



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**UNIDAD MULTIDISCIPLINARIA DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**EVALUACIÓN DE COMUNIDADES DE MICROARTRÓPODOS EDÁFICOS Y  
PROPUESTAS DE MITIGACIÓN SOCIOAMBIENTAL PARA LA  
REHABILITACIÓN ANTE LA DEGRADACIÓN POR EL CAMBIO DE USO  
DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE TEPETLAOXTOC, ESTADO DE MÉXICO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**P R E S E N T A**

**ARTURO ERUBIEL HERNÁNDEZ TIRADO**

**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. ROSA GABRIELA CASTAÑO MENESES**

**JURIQUILLA, QUERÉTARO**

**Diciembre, 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

*A mi familia,*

*por los que están,  
por los que permanecen  
en el corazón y pensamiento,  
siempre.*

*Pero en especial  
a Erika y a Zenaida.*

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a la Facultad de Ciencias y a la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación Juriquilla Facultad de Ciencias (UMDI-J-FC) por ser además del lugar en donde me formé profesionalmente, también mi segundo hogar al ser coadyuvantes de mi desarrollo personal y humano. En especial a los profesores de la Unidad, por convertir las clases en espacios de pensamiento crítico y reflexivo, por compartir experiencias y perspectivas académicas y de vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo como asistente de proyecto y por los recursos otorgados para la realización del trabajo de campo y los talleres de educación ambiental, proyecto PN-2015-01-218.

Al Dr. Manuel Miranda Anaya, por sus contribuciones en las etapas iniciales de la conformación del escrito en el marco de las actividades del Taller de Investigación de la Orientación de Ciencias Ambientales.

A la M. en C. María Teresa Bosques Tistler, por sus comentarios y por guiarme en las primeras prácticas de talleres de educación ambiental, sus experiencias y apoyo me motivaron a implementar parte de las propuestas de este trabajo.

Al M. en G.I.C. René Fernando Tobar Díaz, por brindarme las herramientas necesarias desde la perspectiva de Ordenamiento Territorial.

A la P. de Lic. en Ciencias de la Tierra Jacqueline Trejo Sánchez, por el asesoramiento para mejorar las imágenes satelitales.

A la M. en C. María Daniela Pérez Velázquez, por su asesoría en el conteo y separación de los artrópodos edáficos.

Al Dr. José Guadalupe Palacios Vargas por su apoyo para la identificación taxonómica de los artrópodos edáficos.

A las autoridades, docentes y alumnos de la Escuela Cuauhtémoc de la comunidad Santa María Tecuanulco, por aceptar implementar el piloto de la primera actividad del manual para la educación ambiental presentado en este trabajo, en especial a la Directora Himelda Alfaro López y a la M. en Ed. Yeimmi Rodríguez Ortiz,

Al Laboratorio de Ecología de Artrópodos en Ambientes Extremos de la UMDI-FC-J por las facilidades prestadas para trabajar y realizar los análisis que contiene esta tesis.

A los miembros del comité de evaluación, a la Dra. Saraí Montes Recinas, al Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza, al M. en C. Abel Ibáñez Huerta y al M. en C. Jorge Alberto Escutia Sánchez por sus comentarios, apoyo y asesoría.

A mi tutora y Directora de tesis, la Dra. Rosa Gabriela Cataño Meneses, por su ayuda y guía en la identificación taxonómica, análisis estadístico y asesoramiento para la elaboración de este manuscrito. Pero en especial por su paciencia y por motivarme y apoyarme para conjugar ante mis diversas inquietudes, este trabajo con diferentes enfoques.

A quienes creyeron en mí y me dieron su confianza y apoyo en mis primeros pasos de divulgación, en especial a la M. en C. Carolina Muñoz Torres, a la M. en C. Elizabeth Fuentes Romero, a la Dra. Susana A. Alaniz Álvarez, a la Dra. Norma E. García Calderón, al Dr. Juan Martín Gómez González, al Dr. Juan B. Morales Malacara, al Dr. Saúl I. Hernández Hernández, al Dr. Iván Santamaría Holek y al Dr. Enrique A. Cantoral Uriza.

A la M. en C. M. Teresa Bosques Tistler, por darme la oportunidad de participar en proyectos educativos de manera profesional.

A la Lic. en E. Alma Alicia Ángeles García, por abrirme la puerta a la docencia y a la reflexión más crítica con pensamiento abierto al diálogo.

A los miembros de la SCJ Querétaro, por construir proyectos aventurados y pensar en cómo compartir la ciencia y llevarla a cualquier persona.

A quienes me acompañaron temporalmente en esta aventura académica y personal, a los buenos compañeros que se convirtieron en amigos en el camino. A Carlos y Paulina.

A Erika Olivares, Jacqueline Trejo, Anahí Cortez, Oliver Jarquin y Bernardo Chavero, por ser más que amigos, por escuchar y dialogar por aguas profundas, ante el silencio del alma donde después de una tormenta, soplan vientos de calma.

