del sitio; en este sentido la restauración es un intento de forzar las transiciones hacia estados deseados, lo cual requiere del entendimiento de las variables que deben ser manipuladas para lograr dicha transición (Hobbs y Norton, 1996). El desconocimiento de dichas variables representa barreras que impiden que el sistema transite a estados que presentaba antes del cambio, por lo cual el sitio requiere de intervención para llevarlo a otros estados (Lindig-Cisneros *et al.*, 2007).

Una de las bases necesarias de un proyecto exitoso de restauración es la definición clara de metas por alcanzar en el proceso (Hobbs y Norton, 1996; Harrington, 1999; Sayer *et al.*, 2004; Martínez-Ramos y García-Orth, 2007), dichas metas varían de acuerdo con los objetivos que se planteen para la restauración (Sayer *et al.*, 2004; Sarukhán, 2007), y están en función de las particularidades de un sitio, paisaje o región (Hobbs y Harris, 2001). Además, la definición clara de los objetivos permite determinar las condiciones en las que se debe realizar tanto las evaluaciones como el monitoreo del proyecto de restauración (Ehrenfeld, 2000). Es necesario establecer un proyecto cuidadoso y planeado sistemáticamente que permita el monitoreo hacia la recuperación del ecosistema (SER, 2004). Además, para que los programas de restauración ecológica tengan éxito es importante establecer enlaces entre académicos, manejadores de recursos y políticas en todos los niveles; asimismo, es necesario que el conocimiento generado a lo largo de diversas investigaciones se convierta en acciones y además que exista una continua retroalimentación entre los usuarios de las herramientas científicas y los generadores de las mismas (Hobbs y Harris, 2001).

Las prácticas de restauración deben tener, tanto una base sustentada de principios ecológicos e información, como viabilidad económica y sensatez en el establecimiento de objetivos a alcanzar (Hobbs y Harris, 2001). Además, estas actividades deben dar respuesta a diferentes tipos de afectación, grados de magnitud y deben poder aplicarse a diferentes escalas (Carabias *et al.*, 2007).

La planeación de programas de restauración deben considerar (Nuzzo y Howell, 1990): 1) el análisis del sitio (cultural, ecológico, amenazas internas y externas); 2) los criterios a emplear en el proceso, metas y objetivos planteados; 3) la creación del diseño; 4)

la preparación del sitio (mantenimiento, investigación); 5) la implementación; y 6) el monitoreo.

SER (2004) propone una guía general para elaborar un proyecto de restauración ecológica, en la cual recomienda: 1) establecer una adecuada justificación de la necesidad de una restauración; 2) describir ecológicamente el sitio de estudio; 3) describir las metas y objetivos que el proyecto presenta; 4) elegir y describir el sistema de referencia o histórico; 5) explicar los medios por los cuales la restauración propone integrarse en el paisaje y los flujos de organismos y materiales; 6) establecer una planificación, calendarización y disponibilidad clara de recursos, las actividades de instrumentación y post-instrumentación, así como una estrategia para hacer correcciones durante el proceso; 7) construir protocolos de monitoreo del proyecto; y 8) hacer planes para el manejo a largo plazo del ecosistema restaurado. Esta guía puede dividirse en tres partes: planeación, implementación y monitoreo (Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007).

Los objetivos que pueden alcanzarse en un proyecto de restauración pueden ser de tres niveles: la reclamación, la rehabilitación y finalmente la restauración como tal (van Diggelen *et al.*, 2001). La reclamación se refiere a un intento por incrementar la biodiversidad por sí misma, lo que generalmente se realiza en áreas altamente degradadas (Patzelt *et al.*, 2001) y no necesariamente beneficia a especies en peligro (van Diggelen *et al.*, 2001). La rehabilitación consiste en la reintroducción de ciertas funciones del ecosistema (Wali, 1992), lo cual no provoca forzosamente un aumento en la diversidad biológica (van Diggelen *et al.*, 2001). Finalmente, la restauración del ecosistema consiste en la reconstrucción de un ecosistema previo a sus modificaciones (van Diggelen *et al.*, 2001). En este sentido, se considera que un ecosistema ha sido recuperado y restaurado en el momento en el que cuenta con suficientes condiciones bióticas y abióticas que lo mantengan en la trayectoria planteada y que asegure su integridad y desarrollo sin necesidad de ninguna asistencia (SER, 2004).

El seguimiento del proceso y los resultados de la restauración pueden llevarse, ya sea por medio de una evaluación, entendida como la medición de atributos particulares del ecosistema en una sola ocasión, o por medio del monitoreo, percibido como repeticiones de la evaluación en el tiempo (Callaway *et al.*, 2001). Es necesario que los ecosistemas

restaurados estén sometidos a un continuo manejo para contrarrestar la invasión de especies oportunistas, el impacto de diversas actividades humana, el cambio climático y otros eventos no esperados (SER, 2004).

Un punto importante durante el diseño de planes o programas de restauración ecológica, es la elección de la técnica o técnicas con las cuales se planea la restauración de los ecosistemas degradados (Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007). Existe de un espectro de restauración en donde el esfuerzo y la técnica a utilizar deben estar en función del grado de degradación del sitio (Zedler, 2000). Sin embargo, generalmente no es claro el tipo de técnicas o especies que deben emplearse para la restauración; lo cierto es que cada sitio presenta condiciones muy particulares de acuerdo con las cuales deben analizarse las especies y las técnicas que pueden emplearse durante el proceso. Cada programa local de restauración debe adecuarse a las particularidades ambientales (Hobbs y Norton, 1996; Harrington, 1999) y sociales (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2005) de cada sitio. El planteamiento de estudios de restauración requiere como base el modelo conceptual del ecosistema (García-Oliva *et al.*, 2006). Las condiciones de cada sitio requieren ser caracterizadas para obtener información respecto a su situación ecológica, procesos de disturbio, y demás componentes que ayuden a la restauración. Este análisis puede ofrecer información sobre las formas en las que se debe abordar el problema, las especies a utilizar y las técnicas a emplear para la restauración.

La selección de las técnicas con las cuales debe restaurarse ecológicamente un sitio depende de diversos factores, entre los que se pueden destacar: 1) características ambientales, geográficas, sociales y económicas; 2) tipo de disturbio e intensidad del mismo; 3) estado de degradación del sitio a restaurar; 4) objetivos de la restauración (recuperación de cobertura vegetal o rehabilitación de servicios ecosistémicos, entre otros); 5) especies a utilizar en la restauración; y 6) costo de las técnicas a emplear.

Es importante también, conocer las especies vegetales que se deben emplear para tal efecto. En caso de existir un ecosistema de referencia o histórico para la restauración de un sitio, éste funge como base para determinar las especies que pueden emplearse en la restauración y manejo del mismo (SER, 2004). La composición y estructura de los ecosistemas, previa a los disturbios, son poco conocidas y en muchos casos desconocidas

(Hobbs y Harris, 2001). Es una prioridad de investigación conocer la composición de especies presentes en un sitio determinado debido a que esto brinda información para el manejo de ecosistemas, recursos naturales y servicios (Oyama y Castillo, 2006).

A continuación se presentan algunas técnicas y propuestas de restauración empleadas por diversos autores en procesos de restauración ecológica.

Martínez-Pérez *et al.* (2006) realizan tratamientos pregerminativos eficaces para el establecimiento de plantas con utilidad en la restauración. Entre las plantas empleadas están *Acacia shaffneri* para la que reportan como tratamiento la escarificación mecánica y ácida, para *Dodonaea viscosa* la escarificación mecánica y el fuego, y para *Quercus castanea* la escarificación mecánica. Los autores mencionan que *A. shaffneri* participa en la restitución de procesos ecosistémicos, se establece en hábitats muy perturbados con suelos exigüos, retiene y enriquece el suelo y además es una planta facilitadora; por su parte *D. viscosa* participa en la restitución de procesos ecosistémicos, se establece en hábitats muy perturbados con suelos exigüos o nulos, retiene y forma suelos; mientras que *Q. castanea* es una planta que facilita el establecimiento de la biota nativa y retiene y forma suelos.

Antonio-Garcés (2008) propone como estrategias para la restauración de la zona de amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, la remoción de eucaliptos y la reintroducción de especies nativas empleando técnicas de acondicionamiento natural para facilitar el establecimiento; sin embargo, no consigue altos valores de germinación (7.7%), aunque sí vigor de las plantas germinadas.

Blanco-García (2010) encuentra que en bosques templados michoacanos, plantas leguminosas como *Lupinus elegans* funcionan como nodrizas que facilitan el avance sucesional en campos abandonados por medio del establecimiento de árboles nativos.

Ávila-Akerberg (2004) determina la autenticidad forestal de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena, entendiendo como autenticidad el estado de conservación de la vegetación natural. El autor, establece autenticidades altas, medias y bajas y realiza distintas propuestas, que promuevan la conservación y restauración, de acuerdo al nivel de autenticidad que posea cada sitio. En sitios con alta autenticidad propone el aclareo de arbustos dominantes y la reforestación con árboles nativos. Para las zonas de autenticidad media plantea el control de pastoreo, la elaboración de zanjas, la remoción de plantas

exóticas (cedros), el aclareo de arbustos dominantes y la reforestación con árboles nativos. Finalmente, para sitios con autenticidad baja se propone la reforestación, el control del ganado vacuno y la retención de suelos.

García-Flores (2008) realizó un diagnóstico ambiental en la Estación de Restauración Ecológica “Barrancas del Río Tembembe” (EREBRT). Establece 84 unidades naturales, de las cuales 51 se proponen para restauración y 33 para conservación con base en sus características de relieve, suelo y vegetación. De acuerdo a la forma del relieve establece parámetros para la restauración de los sitios sugeridos. Considera necesario el establecimiento de especies vegetales con sistema radicular poco profundo, como algunas leguminosas y pastos, la introducción de cultivos de cobertura, la incorporación de mantillo al suelo como opción en pequeña escala y la elaboración de represas sencillas.

En la Barranca de Tarango se han realizado proyectos tendientes al conocimiento de la diversidad biológica, la estructura de la vegetación y la restauración de los recursos naturales. Ventura-González (en prep.) elaboró una descripción de la fenología de un área de bosque de encino conservada en la Barranca de Tarango. El estudio contempla organismos con formas de vida arbustiva entre las que se han identificado especies como, *Acacia farnesiana*, *Gnaphalium* sp., *Prosopis* sp., *Pittocaulon (=Senecio) praecox*, *Dodonea viscosa*, *Mimosa biuncifera*, *Rubus ulmifolius*, y especies de forma de vida arbórea como *Arbutus unedo*, *Buddleia cordata*, *Cestrum benthami*, *Fraxinus* sp., *Prunus serotina*, *Solanum* sp., *Quercus crassipes*, *Q. obstusata* y *Q. laurina*.

Corona-Álvarez (2011) evaluó el crecimiento y supervivencia de individuos de *Quercus mexicana* y *Q. rugosa* introducidos en dos terrazas, además, caracterizó las terrazas mediante una evaluación edafocológica. También evaluó, por medio de entrevistas y observación participante, la percepción de los habitantes aledaños a la barranca y de las autoridades delegacionales en cuanto al ambiente y a la problemática. Encontró que *Q. rugosa* mantuvo una supervivencia de hasta 97% en ambas terrazas y *Q. mexicana* de 94% en la terraza baja y el 78% en la terraza alta, lo que muestra el éxito alcanzado en los primeros intentos de restauración de la Barranca de Tarango. De la misma forma, Hernández-García (2011) encontró una alta supervivencia (entre 94 y 98%) de plantas de *Q. rugosa* de un año de edad introducidas en sitios perturbados en la Barranca de Tarango.

El papel del suelo en la restauración ecológica

La dinámica de cambio del suelo es un elemento indispensable de considerar durante la restauración de un sitio; no se puede concebir dirigir de forma adecuada un proceso de restauración si no se tiene un conocimiento de la dinámica edáfica del lugar que representa la matriz que sostiene el proceso de restauración (Sarukhán, 2007). Su degradación, generalmente, es uno de los mayores problemas en la restauración (Dobson *et al.*, 1997). La modificación de las condiciones abióticas en el ecosistema es la razón principal de los cambios en la composición de las comunidades (Townsend, 2007).

Las funciones ecológicas de los componentes del suelo prácticamente no se han documentado a pesar de su vital importancia en el estudio de los recursos naturales (Cano-Santana, 2006; Oyama y Castillo, 2006). Investigar sobre la ecología del suelo, en particular su microbiota, puede generar conocimiento potencial para aumentar el éxito de la restauración y proveer elementos que auxilien en la comprensión del desarrollo de las comunidades (Young *et al.*, 2005).

Una vez restaurado el suelo, se torna menos complicado reintroducir las plantas necesarias para conformar la vegetación requerida y rehabilitar funciones del ecosistema (Bradshaw, 1997; Dobson *et al.*, 1997). El factor edáfico es un elemento que debe integrarse en la elaboración de los programas de restauración ecológica de ecosistemas, ya que prescindir de su consideración puede provocar pausas en el proceso y no recuperación del sitio.

Sistemas de información geográfica

La integración de los sistemas de información geográfica en el manejo de recursos naturales provee herramientas importantes que permiten la evaluación y monitoreo de los recursos y vincula los resultados a modelos verificados en campo (Velázquez *et al.*, 2006).

Entre las herramientas computacionales que ofrecen los sistemas de información geográfica, aparece la evaluación multicriterio. Ésta permite manejar problemas de toma de decisiones durante la existencia de múltiples objetivos, criterios, alternativas y participantes (Janssen y Rietveld, 1990). Es posible identificar los patrones espaciales de uso de suelo

apropiados de un sitio de acuerdo a requerimientos específicos, preferencias o pronósticos de algunos objetivos o actividades (Collins *et al.*, 2001; Valente y Vettorazzi, 2008). La evaluación multicriterio basada en SIG se refiere a procedimientos que involucran alternativas definidas geográficamente y un conjunto evaluado de criterios representados en capas de mapas (Malczewski J. 2006). El establecimiento de criterios a emplear para la identificación de sitios prioritarios de restauración ecológica, requiere sobre todo conocimiento del área, esto para tener presente las condiciones, favorables o limitantes, en las que se presentan los sitios y establecer un marco de criterios fundamentados. Definir un criterio y la importancia con la que éste cuenta en la toma de decisiones, puede requerir de opiniones de personas expertas en la temática tratada (Eastman, 2006).

Un paso importante en el proceso de restauración es diseñar herramientas para idear sitios de restauración a escala paisaje (Thompson *et al.*, 2006). Gran cantidad de trabajos han enfocado sus esfuerzos en establecer e identificar sitios con potencial de conservación, restauración y aprovechamiento de los recursos naturales en distintas áreas alrededor del mundo (O'Neill *et al.*, 1997; Reynolds y Peets, 2001; Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003; Phua y Minowa, 2005; Mendoza y Martins, 2006; Valente y Vettorazzi, 2008). Al igual que en los anteriores, este trabajo define sitios de restauración en Barranca de Tarango a partir de la aplicación de una evaluación multicriterio (EMC) y la conjunción de una serie de criterios sobre características de los sitios de estudio.

O'Neill *et al.* (1997) presentan un modelo para la identificación de sitios potenciales para la restauración de humedales riparios, en el modelo emplean condiciones geomorfológicas, hidrológicas y de vegetación, consideran que usando esta información en una variedad de escalas espaciales, así como empleando los SIG en combinación con múltiples criterios de las características del ecosistema, se cuenta con una herramienta útil para la planeación y definición de sitios de restauración. Por su parte Molloy y Bilby (2008) hacen uso de técnicas de percepción remota y SIG para identificar sitios óptimos para restaurar vegetación riparia que contiene alta riqueza biológica de poblaciones de peces *Andromous*, para lo cual usan criterios geomorfológicos y altitudinales. La aplicación de los modelos multicriterio no está limitada o especificada para ciertas asociaciones vegetales o formas de relieve, en realidad pueden emplearse distintas combinaciones respecto a las

Caracterización ecológica de la Barranca de Tarango

características de cada sitio para brindar distintas opciones para que los tomadores de decisiones puedan idear formas congruentes y eficientes de manejo de recursos.

Thompson *et al.* (2006) emplean la integración de modelos espaciales y percepción remota para identificar sitios potenciales de restauración de árboles de nogal americano (*Juglans cinerea*), una especie afectada por hongos exóticos, en el parque nacional Mammoth Cave de Estados Unidos. La identificación de sitios para la restauración se valió del empleo de criterios de vegetación, geología, elevación, pendiente, orientación de la ladera, insolación solar y forma del terreno. La elección de los criterios está en función de las particularidades de los sitios de trabajo, sin embargo el exceso en el número de criterios elegidos puede limitar las áreas a elegir para su manejo, es importante considerar condiciones importantes para la restauración y aprovechamiento de los recursos naturales, acción que debe ser realizada por personas que conozcan las áreas de trabajo (O'Neill *et al.* 1997; Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003; Mendoza y Martins, 2006).

Valente y Vettorazzi (2008) definen áreas de conservación de bosques en la cuenca de un río brasileño para incrementar la diversidad regional, para lo cual usaron el método de medidas promedio ordenadas e integradas a sistemas de información geográfica con procesos de análisis jerárquico. Ellos emplean criterios que consideran importantes para la conservación, tales como la proximidad a los parches de bosques, la proximidad entre parches de bosque con grandes áreas núcleo, la proximidad a cuerpos del agua, la distancia a carreteras, la distancia a zonas urbanas y la vulnerabilidad a la erosión. Los criterios de proximidad son elementales en el desarrollo de planes de manejo, por ejemplo, en programas de restauración ecológica. El hecho de que las parcelas de restauración se encuentren alejadas de caminos o zonas habitables implica un riesgo de eliminación o disminución de las plantaciones, de ahí la importancia de que la población cercana esté involucrada en los procesos de restauración.

Lehtomäki *et al.* (2009), por otra parte, identifican sitios posibles para restaurar, considerando como criterios sitios cercanos y conectados a una alta densidad de árboles, sitios comunicados con existentes áreas de conservación y áreas suficientemente amplias para su eficaz aplicación.

Ceballos-Silva y López-Blanco (2003) emplean un contexto de Sistemas de Información Geográfica y realizan propuestas para el establecimiento de áreas de cultivo de maíz y papa mediante la aplicación de un modelo multicriterio y el uso de criterios como clima, variables del suelo, altitud y pendiente para la determinación de sitios de cultivos.

Los principales criterios que permiten definir prioridades de manejo empleados en los distintos sitios son: variables geomorfológicas, condiciones de vegetación, variables de suelo, altitud, pendiente, orientación de la ladera, forma del terreno, distancia de carreteras. La priorización de áreas para ejecutar acciones de manejo en los ecosistemas, permite la optimización de recursos y acciones, además refiere a un método económico y efectivo para cubrir los objetivos de manejo de los ecosistemas (Valente y Vettorazzi, 2008). El uso de modelos multicriterio está encaminado al establecimiento de una base de información consolidada para el proceso de toma de decisiones, identificación y descripción de los componentes del paisaje, identificación de las deficiencias de información, así como el establecimiento de prioridades de investigación.

La problemática de las barrancas de la Ciudad de México

Las barrancas de la cuenca de México enfrentan una fuerte presión demográfica y graves problemas de contaminación ambiental (drenajes a cielo abierto, la mezcla de aguas pluviales con aguas negras domiciliarias, los residuos sólidos, el depósito de cascajo y una fuerte presión de cambio de uso de suelo) que amenazan con destruirlas irremediablemente (Canedo, 2007; INE, 2007a, b).

La importancia del mantenimiento ecológico, recuperación y restauración de las barrancas radica en que éstas proporcionan funciones y prestan servicios ambientales importantes para la ciudad (Canedo, 2007; GODF, 2009). Las barrancas influyen en la producción de oxígeno, la captura de carbono, contribuyen a la regulación del clima, favorecen la recarga de las aguas subterráneas, disminuyen los niveles de contaminantes en el aire, disminuyen los efectos de las llamadas “islas de calor”, amortiguan los niveles de ruido y son refugio para especies silvestres (INE, 2007a; GODF, 2009).

La degradación de las barrancas se refleja en la desaparición de sus áreas boscosas, la contaminación del aire, suelo y agua (INE, 2007a). La problemática existente en las barrancas

Introducción

de la Ciudad de México requiere de procesos de toma de decisiones que recuperen, rehabiliten y finalmente incorporen medidas integrales para la restauración y conservación de los ecosistemas urbanos presentes en ellas.

Particularmente, la Barranca de Tarango localizada al centro norte de la Delegación Álvaro Obregón, presenta en distintas zonas algún estado de degradación. La degradación y eliminación a la que son sujetos los recursos naturales de la Barranca de Tarango son las principales causas para aplicar la restauración ecológica. Entre los factores que han promovido la degradación y por ende la pérdida de distintas funciones y servicios ecosistémicos han sido el crecimiento poblacional, los usos de suelo agrícola y ganadero, la extracción de suelo, la falta de medidas de mitigación de los disturbios, la escasez de políticas ambientales que regulen su uso, el manejo inadecuado y desmedido de los recursos, entre otros.

Actualmente en la Barranca de Tarango es atravesada por una vialidad denominada "Supervía Poniente", la cual promueve el cambio de uso de suelo y eliminación de la cobertura forestal presente en el sitio.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es conocer los rasgos estructurales de la comunidad vegetal, las características edáficas del bosque de referencia y establecer sitios de restauración ecológica para la Barranca de Tarango que permitan la elaboración de una propuesta de restauración ecológica.

Los objetivos particulares, por su parte, son los siguientes: determinar y analizar la estructura, composición florística y distribución espacial de los individuos en las comunidades de bosque de encino así como conocer las propiedades físicas y químicas de los suelos sobre los que se establecen estos bosques; identificar y proponer áreas para la restauración ecológica y; elaborar una propuesta de restauración ecológica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitio de estudio

Localización. La Barranca de Tarango (267 ha) se encuentra al centro norte de la Delegación Álvaro Obregón al poniente del Distrito Federal ($19^{\circ} 20' 29.22''$ N, $99^{\circ} 14' 54.55''$ O y $19^{\circ} 21' 40.97''$ N, $99^{\circ} 12' 44.40''$ O, 2330 - 2580 m snm; Figura 1, Apéndice 1). colinda al norte con las colonias El Rincón, Tlacultlapa, Puerta Grande, Colinas de Tarango y Lomas de Tarango, al sur con las colonias Lomas de las Águilas, San Clemente y Ampliación Águilas, al este con la colonia Las Águilas y al oeste con las colonias Lomas de Axomiatla y Bosques de Tarango (GODF, 2009).



Figura 1. Localización de la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Material y métodos

Geología. El sitio está conformado por material de tipo ígneo, en particular, tobas volcánicas, y presenta cuatro fracturas geológicas en la porción occidental de la barranca (INEGI, 1978; Figura 2).

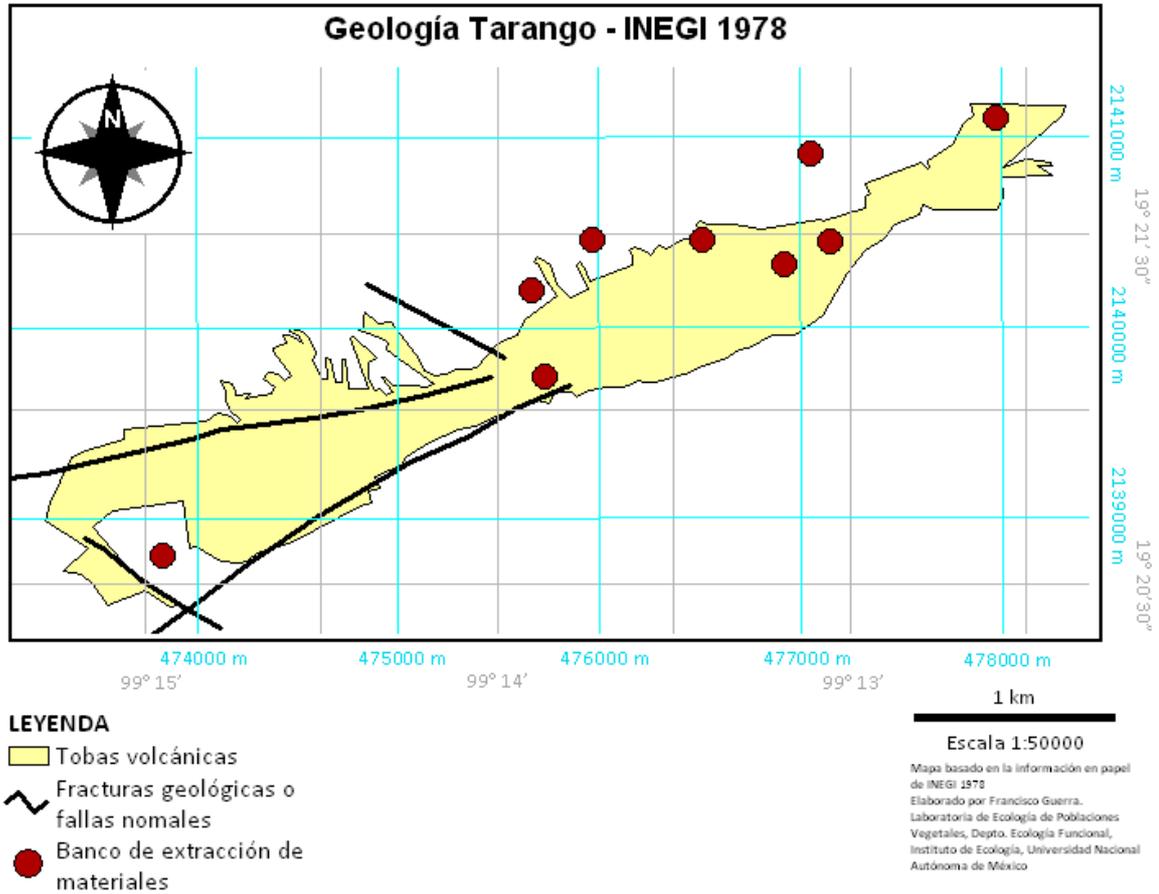


Figura 2. Geología de la Barranca de Tarango, basado en la carta E14A39 de INEGI (1978).

Según Mooser *et al.* (1996), la Barranca de Tarango se encuentra ubicada sobre lo que se denomina la Formación Tarango, que a su vez está incluida en la sierra mayor denominada Sierra de las Cruces, la cual alcanzó su máximo desarrollo en el Pleistoceno, partiendo en sus principios del extremo Plioceno superior, para alcanzar su máximo desarrollo en el Cuaternario. Una característica de esta sierra mayor, como de otras sierras mayores en el centro de México, es la formación de extensos abanicos volcánicos a sus pies que están compuestos por flujos piroclásticos de composición intermedia a ácida, capas de pómez, depósitos fluviales y paleosuelos. Esta formación se originó por lo que actualmente es el cerro de San Miguel, un escudo-volcán que sufrió en tres ocasiones colapsos con formación

Material y métodos

de laderas y cada colapso fue acompañado por emisiones importantes de flujos piroclásticos, los cuales constituyen la Formación Tarango. La geología de la ciudad de México está en buena parte dominada por la historia volcánica del cerro de San Miguel, la formación Tarango abarca una parte considerable del occidente de la ciudad de México (Figura 3).



Figura 3. Geología de la Ciudad de México, en azul claro se muestra la Formación Tarango, en un círculo rojo el área correspondiente a la Barranca de Tarango (tomado de Mooser, 1996).

Fisiografía e Hidrología. El sitio se encuentra en la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico que, a su vez, pertenece a la subprovincia fisiográfica Lagos y Volcanes de Anáhuac. La topoforma del sitio se agrupa en la denominación de Lomeríos (INEGI y GDF, 2005). En la Barranca de Tarango se localizan los ríos Puerta Grande y Puente Colorado, que confluyen en la Presa Tarango y drenan sus aguas en una dirección SW-NE; el tipo de aguas que circulan son de origen pluvial así como residual doméstica (GODF, 2009). Al interior del sitio se ubica un pequeño lago de 0.76 ha, el cual está formado por acumulación de agua de origen pluvial. Al parecer, este lago se encuentra próximo a reducirse debido a que a su alrededor el suelo

Material y métodos

se está fracturando y esto permite la percolación del agua a un barranca adena al lago. La zona es parte de la región hidrológica denominada Pánuco, perteneciente a la subcuenca hidrológica del río Moctezuma dentro de la cuenca del valle de México (INEGI, 2006).

Clima. El clima es $Cw_1(w) Cb (i') g$, es decir, templado subhúmedo con régimen de lluvias de verano, verano fresco largo, una oscilación anual de la temperatura entre 5° y 7°C, clasificado con poca oscilación y una marcha anual de la temperatura de tipo Ganges. El mes más cálido es mayo con un promedio de 18.3°C, el mes más frío es enero con 12.9°C, el promedio anual de la temperatura es 16°C; el mes más húmedo es julio con 199 mm, el mes más seco es noviembre con 5.1 mm (Figura 4), la precipitación anual acumulada es de 875.1 mm. El clima de la Barranca de Tarango se determinó de acuerdo a García (2004) con la estación climatológica número 104 denominada Tarango (Villa Obregón) ubicada en las coordenadas geográficas 19° 21' N y 99° 13' W a 2340 msnm (INEGI y GDF, 2005) y a una distancia de 300 m del sitio de estudio.

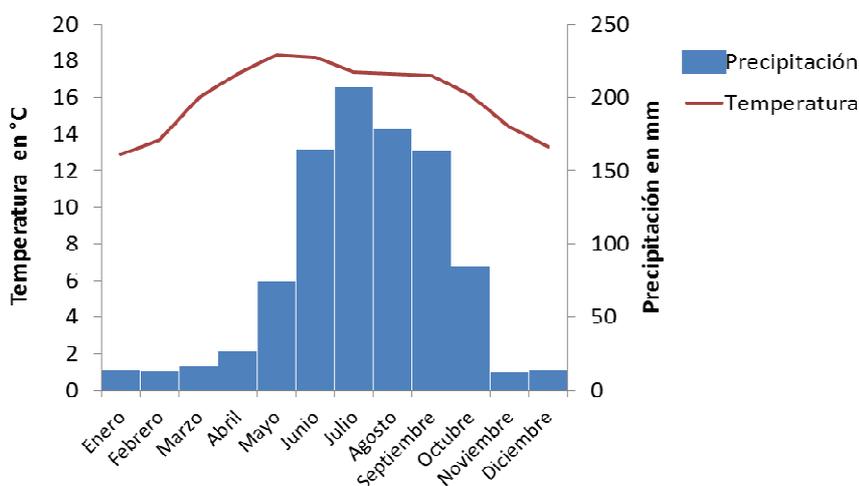


Figura 4. Climograma de la estación climatológica Tarango (Villa Obregón), situada a 300 metros de distancia al sureste de la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón D. F.

Geomorfología. El Laboratorio de Ecología de Poblaciones Vegetales del Instituto de Ecología (IE) de la UNAM realizó un análisis geomorfológico de la Barranca de Tarango basado en el modelo de Ruhe (1975) y encontró que las formas de relieve dominantes son: a) dorso de ladera de barranco (27.9%), superficie cumbral (20.8%), pared de *Talweg* - lecho de río

Material y métodos

(17.7%), banco de materiales (17.2%), barranco secundario (6.1%), terraza de acumulación (5.2%), escarpes (2.1%) y otras formas de relieve (3%; Figura 5). Asociados con los bancos de materiales existen cinco bancos de extracción de materiales (Figura 2) de tipo grava y arena (INEGI, 1978). De forma general, se ha encontrado que los bosques de encino en la cuenca de México se desarrollan por debajo de los 3200 msnm, estas áreas corresponde geomorfológicamente a zonas de transición entre las zonas de alta montaña y los piedemontes de la cuenca (García-Romero, 2001).

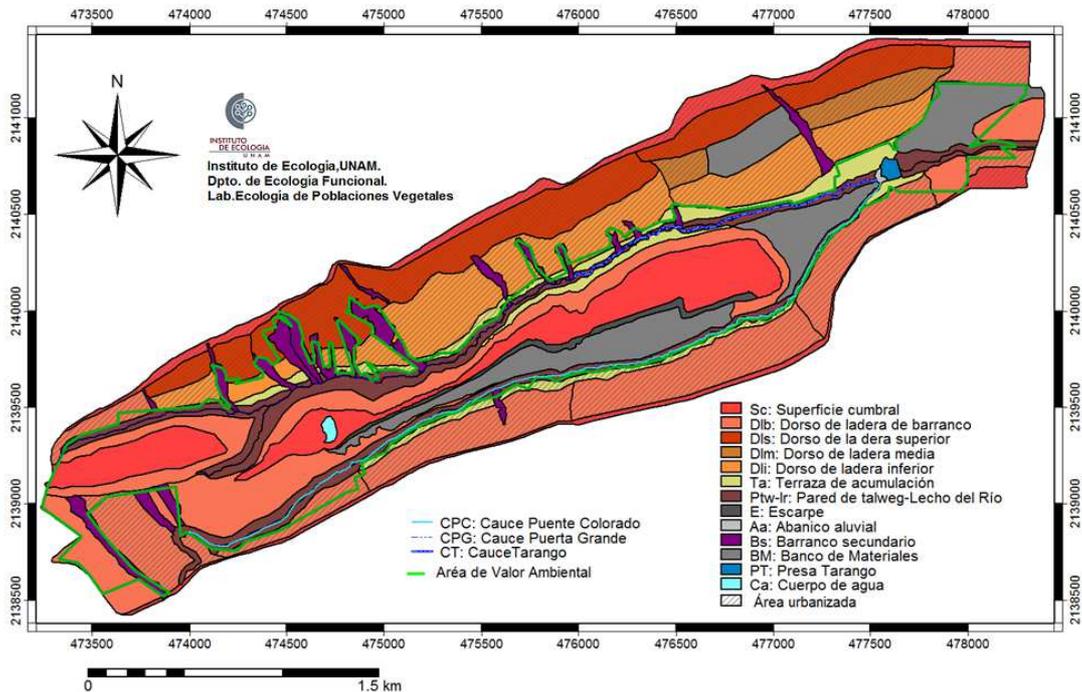


Figura 5. Geomorfología de la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F. Tomado del Laboratorio de Ecología de Poblaciones Vegetales del Instituto de Ecología (IE) de la UNAM (datos no publicados).

Suelos. En el sitio de estudio se distribuyen dos unidades de suelo, ambos con texturas medias, una zona de suelos tipo Phaeozem háplico asociados con suelos de tipo Phaeozem lúvico y secciones de suelos tipo Litosol con asociación de suelos tipo Phaeozem háplico (INEGI, 1977a; Figura 6).