A Jerry Sánchez, celebramos el inicio, nos debemos las otras, quedan pendientes amigo.

A Francisco Chong, por animarme a imaginar y trabajar por un mundo mejor.

A Pedro Grados Tapia, abuelo que me adoptó, siempre gracias por ayudarme a analizar y reflexionar las cosas.

A Josué Tirado Cervantes, por motivar mi interés y la curiosidad desde que era niño, gracias por siempre interesarte y estar presente. Tu amor por el campo me motivó a tener curiosidad por la vida.

A mi mamá, Erika Tirado Cervantes, que pese a cualquier adversidad, me enseñó que el tesón por seguir adelante es lo que debe guiarme paso a paso. Gracias por todo tu apoyo y cariño.

A mi abuela, Zenaida Cervantes del Río, que me enseñó a caminar siempre con una sonrisa y con el corazón alegre. Gracias por tu amor y tu invaluable tiempo, agradezco infinitamente cada segundo que hemos coincidido, me ayudaste a comprobar que la vida es hermosa.

## **Contenido**

### **1. Resumen**

### **2. Introducción**

### **3. Antecedentes**

#### **3.1. Ecosistema de bosques de pino-encino**

##### **3.1.1. Estado de conservación**

##### **3.1.2. Principales causas de la degradación**

###### **3.1.2.1. Manejo histórico**

###### **3.1.2.2. Actividades antrópicas en la actualidad**

###### **3.1.2.2.1. Agricultura y ganadería**

###### **3.1.2.2.2. Minería**

###### **3.1.2.2.3. El NAICM**

##### **3.1.3. Conocimiento general de su biodiversidad**

##### **3.1.4. Artrópodos edáficos**

##### **3.1.5. Artrópodos en Bosques de pino-encino**

###### **3.1.5.1. Indicadores de la perturbación**

##### **3.1.6. Ordenamiento y Planeación Territorial**

##### **3.1.7. Educación ambiental**

### **4. Objetivos generales y específicos**

### **5. Eje 1. Descripción ambiental a través de las comunidades de artropodofauna edáfica en diferentes usos de suelo.**

#### **5.1. Materiales y métodos**

##### **5.1.1. Sitio de estudio**

###### **5.1.1.1. Localización, fisiografía y geología**

###### **5.1.1.2. Edafología y geomorfología**

###### **5.1.1.3. Clima**

###### **5.1.1.4. Vegetación y uso de suelo**

##### **5.1.2. Sitios de muestreo**

#### **5.2. Muestreo de suelo y organismos edáficos**

#### **5.3. Trabajo de laboratorio**

##### **5.3.1. Extracción de organismos**

###### **5.3.1.1. Preparaciones para su identificación taxonómica**

- 5.3.2. Análisis de parámetros edáficos**
- 5.3.3. Análisis de datos**
- 5.4. Resultados**
  - 5.4.1. Cuento y clasificación de organismos**
    - 5.4.1.1. Identificación taxonómica de las especies**
  - 5.4.2. Análisis de parámetros edáficos**
  - 5.4.3. Índices para la descripción de comunidades**
  - 5.4.4. Análisis de correlación**
- 5.5. Discusiones**
- 5.6. Conclusiones**

## **6. Eje 2. Análisis Multicriterio para la Rehabilitación**

- 6.1. Materiales y métodos**
  - 6.1.1. Análisis multicriterio**
    - 6.1.1.1. Primer atributo**
    - 6.1.1.2. Segundo atributo**
  - 6.1.2. Análisis complementario**
- 6.2. Resultados**
- 6.3. Discusiones**
- 6.4. Conclusiones**

## **7. Eje 3. Propuesta de actividades lúdicas para la Educación Ambiental no formal**

- 7.1. Propuesta de Manual para zonas con Bosques Degradados de la Sierra Nevada**
- 7.2. Piloto y evaluación del primer taller**
  - 7.2.1. Materiales y métodos**
- 7.3. Resultados**
- 7.4. Discusiones**
- 7.5. Conclusiones**