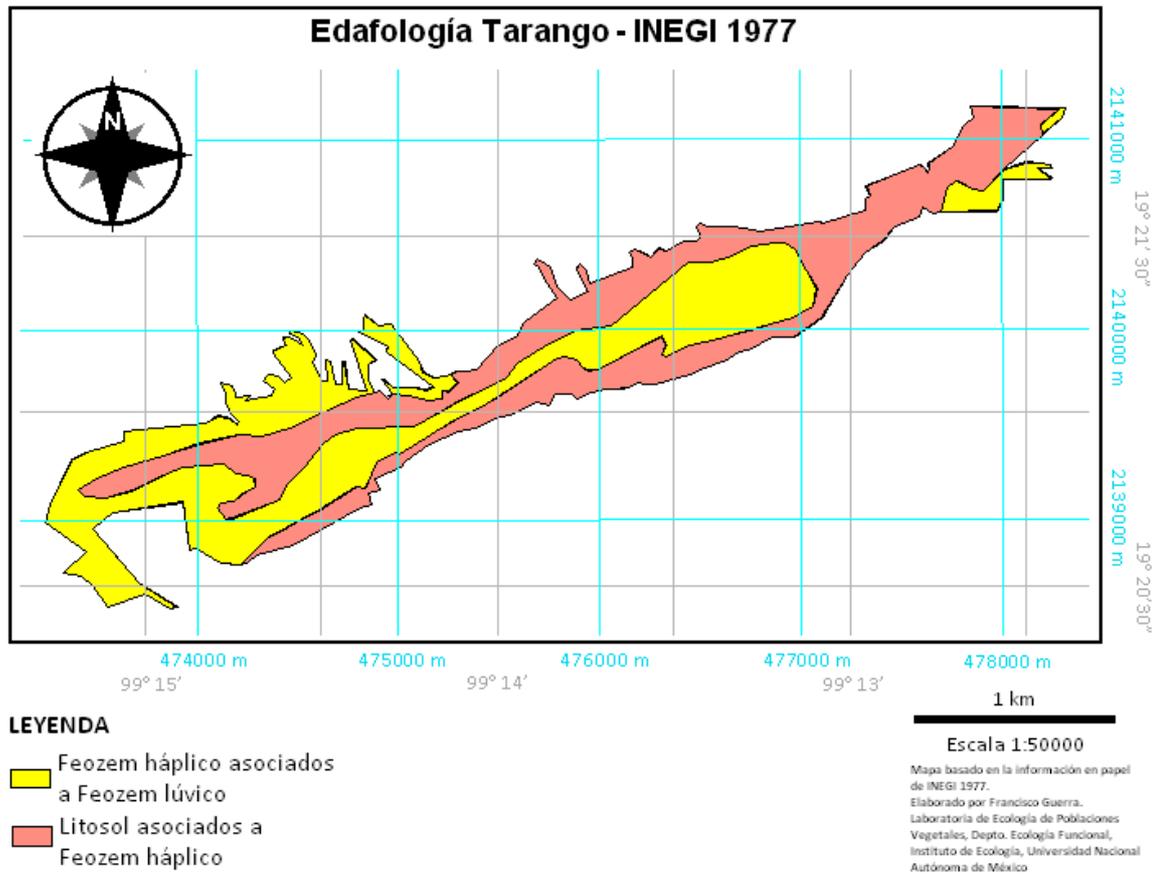


Figura 6. Edafología de la Barranca de Tarango, basado en la carta E14A39 de INEGI (1977a).

Uso de suelo y vegetación. La Barranca de Tarango presenta distintos usos de suelo y diferentes asociaciones vegetales, entre las que destacan, uso de agricultura de temporal permanente con cultivos anuales, uso pecuario, zonas industriales de extracción de materiales, extensas áreas de pastizales inducidos en asociación con bosques artificiales de eucaliptos, zonas de vegetación secundaria constituidas de matorral inerme, en algunos casos, asociadas con bosques artificiales de eucaliptos, bosques de encinos y áreas desprovistas de vegetación donde la erosión hídrica se acentúa drásticamente (INEGI, 1977b; Figura 7).

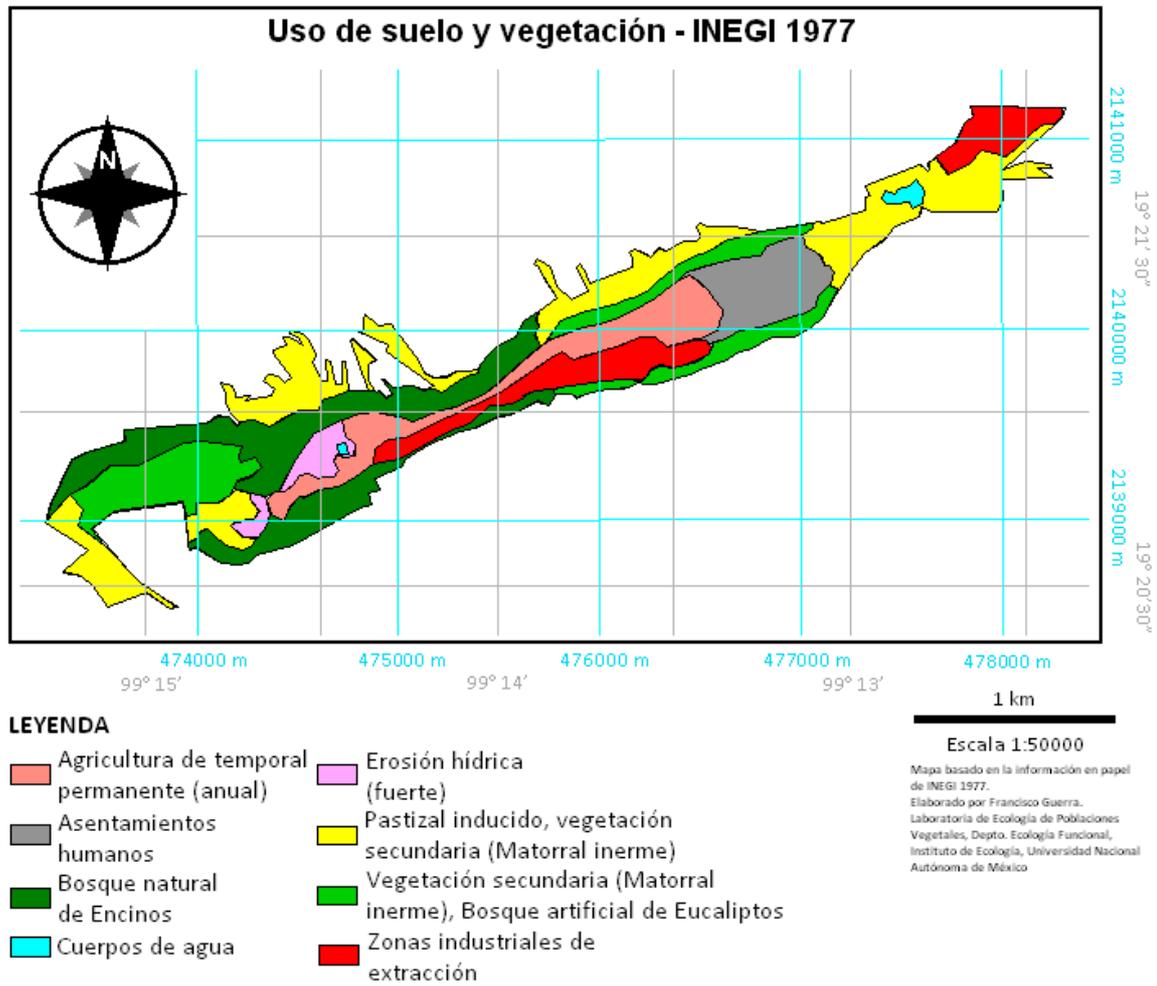


Figura 7. Uso de suelo de la Barranca de Tarango, basado en la carta E14A39 de INEGI (1977b).

La principal vegetación establecida en la Barranca de Tarango es el bosque de encino (25.09 %), seguida del matorral subinerme (23.21 %), el pastizal (16.39 %), áreas de vegetación secundaria (12.49 %) y zonas desprovistas de vegetación (4.69 %; DGECIIP, 1999).

El diagnóstico más reciente sobre la vegetación del sitio fue realizado por el Laboratorio de Ecología de Poblaciones Vegetales del IE de la UNAM, en el cual se describe la distribución y extensión de las asociaciones vegetales del sitio. Destacan el bosque de encinos (28.2%) como asociación más abundante, seguida de áreas de pastizal con vegetación secundaria (18%), pastizales en asociación con matorrales (28.7%), áreas

Material y métodos

reforestadas (11.6%) y asociaciones de encinar con tepozán y matorrales (3%; Mendoza-Ochoa, datos no publicados; Figura 8).

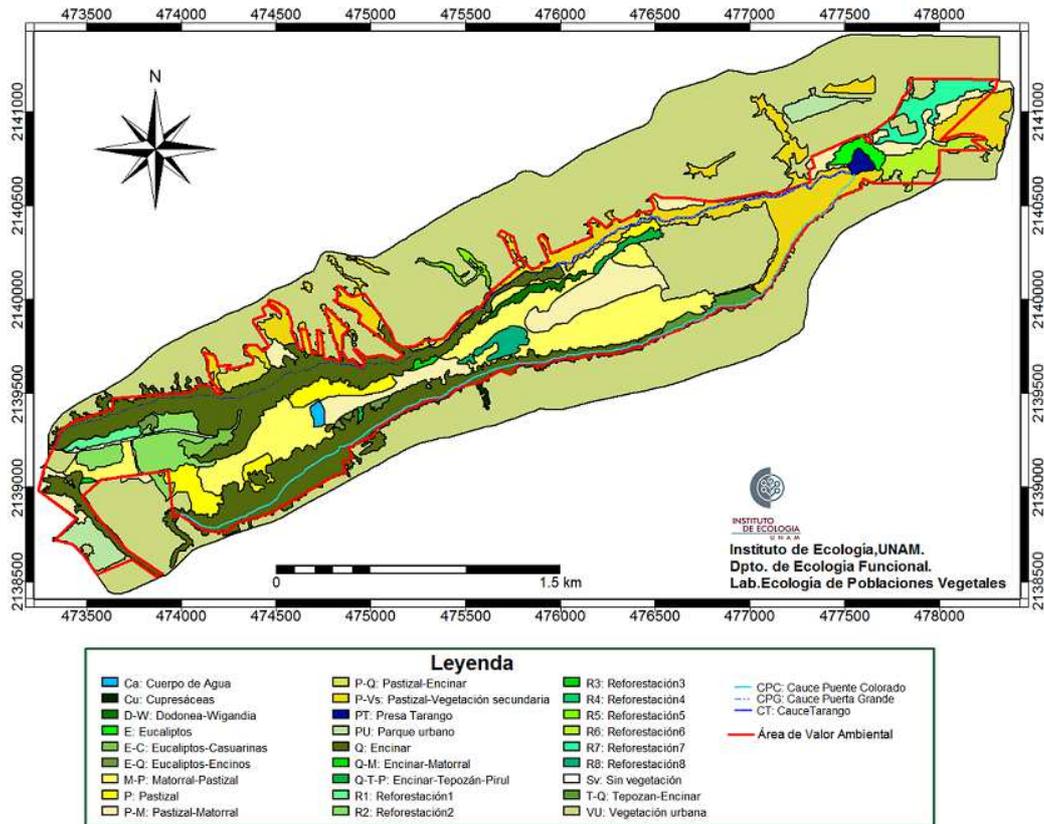


Figura 8. Vegetación de la Barranca de Tarango. Delegación Álvaro Obregón, D. F. Tomado del Laboratorio de Ecología de Poblaciones Vegetales del Instituto de Ecología (IE) de la UNAM (datos no publicados).

Selección de sitios

La selección de los sitios de muestreo de la vegetación fue dirigida a las áreas de distribución del bosque de encino debido a que se contempla como ecosistema de referencia o histórico en este trabajo. Para analizar la estructura y composición del bosque se seleccionaron dos sitios en laderas con distinta orientación (sureste y norte). Se estableció un total de seis cuadros permanentes de observación (CPO) de 30 x 30 m, tres cuadros por sitio, en los cuales se identificó y midió los individuos del estrato arbóreo ≥ 3 cm de diámetro a la altura del pecho (dap). Dentro de estos cuadros se establecieron otros de 10 x 10 m, en los que se identificó y midió el diámetro a la base del tallo de los individuos del estrato

Caracterización ecológica de la Barranca de Tarango

Material y métodos

arbustivo. De la misma forma, se establecieron dentro de estos últimos, cuadros de 5 x 5 m en los que se identificó y midió la cobertura de organismos con forma de vida herbácea (Figura 9). Se registraron mediante un sistema de posicionamiento global (Garmin GPS 60) las coordenadas geográficas de los CPO. La inclinación del terreno se determinó mediante un clinómetro y la orientación de la ladera por medio de una brújula. Los dos sitios analizados de bosque de encino presentan diferencias en la orientación de sus laderas, pendientes y el gradiente altitudinal de los cuadros permanentes de observación. Los CPO del sitio 1 presentan orientaciones al SE con pendientes que van de 12° a 21° y altitudes comprendidas entre 2504 y 2533 m snm. La orientación de las laderas del sitio 2 es al N, las pendientes se encuentran entre 14° y 25° y presentan altitudes que oscilan entre 2487 y 2556 msnm (Cuadro 1).

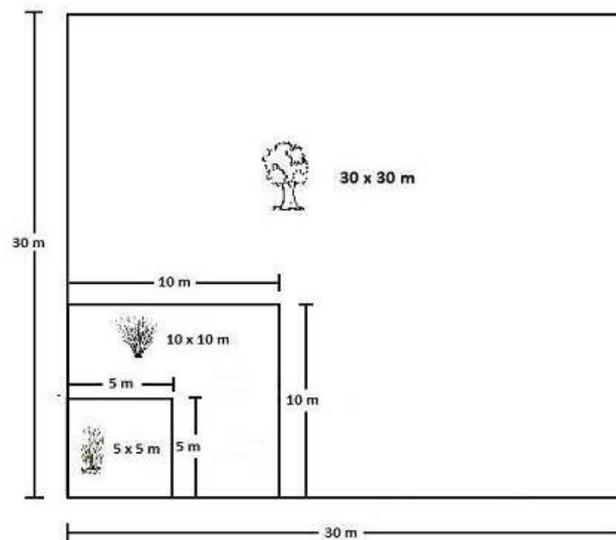


Figura 9. Organización de los cuadros permanentes de observación (CPO) para el muestreo de la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea.

Cuadro 1. Coordenadas geográficas y aspectos fisiográficos de los sitios de estudio.

Sitio	Cuadro	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m snm)	Orientación	Pendiente (°)
1	1	19°20'34.1"	99°14'42.4"	2511	SE	15
	2	19°20'39.8"	99°14'40.6"	2533	SE	12
	3	19°20'43.4"	99°14'30.9"	2504	SE	21
2	1	19°20'51.9"	99°14'41.7"	2487	N	20
	2	19°20'52.2"	99°14'51.1"	2556	N	25
	3	19°20'51.8"	99°14'46.2"	2533	N	14

Se registró para todas las especies la densidad (ind ha^{-1}), el área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) de árboles y arbustos, la cobertura de las hierbas y la frecuencia de todos los individuos. Se calculó el valor de importancia relativa (VIR) para todas las especies en cada estrato del bosque empleando la fórmula:

$$VIR = \frac{(ABR + DR + FR)}{3}$$

donde, ABR es el área basal relativa, DR es la densidad relativa y FR es la frecuencia relativa, el valor de importancia relativa es una medida de cuantificación para asignar a cada especie su categoría de importancia (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Kent y Coker, 1992). Se obtuvieron las clases diamétricas de las especies más importantes del estrato arbóreo.

Para determinar la diversidad alfa de cada sitio muestreado en el bosque, se calculó el índice de dominancia de Simpson (D). Se emplea éste índice para comparar los resultados con los obtenidos en otros trabajos. Para poblaciones finitas se calcula por medio de la siguiente fórmula (Magurran, 2004):

$$D = \sum \frac{n_i[n_i - 1]}{N[N - 1]}$$

donde n_i es el número de individuos de la i -ésima especie y N es el número total de individuos.

Material y métodos

Para evaluar la diversidad beta y comparar entre sitios muestreados se aplicó el coeficiente de Jaccard (C_j) mediante la siguiente fórmula (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974):

$$C_j = \frac{j}{a+b+j}$$

donde j es el número de especies presentes en ambos sitios, a es el número de especies sólo presentes en el sitio 1 y b es el número de especies sólo presentes en el sitio 2. Los índices de diversidad se obtuvieron mediante el software EstimateS v. 8.2 (Colwell, 2005).

La riqueza de especies se cuantificó con base en el número de especies (Peet, 1974).

Se analizó la distribución espacial de la vegetación con la intención de entender el arreglo natural de las especies del ecosistema de referencia. Esto se hizo mediante el registro en un sistema de coordenadas cartesianas, de la posición en metros, en la que se presenta cada individuo en el eje de las “x” y en el eje de las “y” en los CPO (Figura 10). Esta información se consideró en el diseño del plan de restauración ecológica.

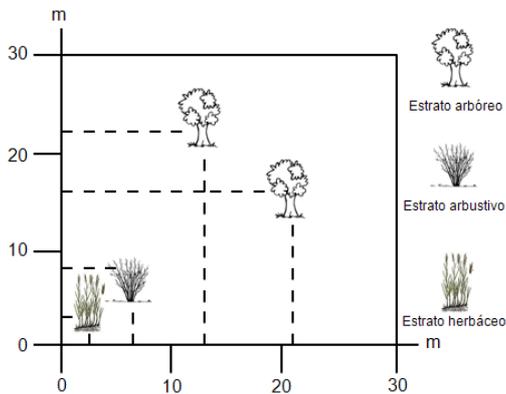


Figura 10. Representación de la distribución espacial de la vegetación.

Composición florística

Para determinar la composición florística del bosque de encino se colectaron muestras de los organismos que no fueron identificados en campo, las cuales se compararon con la colección de muestras existentes del área de estudio (N. Ventura-González, en preparación). La identificación de los organismos fue auxiliada de claves taxonómicas, tales como las

elaboradas por Sánchez (1976) y Calderón y Rzedowski (2001). Se elaboró un listado de la flora presente en los sitios muestreados de la Barranca de Tarango (Apéndice 2).

Caracterización de los suelos del bosque de encino

Se colectaron muestras de suelo de los horizontes pertenecientes a los perfiles descritos en la unidad geomorfológica dorso de ladera de barranco, correspondiente al bosque de referencia. Para caracterizar los suelos del ecosistema de referencia se realizaron dos descripciones de perfiles de suelo, una por sitio. Los perfiles fueron descritos en campo de acuerdo a Schoeneberger *et al.* (2002). Además, se colectaron muestras de 1 kg por horizonte descrito en el perfil, así como 5 muestras simples (0-30 cm de la superficie) para los sitios 1 y 2 del muestreo de la vegetación. Para las muestras simples se toma suelo hasta 30 cm de profundidad en lugares aleatorios de cada sitio de estudio; permiten corroborar los resultados obtenidos en los perfiles descritos. Los análisis de suelos fueron realizados en el laboratorio de edafología de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco. Para la clasificación de los suelos, se identificaron propiedades, horizontes y materiales de diagnóstico y se asignó la nomenclatura de acuerdo con el IUSS grupo de trabajo WRB (2007).

El perfil del sitio 1 se encuentra a 2526 m snm en las coordenadas 19° 20' 38.6" N, 99° 14' 40.8" W, la forma que presenta el terreno es una ladera convexa con posición en el dorso de ladera, una pendiente de 15° escarpada moderada con una exposición al sureste.

Las muestras de suelo, fueron secadas y "tamizadas" a partir de un tamiz del número 10, el cual corresponde a una luz de malla de 2 mm de diámetro.

Las determinaciones físicas realizadas fueron: humedad calculada en campo (la humedad es un parámetro que hace referencia a la saturación de agua en el suelo), color en seco y en húmedo (el color del suelo es un parámetro que hace referencia al contenido de materia orgánica) basado en las tablas de Munsell (1994). Además se calculó la densidad aparente y la densidad real (SEMARNAT, 2002). La prueba de textura se realizó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Fanning y Fanning, 1989) y el porcentaje de espacio poroso se determinó de acuerdo con Foth (1985). La porosidad es una característica que muestra el espacio existente entre los poros y la capacidad de aireación y drenaje de los suelos.

Algunas determinaciones químicas se realizaron de acuerdo con la NOM-021 (SEMARNAT, 2002). Materia orgánica y carbono orgánico por el método de Walkley y Black, capacidad de intercambio catiónico por el método basado en suelos ácidos y neutros (Jackson, 1984), Ca^{2+} y Mg^{2+} por el método del Versenato "EDTA", pH en H_2O 1:2.5 y NaF 1:2.5, Na^+ y K^+ intercambiables por medio del espectrofotómetro de flama, y el porcentaje de saturación de bases (Etchevers *et al.*, 1988).

Identificación de áreas prioritarias para la restauración ecológica

Generación de un modelo digital de elevación. Para la generación de un modelo digital de elevación (MDE) es necesario un archivo electrónico de curvas de nivel en formato *dxf*, el cual es un producto proporcionado por INEGI. Las curvas de nivel presentan una equidistancia de 10 m entre curvas. Se usó el programa Global Mapper v. 10 para convertir la información a un formato legible (*shapefile*) para el software de sistemas de información geográfica (SIG). El software empleado en todos los procesos de análisis espacial en este trabajo fue IDRISI Andes v. 15. Se empleó el comando *import* para incorporar el archivo *shapefile* de curvas de nivel a un archivo *vector* de IDRISI.

El siguiente paso es la conversión del archivo *vector* a un archivo de formato *raster*. Para esto: 1) se visualiza el archivo *vector*, 2) se escriben las coordenadas extremas de la imagen, 3) se crea un archivo sin valores mediante el comando *Initial* y, con esto 4) se incorpora la información del archivo *vector* al archivo *raster*.

Finalmente, para la generación del MDE es necesario: 1) visualizar el archivo generado y copiar los valores de altitud de las esquinas de la imagen y, 2) interpolar el archivo obteniendo de esta forma el modelo digital de elevación.

Generación de mapas de altitud, orientación y pendientes. La generación de estos mapas tiene como base el MDE generado previamente. El mapa de altitud es básicamente el MDE, sólo es necesario visualizarlo con la paleta *Idrisi 256* y observar los cambios en altitud. Para calcular la orientación y pendientes de las laderas de la Barranca de Tarango es necesario aplicar el comando *Surface*. Una vez hecho lo anterior se obtienen los mapas de pendientes y laderas del sitio de estudio.

Evaluación Multicriterio. Se aplica el método de evaluación multicriterio (EMC) por intersección booleana (Malczewski, 2006) el cual es un proceso de toma de decisiones por medio de criterios que se establecen para la elección de áreas prioritarias de manejo (Valente y Vettorazzi, 2008) y en este caso particular, áreas prioritarias de restauración ecológica en la Barranca de Tarango. Consiste en ir superponiendo cartográficamente los diferentes criterios planteados hasta extraer las zonas que se adaptan a todas las condicionantes. El procedimiento que sigue el análisis es, básicamente, la reclasificación de los criterios representados cartográficamente. Esto se realiza por medio de la asignación del valor 1 a los sitios que cumplen los criterios para la restauración y el valor 0 a los sitios que no cumplen con dichos criterios. Finalmente, se obtienen los sitios a restaurar.

Se establecieron seis criterios considerados importantes de acuerdo con las condiciones del sitio de estudio. La elección de criterios para la restauración ecológica está en función de las recomendaciones de expertos que conozcan el sitio de estudio (O'Neill *et al.* 1997; Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003; Mendoza y Martins, 2006). El Cuadro 2 enlista los criterios elegidos y el rango de opción considerado en cada criterio.

Cuadro 2. Criterios elegidos para la elección de sitios prioritarios para restauración ecológica.

Criterios	Rangos de opción o características de cada criterio
Pendiente	1) Áreas con pendientes de 0° a 15°; 2) pendientes de 15° a 30°
Orientación de ladera	1) orientación al norte y 2) orientación al sur
Geomorfología	1) Dorso de ladera de barranco; 2) superficie cumbral; 3) banco de materiales
Tipo de suelo	1) Phaeozem háplico y 2) Leptosol
Tipo de asociación vegetal	1) Pastizal asociado a matorrales; 2) Vegetación secundaria asociada a pastizales; 3) Encinares en asociación con tepozán, matorral y pastizal
Distancia a caminos y veredas	1) Los sitios propuestos para restauración deben encontrarse al menos 10 metros alejados de veredas y 30 metros de caminos

Para cada criterio elegido es necesaria la existencia de información geográfica expresada en mapas. De este modo, para ejecutar la evaluación multicriterio en la elección

Material y métodos

de sitios a restaurar en la Barranca de Tarango, se necesita contar con la información geográfica correspondiente a: 1) pendientes; 2) orientación de laderas; 3) geomorfología; 4) tipos de suelo; 5) tipos de asociación vegetal; y 6) distancia a veredas y caminos.

RESULTADOS

Composición y estructura del bosque de encinos

En los bosques de encino de la Barranca de Tarango se reconocieron fisonómicamente dos tipos de asociaciones de encinos, una en cada sitio de estudio: 1) los encinares conformados por la asociación de *Quercus castanea* y *Q. obtusata*, y 2) los encinares asociados entre *Q. castanea* y *Q. rugosa*. La flora registrada comprende 43 especies, distribuidas en 20 familias y 33 géneros. Las familias más representativas son Asteraceae con 12 especies, Fagaceae con seis especies, Rosaceae con cuatro especies. Los géneros que más aportan especies a la comunidad son *Quercus* con seis especies, *Ageratina* con cinco especies y *Cestrum* con tres especies (Apéndice 2). Respecto a las formas de vida de los organismos, se tienen 13 especies arbóreas, 21 especies arbustivas y nueve hierbas.

En el estrato arbóreo del sitio 1 (Figura 11a), *Q. castanea* fue la especie con mayor valor de importancia relativa (VIR= 31.2), mientras que *Q. obtusata* es la segunda en importancia (VIR= 26.7) seguidas por *Q. rugosa* (VIR= 17.7). Resaltan otras especies como *Q. laurina* (VIR= 9.6) y *Q. crassipes* (VIR= 8.8), por su abundancia. En el estrato arbustivo del sitio 1 (Figura 11b) la especie con mayor VIR es *Verbesina virgata* (34.9), seguida por *Baccharis conferta* (VIR= 9.7), *Agave salmiana* (VIR= 8.2), *Ageratina glabrata* (VIR= 8.1) y *Eysenhardtia polystachya* (VIR= 7.6). En el estrato herbáceo del sitio 1 (Figura 11c) dominan *Ageratina deltoides* (VIR= 20.8), *Bouteloua* sp. (VIR= 19) y *Chromolaena pulchella* (VIR = 18.6).

En el estrato arbóreo (Figura 11d) dominan *Q. castanea* (VIR= 25.8), *Q. rugosa* (VIR= 18.4), *Crataegus mexicana* (VIR= 10.2), *Q. laurina* (VIR= 7.5) y *Q. mexicana* (VIR= 6.9). En su estrato arbustivo (Figura 11e) dominan *Ageratina petiolaris* (VIR= 32.6), *Symphoricarpos microphyllus* (VIR= 11.5), *Eysenhardtia polystachya* (VIR= 10.7), *Cestrum fulvescens* (VIR= 8.1) y *Amelanchier denticulata* (VIR= 7.1). Por su parte, en el estrato herbáceo (Figura 11f) dominan *Bouteloua* sp. (VIR= 46.9), *Salvia mexicana* (VIR= 19.2), *Bothriochloa* sp. (VIR= 9.9), y *Ageratina deltoides* (VIR= 9.9; Cuadro 3).

Resultados

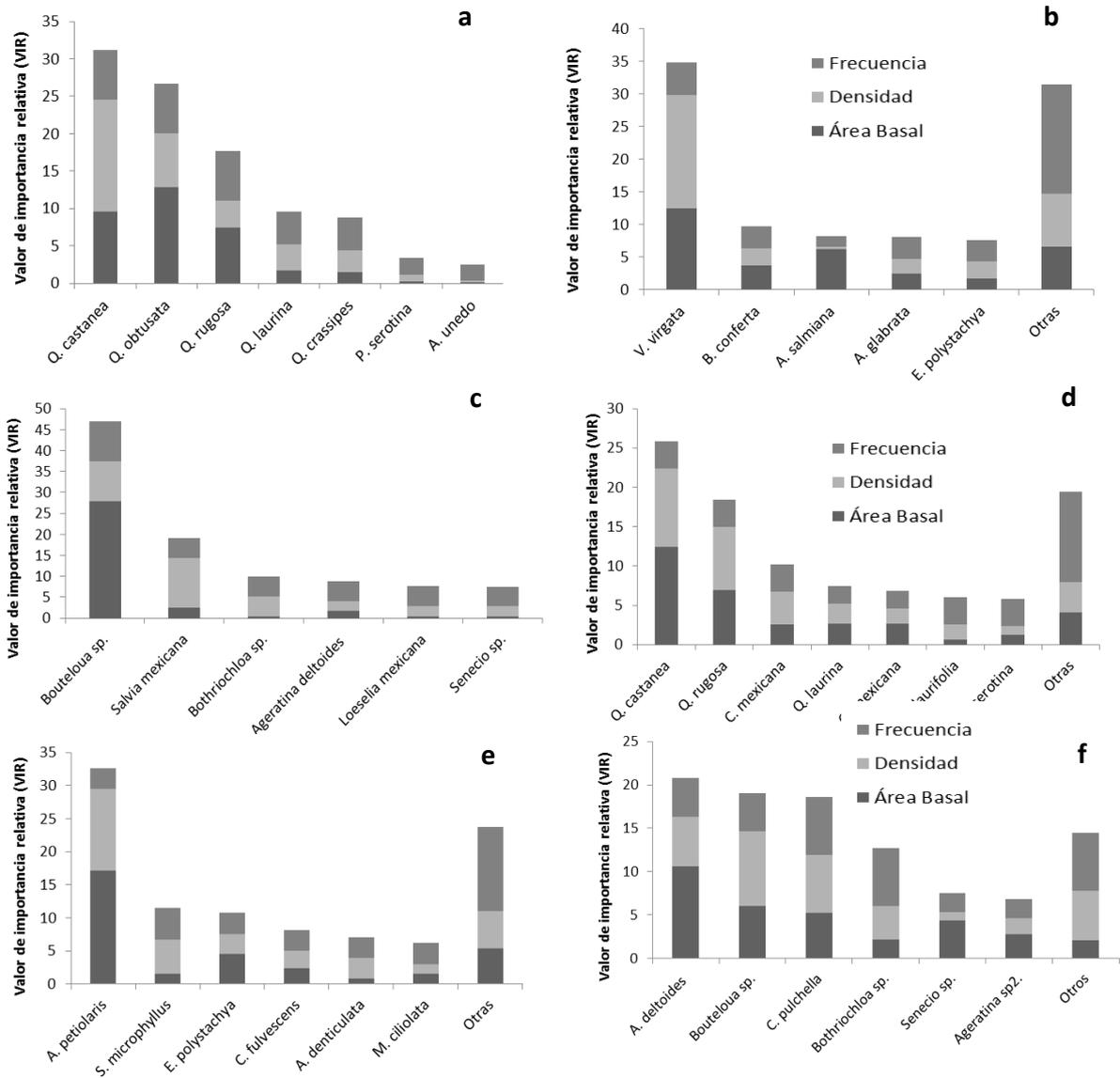


Figura 11. Valores de importancia relativa en ambos sitios de muestreo; a, b y c corresponden a los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo del sitio 1; d, e y f corresponden a los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo del sitio 2.

Cuadro 3. Valores de importancias relativas de las especies en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo para ambos sitios de muestreo del bosque de encinos. AB= área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), C= cobertura ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), D= densidad (ind ha^{-1}), F= frecuencia (número de cuadros en los que aparece la especie) y VIR= valor de importancia relativa.