## **8. Conclusiones generales**

## **9. Referencias bibliográficas**

- 10. Anexos**
  - 10.1. Anexo 1**
  - 10.2. Anexo 2**

## 1. Resumen

En este trabajo se realizan tres propuestas para la rehabilitación por el cambio de uso de suelo en bosques de pino-encino de la Sierra Nevada, Municipio de Tepetlaoxtoc, Estado de México. La primera es la descripción ambiental de diferentes usos de suelo al evaluar las comunidades de microartrópodos y sus parámetros edáficos. Se encontró que hay poca correlación, pero significativa entre las abundancias de organismos por muestra y los porcentajes de humedad y materia orgánica del suelo. Se identificaron grupos descritos como bioindicadores, hiperparasitoides y depredadores en sitios más conservados que los que presentan mayor degradación. La segunda es una propuesta de planeación territorial para la rehabilitación a través del análisis multicriterio en un polígono de 6.21 km<sup>2</sup>. Se usaron datos de baja escala cartográfica, como carreteras y uso de suelo y vegetación, y datos de alta escala como los polígonos de muestreo de la primera propuesta y los índices de diversidad. Se identificaron tres zonas definidas por su aptitud para realizar acciones de rehabilitación ecológica. La tercera es un manual de actividades lúdicas para la educación no formal acopladas al contexto socioambiental de la zona de estudio. Además se realizó un piloto para evaluar la primera actividad usando una metodología social con un preexperimento de diseño de preprueba-postprueba con un solo grupo. Ésta fue aplicada en los grupos de primer a tercer grado de primaria de la escuela Cuauhtémoc de la comunidad Santa María Tecuanulco. Se observó un efecto significativo en tres de los cuatro grupos participantes después de la actividad realizada. Estas propuestas buscan integrar estudios y actividades desde la academia con una perspectiva socioambiental para la rehabilitación ecológica.

**Palabras clave:** Restauración ecológica, uso de suelo, microartrópodos edáficos, análisis multicriterio, Educación Ambiental no formal.

## Abstract

The present study shown three reahabilitation proposal for the change of land use in pine-oak forests from the Sierra Nevada, Tepetlaoxtoc Municipicy, Mexico State. The first is the environmental description of different land uses when evaluating the microarthropod communities and their edaphic parameters. It was found a low but significant correlation between the abundances of the organisms per sample and the percentages of soil moisture and organic matter. Groups described as bioindicators, hyperparasitoids, and predators were identified in more conserved sites than those with greater degradation. The second is a spatial planning proposal for rehabilitation through multi-criteria analysis in a 6.21 km<sup>2</sup> polygon. Low-scale cartographic data were used, such as roads and land use and vegetation, and high-scale data such as the sampling polygons of the first proposal and the diversity indices. Three areas defined by their aptitude to carry out ecological rehabilitation actions were identified. The third is a manual of playful activities for non-formal Environmental Education coupled with the socio-environmental context of the study area. Besides, a pilot was carried out to evaluate the first activity using a social methodology with a pre-test-post-test design pre-experiment with a single group. This was applied in the groups from first to the third grade of the Cuauhtémoc elementary school, at Santa María Tecuanulco community. A significant effect was observed in three of the four participating groups after the activity was performed. These proposals seek to integrate studies and activities from the academy with a socio-environmental perspective for ecological rehabilitation.

Key words: Ecological rehabilitation, land use, soil microfauna, multi-criteria analysis, non-formal Environmental Educacion.



## 2. Introducción

En México existe una gran diversidad de ecosistemas que albergan un gran número de especies, algunas de importancia trascendental por ser especies endémicas y en conjunto con otras, por los procesos en los que participan y las funciones que llevan a cabo en los ecosistemas en los que habitan. Esta diversidad de ecosistemas es atribuida a la compleja historia geológica, biológica y biogeográfica de nuestro país, ya que México es parte fundamental de la cronología de la conexión entre Norteamérica y Sudamérica durante el Mioceno (Cevallos-Ferriz *et al.*, 2012). El reflejo de la conexión se ve expresada en su flora y fauna, que incluye componentes tanto de la región neártica y neotropical. También el complejo relieve mexicano ha contribuido al establecimiento y diversificación de un gran número de especies, que se han adaptado a las condiciones particulares de este paisaje heterogéneo (Sosa *et al.*, 2018).

Uno de los ecosistemas que representa un claro ejemplo de esta situación es el bosque de pino-encino (Perry, 1991; Rzedowski, 2006; Granados-Sánchez *et al.*, 2007), donde se encuentran alrededor de 70 especies del género *Pinus* y 200 especies del género *Quercus* (Romeu, 1995; Toledo *et al.*, 1998; Valencia, 2004). Estos bosques representan el 14% de la superficie nacional y se distribuyen principalmente en cadenas montañosas, destacando la Faja Volcánica Transmexicana (FVT). Sin embargo, pese a que originalmente tenía una amplia distribución, entre 1976 y 2011 se han perdido 940, 267 hectáreas de bosques templados, clasificación que incluye a los bosques de pino-encino (SEMARNAT, 2012).

Las principales causas de la pérdida de los bosques de pino-encino en México son el cambio de uso de suelo para fines agrícolas y urbanos, así como la extracción forestal y la explotación minera (Challenger y Dirzo, 2009). Aunque también hay que mencionar que este manejo antrópico es histórico, principalmente en las zonas donde se establecieron pueblos originarios, como el Valle de México, con actividades desde la época prehispánica, pasando por la modificación del territorio con el reparto agrario posrevolucionario, hasta las diferentes actividades económicas que se desarrollan hoy en día (Kuntz, 2010).