Estrato arbóreo, sitio 1				
Especie	AB	D	F	VIR
<i>Quercus castanea</i>	45.12	315	1	31.2
<i>Quercus obtusata</i>	60.56	152	1	26.7
<i>Quercus rugosa</i>	35.47	74	1	17.7
<i>Quercus laurina</i>	7.80	74	0.66	9.6
<i>Quercus crassipes</i>	6.75	62	0.66	8.8
<i>Prunus serotina</i> ssp. <i>Capuli</i>	1.40	18	0.33	3.4
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.58	4	0.33	2.5
Total	157.68	700	4.98	100

Estrato arbustivo, sitio 1				
<i>Verbesina virgata</i>	67.27	1567	1	34.9
<i>Baccharis conferta</i>	20.37	233	0.66	9.7
<i>Agave salmiana</i>	33.42	33	0.33	8.2
<i>Ageratina glabrata</i>	13.72	200	0.66	8.1
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	9.32	233	0.66	7.6
<i>Dalea foliolosa</i>	13.75	267	0.33	7.2
<i>Bouvardia ternifolia</i>	1.80	133	0.66	5.1
<i>Ageratina petiolaris</i>	6.15	100	0.33	3.9
<i>Dahlia coccinea</i>	4.99	67	0.33	3.3
<i>Dodonaea viscosa</i>	6.90	33	0.33	3.3
<i>Cestrum fulvescens</i>	1.06	33	0.33	2.2
<i>Amelanchier denticulata</i>	0.42	33	0.33	2.1
<i>Monnina ciliolata</i>	0.38	33	0.33	2.1
<i>Baccharis thesioides</i>	0.32	33	0.33	2.1
Total	179.88	3000	6.61	100

Estrato herbáceo, sitio 1				
Especie	C	D	F	VIR
<i>Ageratina deltooides</i>	9805.56	800	0.66	20.8
<i>Bouteloua</i> sp.	5580.85	1200	0.66	19.0
<i>Chromolaena pulchella</i>	4856.67	933	1.00	18.6
<i>Bothriochloa</i> sp.	2032.33	533	1.00	12.7
<i>Senecio</i> sp.	4033.33	133	0.33	7.5
<i>Ageratina</i> sp. 2	2547.33	267	0.33	6.9

Resultados

<i>Loeselia mexicana</i>	1526.83	267	0.33	5.8
<i>Ageratina</i> sp. 1	414.56	400	0.33	5.5
<i>Salvia mexicana</i>	1.70	133	0.33	3.2
Total	30799.16	4666	4.97	100

Estrato arbóreo, sitio 2				
Especie	AB	D	F	VIR
<i>Quercus castanea</i>	44.80	133	1	25.8
<i>Quercus rugosa</i>	25.08	107	1	18.4
<i>Crataegus mexicana</i>	9.39	55	1	10.2
<i>Quercus laurina</i>	9.77	33	0.66	7.5
<i>Quercus mexicana</i>	9.59	26	0.66	6.9
<i>Garrya laurifolia</i>	2.17	26	1	6.0
<i>Prunus serotina</i> ssp. <i>Capuli</i>	4.61	15	1	5.8
<i>Quercus crassipes</i>	7.30	15	0.66	5.4
<i>Quercus obtusata</i>	3.05	15	1	5.4
<i>Buddleia cordata</i>	1.95	11	0.66	3.7
<i>Fraxinus uhdei</i>	1.54	4	0.33	1.8
<i>Eucalyptus</i> sp.	0.47	4	0.33	1.5
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.39	4	0.33	1.5
Total	120.12	448	9.63	100

Estrato arbustivo, sitio 2				
<i>Ageratina petiolaris</i>	61.68	800	0.66	32.6
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	5.63	333	1	11.5
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	16.18	200	0.66	10.7
<i>Cestrum fulvescens</i>	8.65	167	0.66	8.1
<i>Amelanchier denticulata</i>	2.99	200	0.66	7.1
<i>Monnina ciliolata</i>	5.36	100	0.66	6.2
<i>Archibaccharis hirtella</i>	2.86	100	0.66	5.5
<i>Rubus ulmifolius</i>	2.97	67	0.33	3.4
<i>Verbesina virgata</i>	4.02	33	0.33	3.2
<i>Baccharis conferta</i>	2.12	67	0.33	3.2
<i>Cestrum thyrsoideum</i>	3.93	33	0.33	3.2
<i>Dodonea viscosa</i>	2.12	33	0.33	2.7
<i>Cestrum roseum</i>	1.49	33	0.33	2.5
Total	120	2166	6.94	100

Estrato herbáceo, sitio 2				
Especie	C	D	F	VIR
<i>Bouteloua</i> sp.	1608.22	533	0.66	46.9
<i>Salvia mexicana</i>	143.64	667	0.33	19.2
<i>Bothriochloa</i> sp.	21.83	267	0.33	9.9

Resultados

<i>Ageratina deltooides</i>	99.76	133	0.33	8.9
<i>Loeselia mexicana</i>	27	133	0.33	7.6
<i>Senecio</i> sp.	24.08	133	0.33	7.6
Total	1924.53	1866	2.31	100

En el sitio 1 se distinguió una asociación *Q. castanea*-*Q. obtusata*. En el sitio se distinguió la asociación *Q. castanea*-*Q. rugosa*.

Se registraron 279 individuos leñosos en el sitio 1, mientras que en el sitio 2 fueron 190. La riqueza de especies leñosas para el sitio 1 es de 21 especies, mientras que para el sitio 2 es de 28, la riqueza total de especies leñosas considerando ambos sitios es de 34. El índice de dominancia de Simpson muestra que en el sitio 1 es de 0.16, mientras que en el sitio 2 el valor del índice es de 0.09. El índice de Jaccard presenta un valor 0.23.

La estructura diamétrica de las especies de mayor valor de importancia del estrato arbóreo en el sitio 1 (Figura 12a) muestra que la distribución de los organismos de *Q. castanea* se agrupa, en su mayoría (74.1%) en clases diamétricas inferiores (≤ 15 cm), mientras que *Q. obtusata* cuenta con una distribución homogénea entre sus clases diamétricas (Figura 12b), sobresaliendo un conjunto de individuos (39%) en clases diamétricas ≥ 40 cm. Por otro lado, los individuos de *Q. rugosa* cuentan con una distribución homogénea a lo largo de sus clases diamétricas (Figura 12c). En el sitio 2 *Q. castanea* presenta una distribución homogénea a lo largo de las clases diamétricas (Figura 12d), *Q. rugosa* se agrupa la mayoría (65.5%) en clases diamétricas ≤ 20 cm (Figura 12e); la mayoría de los individuos de *Crataegus mexicana*, de la cual (73.3%) se distribuyen en clases diamétricas ≤ 10 cm (Figura 12f).

Resultados

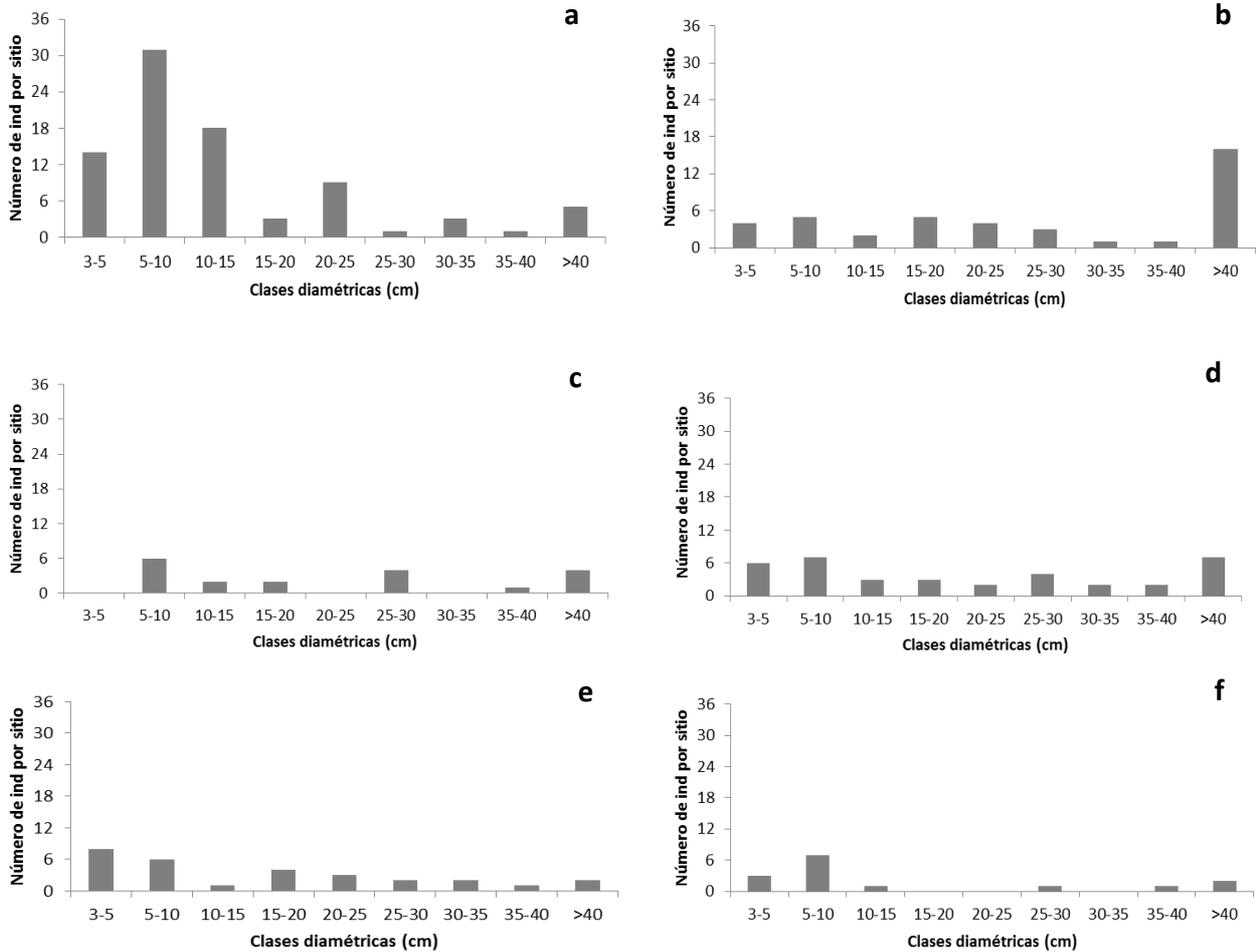


Figura 12. Clases diamétricas de los especies arbóreas con mayor importancia relativa en ambos sitios de estudio. En el sitio 1, a) *Q. castanea*; b) *Q. obtusata*; y c) *Q. rugosa*. En el sitio 2, d) *Q. castanea*; e) *Q. rugosa*; y f) *Crataegus mexicana*.

Las coordenadas espaciales registradas mediante la medición de la vegetación proporcionan un análisis de la distribución espacial de la vegetación de los bosques de encino de la Barranca de Tarango. Por ejemplo en los CPO del estrato arbóreo del sitio 1 se distingue la abundancia de *Q. castanea* cuyos individuos presentan una separación que va de 30 cm hasta 10 m, mientras que los individuos de *Q. obtusata* se separan desde 30 cm hasta 15 m (Cuadro 4; Apéndice 3); en el sitio 2 los individuos de *Q. castanea* se separan entre sí desde 1 hasta 20 m, mientras que los individuos de *Q. rugosa* se separan de 10 a 15 m entre

Resultados

individuos (Cuadro 5; Apéndice 3). La distancia entre especies de todas aquellas que presentaron mayores valores de importancia relativa del estrato arbóreo del sitio 1 se resumen en el Cuadro 4, mientras que de las especies del sitio 2 se presentan en el Cuadro 5.

En el estrato arbustivo del sitio 1 *Verbesina virgata* se establece a distancias que van de 30 cm a 3 m entre sus individuos (Cuadro 6; Apéndice 3). Por su parte, en el sitio 2 los individuos de *Ageratina petiolaris* se distribuyen a distancias que van de 1 a 6 m (Cuadro 7; Apéndice 3). La distribución espacial de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbustivo del sitio 1 se resume en el Cuadro 6, mientras que de las especies del sitio 2 se presenta en el Cuadro 7.

Cuadro 4. Distancia mínima entre los individuos de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbóreo en el sitio 1.

Especie	Qc	Qo	Qr	Ql	Qs	Ps	Ax
distancia en metros							
<i>Quercus castanea</i> (Qc)	<1	*	*	*	*	*	*
<i>Q. obtusata</i> (Qo)	<1	<1	*	*	*	*	*
<i>Q. rugosa</i> (Qr)	<1	<1	1	*	*	*	*
<i>Q. laurina</i> (Ql)	1	<1	<1	<1	*	*	*
<i>Q. crassipes</i> (Qs)	1	<1	<1	1	<1	*	*
<i>Prunus serotina</i> (Ps)	<1	1	4	<1	3	3	*
<i>Arbutus xalapensis</i> (Ax)	12	5	1	1	1	-	-

Cuadro 5. Distancia mínima entre los individuos de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbóreo en el sitio 2.

Especie	Qc	Qo	Qr	Ql	Qs	Ps	Ax	Bc	Cm	Gl	Fu	Qm
distancia en metros												
<i>Quercus castanea</i> (Qc)	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Q. obtusata</i> (Qo)	3	10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Q. rugosa</i> (Qr)	<1	2	<1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Q. laurina</i> (Ql)	<1	5	1	2	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Q. crassipes</i> (Qs)	<1	6	2	<1	20	*	*	*	*	*	*	*
<i>Prunus serotina</i> (Ps)	<1	10	2	2	8	20	*	*	*	*	*	*
<i>Arbutus xalapensis</i> (Ax)	6	5	3	3	20	25	-	*	*	*	*	*
<i>Buddleia cordata</i> (Bc)	<1	15	6	2	5	18	-	-	*	*	*	*
<i>Crataegus mexicana</i> (Cm)	<1	2	2	<1	7	<1	16	1	3	*	*	*
<i>Garrya laurifolia</i> (Gl)	2	3	2	2	6	15	27	<1	5	1	*	*

Resultados

<i>Fraxinus uhdei</i> (Fu)	5	15	3	7	25	6	10	-	20	25	-	*
<i>Q. mexicana</i> (Qm)	7	20	3	1	2	8	9	-	15	5	1	8

Cuadro 6. Distancia mínima entre los individuos de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbustivo en el sitio 1.

Especie	Vv	Bc	As	Ag	Ep	Df	Bt	Ap	Dc	Dv	Cf	Ad
	distancia en metros											
<i>Verbesina virgata</i> (Vv)	<1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Baccharis conferta</i> (Bc)	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Agave salmiana</i> (As)	4	<1	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Ageratina glabrata</i> (Ag)	<1	1	4.5	1	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ep)	<1	1	9	4.5	-	*	*	*	*	*	*	*
<i>Dalea foliolosa</i> (Df)	1	-	-	6	-	<1	*	*	*	*	*	*
<i>Bouvardia terniflora</i> (Bt)	1	10	-	2	2	<1	5	*	*	*	*	*
<i>Ageratina petiolaris</i> (Ap)	1	2.5	-	4	3.5	-	2	4	*	*	*	*
<i>Dahlia coccinea</i> (Dc)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*
<i>Dodonaea viscosa</i> (Dv)	1	2.5	6	4	5	-	-	-	-	-	*	*
<i>Cestrum fulvescens</i> (Cf)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
<i>Amelanchier denticulata</i> (Ad)	<1	8.5	-	-	7.5	-	7	8	-	-	-	-

Cuadro 7. Distancia mínima entre los individuos de las especies de mayor valor de importancia relativa del estrato arbustivo en el sitio 2.

Especie	Ap	Sm	Ep	Cf	Ad	Mc	Ah	Ru	Vv	Bc	Ct	Dv	Cr
	distancia en metros												
<i>Ageratina petiolaris</i> (Ap)	<1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> (Sm)	1	<1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ep)	1	1	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cestrum fulvescens</i> (Cf)	2	5	4	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Amelanchier denticulata</i> (Ad)	3	1.5	4	<1	3	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Monnina ciliolata</i> (Mc)	6	<1	6	1	<1	5	*	*	*	*	*	*	*
<i>Archibaccharis hirtella</i> (Ah)	<1	5	7	3.5	1.5	4.5	1.5	*	*	*	*	*	*
<i>Rubus ulmifolius</i> (Ru)	-	6	4	6	-	-	<1	1	*	*	*	*	*
<i>Verbesina virgata</i> (Vv)	1.5	1	-	-	2	1.5	-	-	-	*	*	*	*
<i>Baccharis conferta</i> (Bc)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*
<i>Cestrum thyrsoideum</i> (Ct)	1	7.5	5	1	1	6	3	-	-	-	-	*	*
<i>Dodonaea viscosa</i> (Dv)	2	5.5	7	-	4	-	-	4.5	6	-	-	-	*
<i>Cestrum roseum</i> (Cr)	<1	8	8	2	2	6	2.5	-	-	-	3	-	-

Finalmente, analizando los resultados encontrados sobre la vegetación respecto a estructura, composición y valores de importancia relativa se elaboró una lista de especies útiles para la restauración de la Barranca de Tarango (Apéndice 4).

Caracterización del suelo del ecosistema de referencia

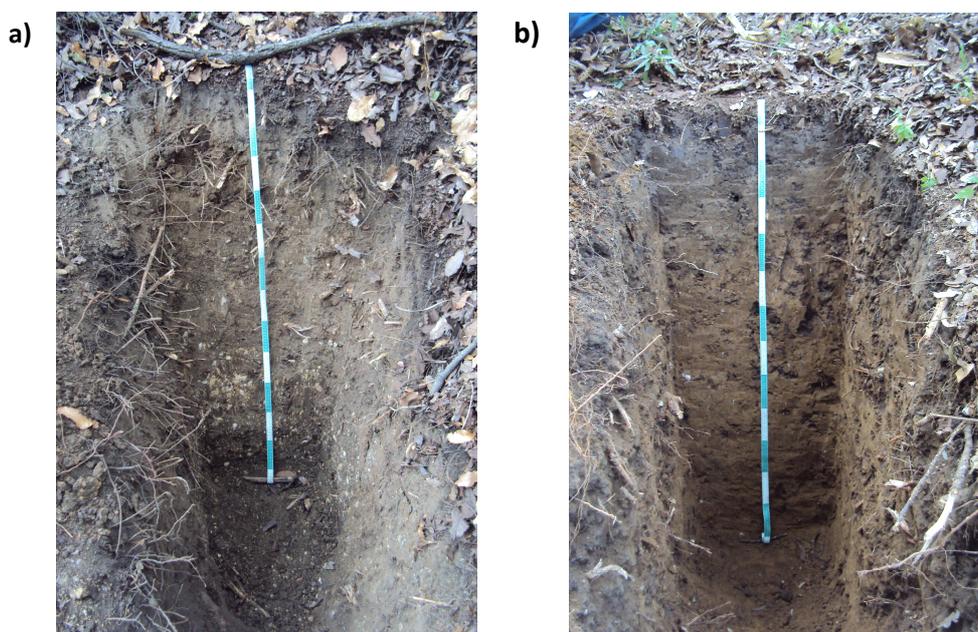
Descripción de los perfiles. El suelo del sitio 1 se desarrolla *in situ* a partir de cenizas volcánicas. El perfil es profundo, bien drenado, de color negro de 0-20 cm y pardo oscuro hasta 90 cm de profundidad, con una textura que va de franco arenosa (0-20 cm) a franca-arcillo arenosa (20-90 cm) y franca (90-130 cm), con nula pedregosidad en la mayoría de los horizontes. Se presenta un suelo estructurado con bloques de tipo subangular, con un grado moderado de desarrollo y una estabilidad de mediana a alta. El pH es ligeramente ácido (5.8-6.5). La distribución de raíces va de muy alta densidad en horizontes superficiales (0-20 cm), alta (20-53), pasando por mediana (53-90 cm) y baja (90-132) densidad (Cuadro 8; Figura 13a).

Por otra parte el suelo del sitio 2 se desarrolla *in situ* a partir de cenizas volcánicas. El perfil es profundo, bien drenado, de color negro de 0-34 cm y pardo grisáceo muy oscuro de 34-40 cm y pardo amarillento oscuro de 40 a 130 cm de profundidad, con una textura franca en todo el perfil (0-130 cm) exceptuando la textura franca-arcillo arenosa presente entre 34 y 40 cm, con nula pedregosidad en la mayoría de los horizontes. Se presenta un suelo estructurado con bloques de tipo subangular con un grado de desarrollo de débil a moderado y una estabilidad de mediana a alta. El pH es ligeramente ácido (5.9-6.6). La distribución de raíces va de alta densidad en horizontes superficiales (0-40 cm), hasta baja (40-130 cm) densidad (Cuadro 9; Figura 13b).

En ambos sitios el suelo se ha formado a partir de tefras volcánicas, principalmente cenizas volcánicas. Los principales procesos pedogenéticos que se han dado en el sitio son la acumulación de materia orgánica y la formación de estructura. La acumulación de materia orgánica se resalta por la coloración oscura que presentan los horizontes superficiales, esta condición aunada a la formación de estructura son indicadores de la existencia de un *horizonte mólico*. La clasificación de campo del suelo se basó en la diferenciación

Cuadro 9. Descripción de los horizontes del perfil de suelo del sitio 2.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-34	Textura franca, el color en seco es pardo grisáceo muy oscuro y en húmedo es negro, ligeramente ácido (pH 6.5 en agua), contenido alto de materia orgánica (14.5%), estructura subangular en bloques moderadamente desarrollados, pedregosidad nula, muchos poros de tipo vesicular, tubulares intersticiales muy finos, densidad alta de raíces, límite gradual y uniforme.
AC	34-40	Textura franco-arcillo arenosa, el color en seco es pardo amarillento y en húmedo es pardo grisáceo muy oscuro, ligeramente ácido (pH 5.9 en agua), contenido medio de materia orgánica (3.9%), estructura subangular en bloques moderadamente desarrollados, pedregosidad nula, muchos poros muy finos de tipo vesicular e intersticial, densidad alta de raíces, límite gradual y uniforme.
C1	40-90	Textura franca, el color en seco es amarillo pardoso y en húmedo es pardo amarillento oscuro, ligeramente ácido (pH 6.3 en agua), contenido medio de materia orgánica (3.3%), estructura angular en bloques fuertemente desarrollados, pedregosidad nula, muchos poros finos de tipo vesicular e intersticial, densidad baja de raíces, límite gradual y uniforme.
C2	90-130	Textura franca, el color en seco es amarillo pardoso y en húmedo es pardo amarillento oscuro, ligeramente ácido (pH 6.6 en agua), contenido medio de materia orgánica (2.1%), estructura angular en bloques fuertemente desarrollados, pedregosidad nula, muchos poros finos de tipo vesicular e intersticial, densidad baja de raíces.

**Figura 13.** Perfiles de suelo realizados en el bosque de referencia. A) sitio 1 y B) sitio 2.

Propiedades físicas. En el suelo del sitio 1 (Cuadro 10) la humedad va de seca (20-40%) a fresca (60%), las muestras simples reportan que la humedad superficial se encuentra entre 40 y 60%. Su color en seco va de pardo muy oscuro (10YR 2/2) a pardo amarillento (10YR 5/4), mientras que en húmedo el color del suelo es negro (10YR 2/1) y alcanza colores pardo grisáceo oscuro en los horizontes más profundos; las muestras simples indican que el color en la parte superficial del perfil es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y en húmedo es de negro (10YR 2/1) a gris muy oscuro (10YR 3/1). Los valores de densidad aparente para el sitio van de niveles bajos ($0.7-0.9 \text{ g cm}^{-3}$) a medios ($1-1.2 \text{ g cm}^{-3}$), mientras que la densidad real se encuentra entre muy baja ($2.15-2.25 \text{ g cm}^{-3}$) y baja ($2.26-2.36 \text{ g cm}^{-3}$) a lo largo del perfil. Las muestras simples señalan que tanto la densidad aparente como la densidad real en la porción superficial es muy baja en la mayoría de los casos, con estos datos se pueden inferir que el balance hídrico y los nutrientes del suelo están facilitando el desarrollo de la vegetación. La porosidad del suelo va de alta (40-55%) a mediana (55-70%). Las muestras simples indican una alta porosidad en la porción superior del perfil. La distribución de partículas de arena, limo y arcillas ubican al suelo como franco arenoso en los horizontes superficiales hasta alcanzar una clase textural franca en el horizonte más profundo, pasando por horizontes franco-arcillo arenosos con porciones más elevadas de partículas de arcilla (Cuadro 11).

El suelo del sitio 2 (Cuadro 12) tiene una humedad entre 40 y 60% en todo el perfil, al igual que las muestras simples reportan la misma condición para la humedad. El color en seco va de pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en el horizonte más superficial hasta pardo amarillento (10YR 5/4) en el horizonte más profundo, el color en húmedo es de negro (10YR 2/1) hasta pardo amarillento oscuro (10YR 4/4). La densidad aparente va de niveles bajos ($0.7-0.9 \text{ g cm}^{-3}$) a medios ($1-1.2 \text{ g cm}^{-3}$) encontrándose mayoritariamente como medios, por su parte la densidad real se encuentra mayormente en muy baja ($2.15-2.25 \text{ g cm}^{-3}$) alcanzando elevada densidad (2.6 g cm^{-3}) en un horizonte (AC, 34-40 cm). Las muestras simples señalan que tanto la densidad aparente como la densidad real en la porción superficial es muy baja en la mayoría de los casos. La porosidad del suelo en el sitio va de alta (40-55%) a medianamente poroso (55-70%). Las muestras simples indican la alta porosidad presente en la porción superior del suelo. La textura del suelo muestra que la distribución de

Resultados

partículas de arena, limo y arcillas ubican al suelo con clase textural franca en la mayor parte del perfil; las muestras simples reportan que la porción superficial del suelo (0-30 cm) presenta una clase textural mayormente franca (Cuadro 13).

Propiedades químicas. El suelo del sitio 1 (Cuadro 14) tiene un pH del suelo es ligeramente ácido (5.6-6.5). La materia orgánica presente en el sitio en el horizonte superficial es rica (13.92%), lo mismo que las muestras simples. Sin embargo, la materia orgánica disminuye drásticamente en horizontes subyacentes del perfil de suelo. El porcentaje de carbono orgánico (CO) presenta la misma condición que la materia orgánica, elevado en el horizonte más superficial, mostrando una disminución en los horizontes subyacentes, de la misma forma el nitrógeno total guarda la misma relación que las anteriores. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es alta para los horizontes subyacentes mientras que para el horizonte superficial se cataloga como muy alta (>40). Esta información es respaldada por las muestras simples en la porción superficial del suelo; el porcentaje de saturación de bases (PSB) es alto en todo el perfil (Cuadro 15).

En el suelo del sitio 2 (Cuadro 16), al igual que en el sitio 1, el pH del suelo es ligeramente ácido (5.8-6.6). El porcentaje del contenido de materia orgánica (MO) presente en el horizonte superficial es alto (14.5%), lo que confirma con los resultados obtenidos en las muestras simples (9.86-15%). El contenido de MO va disminuyendo en horizontes subyacentes del perfil de suelo. Por su parte, el porcentaje de carbono orgánico (CO) al igual que la MO es elevado en el horizonte más superficial mostrando una disminución en los horizontes subyacentes. De la misma forma, el nitrógeno total guarda la misma relación que las anteriores. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es alta para los horizontes subyacentes mientras que para el horizonte superficial se cataloga como muy alta (>40), lo que es respaldado por las muestras simples en la porción superficial del suelo; el porcentaje de saturación de bases (PSB) es alto en todo el perfil (Cuadro 17).

Cuadro 10. Propiedades físicas del suelo en el sitio 1.

Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad (%)	Color		Densidad (g/cm ³)		Porosidad (%)	Partículas (%)			Clase Textural
			seco	húmedo	aparente	real		arenas	limos	arcillas	
A	0-20	seca (20-40)	10YR 2/2 - Pardo muy oscuro	10YR 2/1 - Negro	0.71	2.18	67.22	58.20	32.90	8.90	Franco arenosa
AC	20-53	fresca (40-60)	10YR 5/3 - Pardo	10YR 3/3 - Pardo oscuro	1.09	2.33	53.30	52.20	20.90	26.90	Franco-arcillo arenosa
C1	53-90	fresca (40-60)	10YR 5/4 - Pardo amarillento	10YR 3/3 - Pardo oscuro	1.11	2.29	51.56	44.20	22.90	32.90	Franco-arcillo arenosa
C2	90-132	fresca (40-60)	10YR 5/4 - Pardo amarillento	10YR 4/2 - Pardo grisáceo oscuro	1	2.08	51.90	48.20	38.90	12.90	Franca

Cuadro 11. Propiedades físicas de las muestras simples de suelo en el sitio 1. La letra M hace referencia al número de submuestras 1-5.

Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad (%)	Color		Densidad (g/cm ³)		Porosidad (%)	Partículas (%)			Clase Textural
			seco	húmedo	aparente	real		arenas	limos	arcillas	
M1	0-30	fresca (40-60)	10YR 4/2 - Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/1 - Gris muy oscuro	0.96	2.41	60.25	52.2	32.9	14.9	Franco arenosa
M2	0-30	fresca (40-60)	10YR 3/2 - Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 2/1 - Negro	0.79	2.22	64.45	50.2	34.9	14.9	Franca
M3	0-30	fresca (40-60)	10YR 4/2 - Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/1 - Gris muy oscuro	0.83	2.10	60.56	54.2	34.9	10.9	Franco arenosa
M4	0-30	fresca (40-60)	10YR 4/2 - Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/1 - Gris muy oscuro	1.03	2.22	53.79	54.2	32.9	12.9	Franco arenosa
M5	0-30	fresca (40-60)	10YR 4/2 - Pardo grisáceo oscuro	10YR 2/2 - Pardo muy oscuro	0.94	2.19	57.04	58.2	22.9	18.9	Franco arenosa

Cuadro 12. Propiedades físicas del suelo en el sitio 2.

Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad (%)	Color		Densidad (g/cm ³)		Porosidad (%)	Partículas (%)			Clase Textural
			seco	húmedo	aparente	real		arenas	limos	arcillas	
A	0-34	fresca (40-60)	10YR 3/2 - Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 2/1 - Negro	0.86	2.20	61.14	48.2	40.9	10.9	Franca
AC	34-40	fresca (40-60)	10YR 5/4 - Pardo amarillento	10YR 3/2 - Pardo grisáceo muy oscuro	1.15	2.60	55.62	46.2	24.9	28.9	Franco-arcillo arenosa
C1	40-90	fresca (40-60)	10YR 6/6 - Amarillo pardoso	10YR 4/4 - Pardo amarillento oscuro	1.16	2.22	47.66	44.2	32.9	22.9	Franca
C2	90-130	fresca (40-60)	10YR 6/6 - Amarillo pardoso	10YR 4/4 - Pardo amarillento oscuro	1.09	2.21	50.96	46.2	34.9	18.9	Franca

Cuadro 13. Propiedades físicas de las muestras simples de suelo en el sitio 2. La letra M hace referencia al número de submuestras 1-5.

Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad (%)	Color		Densidad (g/cm ³)		Porosidad (%)	Partículas (%)			Clase Textural
			seco	húmedo	aparente	real		arenas	limos	arcillas	
M1	0-30	fresca (40-60)	10YR 4/2 - Pardo grisáceo oscuro	10YR 2/1 - Negro	0.99	2.05	51.69	46.2	30.9	22.9	Franca
M2	0-30	fresca (40-60)	10YR 3/2 - Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 2/1 - Negro	0.68	3.36	79.77	52.2	36.9	10.9	Franca
M3	0-30	fresca (40-60)	10YR 4/2 - Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/1 - Gris muy oscuro	0.92	2.02	54.75	38.2	36.9	24.9	Franca
M4	0-30	fresca (40-60)	10YR 3/2 - Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 2/1 - Negro	1.01	2.16	53.34	54.2	28.9	16.9	Franco arenosa
M5	0-30	fresca (40-60)	10YR 3/3 - Pardo oscuro	10YR 2/2 - Pardo muy oscuro	0.92	2.27	59.70	52.2	34.9	12.9	Franco arenosa

Cuadro 14. Propiedades químicas del suelo en el sitio 1.

Horizonte	Profundidad (cm)	pH 1:2.5		Materia orgánica (%)	Carbono orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C:N	CIC cmol _c /kg	Iones intercambiables				PSB (%)
		H ₂ O	NaF						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-20	6.3	8.7	13.92	8.00	0.70	11.5:1	69.64	32.62	35.38	1.30	1.03	100
AC	20-53	5.8	8.8	3.33	1.92	0.17	11.5:1	31.79	11.35	10.65	0.87	0.64	74
C1	53-90	6.3	9.1	2.90	1.67	0.14	11.5:1	29.82	11.35	19.65	1.09	0.51	100
C2	90-132	6.5	9.0	2.75	1.58	0.14	11.5:1	35.71	11.35	29.65	0.65	0.38	100

C:N. Relación Carbono-Nitrógeno, **CIC:** Capacidad de intercambio catiónico, **Meq:** Miliequivalentes, **PSB:** Porcentaje de saturación de

Cuadro 15. Propiedades químicas de las muestras simples de suelo en el sitio 1. La letra M hace referencia al número de submuestras 1-5.

Horizonte	Profundidad (cm)	pH 1:2.5		Materia orgánica (%)	Carbono orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C:N	CIC cmol _c /kg	Iones intercambiables				PSB (%)
		H ₂ O	NaF						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
M1	0-30	6.7	9.0	10.44	6.00	0.52	11.5:1	51.79	40.43	31.57	1.96	1.54	100
M2	0-30	6.2	8.4	12.47	7.16	0.62	11.5:1	58.39	41.84	35.16	1.74	1.28	100
M3	0-30	5.9	8.2	13.05	7.50	0.65	11.5:1	49.46	25.53	25.47	1.30	0.77	100
M4	0-30	6.3	8.5	7.97	4.58	0.40	11.5:1	41.25	25.53	19.47	1.96	1.15	100
M5	0-30	6.3	8.9	7.68	4.42	0.38	11.5:1	56.25	21.99	16.01	1.30	0.90	71.5

C:N. Relación Carbono-Nitrógeno, **CIC:** Capacidad de intercambio catiónico, **Meq:** Miliequivalentes, **PSB:** Porcentaje de saturación de bases, **c=** carga.

pedogenética de acumulación de materia orgánica y formación de estructura que reflejan la presencia de un horizonte mólico. El suelo clasificó como *Phaeozem Háptico Téfrico*.

Cuadro 8. Descripción de los horizontes del perfil de suelo del sitio 1.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-20	Textura franco arenosa, el color en seco es pardo muy oscuro y en húmedo es negro, ligeramente ácido (pH 6.3 en agua), contenido alto de materia orgánica (13.9%), estructura subangular en bloques débilmente desarrollados, pedregosidad nula, muchos poros de tipo vesicular, tubulares intersticiales finos, densidad extremadamente alta de raíces, límite claro y ondulado.
AC	20-53	Textura franco-arcillo arenosa, el color en seco es pardo y en húmedo es pardo oscuro, ligeramente ácido (pH 5.8 en agua), contenido medio de materia orgánica (3.3%), estructura subangular en bloques débilmente desarrollados, pedregosidad nula, muchos poros muy finos de tipo vesicular e intersticial, densidad alta de raíces, límite gradual y uniforme.
C1	53-90	Textura franco-arcillo arenosa, el color en seco es pardo amarillento y en húmedo es pardo oscuro, ligeramente ácido (pH 6.3 en agua), contenido medio de materia orgánica (2.9%), estructura subangular en bloques moderadamente desarrollados, pedregosidad nula, frecuentes poros finos de tipo vesicular y tubulares intersticiales, densidad media de raíces, límite abrupto y uniforme.
C2	90-132	Textura franca, el color en seco es pardo amarillento y en húmedo es pardo grisáceo oscuro, ligeramente ácido (pH 6.5 en agua), contenido medio de materia orgánica (2.7%), estructura subangular en bloques moderadamente desarrollados, pedregosidad nula, muchos poros finos de tipo vesicular y tubulares, densidad baja de raíces.

Cuadro 16. Propiedades químicas del suelo en el sitio 2.

Horizonte	Profundidad (cm)	pH 1:2.5		Materia orgánica (%)	Carbono orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C:N	CIC cmol _c /kg	Iones intercambiables				PSB (%)
		H ₂ O	NaF						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
A	0-34	6.5	8.5	14.50	8.33	0.72	11.5:1	71.79	41.84	29.16	1.30	0.51	100
AC	34-40	5.9	8.6	3.91	2.25	0.20	11.5:1	33.04	13.48	17.52	1.30	0.51	99
C1	40-90	6.3	9.1	3.33	1.92	0.17	11.5:1	30.36	14.89	20.11	1.74	1.15	100
C2	90-130	6.6	9.5	2.17	1.25	0.11	11.5:1	33.75	12.77	19.23	2.61	1.15	100

C:N. Relación Carbono-Nitrógeno, **CIC:** Capacidad de intercambio catiónico, **Meq:** Miliequivalentes, **PSB:** Porcentaje de saturación de

Cuadro 17. Propiedades químicas de las muestras simples de suelo en el sitio 2. La letra M hace referencia al número de submuestras 1-5.