En la zona limítrofe del Estado de México y Tlaxcala, en la llamada Sierra Nevada, que pertenece a la parte oriental de la FVT, tal degradación se encuentra presente en sus bosques de pino-encino. Esta zona presenta una gran presión sobre su flora y fauna, también originada por los cambios de uso de suelo. Intervienen los mismos factores

mencionados anteriormente, como el uso antrópico histórico, asociado particularmente a poblaciones nahuas que habitan el área por lo menos desde 1546 de acuerdo con algunos registros, hasta actividades análogas recientes, como la agricultura, ganadería y minería (Suárez-Mota et al. 2013; Kuromiya, 2006; IGCEM, 2015).

La minería ha sido una actividad especialmente alarmante en años recientes, ya que de acuerdo con el Directorio del Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Gobierno del Estado de México (2017), se calcula que actualmente operan alrededor de 212 minas, de las cuáles, algunas de ellas aportaron entre 30 y 90 millones de metros cúbicos de material basáltico para el cancelado Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (Villalobos, 2017; Barragán, 2018).

Algunos de los efectos del cambio de uso de suelo resultan en la pérdida de la cobertura vegetal, lo que desencadena procesos de erosión que forman cárcavas (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2002). Estos procesos son asociados al material parental geológico y los suelos que se forman a partir del mismo, es decir, materiales como cenizas y vidrios provenientes de la actividad de los volcanes Telapón y Tláloc, que fungen como uno de los factores formadores de los Andosoles presentes en esta zona (Sotelo *et al.*, 2011). Además, al perder casi la totalidad del suelo, desaparecen del ecosistema las especies que estaban albergadas en los diferentes hábitats como la vegetación y el propio suelo (WWF, 2018).

Ante esta problemática, en el marco jurídico, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) menciona en su artículo 127 que al presentarse estos procesos de degradación en terrenos forestales, se realizarán programas en coordinación de la Comisión Nacional Forestal y los propietarios para la recuperación y restablecimiento de condiciones que propicien y den continuidad al mantenimiento del régimen hidrológico, la prevención de la erosión y la restauración de los suelos forestales degradados (Carabias *et al.*, 2016; Diario Oficial de la Federación, 2020).

Asimismo, aunque en esta ley forestal se deja de lado la participación colaborativa de la academia, hay investigaciones que reconocen la urgencia de describir y proteger las comunidades aún existentes (Granados-Sánchez *et al.*, 2004; Santibañez-Andrade *et al.*, 2015) y en algunas de ellas se encuentran diversos esfuerzos a favor de la restauración de los ecosistemas con diferentes estrategias y con un nivel de intervención y perspectiva experimental, práctica y social diferencial, considerando la gran diversidad y

heterogeneidad biológica, fisiográfica, económica y poblacional que existe en México (Ceccon *et al.*, 2016).

Las acciones de restauración son definidas de manera general como aquellas que buscan disminuir la degradación o mejorar las condiciones de los ecosistemas (Lindig, 2017; SER, 2019), aunque en un sentido más estricto, se definen como las pautas que pretenden recuperar la estructura, funcionalidad y autosuficiencia que existían en el ecosistema antes de la degradación (Ewel, 1987). En caso de que se busque recuperar parcialmente al ecosistema, ya sea desde algunos de sus elementos funcionales o estructurales, hasta realizar diferentes acciones para reducir su degradación, se utiliza el término de rehabilitación ecológica (Márquez- Huitzil, 2007). Este término es más asequible, en especial donde se realizan cambios de uso de suelo con modificaciones importantes en la composición vegetal original, con prácticas como la deforestación para favorecer zonas de cultivo o pastizales para pastoreo (Miranda-Aragón *et al.*, 2013; Camacho-Sanabria *et al.*, 2015).

Uno de los primeros pasos para la rehabilitación ecológica consiste en realizar una descripción ambiental de la zona, con propuestas para evaluar el estado de degradación, tales como el monitoreo de la vegetación a través de bases de datos con diferentes indicadores a través del tiempo, sensores remotos para la interpretación visual o el monitoreo de emisiones de carbono a partir de la quema de biomasa (Ramírez- Delgado *et al.*, 2016; Leyva-Ovalle *et al.*, 2017). Sin embargo, estos métodos pueden presentar dificultades al considerarse que los ecosistemas a evaluar presentan un manejo histórico importante, y además, junto con la pérdida del suelo, puede que no exista vegetación original significativa del bosque de pino-encino.

Ante las dificultades de evaluación ambiental para la rehabilitación ecológica, una alternativa es el uso de artrópodos edáficos como bioindicadores de perturbación, es decir, organismos de ciertas especies que por su alta sensibilidad o en caso contrario, por su gran resistencia, ayudan a determinar el estado de alteración por su presencia o ausencia en su medio (McGeoch, 1998).

Aunque hay diversos trabajos que describen el estado ambiental de un sitio a través del estudio de comunidades de artrópodos que se utilizan como bioindicadores (Paoletti *et al.*,

1991; van Straalen, 1998; Malumbres-Olarte *et al.*, 2013), específicamente los trabajos enfocados a las comunidades de artrópodos edáficos en los bosques mexicanos de pino-encino son escasos (Castaño-Meneses *et al.*, 2001; Luna-Reyes *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2008; Martínez-Falcón, 2015).