Horizonte	Profundidad (cm)	pH 1:2.5		Materia orgánica (%)	Carbono orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	C:N	CIC cmol _c /kg	Iones intercambiables				PSB (%)
		H ₂ O	NaF						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
M1	0-30	6.4	8.9	10.00	5.75	0.50	11.5:1	59.82	39.72	33.28	1.74	1.67	100
M2	0-30	6.2	8.5	15.08	8.66	0.75	11.5:1	65.54	48.23	33.77	1.74	0.90	100
M3	0-30	6.5	8.8	9.28	5.33	0.46	11.5:1	52.68	32.62	33.38	1.30	1.03	100
M4	0-30	5.9	8.7	9.86	5.67	0.49	11.5:1	50.71	25.53	57.47	1.30	1.15	100
M5	0-30	5.3	8.8	11.16	6.41	0.56	11.5:1	38.21	16.31	12.69	1.09	0.77	80.7

C:N. Relación Carbono-Nitrógeno, **CIC:** Capacidad de intercambio catiónico, **Meq:** Miliequivalentes, **PSB:** Porcentaje de saturación de bases, **c=** carga.

Identificación de áreas prioritarias para la restauración ecológica

Mapas de altitud, orientación y pendientes. La altitud de la Barranca de Tarango está comprendida entre 2324 y 2581 m snm por lo que el gradiente altitudinal fue dividido en ocho clases altitudinales (Figura 14).

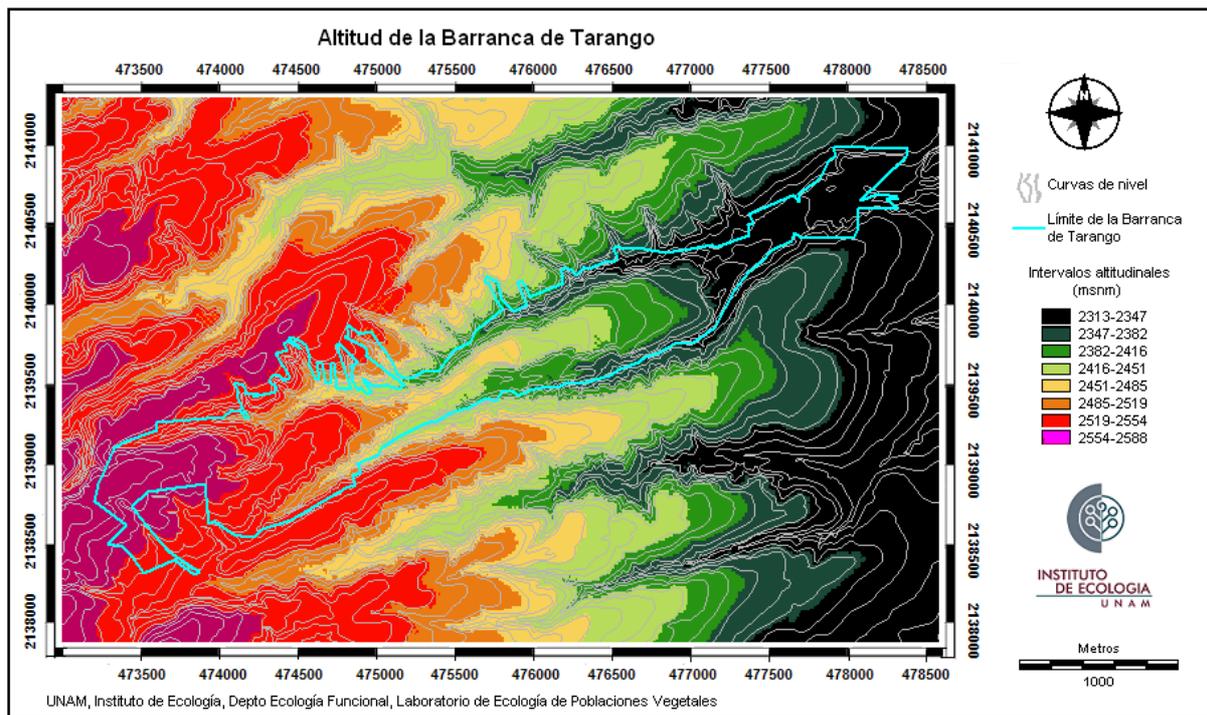


Figura 14. Mapa altimétrico de la Barranca de Tarango.

El mapa de orientaciones de las laderas muestra que existen mayor cantidad de laderas con orientación al sur respecto a las laderas con orientación al norte (Figura 15). La orientación de las laderas representa la dirección geográfica en la que se encuentra la pendiente.

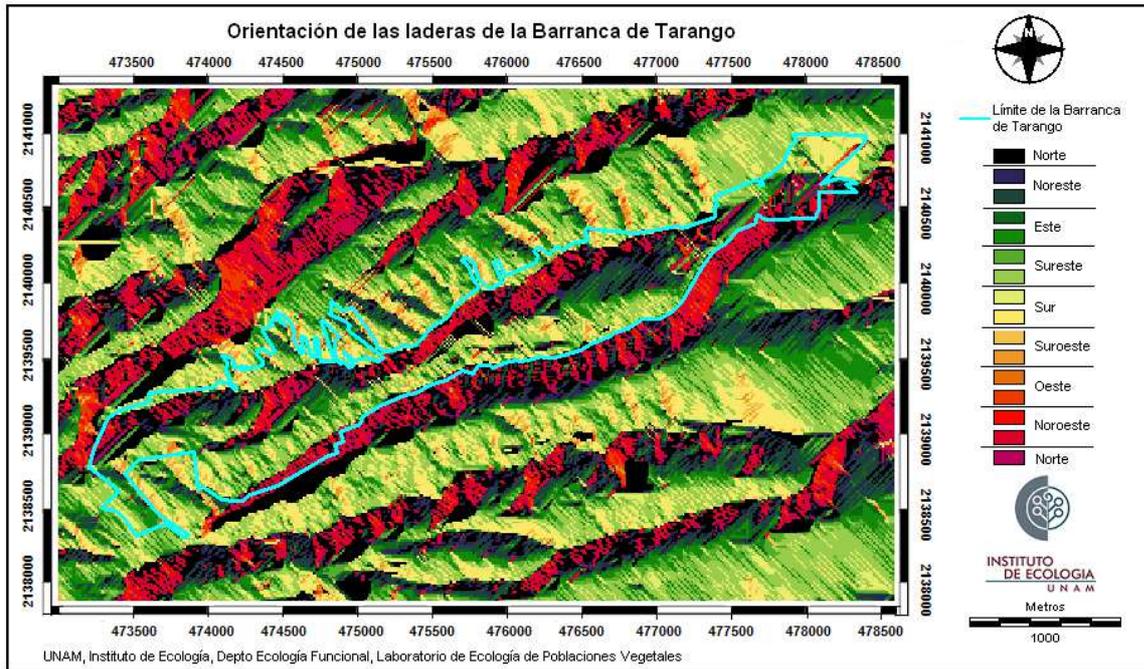


Figura 15. Mapa de la orientación de las laderas de la Barranca de Tarango.

Respecto a las pendientes, el mapa se organizó en ocho clases o intervalos que van de 0 a 87°. El mapa muestra en el sitio la presencia de relieves muy accidentado (>40°), donde aproximadamente el 50% superan pendientes de 32° (Figura 16).

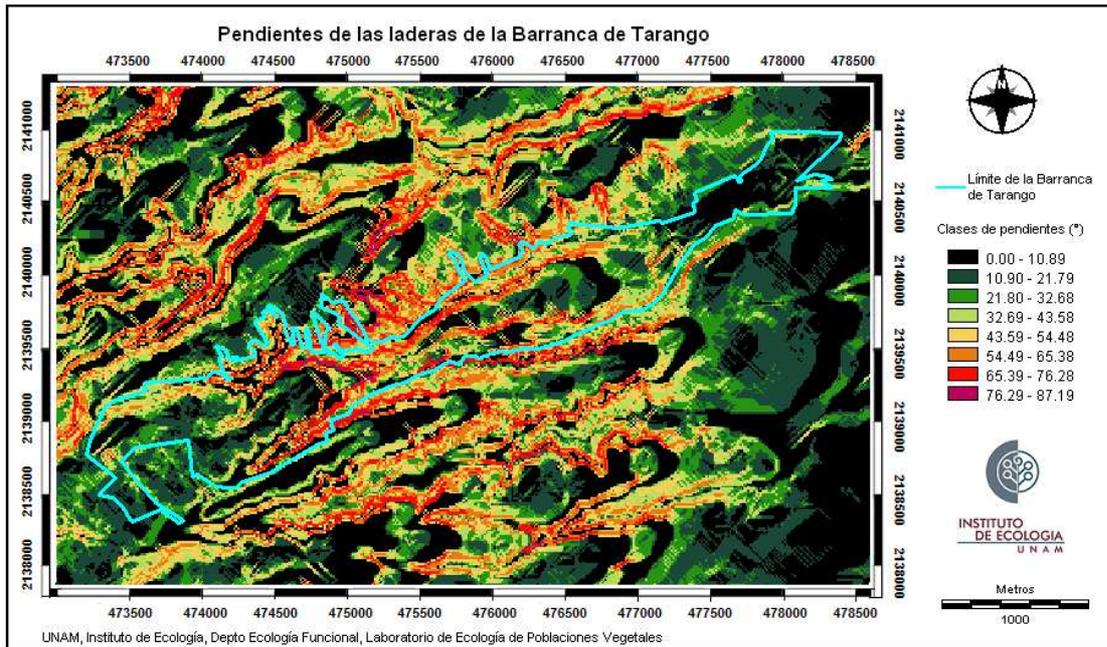


Figura 16. Mapa de pendientes de las laderas de la Barranca de Tarango.

Resultados

Caminos y veredas. El mapa de caminos y veredas (Figura 17) muestra las viabilidades por las que se tiene acceso y circulación en el sitio. Este criterio se considera importante durante la planeación de los sitios propuestos para restauración.

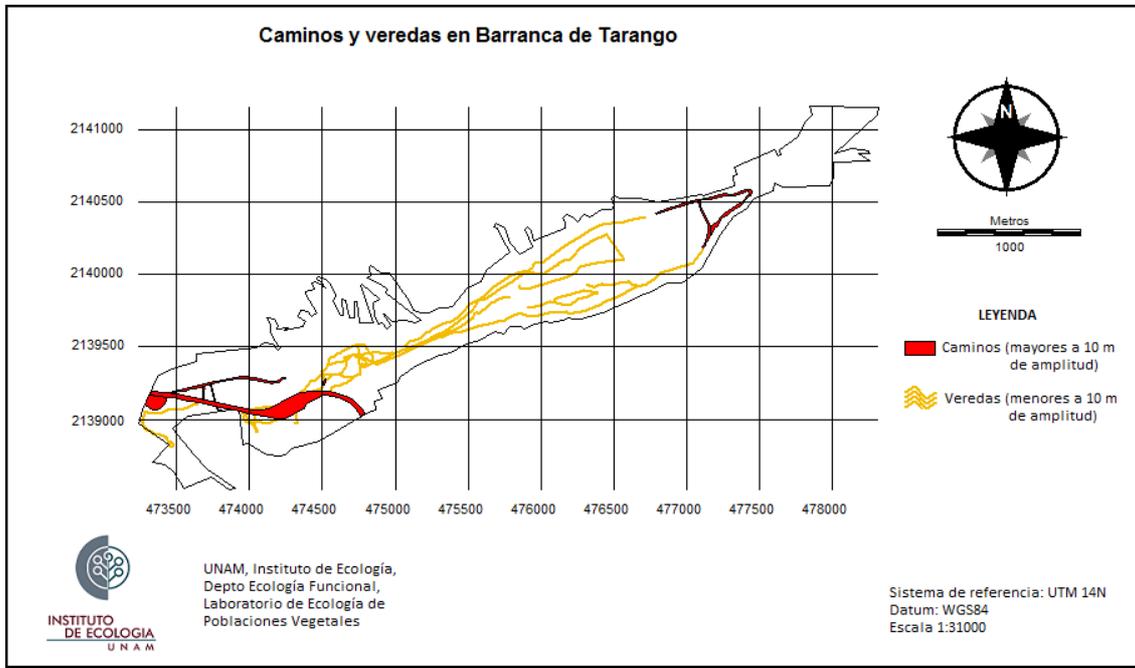


Figura 17. Mapa de caminos y veredas de la Barranca de Tarango.

Mapas de restricciones. Los mapas de restricciones hacen referencia a los sitios que tienen opción de ser elegidos para su restauración ecológica debido a que cumplen con los criterios mencionados inicialmente. Se generaron 12 mapas de restricciones, cada uno de ellos refleja una característica del sitio (Figura 18).

Resultados



Figura 18. Mapas de restricciones, las áreas en verde corresponden a los sitios que cumplen con los criterios para la restauración de la Barranca de Tarango.

Resultados

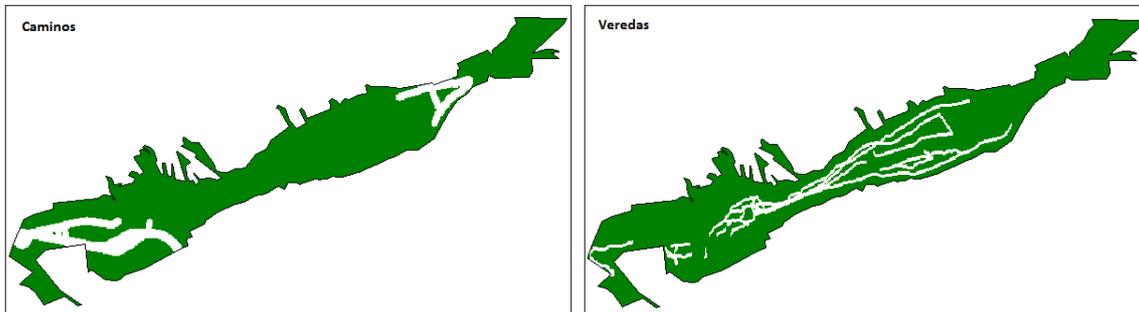


Figura 18. (Continúa).

Sitios prioritarios para la restauración. Se hicieron todas las posibles combinaciones entre los criterios de restauración (Figura 19) y se obtuvieron 24 unidades para la restauración de la Barranca de Tarango. De estas unidades, 12 muestran áreas de restauración. Las 12 unidades de restauración son: 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 13, 16, 19, 22 y 23 (Apéndice 5), las cuales se agruparon en cuatro conjuntos de restauración para organizar adecuadamente la propuesta de restauración. Las características de cada unidad se muestran en el Apéndice 6.

Resultados

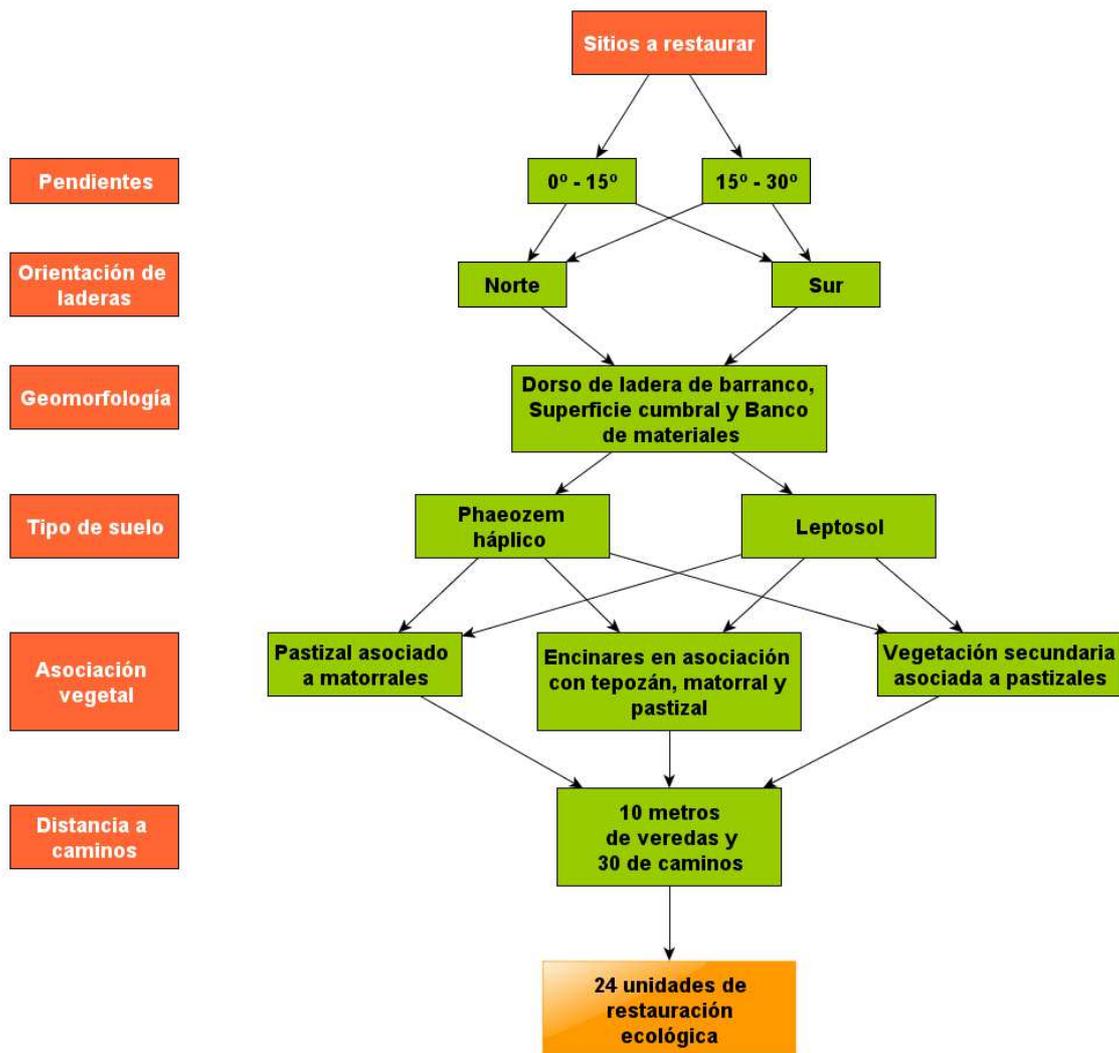


Figura 19. Criterios empleados para la selección de sitios para la restauración de la Barranca de Tarango. Los cuadros verdes representan los criterios elegidos para la restauración del sitio, para cada uno de ellos existe información geográfica que se superpone e indica los sitios a restaurar.

Con base en la conjunción de todos los criterios de restauración empleados en este trabajo, se tiene que aproximadamente 26 ha de la Barranca de Tarango son áreas propuestas a restauración ecológica, esta extensión equivale al 10% del sitio (Figura 20). El área mínima encontrada para la restauración en el sitio es de 100 m², mientras que el área de mayores dimensiones presenta parches de hasta 9 ha (90,000 m²).

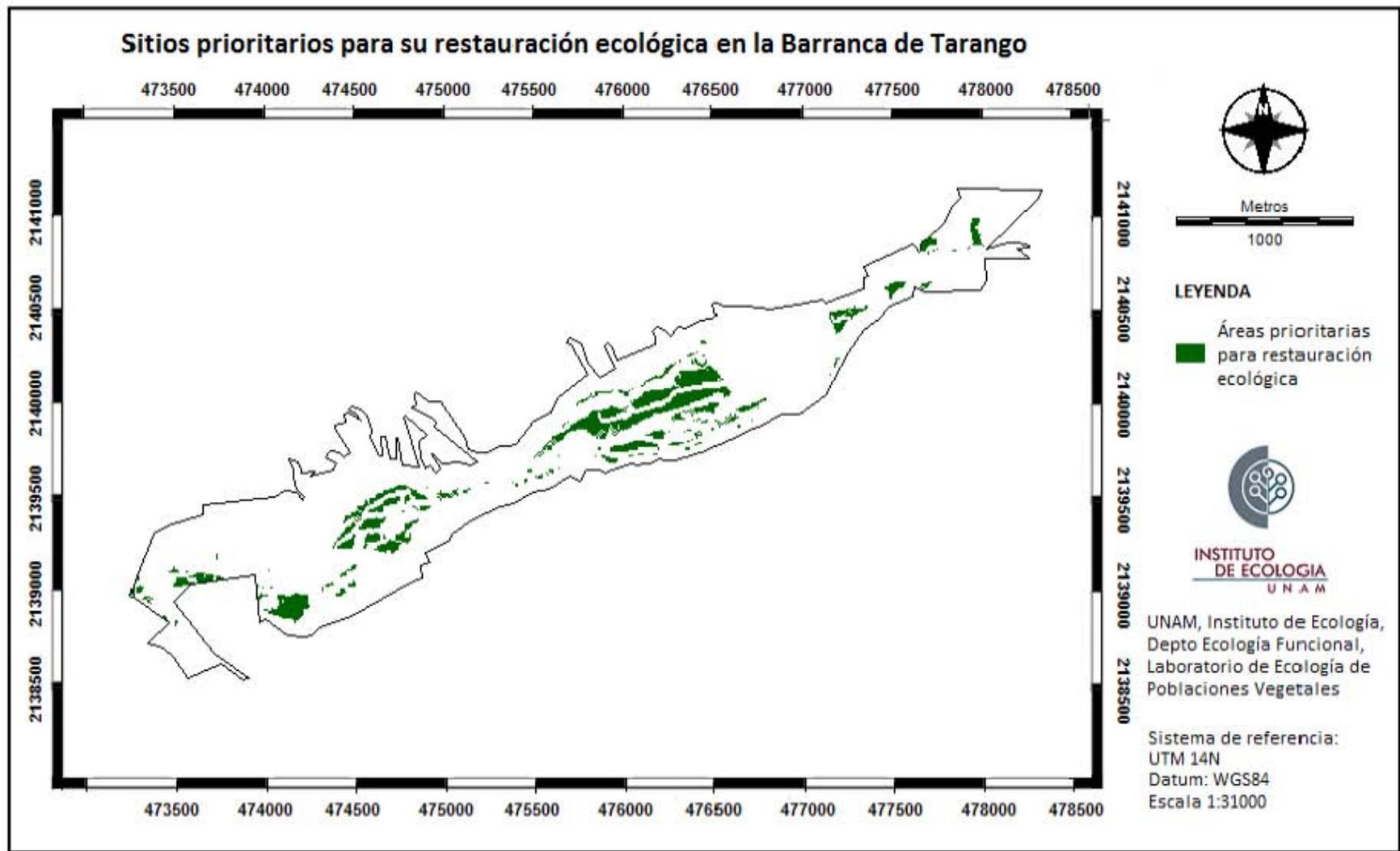


Figura 20. Sitios para la restauración ecológica de la Barranca de Tarango.

DISCUSIÓN

Composición y estructura del bosque de encinos

Los bosques de encinos en el país generalmente están definidos por la asociación de dos o más especies de *Quercus* (Rzedowski, 2006). Tal es el caso de los bosques de encino de la Barranca de Tarango, los cuales fueron diferenciados fisonómicamente en dos asociaciones conformadas cada una por dos especies dominantes, la primera asociación está integrada por *Q. castanea* y *Q. obtusata*, mientras que la segunda la conforman *Q. castanea* y *Q. rugosa*. Las familias de la flora de la Barranca de Tarango con mayor riqueza de especies son Asteraceae, Fagaceae, Rosaceae y Fabaceae y éstas son consideradas entre las de mayor dominancia en los bosques de encino de la República Mexicana (Rzedowski, 2006). Particularmente, la familia Asteraceae es reportada en otros estudios como el grupo de plantas vasculares con mayor riqueza en estos bosques (Vázquez y Givnish, 1998; Rzedowski, 2006).

Estructuralmente, los bosques de encino del sitio presentan ciertas similitudes y diferencias con diversos bosques de encino, por ejemplo, en la densidad de árboles, se tiene que éstos se establecen en densidades que van de 448 ind ha⁻¹ en el bosque de *Q. castanea* y *Q. obtusata* y 700 ind ha⁻¹ en el bosque de *Q. castanea* y *Q. rugosa*, mientras que los organismos de porte arbustivo se establecen en densidades que van de 2166 a 3000 ind ha⁻¹ respectivamente. Al comparar los anteriores resultados a los reportados por Martínez-Cruz *et al.* (2009) en la sierra de Santa Rosa, Guanajuato, el bosque de *Q. coccolobifolia* presenta una densidad de árboles de 1246 ind ha⁻¹ y una densidad de arbustos de 2544 ind ha⁻¹, mientras que en el bosque de *Q. laurina* y *Q. rugosa* los árboles cuentan con 1133 ind ha⁻¹; los arbustos presentan 5593 ind ha⁻¹, estas cifras son mayores a las encontradas en este estudio. Por su parte, en el bosque de *Q. potosina* y *Q. castanea* se presenta una densidad de árboles de 650 ind ha⁻¹ y una densidad de arbustos de 5089 ind ha⁻¹, mientras que en el bosque de *Q. potosina* y *Q. eduardii* la densidad arbórea es de 656 ind ha⁻¹ y la arbustiva corresponde a 3425 ind ha⁻¹, en estos bosques la densidad arbórea es, prácticamente, similar a la encontrada en los bosques analizados en este estudio, mientras que las densidades de

organismos de porte arbustivo supera en la mayoría de las asociaciones de encinares a las reportadas en este trabajo. En otros estudios, reportan en encinares densidades de plantas leñosas de 1136 ind ha⁻¹ (Loewenstein *et al.*, 2000), 738 ind ha⁻¹ en un bosque de *Q. castanea*-*Q. obtusata* y 941 ind ha⁻¹ en un bosque de *Q. rugosa* (Zacarías-Eslava, 2010), cantidades menores a las encontradas en el sitio de estudio (de 2500 a 3700 ind ha⁻¹). Para encinares de Coahuila se presentan densidades que van desde 1582 a 4448 ind ha⁻¹ (Encina-Domínguez *et al.*, 2009), esta última, supera la cifra reportada en este trabajo. Martínez-Cruz *et al.* (2009) consideran que para la región central de país no existen tendencias entre los distintos bosques de encino.

Respecto al área basal Nívar-Cháidez *et al.* (2009) reportan que bosques templados de la Sierra Madre Occidental de Durango presentan un área basal de 11.9 m² ha⁻¹, mientras que Loewenstein *et al.* (2000) mencionan un área basal de 16.9 m² ha⁻¹ para bosques de encino canadienses, por su parte Zacarías-Eslava (2010) reporta 24.15 m² ha⁻¹ en un bosque de *Q. castanea*-*Q. obtusata* y 40.39 m² ha⁻¹ en un bosque de *Q. rugosa*, estos datos son menores a los encontrados en este estudio donde el área basal máxima fue de 60.5 m² ha⁻¹.

Los factores edafológicos y climáticos son los principales agentes que promueven las diferencias estructurales entre encinares a lo largo del país (Encina-Domínguez y Villareal-Quintanilla, 2002; Cotler, 2003; Rzedowski, 2006).

La diversidad beta entre las comunidades de encino en la sierra de Zapalinamé, Coahuila fue reportada en 0.49 (Encina-Domínguez *et al.*, 2007), este resultado es menor al encontrado para el bosque analizado (0.23), esto indica un alto recambio de especies. Por su parte, en bosques michoacanos Zacarías-Eslava (2010) encontró que los bosques comparten del 11 al 44% de las especies entre los encinares, siendo el bosque de *Q. castanea* y *Q. obtusata* y el bosque de *Q. rugosa* los que comparten el 44% de sus especies, resultado mayor al existente en los bosques de Tarango.

Martínez-Cruz *et al.* (2009) reportan para la sierra de Santa Rosa, Guanajuato, valores de índices de dominancia de 0.10 a 0.49. En un bosque de *Q. coccolobifolia* se presenta un valor de 0.10, en el bosque de *Q. laurina* y *Q. rugosa* de 0.32, en el bosque de *Q. potosina* y *Q. castanea* un valor de 0.25 y finalmente en el bosque de *Q. potosina* y *Q. eduardii* el valor fue de 0.49. Por su parte, Zacarías-Eslava (2010) reporta que en bosques de *Q. castanea*-*Q.*

obtusata el valor del índice fue de 0.24, mientras que en un bosque de *Q. rugosa* fue de 0.29; estos valores muestran la dominancia con la que cuentan estos bosques, es decir, mientras más cercano a 0, mayor la diversidad en el bosque y menor la dominancia de las especies más importantes ecológicamente. Estos datos señalan que estos bosques se encuentran mayoritariamente dominados por algunas especies de encino, mientras que los bosques en el sitio de estudio cuentan con mayor diversidad y menor dominancia de las especies de encinos en comparación con los bosques de Guanajuato y Michoacán. Las condiciones ecológicas determinan la diversidad de una comunidad, a pesar de ello debe considerarse también la influencia de la diversidad regional y de los procesos históricos (Ricklefs, 1987). Otro elemento trascendental y al que pueden atribuirse los altos valores de diversidad y riqueza de especies en una comunidad está dado por el disturbio (Hobbs y Huenneke, 1992; Vetaas, 1997).

En los bosques del cerro del Águila en Michoacán, la distribución y abundancia de *Q. castanea* se encuentra definida por la orientación de las laderas, encontrándose en sitios con orientación al sur (Zacarías-Eslava, 2010). Esto difiere parcialmente con lo encontrado en el sitio, donde *Q. castanea* presenta una amplia distribución en laderas con exposición al sur, sin embargo también domina en sitios expuestos al norte. De la misma forma, este autor menciona que la presencia de *Q. obtusata* está en función de laderas expuestas al norte, lo cual difiere con los resultados encontrados en este estudio, donde *Q. obtusata* cuenta con mayor densidad en sitios con exposición al sur.

La estructura diamétrica en el bosque de encino conformado por *Q. castanea* y *Q. obtusata* en el sitio de estudio muestra que *Q. castanea* agrupa al 74.1% de sus individuos en clases diamétricas ≤ 15 cm, mientras que *Q. obtusata* presenta el 39% de sus individuos en clases ≥ 40 cm, el resto se distribuye homogéneamente en clases diamétricas < 40 cm, por su parte *Q. rugosa* agrupan a la mayoría de sus individuos (65.5%) en clases diamétricas ≤ 20 ; comparando estos resultados con los de Zacarías-Eslava (2010) quien reportó que el bosque de *Q. castanea*-*Q. obtusata* se compone principalmente por individuos ubicados entre las categorías diamétricas entre 5 a 20 cm (63.1 %), mientras que en el bosque de *Q. rugosa* los individuos con diámetros menores a 5 cm de DAP corresponden a 34%, lo que significa que distintas especies en el bosque presentan gran cantidad de individuos en etapas de iniciales

de desarrollo y crecimiento, lo cual refiere a que existe regeneración en los bosques de encino y que las poblaciones de encinares no están disminuyendo. La especie que presenta menor regeneración es *Quercus obtusata*.

Las diferencias y similitudes presentes entre los encinares citados anteriormente radican en las distintas condiciones ambientales en las que se distribuyen los organismos, las densidades, riqueza, diversidad y distintos aspectos estructurales están dados por las condiciones climáticas, edafológicas, fisiográficas, incluso las actividades antrópicas pueden definir distintos aspectos en los bosques. Las actividades antrópicas reducen la biodiversidad debido a que promueven la eliminación del hábitat en el que se establecen las especies (Dobson *et al.*, 1997).

Las escasas comparaciones que pueden realizarse, a nivel cuantitativo, entre bosques de encinos, radica en el bajo número de trabajos avocados al tema. Después de analizar y comparar los distintos aspectos estructurales de los bosques de encino es clara la necesidad de aumentar el número de estudios que aborden la estructura, a nivel cuantitativo, de los ecosistemas templados en México. Existen razones suficientes para estudiar este tipo de ecosistemas, por ejemplo, la valoración ecológica, económica y la amplia distribución con la que cuentan en el país (Rzedowski, 2006; Návar-Cháidez *et al.*, 2009; Zacarías-Eslava, 2010) se cuentan entre los factores importantes de considerar. La importancia de trabajar en los encinares radica en evitar la pérdida de sus recursos por influencia de actividades antrópicas y a su vez promover el correcto manejo, restauración, conservación y aprovechamiento de sus recursos.

La propuesta de restauración ecológica a definir está dirigida a reproducir la estructura y composición de los bosques de encino de la Barranca de Tarango en distintas zonas degradadas a lo largo del sitio, respetando la densidad en la que se presentan los organismos, así como la distribución espacial que guardan tanto entre organismos de la misma especie, como entre organismos de especies distintas, así mismo, se deben introducir especies nativas por medio de plantaciones diversificadas que promuevan la generación de servicios ecosistémicos parcial o completamente eliminados en el sitio. Esta diversificación de los bosques puede favorecer la estabilidad productiva de los ecosistemas, permitiendo la existencia de procesos ecosistémicos y la provisión de servicios ambientales (Hooper y

Vitousek, 1997; González *et al.*, 2007), respuesta que varía al tratarse de plantaciones monoespecíficas, frecuentemente de especies exóticas, las cuales incluso pueden provocar impactos ambientales no deseados (González *et al.*, 2007).

Caracterización del suelo del ecosistema de referencia

Diversas propiedades físicas y químicas de los suelos son indicadoras de la calidad y la capacidad que tienen estos de sostener y proveer nutrientes para el establecimiento y desarrollo de una comunidad vegetal. La textura, estructura, porcentaje de materia orgánica, pH y CIC son indicadores de la fertilidad, y por ende, productividad de los suelos (Palma-López *et al.*, 2005). Sin embargo, cada propiedad del suelo muestra características que pueden ser herramientas potenciales en el desarrollo de un plan de restauración ecológica o de manejo de recursos naturales. En este sentido, una propiedad física descrita es el color, el cual es una propiedad de los suelos que denota presencia de compuestos orgánicos y que a su vez funcionan como agentes cementantes que colaboran en el desarrollo de la estructura y la estabilidad de los suelos; además, los compuestos orgánicos son ricos en nitrógeno y carbono, el primero, el más importante nutriente para el desarrollo de las plantas (Bradshaw, 1997). El color oscuro de los suelos en horizontes superficiales está supeditado a la presencia de compuestos orgánicos (Valera-Pérez, 1993); este color va tornando más claro conforme se llega a horizontes profundos, donde el material parental se encuentra influyendo directamente en el color. Esta característica fue observada en los suelos descritos en el área, donde el material parental (tefras volcánicas) presenta un color pardo amarillento que contrasta con los colores pardos oscuros y negros presentes en los horizontes superficiales.

De acuerdo a la clasificación de Muñoz *et al.* (2000) tanto la densidad aparente (D_a) como la densidad real (D_r) de los sitios estudiados resulta ser baja en la mayoría de los horizontes descritos, lo que coincide con lo mencionado por Aguilera (1989), quien reporta que suelos derivados de cenizas volcánicas generalmente tienen baja densidad real y son ricos en MO. Esta condición señala que el suelo cuenta con una distribución homogénea respecto a la porción sólida, líquida y gaseosa con la que cuentan los suelos y además, que los suelos no muestran indicios de compactación. Un aspecto relacionado a la compactación es la porosidad, de la cual dependen características como el drenaje interno y la aireación de

los mismos (Siebe *et al.*, 2006). La elevada porosidad de los sitios señala que no existen deficiencias en el drenaje interno, además de que cuenta con adecuada aireación que permite la penetrabilidad de las raíces en horizontes profundos. La alta porosidad es producto de la baja densidad tanto aparente como real.

Los suelos en el sitio presentan texturas francas en su totalidad con algunas variantes en porcentajes de arena y arcillas (franco-limosas y franco-arcillosas), la existencia de texturas francas, de acuerdo a Valera-Pérez (1993) y Siebe *et al.* (2006) es un indicador de la adecuada aireación y capacidad de retención de agua con la que cuenta el suelo, condiciones que permiten el establecimiento de la vegetación, además de estar relacionadas con la proporción y espacio poroso presente en el suelo.

Entre las propiedades químicas el valor del pH muestra la disponibilidad relativa de nutrientes en el suelo, teniendo que, respecto a los valores ligeramente ácidos presentes en el suelo (5.8-6.6) existe adecuada disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y potasio; mientras que el pH indica la existencia de procesos pedogenéticos como, neoformación de minerales, descomposición de materia orgánica, humificación, actividad biológica, formación de estructura y lixiviación de arcillas (Siebe *et al.*, 2006). Respecto al pH medido mediante el NaF, las reacciones están catalogadas como moderadas y de acuerdo a Fassbender y Bornemisza (1994) señalan el origen volcánico del área de estudio.

La materia orgánica es otro elemento que funciona como indicador del suelo, además es importante para la disponibilidad de nutrientes, estructura del suelo, infiltración de agua y aire, retención de agua, erosión y transporte e inmovilización de contaminantes (Gregorich *et al.*, 1997; Knoepp *et al.*, 2000). La materia orgánica presenta altos porcentajes en horizontes superficiales del suelo, lo cual repercute en una elevada presencia de carbono orgánico y nitrógeno total. Estos elementos son indicadores de la calidad del suelo para el establecimiento de vegetación forestal (Knoepp *et al.*, 2000). La acumulación de materia orgánica aumenta bajo condiciones ácidas (Siebe *et al.*, 2006), tal como sucede en el área analizada. El porcentaje de carbono orgánico (CO) al igual que la MO es elevado en el horizonte más superficial mostrando una disminución en los horizontes subyacentes, esto debido a la disminución de los componentes orgánicos en los horizontes subyacentes. La

disponibilidad de carbono es indispensable en el ciclo de nutrientes así como en la actividad biológica del suelo (Knoepp *et al.*, 2000). La materia orgánica influye directamente en la presencia de nitrógeno en el suelo, por lo que los porcentajes elevados encontrados en el estudio permiten inferir que su disponibilidad es un indicador de la calidad de los suelos para sostener la supervivencia de las plantas.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) depende de los tipos y cantidades de arcilla, así como del contenido de materia orgánica; las arcilla y la MO presentan cargas negativas en su superficie por lo que pueden absorberse cationes (contaminantes o nutrientes), la CIC señala la capacidad de intercambiar cationes en el suelo (Siebe *et al.*, 2006), por lo que el suelo del área presente elevada capacidad de intercambio de nutrientes, condición que favorece el establecimiento y supervivencia de plantas en el sitio.

Por otro lado, para los suelos del área el porcentaje de saturación de bases es elevado en la mayoría de los horizontes del suelo. Esta saturación está en función del pH, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico presentes en el suelo y hacen referencia a la porción ocupada por los cationes Ca, Mg, K y Na del suelo (Siebe *et al.*, 2006), lo que se resume en una disponibilidad suficiente de nutrimentos indispensable en el desarrollo y supervivencia de las plantas.

Finalmente, el tipo de suelo sobre el que se asientan los bosques de encinos en el área es Phaeozem, lo cual difiere con lo encontrado por Encina-Domínguez *et al.* (2007) quienes reportan suelos de tipo Regosol en la asociación *Q. greggii* – *Q. mexicana* y suelos de tipo Leptosol en la asociación *Q. saltillensis* – *Q. laeta*. De la misma forma Rzedowski (1978) menciona la existencia de suelos tipo Leptosol y Regosol en otros encinares del país.

Identificación de áreas prioritarias para la restauración ecológica

La aplicación de modelos de EMC puede incluir distintos criterios que permitan la toma de decisiones sobre los recursos naturales (O'Neill *et al.* 1997; Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003; Thompson *et al.*, 2006; Mollot y Bilby, 2008). El establecimiento de los criterios a emplear depende de las características de los sitios de estudio (O'Neill *et al.* 1997; Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003; Valente y Vettorazzi, 2008; Lehtomäki *et al.*, 2009).

La altitud es un criterio para definir áreas prioritarias de restauración de la vegetación, debido a que existen diferencias en cuanto al tipo de vegetación (Thompson *et al.*, 2006; Mollot y Bilby, 2008). El empleo de este criterio no fue indispensable en la Barranca de Tarango debido a que la diferencia altitudinal (257 m) no promovía diferencias en la vegetación.

La orientación de laderas es un criterio que permite definir sitios potenciales de restauración de árboles de nogal americano (*Juglans cinerea*); este criterio es importante debido a que las condiciones presentes en laderas con diferente orientación pueden influir en el establecimiento de ciertas plantas con afinidad Neárticas o Neotropicales, es decir, algunas plantas podrían requerir la humedad que presentan los sitios con exposición al norte mientras que otras pueden establecerse en sitios más secos como los que proveen las zonas expuestas al sur (Thompson *et al.*, 2006). La orientación de laderas fue un criterio elegido para la selección de sitios de restauración debido a que es una condición que muestra diferencias en el sitio de estudio. La estructura y composición de la vegetación varían de acuerdo a orientaciones al sur y norte.

La pendiente es un factor que influye en el establecimiento de ciertas especies, su consideración en la toma de decisiones para el manejo de recursos debe ser primordial (Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003; Thompson *et al.*, 2006). Las pendientes de la Barranca de Tarango presentan en su mayoría zonas mayores a 32°. Su consideración puede definir el establecimiento de las plantas.

Los criterios de distancia a vías de comunicación para la elección de sitios para la restauración de bosques tropicales y la designación de áreas de conservación son factores la recuperación de sitios deteriorados (Valente y Vettorazzi, 2008). Los criterios de distancia a vías de comunicación son elementales en el desarrollo de planes de manejo, por ejemplo, en programas de restauración ecológica, el hecho de que las parcelas de restauración se encuentren alejadas de caminos o zonas habitables implica un menor riesgo de eliminación o daño de las plantaciones. La consideración de este criterio puede influir en el éxito de cualquier programa de restauración. En este trabajo se considera que los sitios de restauración deben estar alejados de caminos debido a la alta incidencia de incendios provocados.

El manejo de recursos naturales debe emplear variables edáficas para su administración; por ejemplo, para la selección de sitios de manejo, Ceballos-Silva y López-Blanco (2003) emplearon variables de suelo para designar zonas de cultivo de papa y maíz en la zona metropolitana de Toluca. Detectar las capacidades o limitantes edáficas puede ser clave en el establecimiento de plantaciones de restauración, debido que se pueden incluir otras herramientas que permitan obtener el éxito deseado. Actualmente, no se considera el suelo un factor o criterio decisivo para la selección de sitios para el manejo de recursos (Thompson *et al.*, 2006; Valente y Vettorazzi, 2008; Mollot y Bilby 2008; Lehtomäki *et al.*, 2009).

La forma de relieve o geomorfología es uno de los criterios más empleados en los procesos de elección de sitios de restauración (O'Neill *et al.*, 1997; Thompson *et al.*, 2006; Mollot y Bilby, 2008). Por ejemplo, O'Neill *et al.* (1997) presentan un modelo para la identificación de sitios potenciales para la restauración de humedales riparios, usando como uno de los tres principales criterios a la geomorfología. La forma del relieve influye en el tipo de suelo, el cual puede repercutir en el establecimiento de plantas. De la misma forma, Mollot y Bilby (2008) hacen uso de la geomorfología como uno de los dos principales criterios para identificar sitios óptimos de restauración de vegetación riparia con alta riqueza biológica de poblaciones de peces *Andromous*. Thompson *et al.* (2006), por su parte, emplean como uno de sus ocho criterios, a la geomorfología, para identificar sitios potenciales de restauración de árboles de nogal americano (*Juglans cinerea*) una especie afectada por hongos exóticos en Estados Unidos. Dependiendo de las condiciones del sitio y de los objetivos de manejo, se puede prescindir de la geomorfología como criterio para la elección de sitios; sin embargo, generalmente y en especial en México el relieve es accidentado, por lo que el criterio geomorfológico debe incluirse. Diversos autores no consideran a la geomorfología como criterio para la elección de sitios de manejo de los bosques (Valente y Vettorazzi 2008; Lehtomäki *et al.*, 2009); ellos enfatizan el uso de criterios de proximidad a vías de comunicación, zonas urbanas, parches de vegetación, entre otros.

El criterio más empleado para la selección de sitios de manejo de recursos es el de vegetación (O'Neill *et al.*, 1997; Thompson *et al.*, 2006; Mollot y Bilby 2008; Valente y

Vettorazzi, 2008; Lehtomäki *et al.*, 2009). Este criterio resulta imprescindible en ejercicios de manejo de recursos naturales.

Los principales criterios que permiten definir prioridades de manejo son variables geomorfológicas, vegetación, variables de suelo, altitud, pendiente, orientación de la ladera, forma del terreno, distancia a carreteras. Los criterios empleados en la priorización de sitios, coinciden con los utilizados en este trabajo, es posible incluir más criterios, sin embargo, se considera que los criterios usados permiten satisfacer las necesidades de restauración de la Barranca de Tarango. Priorizar áreas para ejecutar acciones de manejo en los ecosistemas, permite la optimización de recursos y acciones, además refiere a un método económico y efectivo para cubrir los objetivos de manejo de los ecosistemas (Valente y Vettorazzi, 2008). Lo anterior está encaminado al establecimiento de una base de información consolidada para el proceso de toma de decisiones, identificación y descripción de los componentes del paisaje, identificación de las deficiencias de información, así como el establecimiento de prioridades de investigación.

PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA LA BARRANCA DE TARANGO

Introducción

La presente propuesta tiene como objetivo general recuperar la provisión de servicios ecosistémicos que han sido mermados o eliminados por distintas actividades que han degradado los recursos naturales en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F. Particularmente, se pretende alcanzar la restauración real del ecosistema (van Diggelen *et al.*, 2001). La propuesta de restauración ecológica tiene múltiples objetivos debido a la heterogeneidad y condiciones particulares con las que cuenta el sitio, por lo que se hacen distintas opciones para la restauración. La reclamación, un objetivo de la propuesta, promueve en el ecosistema la recuperación de cobertura vegetal por medio de su restablecimiento en áreas fuertemente degradadas, esto a su vez permite el aumento de biodiversidad. Otro de los objetivos en la propuesta es la rehabilitación de funciones en el ecosistema, por ejemplo, algunas áreas presentan cobertura vegetal secundaria, en ellas puede promoverse el establecimiento de plantas, por ejemplo leguminosas, que permitan recuperar funciones como la captación de nitrógeno para el suelo.

Los agentes de disturbio que han afectado y deteriorado los recursos naturales en la Barranca de Tarango son principalmente la extracción de suelo para construcción, el cambio de uso de suelo de áreas boscosas a parques y áreas de recreación, y la ganadería. Bajo este escenario, la propuesta de restauración debe incluir alternativas que permitan la mitigación de los principales agentes de disturbio. El argumento principal que permite erradicar los agentes mencionados anteriormente se encuentra en la declaración de área de conservación de la Barranca de Tarango en la que se indica que no se pueden realizar otras actividades que no sean las de restauración y conservación del sitio. De los agentes de disturbio mencionados, la extracción de suelo ha dejado de realizarse, por lo que no es un punto que deba considerarse, de igual forma la ganadería ha sido recientemente eliminada debido a que el rancho ganadero emplazado en el sitio, y que contaba con alrededor de 20 cabezas de ganado vacuno, fue destruido producto de las actividades de construcción de la “Supervía

Poniente”. De acuerdo con lo anterior, la propuesta no debe enfocarse en la mitigación de agentes de disturbio, debido a que los anteriores han sido erradicados.

Es importante aclarar las posiciones que sigue esta propuesta respecto al empleo de especies nativas o exóticas, diversidad genética de las poblaciones y cultivos monoespecíficos o mixtos. El uso de especies nativas o exóticas para programas de restauración es controversial principalmente porque son conocidos los efectos negativos que las plantas exóticas pueden proveer al ambiente y por las ventajas que también pueden ofrecer al medio (Arriaga *et al.*, 1994; Vázquez-Yanes y Batis-Muñoz, 1996); sin embargo, esta propuesta plantea el uso exclusivo de especies nativas ya que éstas tienen la plena capacidad de otorgar al sitio de estudio las características que permitan recuperar plenamente las áreas degradadas. Es importante que las plantas que se reintroduzcan en este plan de restauración deriven de bancos de germoplasma locales, debido a que ingresar plantas foráneas, al sitio para aumentar el tamaño de poblaciones con individuos de otras poblaciones, puede resultar en efectos negativos para las poblaciones locales, específicamente se produce una depresión exogámica, es decir, una reducción de la adecuación de la población híbrida en relación con sus predecesores (Eguiarte y Piñero, 1990; Fenster y Dudash, 1994). Es importante establecer viveros locales en cada programa de restauración y así promover la variabilidad y conservar la diversidad genética. En esta misma temática, la diversidad genética de las plantaciones originarias de viveros de la cuenca que se establezcan puede estar limitada por las prácticas realizadas en vivero, las cuales promueven restricciones genéticas debido a que la propagación es por estacas y las semillas son recolectadas repetidamente de árboles selectos (Benítez *et al.*, 2004). Finalmente, la propuesta promueve el uso de plantaciones mixtas ya que en comparación con las plantaciones puras, promueven la regeneración de una mayor diversidad de especies en el sotobosque, al crear mayor variabilidad en el hábitat y un microclima que favorece a los dispersores y a la adaptabilidad de especies para la germinación y crecimiento (Montagnini, 2001). Además, las plantaciones de una sola especie, sean nativas o no, no conforman un bosque como tal, generan una especie de monocultivo forestal que se aleja de promover la recuperación de las funciones de los bosques (Benitez *et al.*, 2004). Bosques de una sola especie y de la misma edad son más susceptibles a enfermedades y plagas que los bosques

de diversas especies y de diferentes edades (Grijpma, 1998). Además la existencia de monocultivos promueve menor diversidad de especies de plantas en estos bosques (Erdle y Pollard, 2002). De este modo, la diversificación de áreas a restaurar, en términos de variedad de especies, es importante para la restauración de los componentes del bosque nativo y para promover una variedad de hábitats para la fauna nativa (Vora *et al.*, 2008). Respecto a la reintroducción de las plantas está debe realizarse al comienzo de la época de lluvias.

Durante el diseño de planes o programas de restauración ecológica es importante la adecuada elección de las técnicas a emplear (Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007). La combinación de diversas técnicas en un mismo programa permite incrementar la probabilidad de éxito de la restauración (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2005). El empleo de cierta técnica está en función de las condiciones del sitio en el que se desea emplear, por lo que la propuesta de restauración, que se presenta a continuación, plantea el uso de diversas técnicas considerando las condiciones heterogéneas del área.

Es necesario establecer parámetros medibles del éxito de la restauración y el monitoreo de variables claves para cuantificar el éxito relativo (Hobbs y Norton, 1996). Así mismo, es importante plantear el monitoreo de variables de suelo como, humedad, color, densidad, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y CIC, mientras que entre las variables de la vegetación que pueden ser monitoreadas están la estructura y la composición. Las variables a monitorear son indicadoras del éxito parcial y progreso de la restauración, de igual forma son importantes para continuar o redefinir los métodos y técnicas empleados durante la restauración (Hobbs y Norton, 1996).

Propuesta de restauración ecológica

La propuesta, a continuación presentada, está organizada por cuatro conjuntos de unidades de restauración en los que se incluyen unidades (sitios prioritarios) que comparten algunas características. Las unidades incluidas en cada conjunto de restauración fueron determinadas mediante la evaluación multicriterio. Posteriormente se definen las especies a emplear de acuerdo a las características de cada sitio mostradas en el Apéndice 4, después se mencionan las técnicas a emplear, el arreglo espacial que se debe procurar entre organismos, la densidad en la que se reintroducirán los organismos y el mapa de localización

de los sitios. Los cuatro conjuntos de restauración, abajo presentados, están comprendidos como estados estables en los que la sucesión vegetal se encuentra detenida y requiere la ejecución de programas de restauración que permitan recuperar los sitios y llevarlos por trayectorias deseadas hacia ecosistemas históricos; la sucesión detenida ha sido reportada en bosques perturbados por la acción humana y por eventos naturales (Paul *et al.*, 2004; Ruprecht, 2005; Lindig-Cisneros *et al.*, 2007)

Los conjuntos de restauración son agrupaciones de unidades de restauración. El motivo de la agrupación es concretar la propuesta planteada y evitar la redundancia entre los sitios.

Conjunto 1 de restauración: Unidad 1 – Unidad 7 – Unidad 13 – Unidad 19

Estas unidades se agruparon debido a que cuentan con el mismo tipo de suelo (Phaeozem háplico), y asociación vegetal (pastizales asociados a matorrales; Figura 21). Difieren entre sí en la orientación de sus laderas y en las pendientes de las mismas. Las unidades 1 y 7 presentan orientaciones al norte, mientras que las unidades 13 y 19 presentan orientación al sur; las pendientes de las unidades 1 y 13 van de 0 a 15°, mientras que las unidades 7 y 19 presentan de 15 a 30° en sus pendientes. Las áreas con pendientes menores a 15° han sido sometidas a un constante uso para la ganadería; sin embargo, debido a su gran extensión, el uso no ha sido extensivo ni restringido a un área en particular. Por su parte, las áreas con pendientes mayores a 15° han sido degradadas debido a actividades de extracción de suelo; sin embargo estas áreas registran menor extensión en la zona.

Es importante preparar el sitio, eliminando pastos amacollados que puedan competir por los nutrientes en el suelo con plantas arbustivas como *Baccharis conferta* o *Symphoricarpos microphyllus*. De acuerdo con Benítez-Malvido *et al.* (2001) y Ganade y Brown (2002), la remoción de pastos favorece el establecimiento, crecimiento y la abundancia de las plantas, especialmente plántulas, en los campos abiertos.

Se sugiere establecer plantaciones mixtas integradas por las siguientes especies: *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. mexicana*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Baccharis conferta*, *Agave salmiana*, *Buddleia cordata*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Arbutus xalapensis*, *Eysenhardtia polystachya*, *Fraxinus uhdei*, *Crataegus mexicana*, *Prunus serotina*

var. capuli y *Acacia schaffneri* todas de tipo arbóreo o arbustivo. Los sitios se encuentran en estado de sucesión arrestada en pastizales, por lo que es necesario permitir el avance sucesional por medio de la reintroducción de especies de sucesión avanzada y organismos presentes en el bosque maduro. Aunado a las técnicas de plantaciones mixtas a emplear en el sitio, se recomienda considerar a *Baccharis conferta*, *Buddleia cordata* y *Prunus serotina* ssp. *capuli* como plantas nodriza. González *et al.* (2007) encontró que una especie de *Baccharis* funciona como nodriza de encinos y, además, que *Buddleia cordata* y *Prunus serotina* ssp. *capuli* son poco tolerantes a la sombra y se establecen con éxito en áreas abiertas. Estos organismos cuentan con altas tasas de crecimiento, lo cual les permite formar un dosel medianamente cerrado en poco tiempo que promueve el establecimiento de especies tolerantes a la sombra pero intolerantes a la sequía prolongada.

Las condiciones edáficas presentes en el sitio son adecuadas para el desarrollo de la vegetación debido a que cuentan con disponibilidad de nitrógeno y apropiada capacidad de intercambio catiónico. Un factor importante es el hecho de la existencia de pastos y matorrales que funcionan como cultivos de cobertura y, a su vez, permiten la retención de humedad y evitan la erosión en estos sitios, sobre todo en las áreas con fuertes pendientes (>15°). A pesar de lo anterior, es necesaria la remoción de los pastos, ya que promueven la competencia por nutrientes.

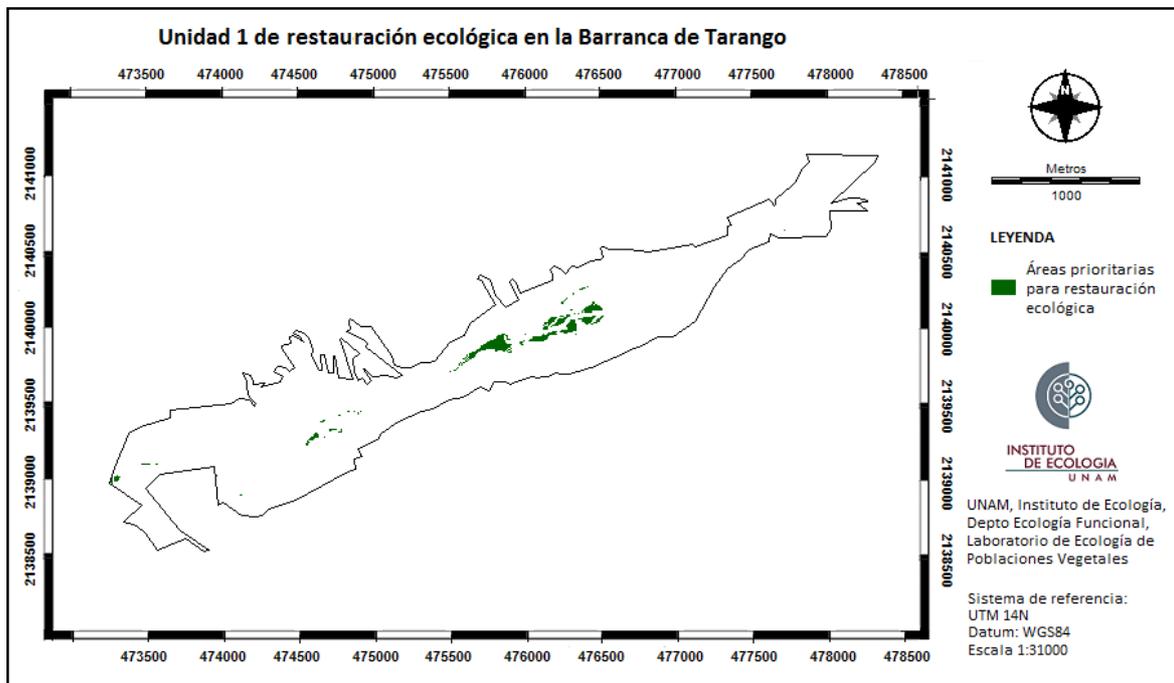
La reintroducción de las plantas debe seguirse de acuerdo con la orientación de las laderas, buscando reproducir la estructura y composición de los bosques históricos, la razón principal de lo anterior es la diferencia en humedad y cantidad de luz que presentan las orientaciones de las laderas. En las áreas con pendientes elevadas propuestas a restauración se deben realizar surcos de contorno, los cuales constan de excavaciones que siguen las curvas de nivel del terreno y pretenden evitar la erosión del suelo, además las plantaciones deben seguir las curvas de nivel y así favorecer la retención del suelo. Además, debe darse énfasis en el empleo de plantas con capacidad de retener suelo en las áreas con pendientes elevadas, por ejemplo las especies de encino tiene esta característica, al igual que los agaves, ambas deben emplearse para cubrir ese papel ecológico. En el sitio debe verificarse el empleo de los arbustos como plantas facilitadoras del desarrollo de otras plantas, esto puede incluir como propuesta para posteriores investigaciones.

Propuesta de restauración ecológica

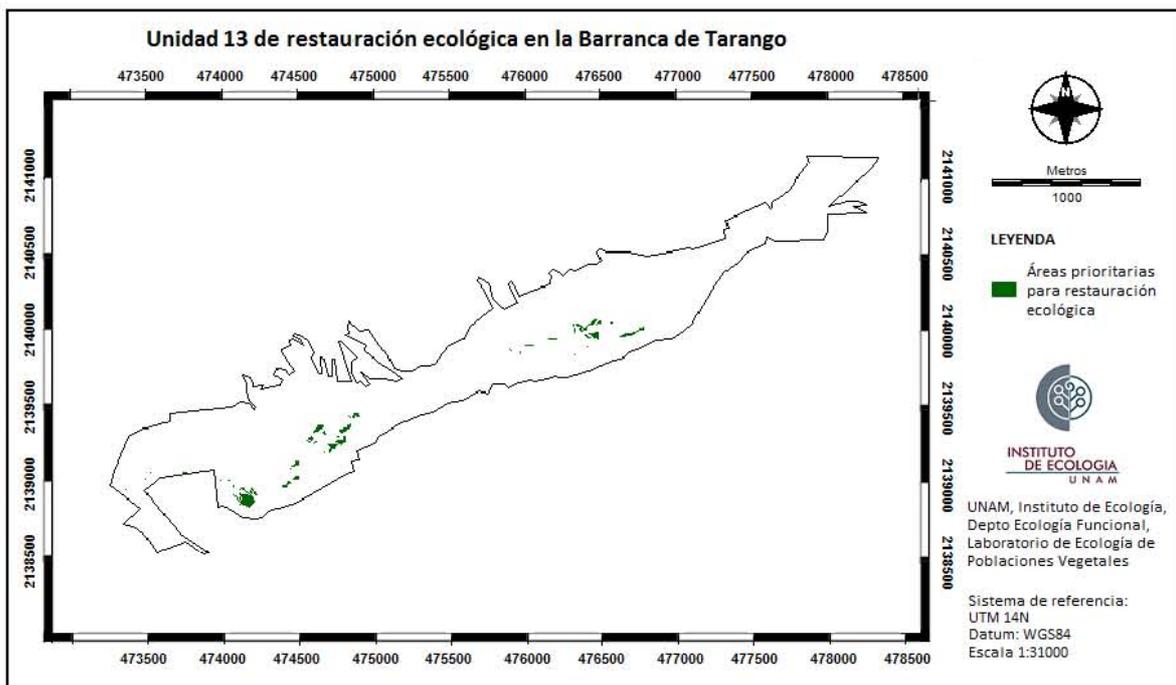
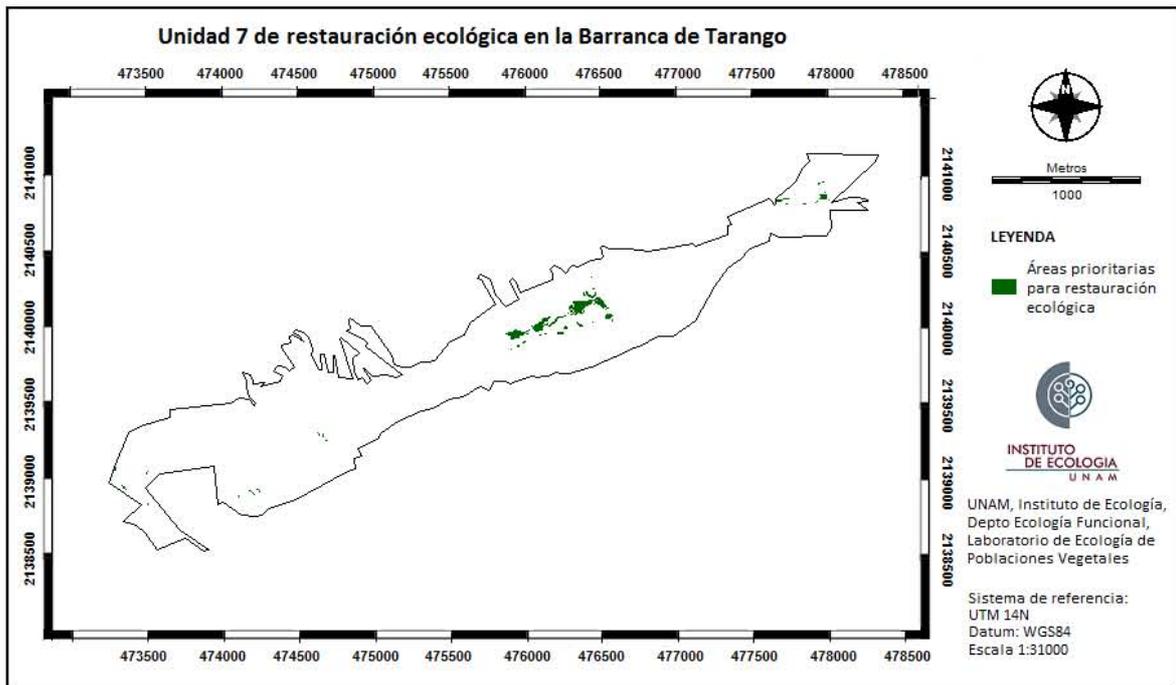
Las densidades en las que se deben reintroducir las especies mencionadas anteriormente aparecen en el Cuadro 3 de este trabajo. Debe respetarse la densidad con la que cuentan los organismos en los bosques de referencia debido a que esto puede influir en la restauración del sitio. La distribución de estas unidades en la Barranca de Tarango se muestra en la figura 22.



Figura 21. Sitio característico del conjunto 1 de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.



Propuesta de restauración ecológica



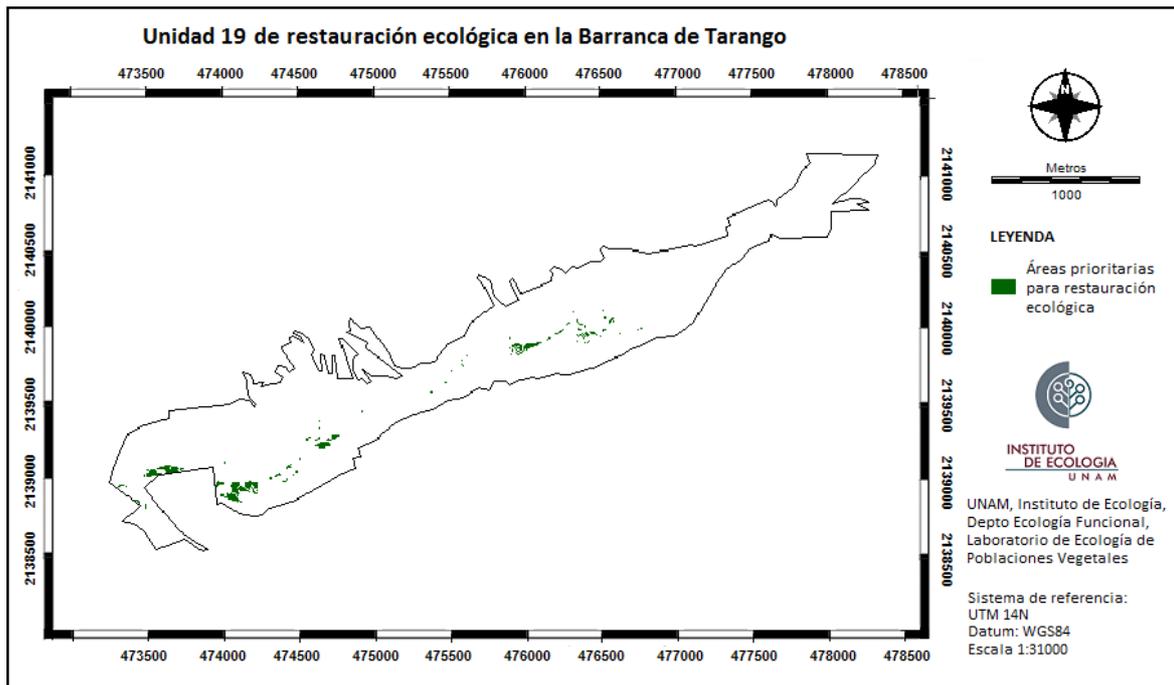


Figura 22. Conjunto 1 de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Conjunto 2 de restauración: Unidad 2 – Unidad 8

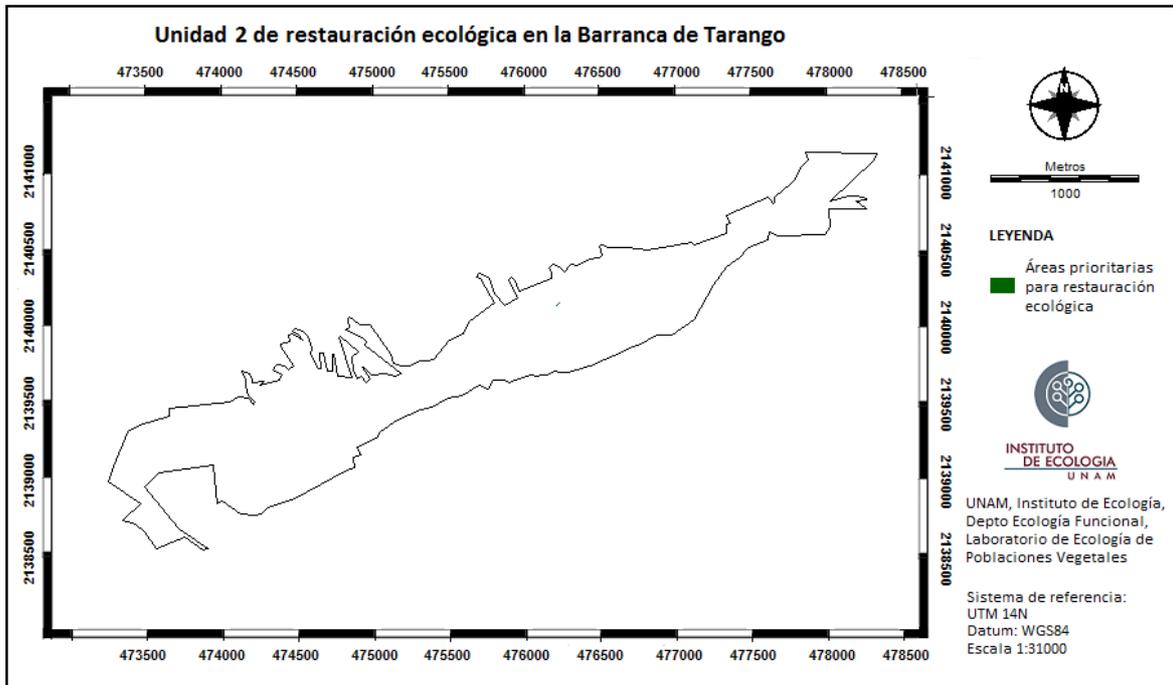
Estas unidades se agruparon debido a que las características tipo de suelo (Phaeozem háplico), forma del relieve (dorso de ladera de barranco) y asociación vegetal (encinos, tepozán, pirul y arbustos) son compartidas entre sí, exceptuando las pendientes. Las pendientes van, para la unidad 2 de 0 a 15° y para la unidad 8 de 15 a 30° (Figura 23).