Otra estrategia para la rehabilitación ecológica implica determinar áreas prioritarias para concentrar acciones y recursos. Esta delimitación utiliza criterios de selección a partir de la designación de sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad utilizando diferentes herramientas. Por ejemplo, los datos cartográficos de uso de suelo son utilizados como medida relativa del estado de degradación y fragmentación de la cobertura vegetal a través del tiempo (Tobón *et al.*, 2016). Una dificultad que se presenta ante este tipo de análisis es la adaptación a programas de rehabilitación con áreas de trabajo representadas cartográficamente con una gran escala, ya que las propuestas de determinación de áreas prioritarias, así como los datos utilizados como el uso de suelo y vegetación son de pequeña escala cartográfica, y representan grandes extensiones del territorio (Koleff *et al.*, 2009). Sin embargo, el uso de escalas pequeñas provenientes de los datos de uso de suelo, en combinación con los datos de escalas cartográficas grandes, como la información de la distribución y presencia biológica de organismos de importancia para la conservación, han sido incorporados en el análisis multicriterio para determinar las áreas prioritarias para la rehabilitación con una resolución de 1 km<sup>2</sup> (Tobón *et al.*, 2016).

En las dos estrategias presentadas anteriormente, la evaluación ambiental de los sitios es fundamental para conocer el estado de su conservación, y en consecuencia, implementar acciones para su mejoramiento o preservación a través de diferentes estrategias como la rehabilitación, restauración o protección ecológica (Navarro *et al.*, 2008; Martínez-Ramos *et al.*, 2012; Gutiérrez & Garbey, 2014). No obstante, es necesario recordar que estos ecosistemas tienen una fuerte relación histórica con actividades humanas, y generalmente con su degradación. Por eso, es deseable considerar la integración de perspectivas socioambientales, donde se tomen en cuenta tanto la evaluación ambiental de las zonas a rehabilitar, como a las personas que habitan en estas zonas de gran diversidad ecológica para promover su participación.

A través de la apropiación del territorio y la participación de los habitantes en los proyectos que buscan mitigar la degradación y mejorar sus entornos, estos esfuerzos podrán tener mejores resultados al construir un poder social que les permita tomar decisiones del

territorio que habitan, así como las formas de producción, comercio y consumo más viables para su socioecosistema, colaborando con investigadores y promotores ambientales (Toledo, 2008; Roncal, 2015; Cabrera & Navarrete, 2017).

Para fomentar la participación social, desde la perspectiva de la educación ambiental se busca construir nuevos paradigmas educativos para contribuir al conocimiento y concienciación de los habitantes del ambiente que los rodea, y proponer un cambio local para su incidencia global, priorizando el cuidado del ambiente en una visión individual y colectiva de coexistencia con su entorno ambiental (Vitale, 1983; Torres-Carral, 2015). Debido a esto, actividades que fomenten la concienciación ambiental desde edades tempranas pueden resultar ser una buena estrategia. En zonas con una fuerte degradación se buscará la concienciación del medio ambiente y de los problemas asociados para motivar la participación social en el mejoramiento y protección de este, de acuerdo con los objetivos básicos de la educación ambiental (UNESCO-PNUMA, 1983).

La degradación de los ecosistemas es un problema generalizado en gran parte del territorio nacional. En el municipio de Tepetlaoxtoc, Estado de México, existe una fuerte degradación de los bosques de pino-encino por el cambio de uso de suelo. En consecuencia, este trabajo pretende proponer tres estrategias que favorecerán la rehabilitación en estas zonas degradadas.

La primera estrategia consiste en realizar una aproximación a la descripción del estado ambiental a través de las comunidades de artropodofauna edáfica en diferentes usos de suelo en el municipio de Tepetlaoxtoc, Estado de México. Esta descripción de artrópodos edáficos se realiza por la facilidad que representa su muestreo, además de su amplia y heterogénea distribución en el paisaje a pesar del estado de degradación.

La segunda estrategia consiste en ejemplificar la identificación de áreas prioritarias para la rehabilitación dentro de una parcela destinada con ese fin a través del análisis multicriterio. Tomando atributos ambientales definidos por los objetivos y recursos disponibles para la rehabilitación como el uso de suelo y vegetación, la accesibilidad de las zonas como límites máximos en relación con los caminos y carreteras, pero además retomando los datos de las comunidades de microartrópodos edáficos obtenidos de la evaluación ambiental.

La última estrategia consiste en la presentación de un manual de actividades con enfoque en la educación ambiental no formal para docentes de nivel Primaria. El manual busca dar a docentes y educadores ambientales actividades adaptadas a zonas de bosque de pino-encino de la Sierra Nevada con degradación por el cambio de uso de suelo. Estas actividades podrían incorporarse a los programas educativos no formales para concienciar las problemáticas locales del cambio de uso de suelo y sensibilizar a los alumnos de educación básica sobre la importancia del suelo, su biodiversidad, la preservación de los ecosistemas de pino-encino y las relaciones socioambientales, todo esto con la guía y ayuda de sus docentes y educadores ambientales.