El estado sucesional de esta unidad está integrado por organismos del bosque maduro; sin embargo, la presencia del tepozán *Buddleia cordata* y el pirul *Schinus molle* L. arrestan la sucesión ecológica e impiden el desarrollo de la vegetación hacia un estado maduro (P. E. Mendoza, com. pers.). El pirul, debido a su naturaleza exótica, debe ser eliminado del sitio y la materia orgánica obtenida de su eliminación debe ser aprovechada en el mismo. La sombra otorgada por el tepozán y los encinos debe ser aprovechada para el establecimiento de plantas que toleran la sombra y que difícilmente pueden establecerse en áreas abiertas como *Arbutus xalapensis*. El manejo de *Buddleia cordata* es importante para evitar el arresto de la sucesión, así mismo se propone en el plan de restauración la

eliminación de los organismos de esta especie, una vez que mejoren las condiciones del sitio y propicien el establecimiento de otras plantas, promoviendo de esta forma la aparición, presencia y desarrollo de especies presentes en el bosque maduro.

Se recomiendan plantaciones mixtas de *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. mexicana*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Agave salmiana*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Arbutus xalapensis*, *Eysenhardtia polystachya*, *Fraxinus uhdei* y *Crataegus mexicana* siguiendo las densidades presentes en el bosque de referencia (Cuadro 3) y el arreglo espacial mostrado en los resultados de este trabajo (Figura 13 y 14). Además de las plantaciones mixtas como técnica empleada en este sitio, se debe promover el establecimiento asociado a plantas nodrizas. Los encinos y tepozanes presentes pueden fungir con esa función para arbustos locales.

El suelo no se encuentra desprovisto de vegetación, por lo que se presenta humedad, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno y textura que permiten el desarrollo de la vegetación propuesta. En las zonas de pendientes mayores a los 15° la erosión se acentúa, la propuesta indica la elaboración de surcos de contorno que permitan retener los suelos de estos sitios. De la misma forma es importante emplear plantas como agaves y encinos que permitan evitar la erosión de los sitios.



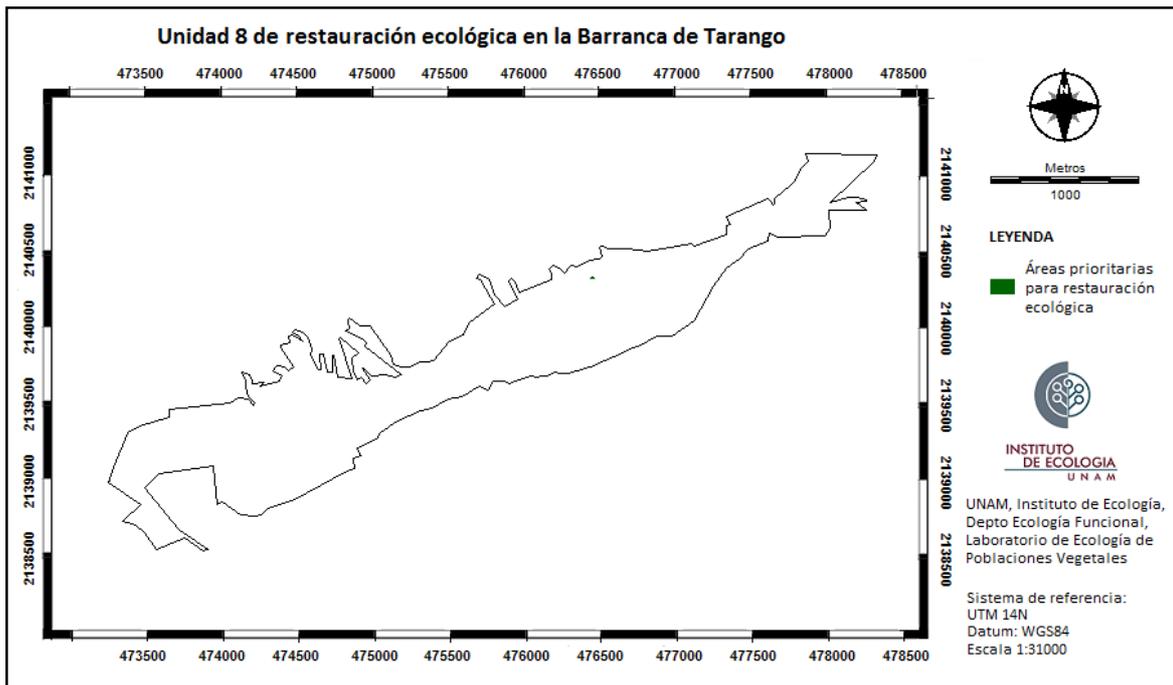


Figura 23. Conjunto 2 de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Conjunto 3 de restauración: Unidad 4 – Unidad 10 – Unidad 16 – Unidad 22

Estas unidades se agruparon debido a que el tipo de suelo de éstas es Leptosol y su asociación vegetal está conformada por elementos secundarios asociados con pastizales. Difieren en la orientación de sus laderas y las pendientes de las mismas (Figura 24). Las unidades 4 y 10 presentan orientaciones al norte, mientras que las orientaciones de las unidades 16 y 22 son al sur; las pendientes de las unidades 4 y 16 van de 0 a 15°, mientras que de las unidades 10 y 22 sus pendientes van de 15 a 30°.

Se propone en estas unidades, preparar los sitios, mediante el aclareo de especies que arrestan la sucesión ecológica y no permiten el crecimiento de otras especies alrededor, tal es el caso de *Wigandia urens*, de igual forma es importante establecer un manejo de *Verbesina virgata* que aunque en este trabajo se propone como planta para restauración ecológica su condición puede llegar a ser invasiva en los sitios donde se establece. Otro elemento que debe eliminarse para promover el crecimiento de plantas del interior del bosque son los pastos amacollados.

Una complicación para la restauración de estos sitios son los suelos someros, y en algunos casos compactados, los cuales son de tipo Leptosol y generalmente están desprovistos de vegetación; es importante el empleo de compostas que permitan la retención de humedad y el aporte de nutrimentos para promover el desarrollo vegetal y evitar la erosión hídrica. La composta debe generar micrositios para promover el establecimiento de las plantas a reintroducir, además, permite la generación de micrositios y la disminución de condiciones microclimáticas extremas en los suelos por medio de la técnica de acolchados.

Se sugiere establecer plantaciones integradas por especies de rápido crecimiento que toleren el establecimiento en áreas abiertas, además deben establecerse plantas existentes en el bosque maduro. Por lo tanto, las plantas a reintroducir en estas áreas son: *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. mexicana*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Baccharis conferta*, *B. thesioides*, *Agave salmiana*, *Buddleia cordata*, *Eysenhardtia polystachya*, *Crataegus mexicana*, *Prunus serotina* var. *capuli*, *Salvia mexicana*, *Bouvardia ternifolia*, *Verbesina virgata*, *Loeselia mexicana* y *Dodonaea viscosa*. De esta combinación de especies se debe aprovechar la capacidad de *Buddleia cordata* y *Prunus serotina* var. *capuli* para establecerse en áreas abiertas, las cuales pueden funcionar como plantas nodrizas al igual que *Baccharis conferta* y *Baccharis thesioides* que pueden fungir como nodrizas de encinos y que además crecen naturalmente en el sitio en condiciones de compactación extrema. Referente a las últimas dos especies, esta propuesta plantea la replantación de estos organismos de sitios en los que se encuentran en altas densidades a los sitios propuestos para su restauración, en este sentido, Martínez-Ramos y García-Orth (2007) mencionan que la replantación de algunas especies es una opción económica para la restauración. A pesar de no ser muy pronunciadas las pendientes de estos sitios (<15°) es importante que en ciertas partes se emplee *Agave salmiana* para permitir la retención de los suelos. En estos sitios donde los nutrimentos en el suelo han sido deslavados debido a la erosión, es importante introducir plantas como *Eysenhardtia polystachya*, una leguminosa que promueve la integración de nitrógeno en el suelo, además se debe someter a consideración la inoculación bacteriana de estas plantas para mejorar su capacidad de fijación de nitrógeno. A manera de cultivos de cobertura, se deben introducir un conjunto de plantas arbustivas e incluso herbáceas que

presentan la característica de crecer rápidamente y permitan aumentar el aporte de materia orgánica y con ello promover la retención de humedad, por ejemplo *Salvia mexicana*, *Bouvardia ternifolia* y *Loeselia mexicana*.

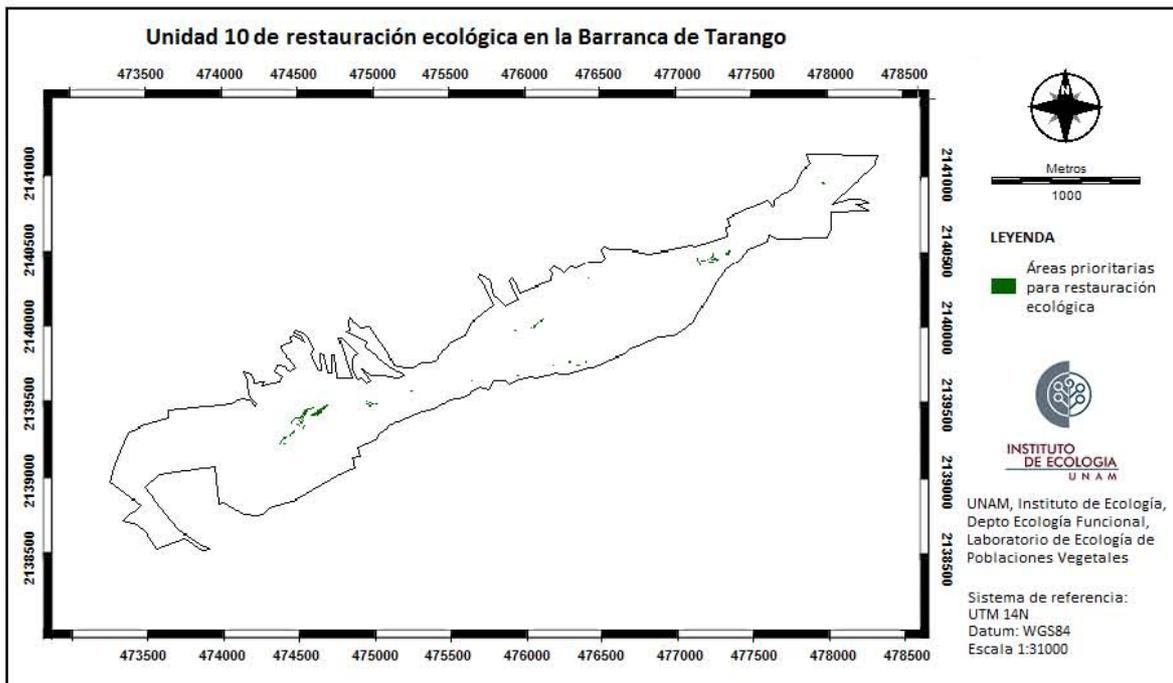
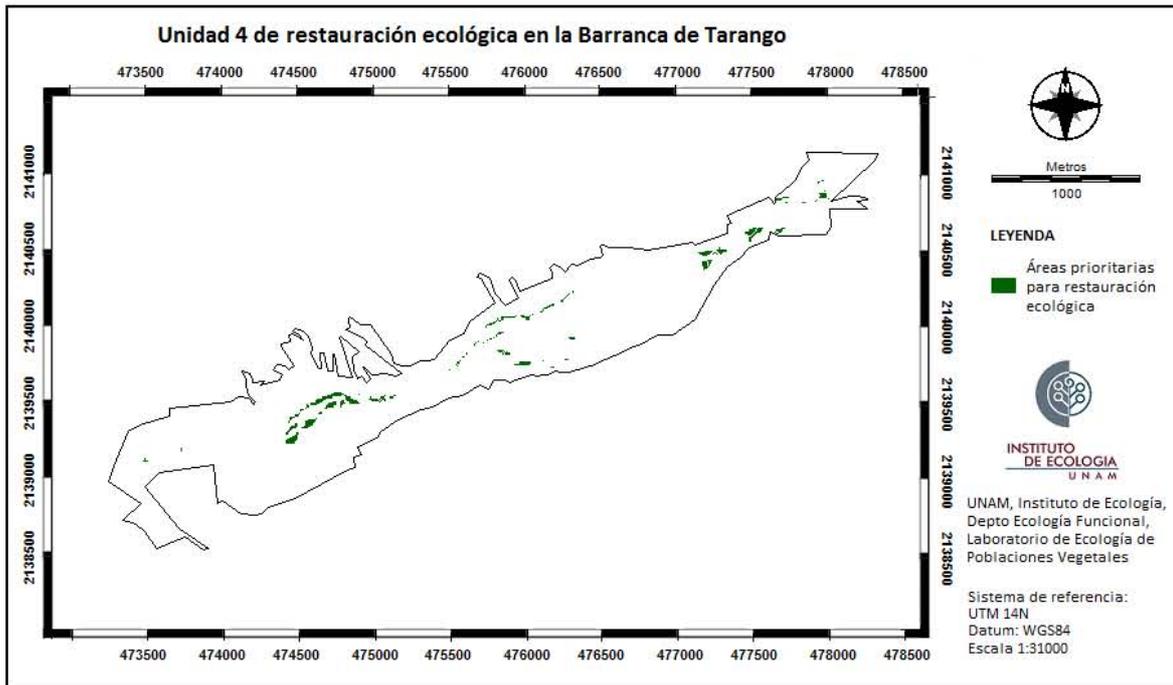
La orientación de las laderas presenta distinta composición vegetal en los bosques de referencia; sin embargo, no siempre es posible representar de forma apegada la composición histórica de la vegetación. Algunas plantas que cumplan las más importantes funciones en el ecosistema deben emplearse en mayor densidad, por ejemplo, agaves y encinos pueden promover la retención de los suelos en áreas con elevadas pendientes. En estas áreas se propone realizar surcos de contorno, los cuales evitan la erosión del suelo reteniéndolo físicamente. En este sentido, el sistema radicular de los encinos funciona como contenedor de la erosión del suelo.

La distribución de estos sitios en la Barranca de Tarango se muestra en la figura 25.



Figura 24. Sitio característico del conjunto 3 de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Propuesta de restauración ecológica



Propuesta de restauración ecológica

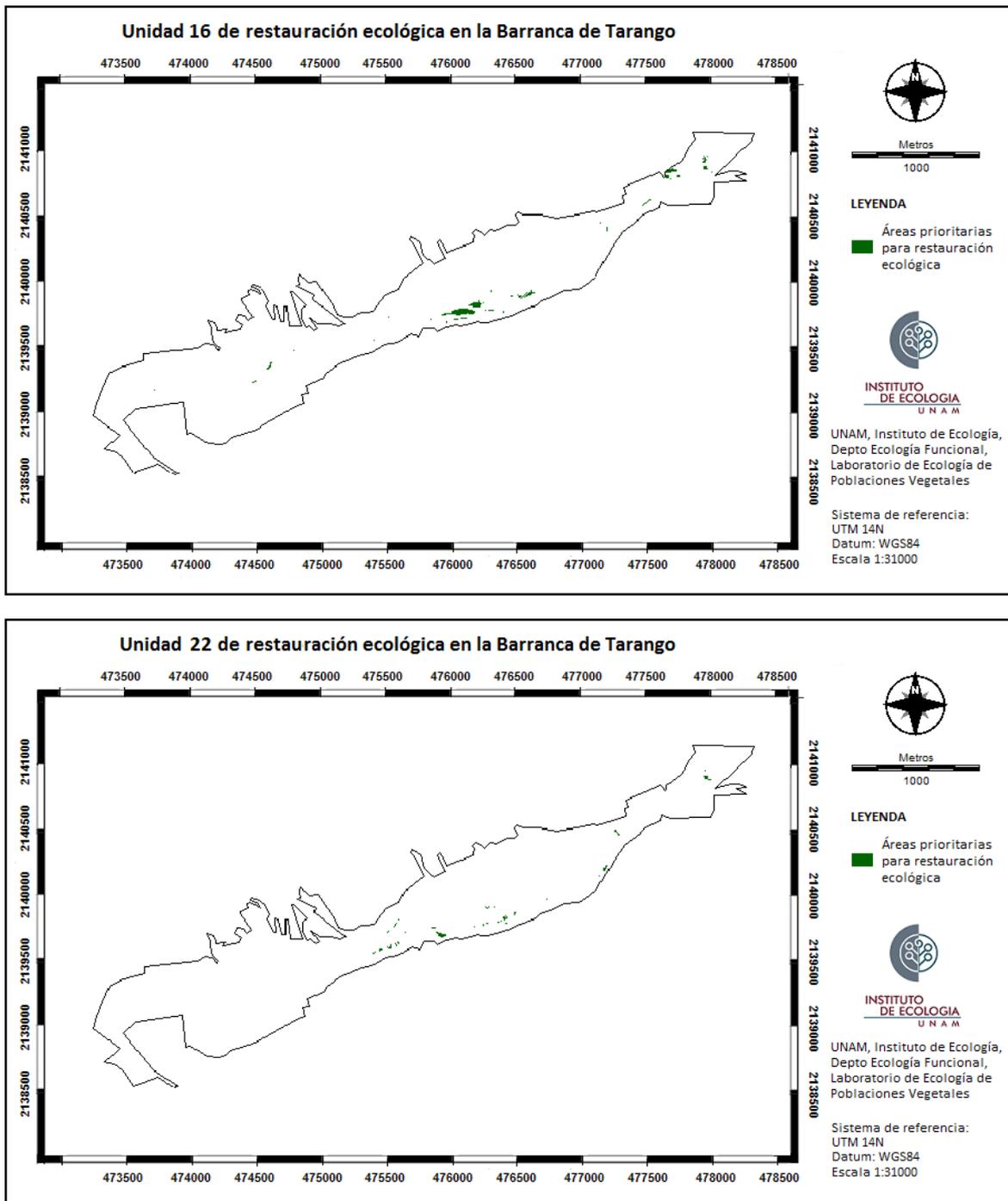


Figura 25. Conjunto 3 de unidades de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

Conjunto 4 de restauración: Unidad 5 – Unidad 23

Estas unidades se agruparon debido a que cuentan con suelos de tipo Leptosol y una asociación vegetal conformada por encinos, tepozán, pirul y arbustos. Difieren en la orientación de sus laderas y en las pendientes. La unidad 5 presenta orientaciones al norte, mientras que las orientaciones de la unidad 23 son al sur; las pendientes de la unidad 5 van de 0 a 15°, mientras que las pendientes de la unidad 23 van de 15 a 30°.

Este conjunto de unidades presentan parches de bosque de encinos y elementos exóticos como el pirul *Schinus molle*, no obstante debe analizarse el papel que tiene como facilitadora para el desarrollo de otras plantas y posteriormente debe ser erradicada del sitio. Los manchones de matorrales presentes son parte de un estado sucesional que se encuentra detenido debido a los disturbios, donde la presencia de elementos del bosque maduro, encinos y tepozanes, señala que existió un factor de disturbio, que al parecer fue la tala para extracción de suelo, lo cual provocó la eliminación de la cubierta vegetal y favoreció la degradación del sitio.

Los suelos en el sitio presentan un alto grado de degradación producto de la elevada erosión de la que fueron sujetos luego de la eliminación de la vegetación. Una estrategia importante es la generación de microsítios para el establecimiento de vegetación, estos microsítios pueden ser generados mediante compostas que permitan la retención de humedad y, a su vez, aporten nutrimentos para el establecimiento vegetal. Otro método para la generación de microsítios son los acolchados, los cuales tienen como finalidad disminuir las condiciones microclimáticas extremas presentes en estos sitios y de la misma forma que las compostas proveen nutrientes para facilitar el establecimiento de las plantas.

Se deben establecer plantaciones mixtas integradas por especies de rápido crecimiento, así como especies que toleren condiciones de sequía creciendo en áreas abiertas. Por lo tanto, las plantas a reintroducir en estas áreas son: *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. mexicana*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Baccharis conferta*, *B. thesioides*, *Agave salmiana*, *Buddleia cordata*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Eysenhardtia polystachya*, *Crataegus mexicana*, *Prunus serotina* var. *capuli*, *Salvia mexicana*, *Bouvardia ternifolia*, *Verbesina virgata*, *Loeselia mexicana* y *Dodonaea viscosa*.

Buddleia cordata y *Prunus serotina* var. *capuli* pueden establecerse en áreas abiertas y fungir como facilitadoras para el establecimiento de otras plantas. Los individuos del género *Baccharis* son especies de las que se conoce su papel de nodrizas sobre los encinos (González *et al.*, 2007), estos arbustos crecen en condiciones en donde el suelo es nulo, sus raíces logran penetrar el compactado material parental del cual se originan los suelos del sitio. Las especies de *Baccharis* presentan elevadas densidades en bordes del bosque, esta propuesta recomienda la replantación de estos organismos a los sitios de restauración.

Un elemento vegetal que tiene la capacidad de retener los suelos y que crece abundantemente en el sitio es el agave, particularmente *Agave salmiana*. Además de estas características que brindan las anteriores especies, es importante introducir plantas que puedan aportar nutrientes y captar elementos importantes para el ecosistema como el nitrógeno, una especie con esa capacidad es *Eysenhardtia polystachya*, una leguminosa con amplio potencial para la restauración y que además tolera condiciones climáticas extremas para su establecimiento, incluso su distribución se registra en matorrales xerófilos.

Empleando una técnica denominada cultivos de cobertura, se pretende establecer plantas de tipo herbáceo y arbustivo que se distribuyan en las partes desprovistas de vegetación y permitan el aporte de materia orgánica y la retención de los suelos, estas plantas son *Salvia mexicana*, *Bouvardia ternifolia*, *Verbesina virgata*, *Loeselia mexicana* y *Dodonaea viscosa*, a las cuales pueden aplicárseles tratamientos pregerminativos que aumenten su vigor y éxito en el establecimiento.

La distribución de estos sitios en la Barranca de Tarango se muestra en la figura 26.

Propuesta de restauración ecológica

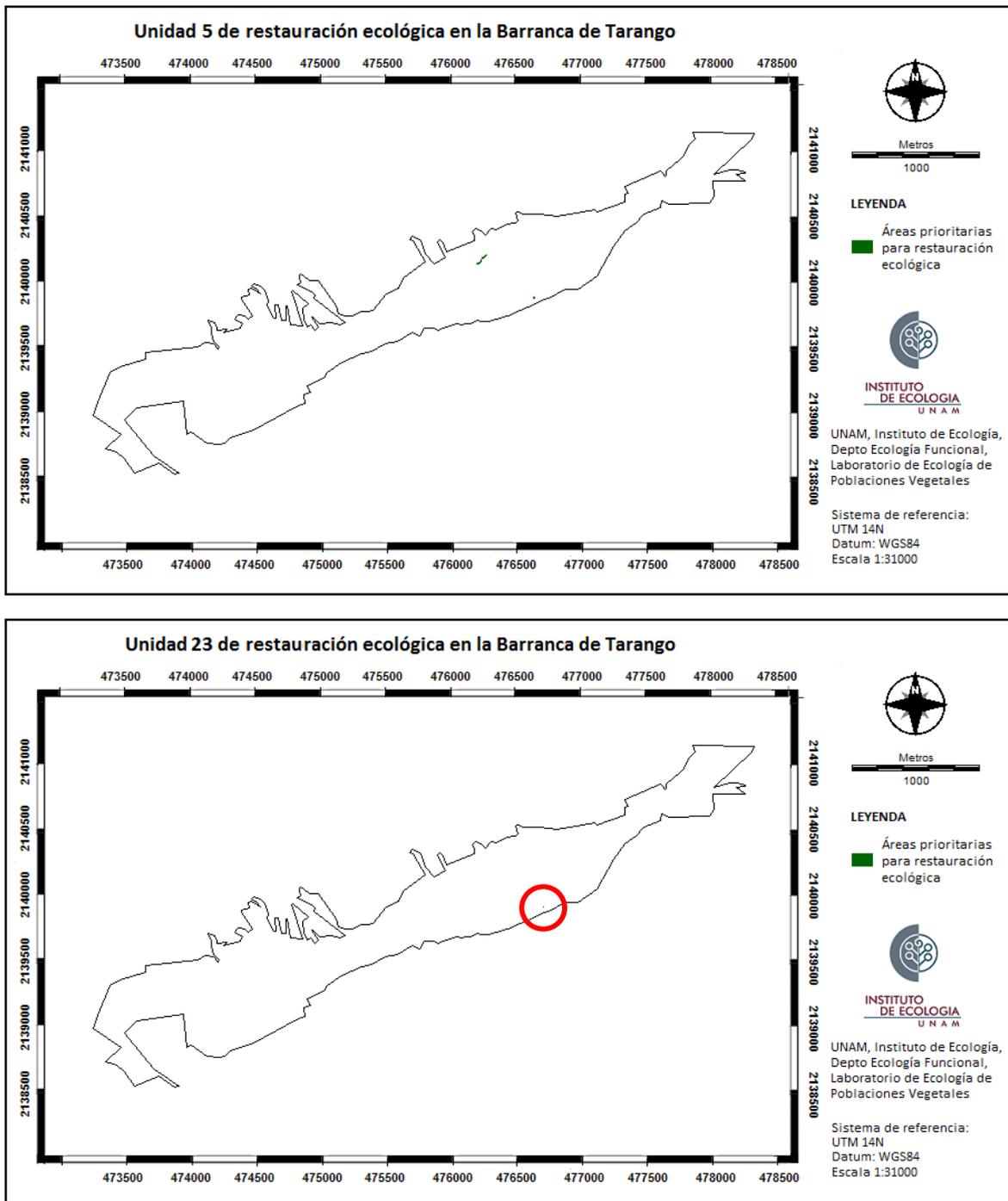


Figura 26. Conjunto 4 de unidades de restauración ecológica en la Barranca de Tarango, Delegación Álvaro Obregón, D. F.

CONCLUSIONES

Los bosques de encino analizados en la Barranca de Tarango presentan dos asociaciones, 1. *Quercus castanea* y *Q. obtusata* y 2. *Q. castanea* y *Q. rugosa*. La flora está comprendida por 43 especies, distribuidas en 20 familias y 33 géneros. La riqueza de especies considerando ambos sitios es de 34. El valor bajo de similitud entre los sitios indica un alto recambio de especies reflejada en las diferencias entre la composición de especies. Las poblaciones presentan regeneración natural, por lo que los encinares no están disminuyendo. Las especies útiles para restauración son: *Quercus castanea*, *Quercus crassipes*, *Quercus laurina*, *Quercus mexicana*, *Quercus obtusata*, *Quercus rugosa*, *Baccharis conferta*, *Baccharis thesioides*, *Ageratina petiolaris*, *Agave salmiana*, *Buddleia cordata*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Sedum oxypetalum*, *Arbutus xalapensis*, *Eysenhardtia polystachya*, *Salvia mexicana*, *Fraxinus uhdei*, *Crataegus mexicana*, *Prunus serotina* var. *capuli*, *Bouvardia ternifolia*, *Verbesina virgata*, *Acacia schaffneri*, *Loeselia mexicana*, *Dodonaea viscosa* y *Cestrum roseum*.

Los suelos sobre los que se asientan los bosques no presentan ninguna limitante para el establecimiento, crecimiento y desarrollo de vegetación en el área. Estas condiciones edáficas presentes en los sitios descritos, son umbrales que deben alcanzar a mediano y largo plazo los suelos degradados de las áreas sometidas a restauración ecológica.

El área restaurable para el sitio es de 26 ha, extensión equivalente al 10% del área de estudio. Las áreas más pequeñas encontradas para la restauración en el sitio son de 100 m², mientras que las áreas más extensas están constituidas por parches de hasta 9 ha. Los criterios que deben emplearse en un análisis de este tipo están en función de las particularidades de cada sitio, por lo que es complicado generalizar y estandarizar un grupo o conjunto de elementos concretos para asignar un manejo a un área determinada, es necesario considerar integralmente el sitio para establecer qué tipo de criterios emplear. La evaluación multicriterio (EMC) es una herramienta que permitió identificar patrones en el sitio, que a su vez permiten delimitar áreas viables y prioritarias para el manejo de los recursos naturales.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, H. N. 1989. Tratado de edafología de México, Tomo I. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Aguirre-Muñoz, A., A. Samaniego-Herrera, C. García-Gutiérrez, L. Luna-Mendoza, M. Rodríguez-Malagón, y F. Casillas-Figueroa. 2005. El control y la erradicación de fauna introducida como instrumento de restauración ambiental: historia, retos y avances en México. Pp. 215-229 en O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez, y D. Azuara, editores. Temas sobre restauración ecológica. Diplomado en Restauración Ecológica, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, D. F.
- Altamirano, F., y J. Ramírez. 1894. Lista de nombres vulgares y botánicos de árboles y arbustos propicios para repoblar los bosques de la República acompañados de los climas en que vegetan y de la manera de propagarlos. Secretaria de Fomento, México, D. F.
- Antonio-Garcés, J. 2008. Restauración ecológica de la zona de amortiguamiento 8 de la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F. (México). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Arriaga, V., V. Cervantes, y A. Vargas-Mena. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. SEDESOL / INE / Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Ávila-Akerberg, V. D. 2004. Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del Rio Magdalena: diagnostico hacia la restauración ecológica. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Begon, M., C. R. Townsend, y J. H. Harper. 2006. Ecology: from individuals to ecosystems. Blackell Press, Londres, Reino Unido.
- Benítez, G., M. T. Pulido-Salas y M. Equihua. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología, A.C. / SIGOLFO / CONAFOR. Xalapa, Veracruz, México.
- Benítez-Malvido, J., M. Martínez-Ramos, y E. Ceccon. 2001. Seed rain vs. seed bank and the effect of vegetation cover on the recruitment of tree seedlings in tropical successional vegetation. *Dissertation Botanicae* **346**:185-203.
- Blanco-García, J. 2010. Restauración ecológica de bosques templados bajo diferentes condiciones de disturbio: desarrollo del dosel y sotobosque. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán, México.
- Bradshaw, A. D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape Planning* **11**:35-48.

Literatura citada

- Bradshaw, A. D. 1987. Reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. Pp. 57-64 en W. R. Jordan III M. E. Gilpin, y J. D. Aber, editores. Restoration ecology. A synthetic approach to ecological research. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Bradshaw, A. D. 1997. Restoration in mined land – using natural processes. *Ecological Engineering* **8**:255-269.
- Calderón, G. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del valle de México. Instituto de Ecología A. C. / Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Callaway, J. C., G. Sullivan, J. S. Desmond, G. D. Williams y J. B. Zedler. 2001. Assessment and Monitoring. En: J. B. Zedler, editor. Handbook for restoring tidal wetlands. CRC Press, Boca Raton, Florida, Estados Unidos.
- Canedo, C. M. 2007. Conservación y recuperación de barrancas del poniente de la Ciudad de México. Seminario: recuperación ambiental de barrancas urbanas. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F., disponible en <http://www.ine.gob.mx/dgipea/310-seminario-recuperacion-barrancas-urbanas> (Consultado el 23 de marzo de 2010).
- Cano-Santana, Z., I. Pisanty, S. Segura, E. Mendoza-Hernández, R. León-Rico, J. Soberón, E. Tovar, E. Martínez-Romero E, L. Ruiz-Amaro, y A. Martínez-Balleste. 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del pedregal del Xitle. Pp. 203-226 en K. Oyama, y A. Castillo, coordinadores. Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México. Siglo veintiuno editores / Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Carabias, J., V. Arriaga, y V. Cervantes-Gutiérrez. 2007. Las políticas públicas de la restauración ambiental en México: limitantes, avances, rezagos y retos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **80** (suplemento):85-100.
- Ceballos-Silva, A. y J. López-Blanco. 2003. Delineation of suitable areas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems* **77**:117–136.
- Collins, M. G., F. R. Steiner, y M. J. Rushman. 2001. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environmental Management* **28**:611-621.
- Colwell, R. K. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>
- Constanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neill, J. Paruelo, R. Raskin, P. Sutton, y M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **387**:253-260.
- Cornejo-Tenorio, G., A. Casas, B. Farfán, J. L. Villaseñor y G. Ibarra-Manríquez. 2003. Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **73**:43-62.
- Corona-Álvarez, G. 2011. Restauración ecológica de la Barranca Tarango. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Literatura citada

- Cotler, H. 2003. Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña. Pp. 153-161 en O. Sánchez, E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis, editores. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F.
- DGECIIP. 1999. Diseño del programa de manejo de la Barranca de Tarango y elaboración del proyecto ejecutivo del Parque recreativo Los Álamos en la Delegación Álvaro Obregón. Dirección Ejecutiva de la Coordinación Institucional e Integración de Políticas. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal.
- Dobson, A.P., A. D. Bradshaw, y J. M. Baker. 1997. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* **277**:515-522.
- Eguiarte, L., y D. Piñero. 1990. Genética de la conservación: leones vemos, genes no sabemos. *Ciencias (especial)* **4**:34-47.
- Ehrenfeld, J. G. 2000. Defining the limits of restoration: the need realistic goals. *Restoration Ecology* **8**:2-9.
- Encina-Domínguez, J. A., A. Zárate-Lupercio, E. Estrada-Castillón, J. Valdés-Reyna, y J. A. Villareal-Quintanilla. 2009. Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana* **86**:71-108.
- Encina-Domínguez, J. A., A. Zárate-Lupercio, J. Valdés-Reyna, y J. A. Villareal-Quintanilla. 2007. Caracterización ecológica y diversidad de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **81**:51-63.
- Encina-Domínguez, J. A., y J. A. Villareal-Quintanilla. 2002. Distribución y aspectos ecológicos del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Coahuila, México. *Polibotánica* **13**:1-23.
- Erdle, T., y J. Pollard. 2002. Are plantations changing the tree species composition of New Brunswick's forest? *The Forest Chronicle* **78**:812-821.
- Etchevers, B. J., 1988. Interpretación de los análisis químicos de suelo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Fanning, D. S., y Fanning, M. C. 1989. Soil morphology, genesis and classification. Ed. John Wiley, Nueva York, Estados Unidos.
- Fassbender, W. H., y E. Bornemisza. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. Ed. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA), Costa Rica.
- Fenster, C. B., y M. R. Dudash. 1994. Genetic considerations for plant population restoration and conservation. Pp. 34-62 en M. L. Bowles y C. J. Whelan, editores. *Restoration of endangered species*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Flores, O. M., y R. Lindig-Cisneros. 2005. La Lista de nombres vulgares y botánicos de árboles y arbustos propicios para repoblar los bosques de la República de Fernando Altamirano y José Ramírez a más de 110 años de su publicación. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **76**:11-35.
- Foth, D. H. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía Editorial Continental, S. A. de C.V., México.

Literatura citada

- Ganade, G., y V. K. Brown. 2002. Succession in old pastures of central Amazonia: role of soil fertility and plant litter. *Ecology* **83**:743-754.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- García-Flores, J. 2008. Diagnóstico ambiental de las unidades naturales de la estación de restauración ecológica "Barrancas del río Tembembe", con fines de restauración. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- García-Oliva, F., J. M. Maass, V. J. Jaramillo, A. Martínez-Yrizar, A. Pérez-Jiménez y J. Sarukhán. El enfoque ecosistémico y su aplicación en problemas de manejo y restauración ecológica: el caso de la selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco. Pp. 111-126 en K. Oyama, y A. Castillo, coordinadores. Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México. Siglo veintiuno editores / Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- García-Romero, A. 2001. Evolution of disturbed oak woodlands: the case of Mexico City's western forest reserve. *The Geographical Journal* **167**:72-82.
- GODF (Gaceta Oficial del Distrito Federal del 22 de Julio de 2009). 2009. Décimo Séptima Época, No. 637. Jefatura de Gobierno del Distrito Federal.
- González, E. M., M. N. Ramírez, C. A. Camacho, S. Holz, V. J. Reyes, y V. M. Parra. 2007. Restauración de bosques en territorios indígenas de Chiapas: modelos ecológicos y estrategias de acción. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **80**(suplemento):11-23.
- Gregorich, E. G., M. R. Carter, J. W. Doran, C. E. Pankhurst, L. M. Dwyer. 1997. Biological attributes of soil quality. Pp. 81-113 en E. G. Gregorich, M. R. Carter, editores. *Soil quality for crop production and ecosystem health*. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos.
- Grijpma, I. P. 1998. Producción forestal: manual para educación agropecuaria (54). SEP / Trillas, México, D. F.
- Harrington, C. 1999. Forests planted for ecosystem restoration or conservation. *New Forests* **17**:175-190.
- Hernández-García, C. 2011. Restauración ecológica de la Barranca Tarango, mediante la reintroducción de la especie nativa *Quercus rugosa* Neé. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Hobbs, R. J., y J. A. Harris. 2001. Restoration Ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology* **9**:239-246.
- Hobbs, R. J., y L. F. Huenneke. 1992. Disturbance, diversity and invasion: implications for conservation. *Conservation Biology* **6**:324-337.
- Hobbs, R. J., y D. A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* **4**:93-110.
- Hooper, D. U., y P. M. Vitousek. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* **277**:1302-1305.

Literatura citada

- INE (Instituto Nacional de Ecología). 2007a. Diagnóstico socioambiental de la Barranca de Guadalupe en Álvaro Obregón, Distrito Federal. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F., disponible en <http://www.ine.gob.mx/dgipea/308-diagnostico-barranca-guadalupe> (Consultado el 27 de abril de 2010).
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 2007b. Memoria del Taller: “Barrancas urbanas: Soluciones a la problemática ambiental y opciones de financiamiento” Instituto Nacional de Ecología, México, D. F., disponible en http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/mem_barrancas_urbanas_final.pdf (consultado el 28 de mayo de 2010).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) y GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2005. Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática / Gobierno del Distrito Federal, México, D. F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1977a. Carta edafológica E14A39, escala 1:50000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1977b. Carta de uso de suelo y vegetación E14A39, escala 1:50000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1978. Carta geológica E14A39, escala 1:50000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2006. Cuaderno Estadístico Delegacional, Álvaro Obregón. Gobierno del Distrito Federal. México, D. F.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma, Italia.
- Jackson, M. L. 1984. Análisis químico de suelos. Omega, Barcelona, España.
- Janssen, R., y P. Rietveld. 1990. Multicriteria analysis and GIS: an application to agricultural landuse in the Netherlands. Pp. 129-139 en H. J. Scholten, y J. C. H. Stillwell, editores. Geographical Information Systems and Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos.
- Kent, M., y P. Coker. 1992. Vegetation description and analysis. Belhaven Press, Reino Unido.
- Knoepp, J. D., D. C. Coleman, D. A. Crossley Jr., J. S. Clark. 2000. Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use. *Forest Ecology and Management* **138**:357–368.
- Lehtomäki, J. E. Tomppo, P. Kuokkanen, I. Hanski, y A. Moilanen. 2009. Applying spatial conservation prioritization software and high-resolution GIS data to a national-scale study in forest conservation. *Forest Ecology and Management* **258**:2439–2449.
- Lindig-Cisneros, R. y L. Zambrano. 2007. Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos. Pp. 167-188 en Sánchez O., Herzig M., Peters-Recagno E., Márquez-Huitzil R. y Zambrano L. (eds). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Instituto Nacional de Ecología / U.S. Fish & Wildlife Service Unidos para la Conservación, A. C. / Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.

Literatura citada

- Lindig-Cisneros, R., A. Blanco-García, C. Sáenz-Romero, P. Alvarado-Sosa. y N. Alejandre-Melena. 2007. Restauración adaptable en la meseta Purépecha, Michoacán, México: hacia un modelo de estados y transiciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **80**(suplemento):25-31.
- Loewenstein, E., P. Johnson, y H. Garrett. 2000. Age and diameter structure of a managed uneven-aged oak forest. *Canadian Journal of Forest Research* **30**:1060-1070.
- Luken, J. O. 1990. *Directing ecological succession*. Chapman and Hall, Londres, Reino Unido.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing. Massachusetts, Estados Unidos.
- Malczewski, J. 2006. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **8**:270-277.
- Mäler, K. G. 2000. Development, ecological resources and their management: A study of complex dynamic systems. *European Economy Review* **44**:645-665.
- Martínez-Cruz, J., V. O. Téllez, y G. Ibarra-Manríquez. 2009. Estructura de los encinares de la sierra de Santa Rosa, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **80**:145-156.
- Martínez-Pérez, G., A. Orozco-Segovia, y C. Martorell. 2006. Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la mixteca alta oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **79**:9-20.
- Martínez-Ramos, M. y X. García-Orth. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **80**(suplemento):69-84.
- Mendoza, G. y H. Martins. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management* **230**:1-22.
- Mollot, A. L. y Bilby E. 2008. The use of Geographic Information Systems, Remote Sensing, and Suitability Modeling to Identify Conifer Restoration Sites with High Biological Potential for Anadromous Fish at the Cedar River Municipal Watershed in Western Washington, U.S.A. *Restoration Ecology* **16**: 336- 347.
- Montagnini, F. 2001. Strategies for the recovery of degraded ecosystems: experiences from Latin America. *Interciencia* **26**:498-503.
- Mooser, F., A. Montiel, y A. Zuñiga. 1996. *Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla*. Comisión Federal de Electricidad.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley. Nueva York, Estados Unidos.
- Munsell, Color. 1994. *Soil Color Charts*. Ed. Macbeth Division of Kollmorgen Instruments corporation. New Windsor, Nueva York, Estados Unidos.
- Muñoz, D., A. Mendoza, F. López, A. Soler, y M. Hernández. 2000. *Manual de métodos de análisis de suelos*. Facultad de Estudios Superiores – Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Návar-Cháidez, J. y S. González-Elizondo. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* **27**:71-87.

Literatura citada

- Nuzzo, V. A. y E. Howell. 1990. Natural area restoration planning. *Natural Areas Journal* **10**:201-209.
- O'Neill, M., J. Schmidt, J. Dobrowolski, C. Hawkins, y C. Neale. 1997. Identifying sites for riparian wetland restoration: application of model to the upper Arkansas river basin. *Restoration ecology* **5**:85-102.
- Oyama, K. y A. Castillo. 2006. Introducción. Pp. 9-26 en K. Oyama y A. Castillo, coordinadores. Manejo, Conservación y Restauración de recursos naturales en México. Siglo veintiuno editores / Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Patzelt, A., U. Wild, y J. Pfadenhauer. 2001. Restoration of wet fen meadows by topsoil removal: vegetation development and germination biology of fen species. *Restoration Ecology* **9**:127-136.
- Paul, J. R., A. M. Randle, C. A. Chapman, y L. J. Chapman. 2004. Arrested succession in logging gaps: is tree seedling growth and survival limiting? *African Journal of Ecology* **42**:245-251.
- Peet, R. K. 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* **5**:285-307.
- Phua, M. H. y M. Minowa. 2005. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. *Landscape Urban Planning* **71**:207-222.
- Pickett, S. T., y P. S. White 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press. San Diego, California, Estados Unidos.
- Ramírez-Marcial, N., A. Camacho-Cruz, y M. González-Espinosa. 2005. Potencial florístico para la restauración de bosques en Los Altos y las Montañas del norte de Chiapas. Pp. 325-363 en M. González-Espinosa, N. Ramírez-Marcial y L. Ruiz-Montoya, coordinadores. Plaza y Valdés / Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas / El Colegio de la Frontera Sur, México, D. F.
- Reynolds, K. y S. Peets. 2001. Integrated assessment and priorities for protection and restoration of watersheds. Pp. 1-14 en Proceedings of the IUFRO 4.11 Conference on Forest Biometry, Modelling and Information Science, Greenwich, June 26–29, 2001.
- Ricklefs, R. E. 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science* **235**:167-171.
- Ruhe, R. V. 1975. *Geomorphology: geomorphic processes and surficial geology*. Boston, Massachusetts: Houghton Mifflin, Estados Unidos.
- Ruprecht, E. 2005. Secondary succession in old-fields in the Transylvanian Lowland (Romania). *Preslia* **77**:145-157.
- Rzedowski, J. 1972. Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México III. Algunas tendencias en la distribución geográfica y ecológica de las Compositae mexicanas. *Ciencia* **27**:123-132.
- Rzedowski, J., 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sánchez, O. 1976. *Flora del Valle de México*. Editorial Herrero, S. A. México D. F.
- Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez, y D. Azuara, editores. 2005. Temas sobre restauración ecológica. Diplomado en Restauración Ecológica. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México, D. F.

Literatura citada

- Sarr, D., K. Puettmann, R. Pabst, M. Cornett, y L. Arguello. 2004. Restoration ecology. New perspectives and opportunities for forestry. *Journal of Forestry* July/August 20-24.
- Sarukhán, J. 2007. Editorial. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **80**(suplemento):7-10.
- Sayer, J., U. Chokkalingam, y J. Poulsen. 2004. The restoration of forest biodiversity and ecological values. *Forest Ecology and Management* **201**:3-11.
- Scheffer, M., S. Carpenter, J. A. Foley, C. Folke, y B. Walker. 2001. Catastrophic Shifts in Ecosystems. *Nature* **413**: 591-96.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. 31 de diciembre de 2002.
- SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group). 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International. Tucson, Arizona, Estados Unidos.
- Siebe, C., R. Jahn, y K. Stahr. 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México / Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung / Universidad de Halle, Alemania / Institut für Bodenkunde und Standortslehre / Universidad de Hohenheim, Alemania. México, D. F.
- Thompson, L. M., F. van Manen, S. Schlarbaum, y M. DePoy. 2006. A Spatial Modeling Approach to Identify Potential Bitternut Restoration Sites in Mammoth Cave National Park. *Restoration Ecology* **14**:289-296.
- Townsend, C. R. 2007. *Ecological Applications: Toward a Sustainable World*. Blackwell. Nueva Zelanda.
- Ubranska, K. M., N. R. Webb, y A. J. Edwards. 1997. *Restoration Ecology and sustainable development*. Cambridge University Press, Cambridge. Reino Unido.
- Valente, O. A. y A. C. Vettorazzi. 2008. Definition of priority areas for forest conservation through the ordered weighted averaging method. *Forest Ecology and Management* **256**:1408-1417.
- Valera-Pérez, M. A. 1993. Físicoquímica y mineralogía de Andosoles de la región de Teziutlán, estado de Puebla. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- van Diggelen R., A. P. Grootjans y J. A. Harris. 2001. Ecological restoration: state of the art or state of the science? *Restoration Ecology* **9**:115-118.
- Vázquez, J. A. y T. J. Givnish. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of Ecology* **86**:999-1020.
- Vázquez-Yanes, C. y A. I. Batis-Muñoz. 1996. La restauración de la vegetación, árboles exóticos vs árboles nativos. *Ciencias* **43**:16-23.
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis-Muñoz, M. I. Alcocer-Silva, M. Gual-Díaz, y C. Sánchez-Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO / Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

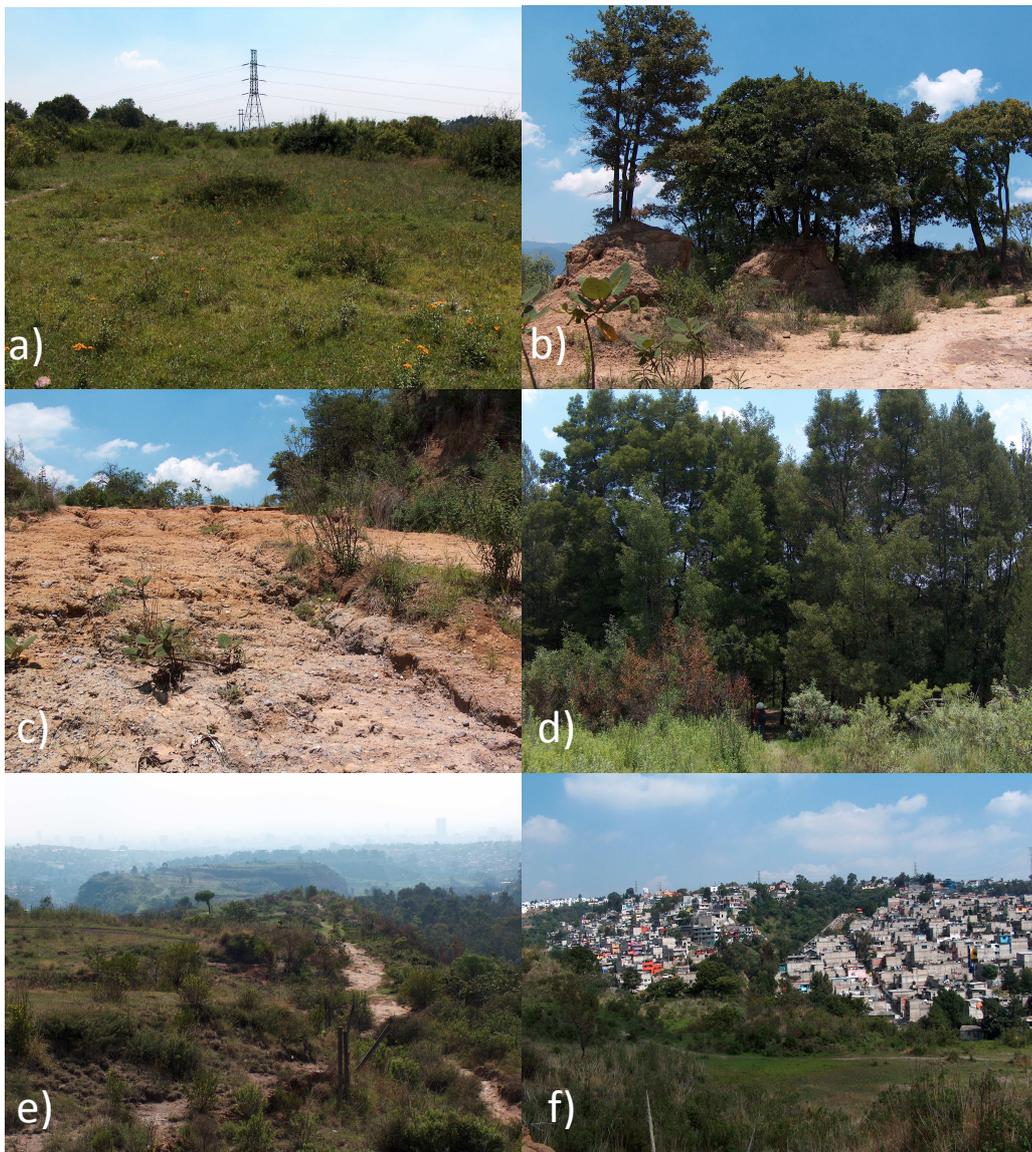
Literatura citada

- Velázquez, A., G. Bocco, A. Torres, y A. Castillo. 2006. Investigación participativa y evaluación del paisaje: bases para el uso sostenible de la biodiversidad en la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Pp. 154-178 en K. Oyama, y A. Castillo, coordinadores. Manejo, Conservación y Restauración de recursos naturales en México. Siglo veintiuno editores / Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ventura-González (en preparación). Fenología de una zona conservada de bosque en la Barranca Tarango, México, D. F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores - Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Vetaas, O. R. 1997. The effect of canopy disturbance on species richness in a central Himalayan oak forest. *Plant Ecology* **132**:29-38.
- Vora, R. S., S. Lerol, y N. Danz. 2008. Multi-species planting and other practices to restore forest diversity in northeastern Minnesota. *Ecological Restoration* **26**:340-349.
- Wali, M. K., editor. 1992. Ecosystem rehabilitation. SPB Academic Publishing, The Hague. Países Bajos.
- Young, T. P., D. A. Petersen, y J. J. Clary. 2005. The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters* **8**:662-673.
- Zacarias-Eslava, L. 2010. Diversidad y estructura de la vegetación leñosa del cerro el Águila, municipios de Morelia y lagunillas Michoacán, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán, México.
- Zedler, J. B. 2000. Progress in wetland restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution* **15**:402-407.
- Zedler, J. B. 2003. Wetlands at your service: reducing impacts of agricultura at the watershed scale. *Frontiers in Ecology and Environment* **1**:65-72.

APÉNDICES

Apéndice 1. Imágenes del sitio de estudio, Barranca de Tarango.

a) pastizales inducidos asociados a matorrales; b) encinares aislados; c) zonas de fuerte erosión; d) áreas de reforestación; e) matorrales; f) áreas urbanas; g) bosque de encinos; h) obras en la supervía; i) ganadería; j) bosque de encinos.



Apéndices



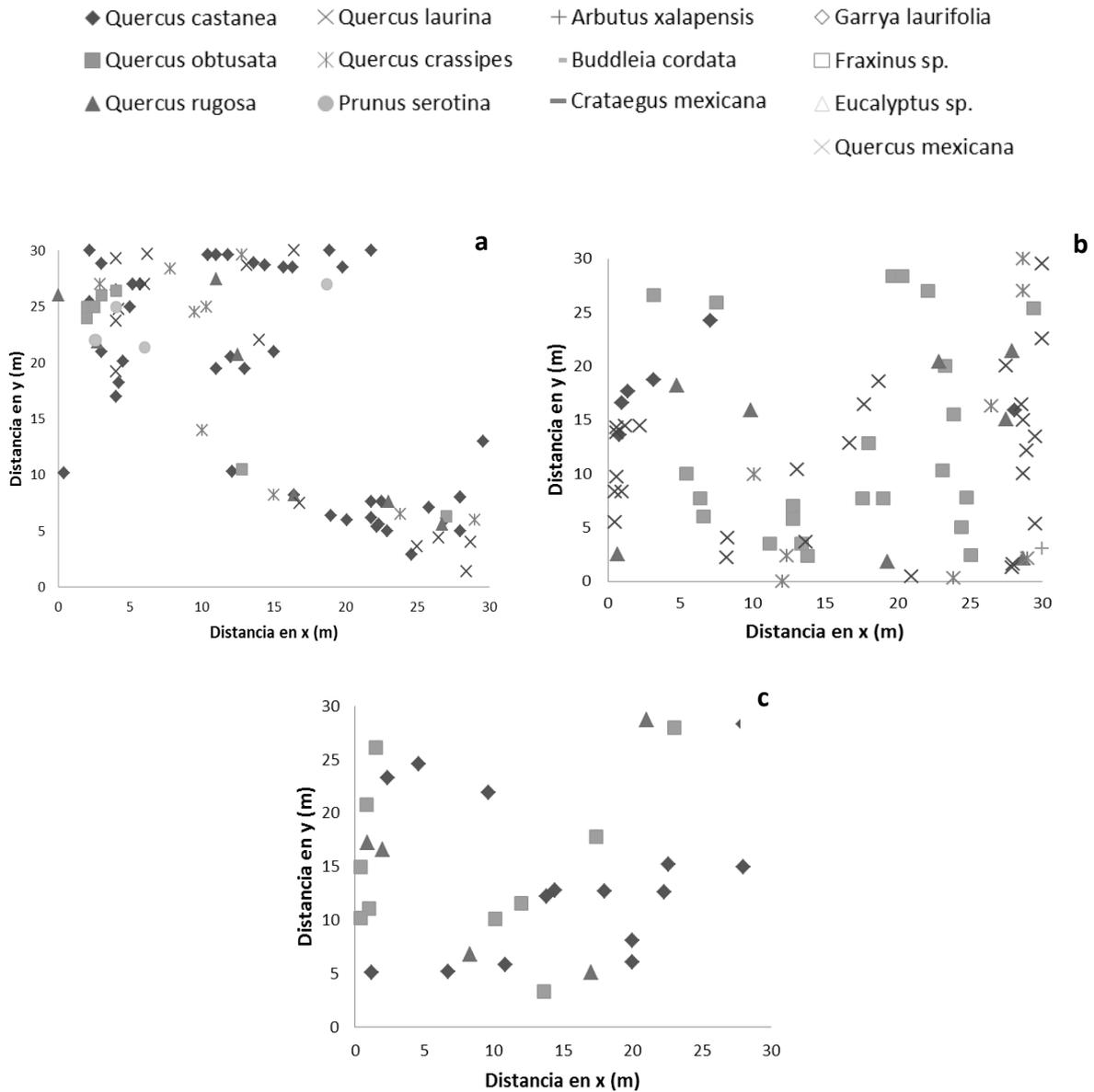
Apéndice 2. Listado florístico del bosque de encinos de la Barranca de Tarango.

FAMILIA	GENERO	ESPECIE	AUTOR
AGAVACEAE	<i>Agave</i>	<i>salmiana</i>	Otto
ASTERACEAE	<i>Ageratina</i>	<i>deltoides</i>	(Jacq.) King & Rob.).
	<i>Ageratina</i>	<i>glabrata</i>	(H.B.K.) King & Rob.)
	<i>Ageratina</i>	<i>petiolaris</i>	(Moc. ex DC.) (King & Rob.).
	<i>Ageratina</i>	sp. 1	Spach
	<i>Ageratina</i>	sp. 2	Spach
	<i>Archibaccharis</i>	<i>hirtella</i>	(DC.)
	<i>Baccharis</i>	<i>conferta</i>	Kunth
	<i>Baccharis</i>	<i>thesioides</i>	Kunth
	<i>Chromolaena</i>	<i>pulchella</i>	(Kunth) King & Rob.).
	<i>Dahlia</i>	<i>coccinea</i>	Cav.
	<i>Senecio</i>	sp.	L.
	<i>Verbesina</i>	<i>virgata</i>	Cav.
CAPRIFOLIACEAE	<i>Symphoricarpos</i>	<i>microphyllus</i>	Kunth
CRASSULACEAE	<i>Sedum</i>	<i>oxypetalum</i>	Kunth
ERICACEAE	<i>Arbutus</i>	<i>xalapensis</i>	Kunth
FABACEAE	<i>Dalea</i>	<i>foliolosa</i> var. <i>foliolosa</i> .	(Ait.) Barneby
	<i>Eysenhardtia</i>	<i>polystachya</i>	Ort. Sarg.
FAGACEAE	<i>Quercus</i>	<i>castanea</i>	Née
	<i>Quercus</i>	<i>crassipes</i>	Humb. & Bonpl.
	<i>Quercus</i>	<i>laurina</i>	Humb. & Bonpl.
	<i>Quercus</i>	<i>mexicana</i>	Humb. & Bonpl.
	<i>Quercus</i>	<i>obtusata</i>	Humb. & Bonpl.
	<i>Quercus</i>	<i>rugosa</i>	Née
GARRYACEAE	<i>Garrya</i>	<i>laurifolia</i>	Benth.
LAMIACEAE	<i>Salvia</i>	<i>mexicana</i>	L.
LOGANIACEAE	<i>Buddleia</i>	<i>cordata</i>	Kunth
MIMOSACEAE	<i>Acacia</i>	<i>schaffneri</i>	(S. Wats.) Hermann

Apéndices

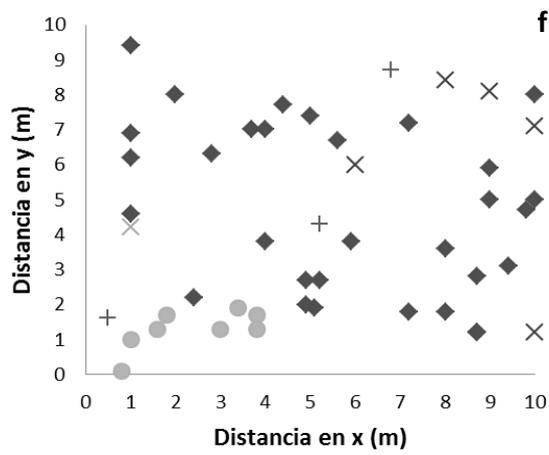
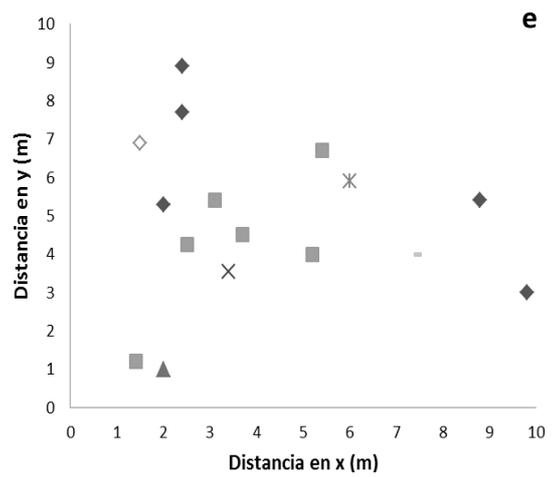
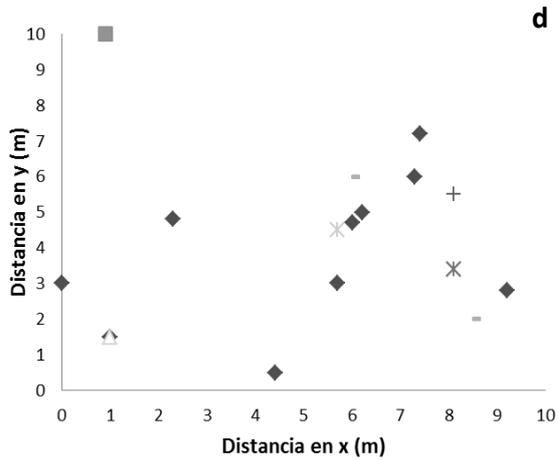
MYRTACEAE	<i>Eucalyptus</i>	sp.	L'Hér
OLEACEAE	<i>Fraxinus</i>	<i>uhdei</i>	(Wenzig) Lingelsh.
POACEAE	<i>Bothriochloa</i> <i>Bouteloua</i>	sp. sp.	Kuntze Lag.
POLEMONIACEAE	<i>Loeselia</i>	<i>mexicana</i>	(Lam.) Brand
POLYGALACEAE	<i>Monnina</i>	<i>ciliolata</i>	DC.
ROSACEAE	<i>Amelanchier</i> <i>Crataegus</i> <i>Prunus</i> <i>Rubus</i>	<i>denticulata</i> <i>mexicana</i> <i>serotina</i> var. <i>capuli</i> <i>ulmifolius</i>	(H.B.K.) Koch. Moc. & Sessé ex DC. Cav. McVaugh. Schott
RUBIACEAE	<i>Bouvardia</i>	<i>ternifolia</i>	(Cav.) Schlecht.
SAPINDACEAE	<i>Dodonaea</i>	<i>viscosa</i>	(L.) Jacq
SOLANACEAE	<i>Cestrum</i> <i>Cestrum</i> <i>Cestrum</i>	<i>fulvescens</i> <i>roseum</i> <i>thyrsoideum</i>	Fern. Kunth Kunth

Apéndice 3. Distribución espacial de los individuos presentes en el bosque de encino. Los cuadros permanentes de observación (CPO) del sitio 1 son para el estrato arbóreo: a, b y c, mientras que para el arbustivo son: d, e y f. Por su parte en el sitio 2, las imágenes que representan la distribución del estrato arbóreo son: g, h, i, y del estrato arbustivo son: j, k, l.



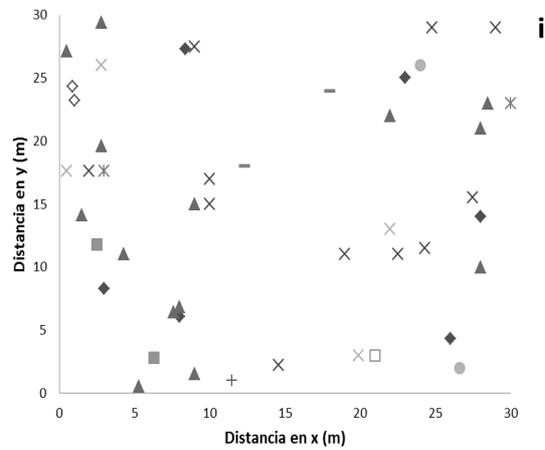
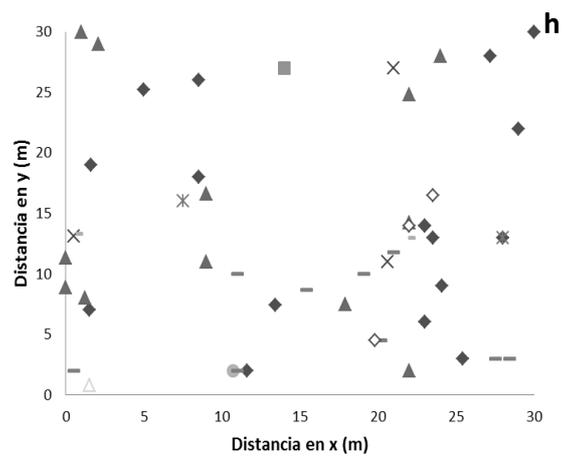
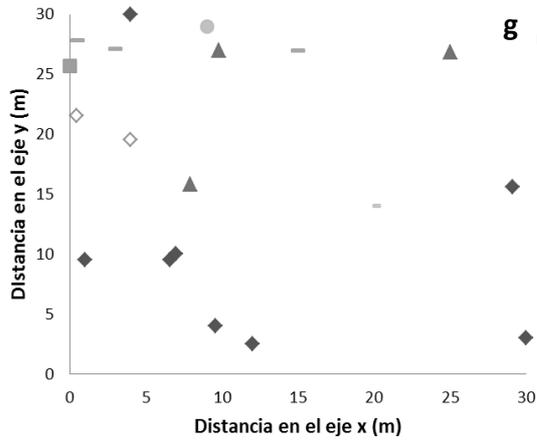
Apéndices

- | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| ◆ <i>Verbesina virgata</i> | × <i>Ageratina glabrata</i> | + <i>Bouvardia ternifolia</i> | ◇ <i>Dodonaea viscosa</i> |
| ■ <i>Baccharis conferta</i> | * <i>Eysenhardtia polystachya</i> | - <i>Ageratina petiolaris</i> | □ <i>Cestrum fulvescens</i> |
| ▲ <i>Agave salmiana</i> | ● <i>Dalea foliolosa</i> | — <i>Dahlia coccinea</i> | △ <i>Amelanchier denticulata</i> |



Apéndices

- | | | | |
|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| ◆ Quercus castanea | × Quercus laurina | + Arbutus xalapensis | ◇ Garrya laurifolia |
| ■ Quercus obtusata | * Quercus crassipes | - Buddleia cordata | □ Fraxinus sp. |
| ▲ Quercus rugosa | ● Prunus serotina | — Crataegus mexicana | △ Eucalyptus sp. |
| | | | × Quercus mexicana |



Apéndice 4. Listado de especies útiles para la restauración ecológica de la Barranca de Tarango. Listados florísticos que presentan especies con uso para la restauración, la reforestación y la repoblación, AR= Altamirano y Ramírez, 1894; VY= Vázquez-Yanes *et al.*, 1999; B= Benítez *et al.*, 2004; MP= Martínez-Pérez *et al.*, 2006.