Así, se busca integrar la información obtenida a partir del estudio del suelo y el análisis multicriterio, para hacerla llegar de manera eficiente a los miembros de la comunidad para sensibilizar a la población sobre la importancia de este recurso para su vida cotidiana.

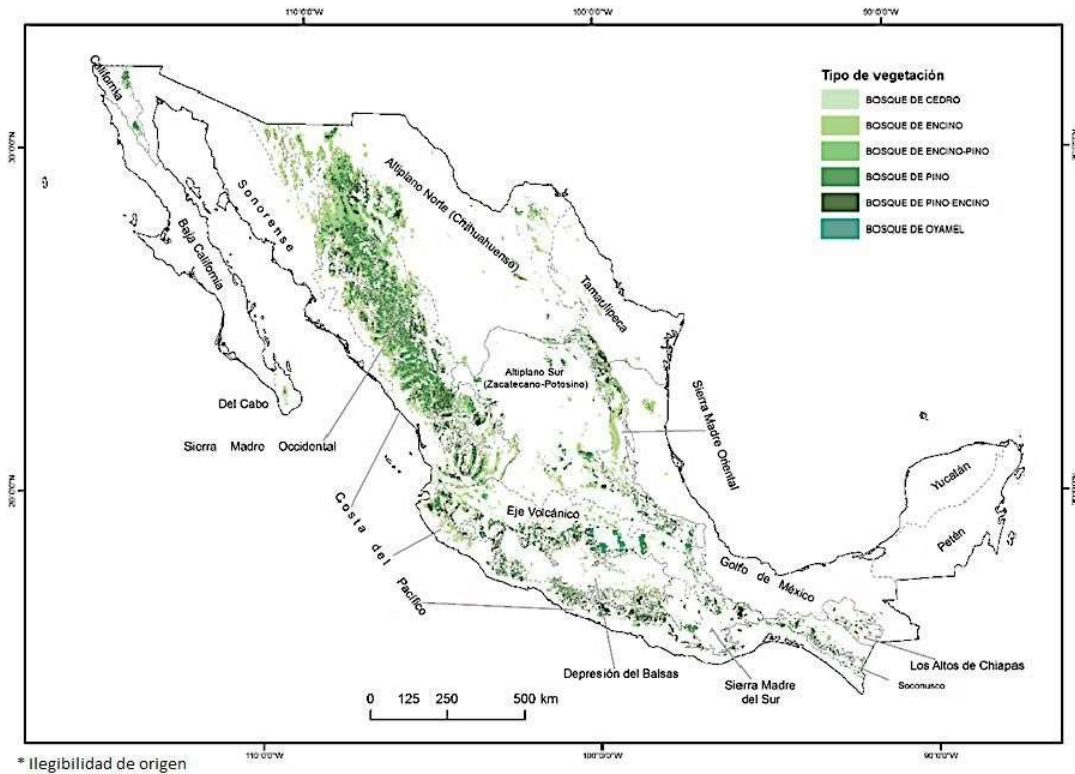
### 3. Antecedentes

#### 3.1. Ecosistema de bosques de pino-encino

Los bosques mixtos de pino-encino son considerados como uno de los ecosistemas con amplia distribución en la superficie nacional, siendo asociados principalmente a cadenas montañosas de climas templados y fríos como la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental y la Faja Volcánica Transmexicana (Fig. 1), pero sin ser exclusivos de estas zonas montañosas, ya que tienen presencia incluso en zonas semiáridas o húmedas, y en conjunto representan alrededor del 15% de la superficie nacional (Rzedowski, 2006). Estos bosques son caracterizados por la predominancia y coexistencia de árboles de los géneros *Quercus* y *Pinus* sobre otras especies arbóreas, donde las condiciones particulares varían de acuerdo con cada zona, siendo la humedad, el clima, el material parental o geológico, el tipo de suelo, así como sus parámetros (pH, contenido de materia orgánica, humedad, etc.) factores que han permitido que ciertas especies de pinos y encinos se establezcan diferencialmente (Rzedowski, 2006; Galicia *et al.*, 2016).

Particularmente los bosques de pino-encino de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) se desarrollan sobre una gran heterogeneidad de condiciones, ya que la misma formación de la FVT es resultado de una historia geológica compleja que da como resultado composiciones químicas diversas y específicas, dependiendo de la zona de la FVT en la que centremos nuestra atención (Gómez-Tuena *et al.*, 2005). Algunas de las especies características de esta cadena montañosa son *Pinus leiophylla* Schltdl. & Cham., *P. montezumae* Gordon, *P. hartwegii* Lindl., *P. teocote* Cham. & Schltdl., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. patula* Schiede & Deppe ex. Schltdl., *Quercus conspersa* Benth., *Q. crassipes* Bonpl., *Q. deserticola* Trel., *Q. greggii* Trel., *Q. laeta* Liebm., *Q. laurina* Blonpl., *Q. magnoliifolia* Née, *Q. mexicana* Blonpl., *Q. microphylla* Née, *Q. obtusata* Bonpl., *Q. peduncularis* Née, *Q. resinosa* Liebm. y *Q. rugosa* Née (Rzedowski, 2006; Fernández-Nava *et al.*, 2007; Mastretta-Yanes *et al.*, 2015).

Alrededor de 70 especies *Pinus* han sido descritas en México y a 35 de ellas se les considera endémicas, es decir, especies que habitan exclusivamente en México (Romeu, 1995; Farjon, 1996). Por su parte, de las 200 especies de *Quercus* descritas en el territorio nacional, 36 se encuentran a lo largo de la FVT y 29 de ellas son endémicas (Valencia, 2007).



**Figura 1. Distribución de bosques en la superficie nacional. Tomado de Galicia et al. (2016)**

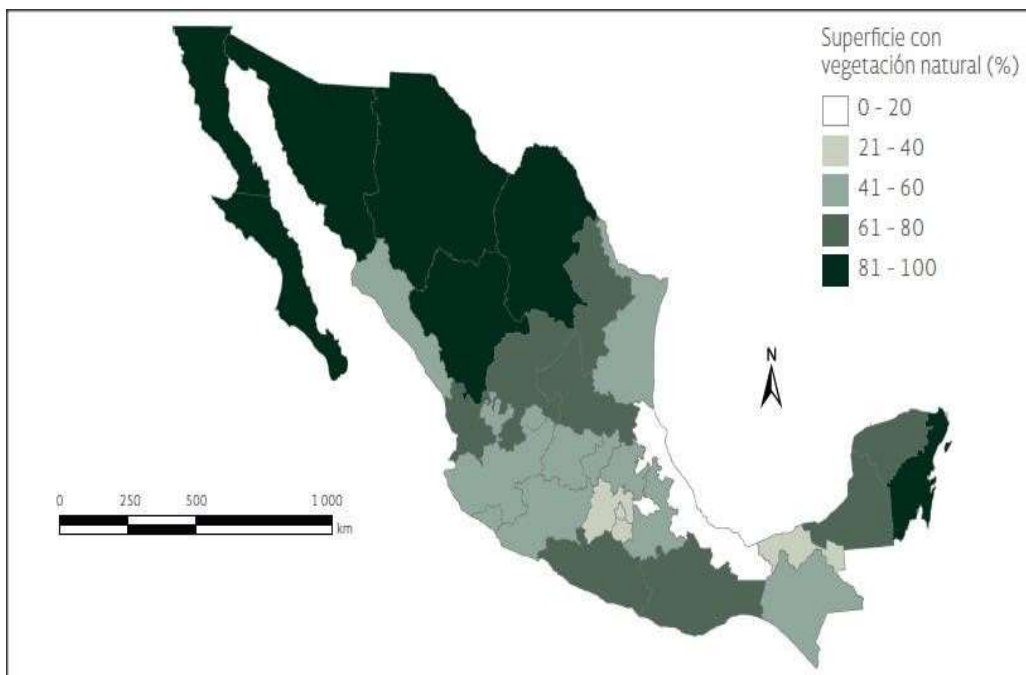
Pero este endemismo no es exclusivo de estos géneros, ya que en estos ecosistemas cohabitan una gran variedad de especies que también dependen y se adaptan a las condiciones heterogéneas de cada sitio dentro de la FVT, lo que resulta en una cantidad importante de endemismos de plantas y animales como aves, reptiles, roedores, insectos y arácnidos (Sosa *et al.*, 2018). Estos endemismos son de gran importancia porque representan una historia única de adaptación bajo condiciones específicas a través del tiempo, lo cual fomenta la conservación y cuidado de estos ecosistemas (CONABIO, 2016).

### 3.1.1. Estado de conservación

La conservación de los ecosistemas es una tarea que el Estado Mexicano tiene establecida para preservar la biodiversidad de los ecosistemas que han tenido una importante degradación en el territorio nacional, ya que de acuerdo con el último Informe de la Situación del Medio Ambiente en México (SEMARNAT, 2016), del total de la superficie nacional, solo se conserva el 50% de la vegetación natural original. A su vez, de ese 50% de vegetación natural, alrededor del 70% se conserva en estado primario, es decir, solo el



35% de la vegetación natural conserva la mayor parte de las especies del ecosistema original y los procesos ecológicos no han sido alterados de forma significativa (Fig. 2). Específicamente el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015), reporta el 21% de la cobertura nacional como bosques templados, donde se incluyen los bosques de coníferas (con especies principalmente de los géneros *Pinus*, *Abies*, *Juniperus*, *Pseudotsuga* y *Cupresus*), los bosques de encinos (bosques dominados por el género *Quercus*) y los bosques mixtos de coníferas y encinos o bosques de pino-encino, siendo este último el más extenso con el 15% de la superficie nacional (Rzedowski, 2006; SEMARNAT 2016).