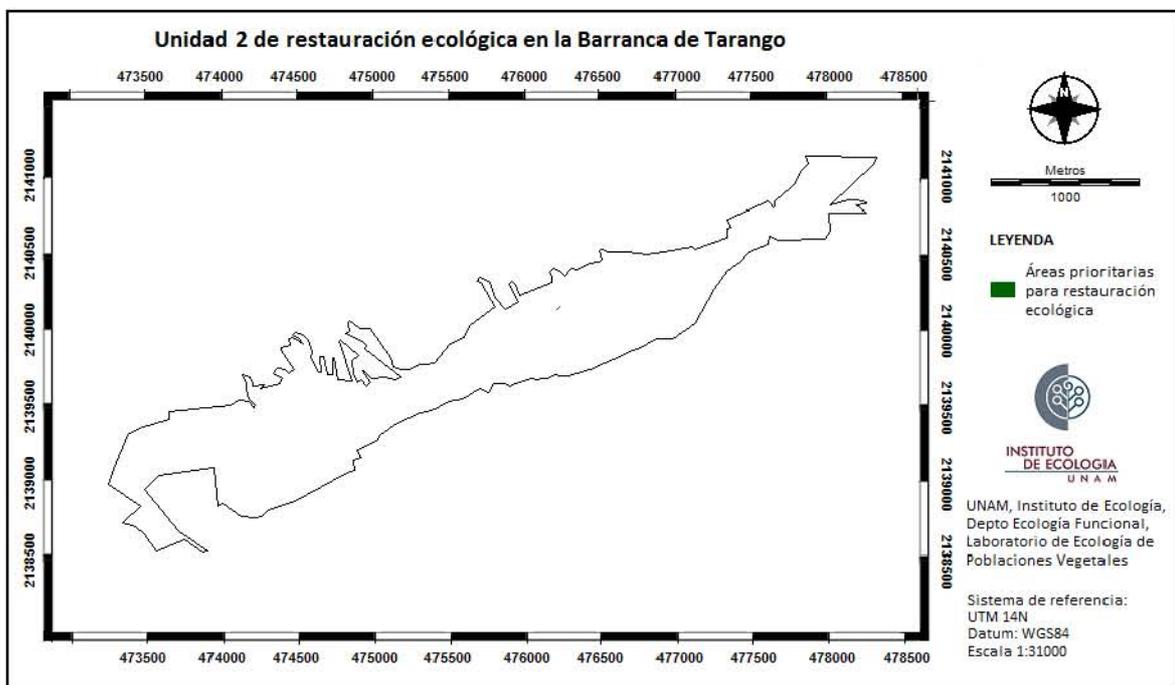
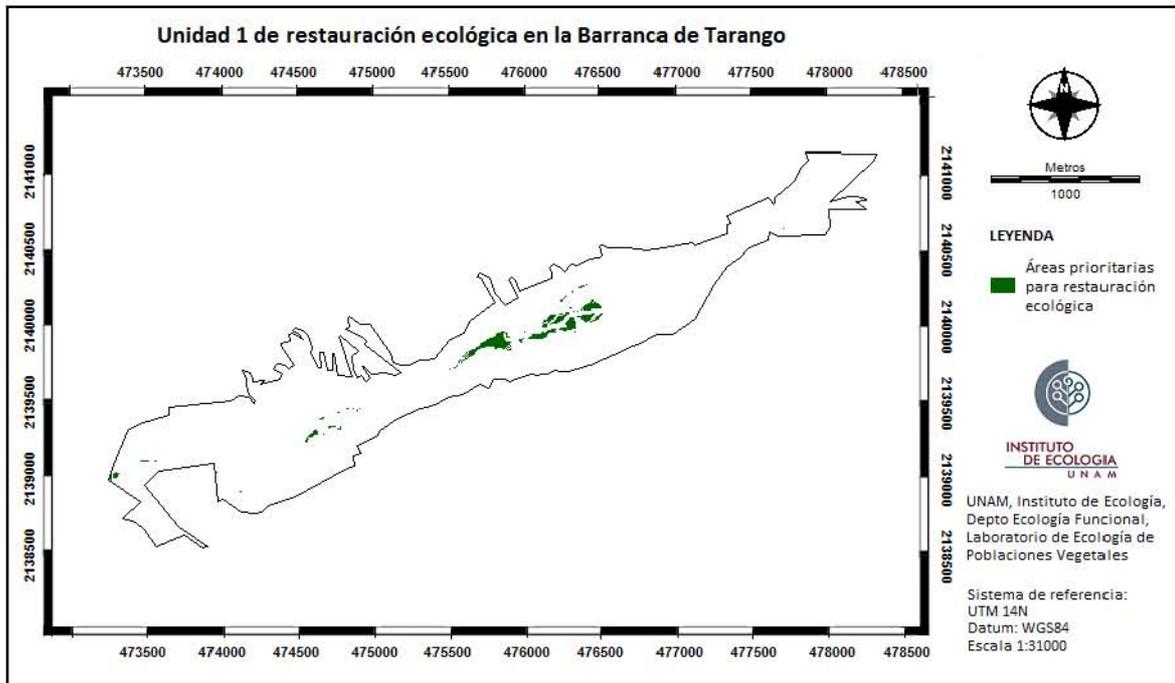
	Género	Especie	Familia	Forma de vida	Presencia en listados
1	<i>Quercus</i>	<i>castanea</i>	FAGACEAE	Arbórea	VY, MP
2	<i>Quercus</i>	<i>crassipes</i>	FAGACEAE	Arbórea	VY, AR
3	<i>Quercus</i>	<i>laurina</i>	FAGACEAE	Arbórea	VY, AR
4	<i>Quercus</i>	<i>mexicana</i>	FAGACEAE	Arbórea	
5	<i>Quercus</i>	<i>obtusata</i>	FAGACEAE	Arbórea	
6	<i>Quercus</i>	<i>rugosa</i>	FAGACEAE	Arbórea	VY, AR
7	<i>Fraxinus</i>	<i>uhdei</i>	OLEACEAE	Arbórea	B, VY
8	<i>Crataegus</i>	<i>mexicana</i>	ROSACEAE	Arbórea	B, VY, AR
9	<i>Prunus</i>	<i>serotina</i> var. <i>capuli</i>	ROSACEAE	Arbórea	B, VY, AR
10	<i>Arbutus</i>	<i>xalapensis</i>	ERICACEAE	Arbórea o arbustiva	VY, AR
11	<i>Eysenhardtia</i>	<i>polystachya</i>	FABACEAE	Arbórea o arbustiva	VY, AR
12	<i>Buddleia</i>	<i>cordata</i>	LOGANIACEAE	Arbórea o arbustiva	B, VY
13*	<i>Baccharis</i>	<i>conferta</i>	ASTERACEAE	Arbustiva	
14	<i>Baccharis</i>	<i>thesioides</i>	ASTERACEAE	Arbustiva	
15*	<i>Ageratina</i>	<i>petiolaris</i>	ASTERACEAE	Arbustiva	
16*	<i>Verbesina</i>	<i>virgata</i>	ASTERACEAE	Arbustiva	

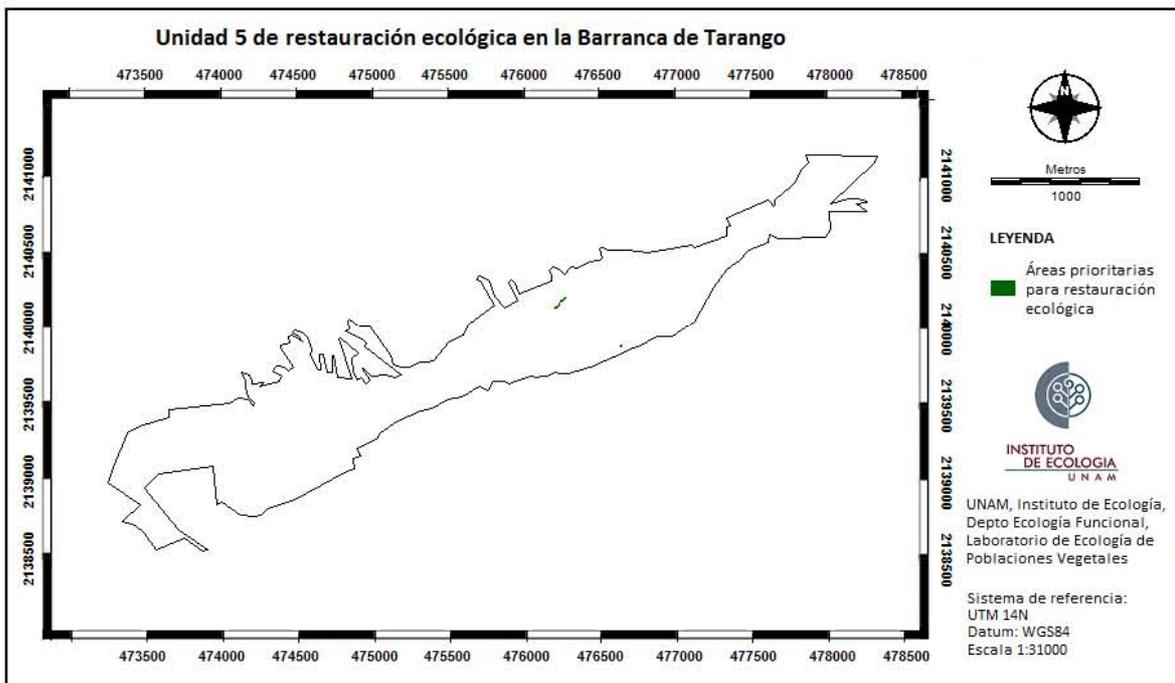
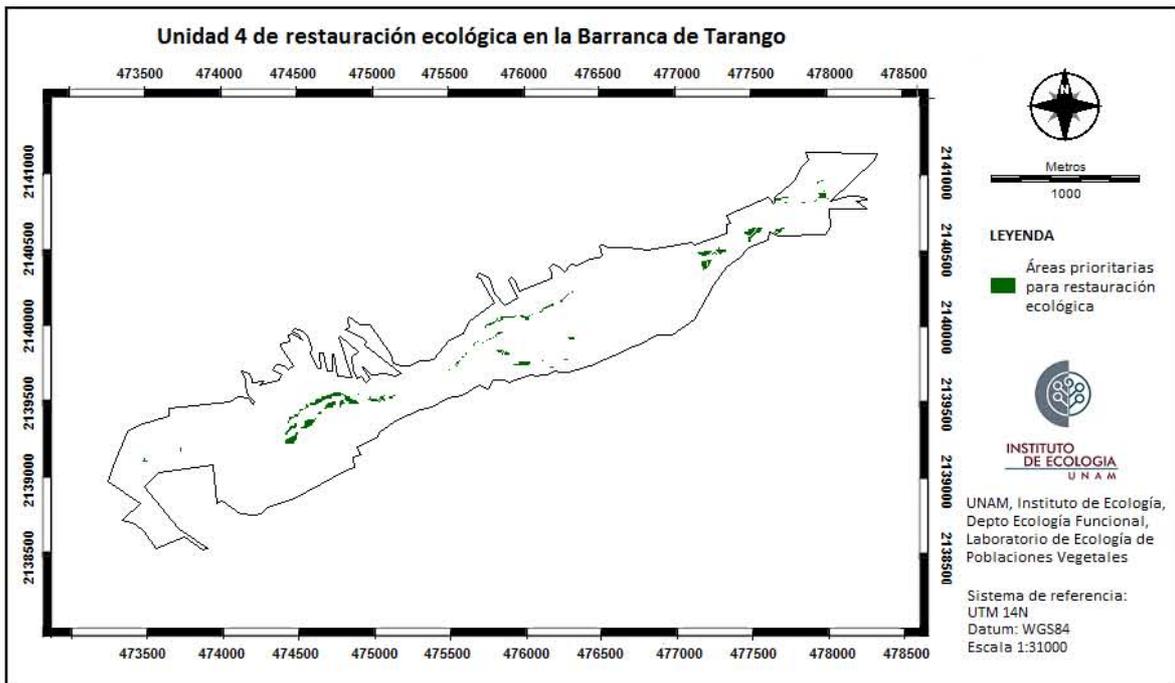
Apéndices

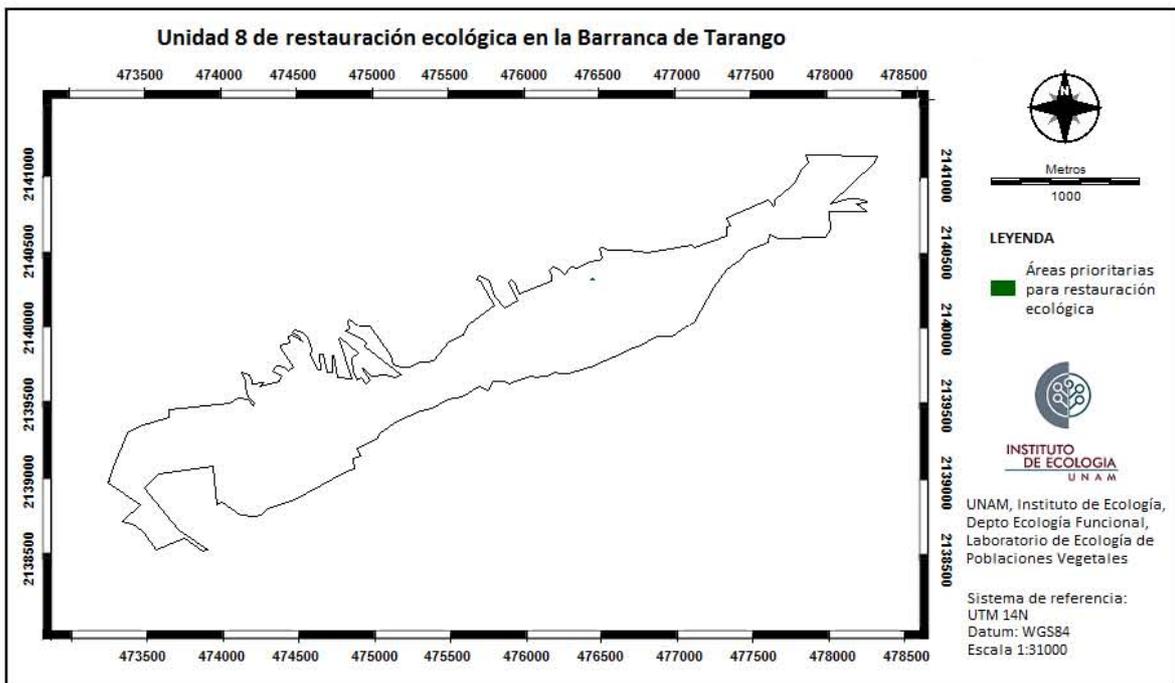
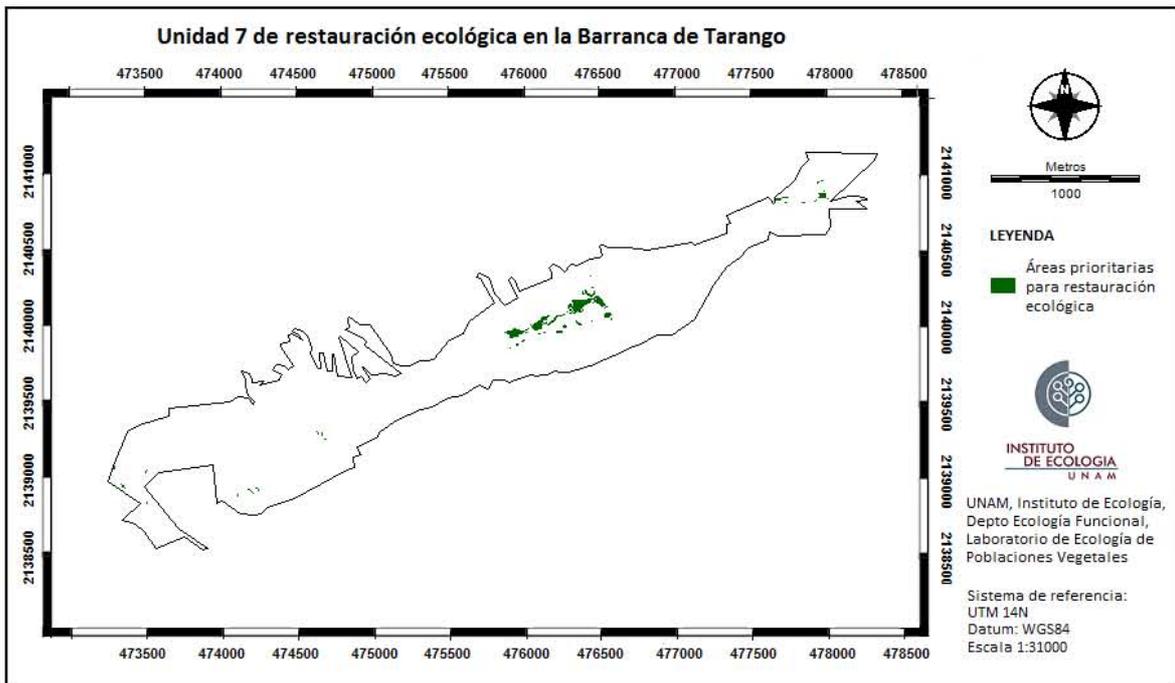
17	<i>Symphoricarpos</i>	<i>microphyllus</i>	CAPRIFOLIACEAE	Arbustiva	
18	<i>Sedum</i>	<i>oxypetalum</i>	CRASSULACEAE	Arbustiva	
19	<i>Acacia</i>	<i>schaffneri</i>	FABACEAE	Arbustiva	MP
20*	<i>Dodonaea</i>	<i>viscosa</i>	SAPINDACEAE	Arbustiva	MP
21*	<i>Cestrum</i>	<i>roseum</i>	SOLANACEAE	Arbustiva	
22*	<i>Loeselia</i>	<i>mexicana</i>	POLEMONIACEAE	Subarbusto o arbusto	
23*	<i>Bouvardia</i>	<i>ternifolia</i>	RUBIACEAE	Arbusto, subarbusto o herbácea perenne	
24	<i>Salvia</i>	<i>mexicana</i>	LAMIACEAE	Herbácea perenne o arbustiva	
25	<i>Agave</i>	<i>salmiana</i>	AGAVACEAE	Planta en roseta	

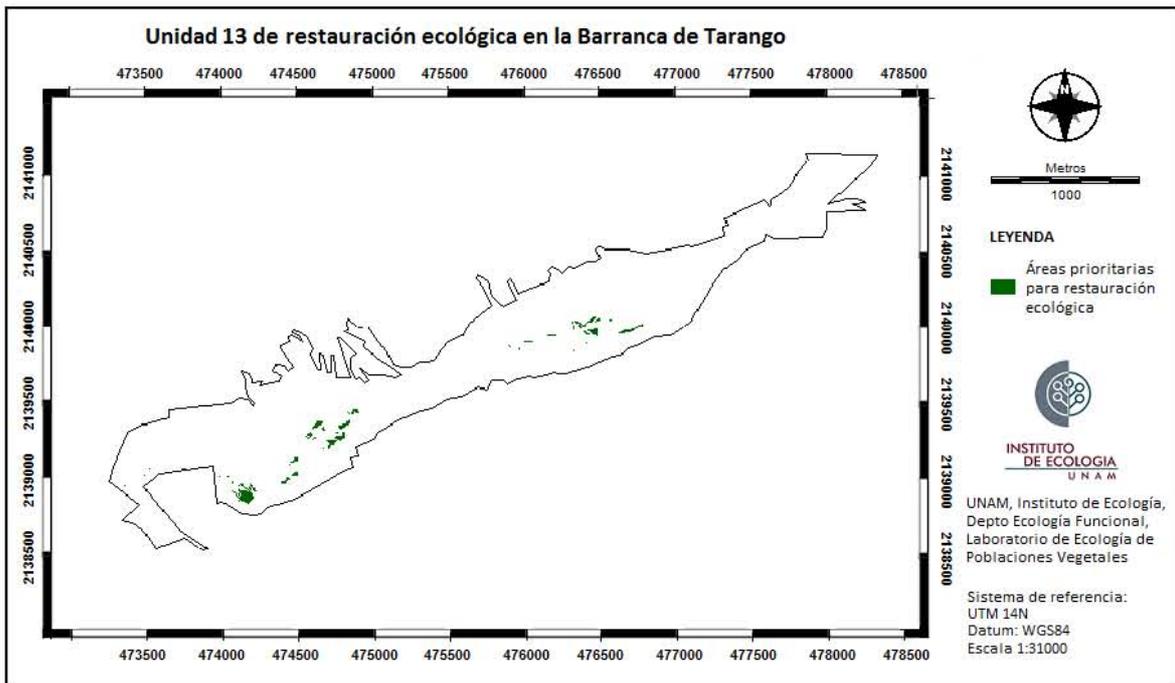
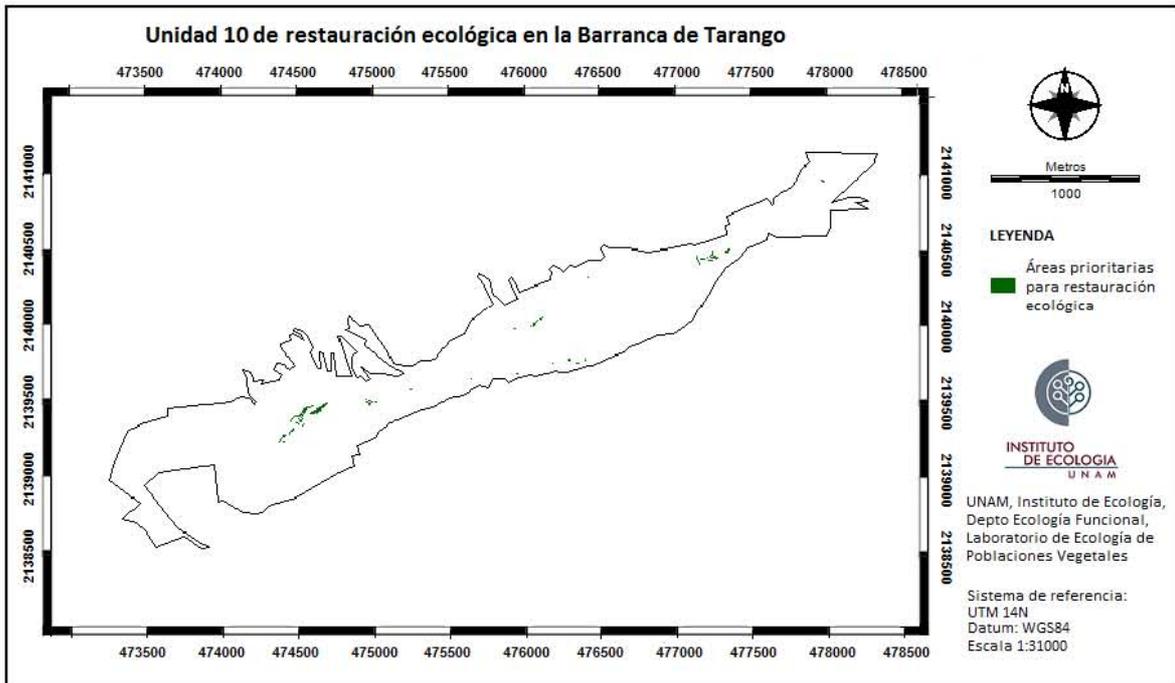
El asterisco (*) muestra las especies asociadas a disturbios (Altamirano y Ramírez, 1894; Vázquez-Yanes et al., 1999; Benítez et al., 2004; Martínez-Pérez *et al.*, 2006).

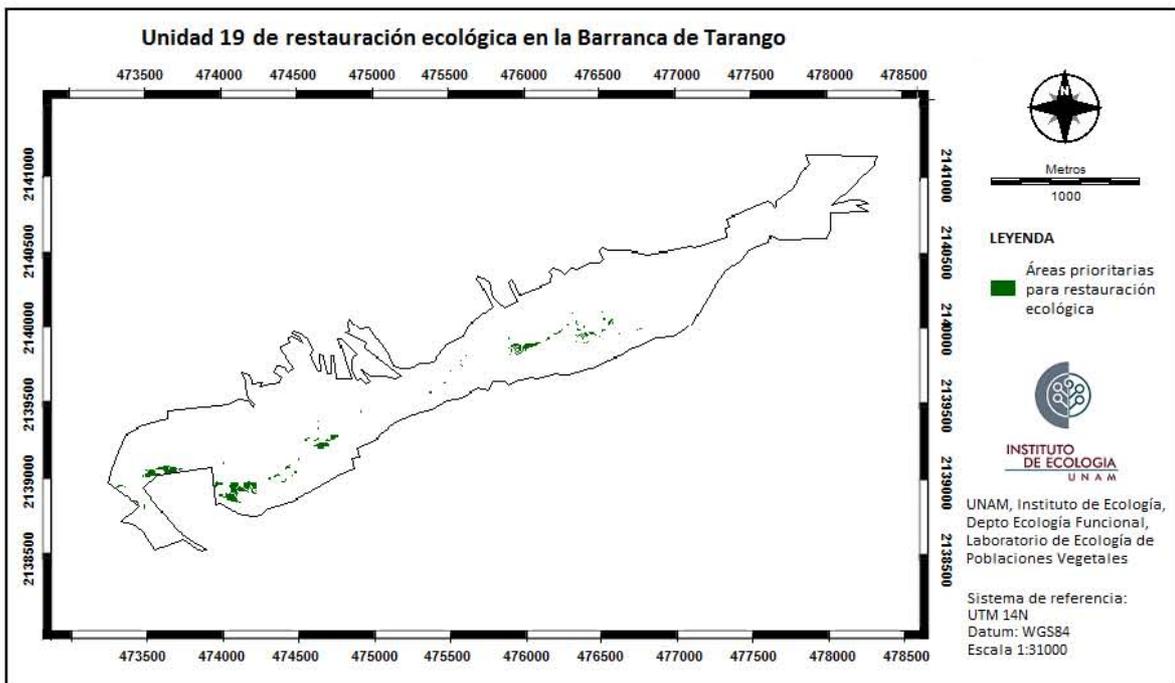
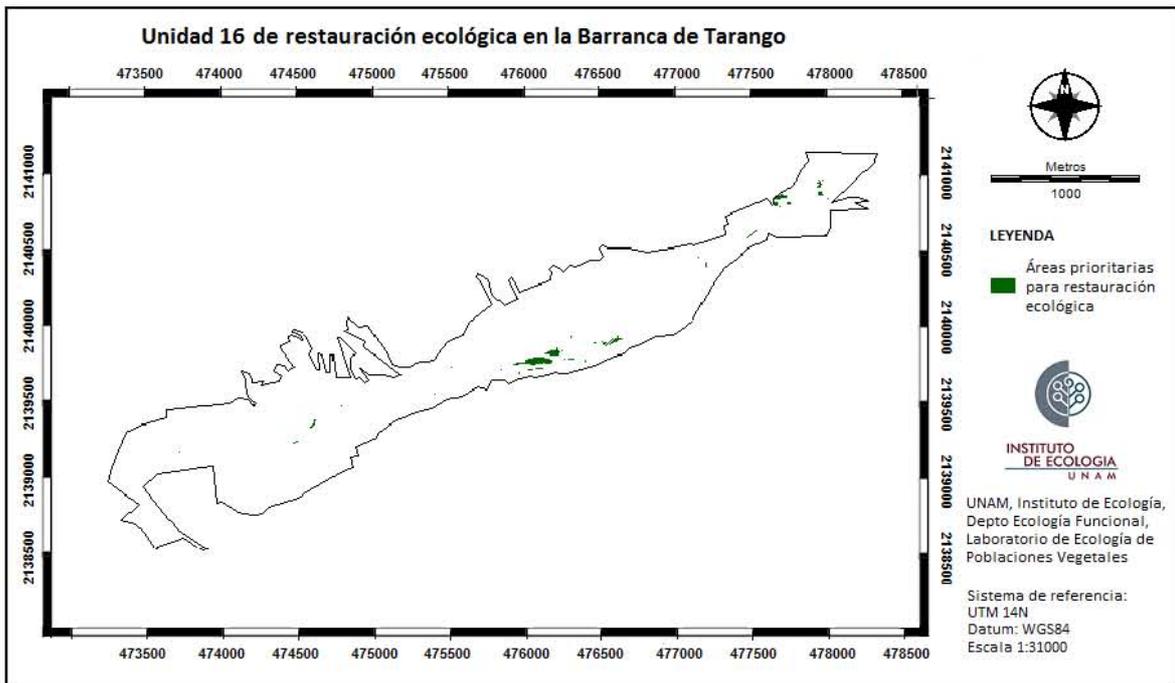
Apéndice 5. Unidades de restauración ecológica para la Barranca de Tarango.

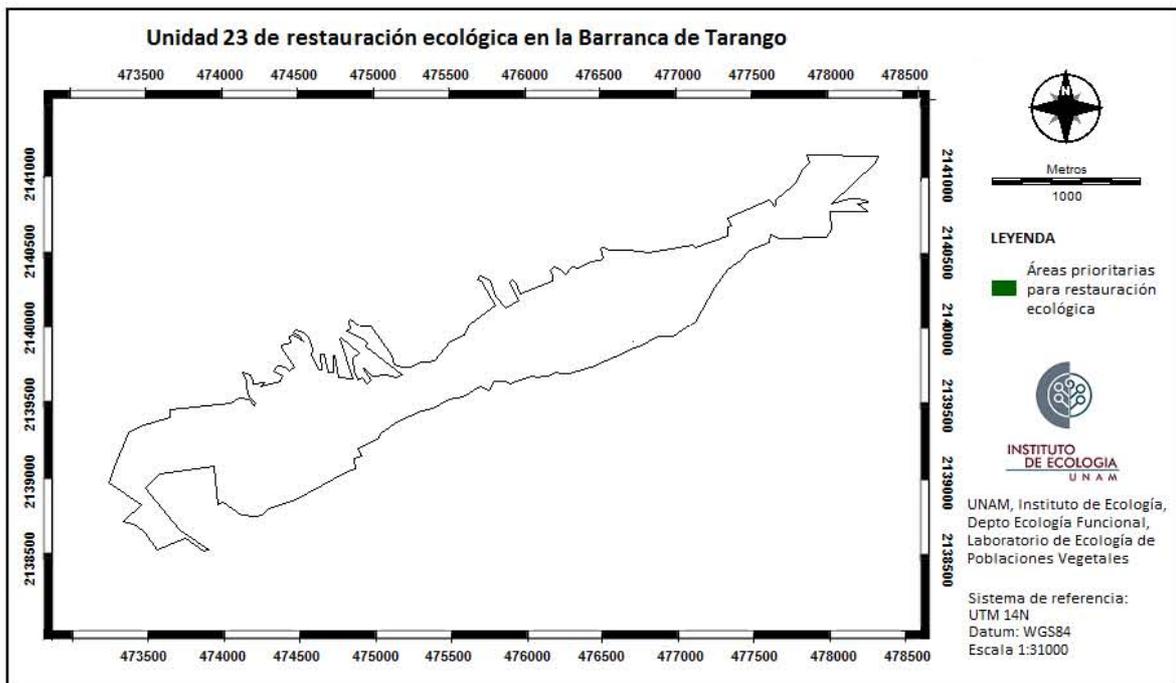
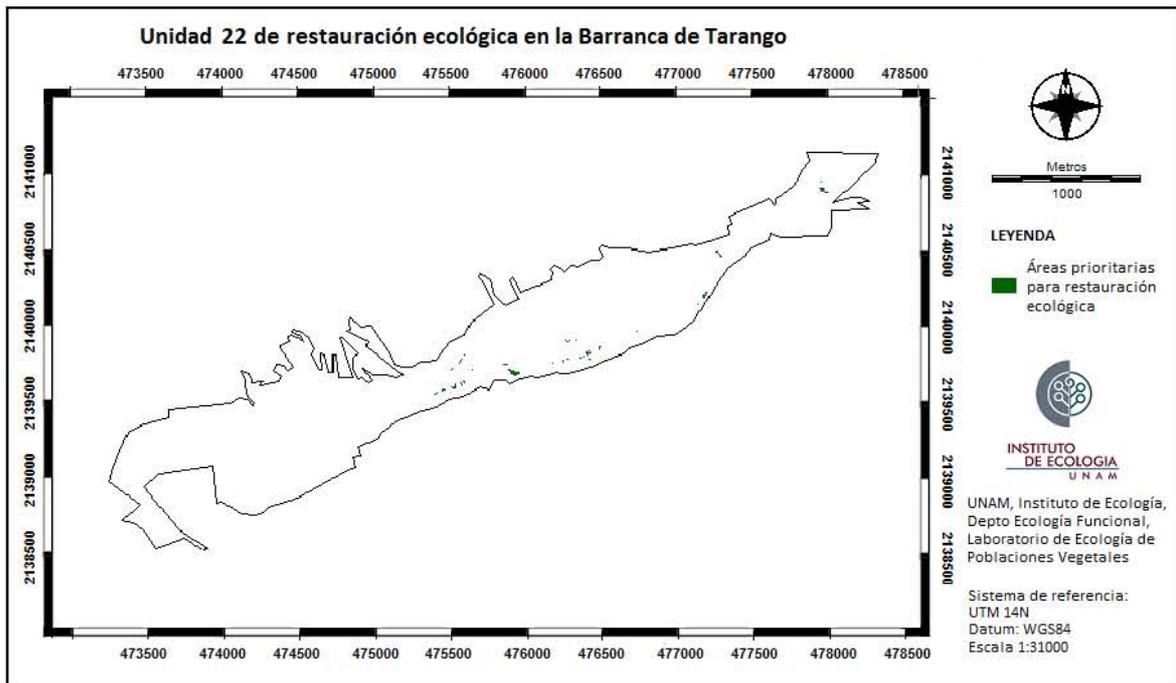












Apéndice 6. Criterios empleados para la elección de sitios y características de las 24 unidades de restauración ecológica de Barranca de Tarango.

Las unidades resaltadas generaron una superficie de restauración.

Unidad	Pendientes (°)	Orientación de ladera	Geomorfología	Tipo de suelo	Asociación vegetal	Caminos
1	0-15	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Pastizal asociado a matorrales	
2	0-15	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Encinar asociado tepozán, pirúl, matorral	
3	0-15	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Vegetación secundaria asociada a pastizales	Caminos y veredas
4	0-15	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Pastizal asociado a matorrales	
5	0-15	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Encinar asociado tepozán, pirúl, matorral	

6	0-15	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Vegetación secundaria asociada a pastizales	Caminos y veredas
7	15-30	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Pastizal asociado a matorrales	
8	15-30	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Encinar asociado tepozán, pirúl, matorral	
9	15-30	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Vegetación secundaria asociada a pastizales	Caminos y veredas
10	15-30	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Pastizal asociado a matorrales	
11	15-30	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Encinar asociado tepozán, pirúl, matorral	
12	15-30	Norte	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Vegetación secundaria asociada a pastizales	

13	0-15	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Pastizal asociado a matorrales	
14	0-15	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Encinar asociado tepozán, pirúl, matorral	
15	0-15	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Vegetación secundaria asociada a pastizales	
16	0-15	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Pastizal asociado a matorrales	Caminos y veredas
17	0-15	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Encinar asociado tepozán, pirúl, matorral	
18	0-15	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Vegetación secundaria asociada a pastizales	
19	15-30	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Pastizal asociado a matorrales	

20	15-30	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Encinar asociado tepozán, pirúl, matorral	
21	15-30	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Phaeozem háplico	Vegetación secundaria asociada a pastizales	
22	15-30	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Pastizal asociado a matorrales	Caminos y veredas
23	15-30	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Encinar asociado tepozán, pirúl, matorral	
24	15-30	Sur	Dorso de ladera, Superficie cumbral, Banco de materiales	Leptosol	Vegetación secundaria asociada a pastizales	