**Figura 2. Vegetación natural remanente por entidad federativa. Tomado de SEMARNAT (2016)**

Sin embargo, pese a su amplia distribución, entre 1976 y 2011 se han perdido 940, 267 hectáreas de bosques templados, permaneciendo solo el 62% de su superficie en condiciones de estado primario (SEMARNAT, 2012, 2016). Otros estudios afirman que este ecosistema es uno de los más perturbados, dando diferentes cifras que describen su estado de conservación, siendo las más alarmistas las que mencionan que tan solo una décima parte de estos ecosistemas se encuentran conservados, mientras que otras determinan que alrededor de la mitad de estos bosques presentan degradación (Flores-Villela & Gerez, 1994; Toledo *et al.*, 1998; Rzedowski, 2006).

Incluso la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), en su programa de Reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques para Latinoamérica (REDD+), menciona que los esfuerzos para la preservación de los bosques mexicanos no son suficientes y no están debidamente coordinados (González & Bonfil, 2016). Aunque también es importante mencionar que se han realizado destacados esfuerzos por conocer la diversidad y estado de conservación, así como implementar programas e iniciativas en coordinación con el sector académico que han tenido resultados favorables, como el Inventario Nacional Forestal (Couturier *et al.*, 2010)

### **3.1.2. Principales causas de la degradación**

La degradación antes mencionada es producto de causas multifactoriales, aunque generalmente se reconoce el papel antrópico como la principal causa de modificación del territorio por la huella ecológica generada a través del tiempo (Correa *et al.*, 2017). En la línea de tiempo de la degradación de ecosistemas mexicanos, se asocia la degradación a las primeras comunidades indígenas que se establecieron en el territorio, siendo los otomíes, nahuas, aztecas y mixtecas los primeros causantes de la degradación al hacer uso de los recursos naturales del territorio, e incluso siendo descritos como directos responsables de la destrucción de bosques y suelos (Vivó-Escoto, 2009).

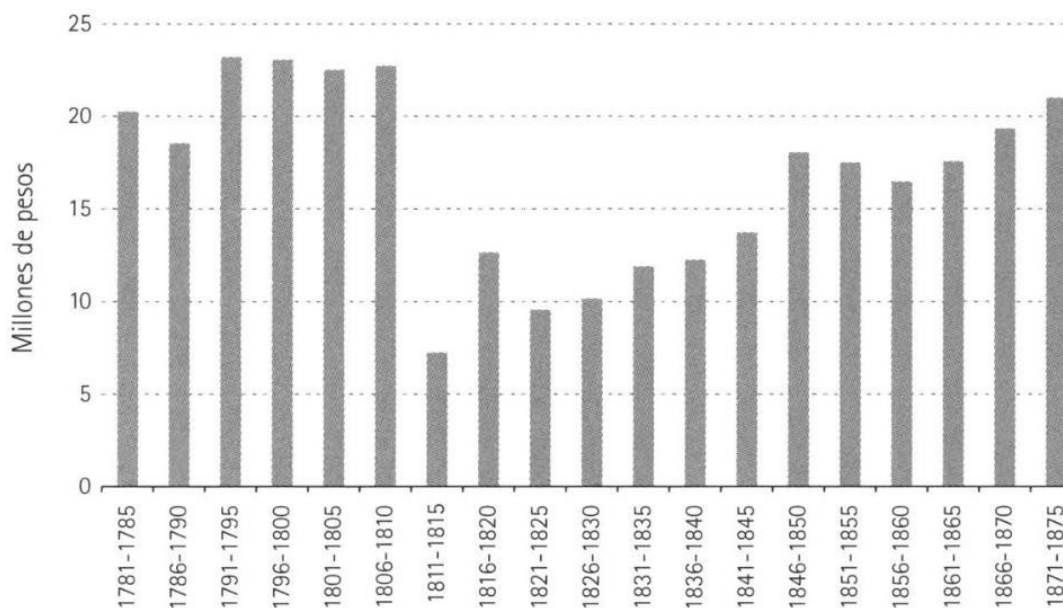
#### **3.1.2.1. Manejo histórico**

Puntualmente, en los bosques de pino-encino del municipio de Tepetlaoxtoc, el registro más antiguo que se tiene de ocupación y manejo proviene del Códice Santa María Asunción, pintado alrededor de 1546 con glifos que han sido interpretados como una descripción demográfica y de características edáficas para la producción agrícola de la ciudad prehispánica de Tepetlaoxtoc, generando diferentes interpretaciones en los estudios realizados desde perspectivas antropológicas y etnoedafológicas (Williams & Harvey, 1997; Gutiérrez *et al.*, 2017).

A pesar de las diversas interpretaciones del significado de los glifos, diferentes cronistas corroboran la fertilidad de estos suelos con la *milli* o *milpa*, plantaciones de maíz, frijol y calabaza que crecían tanto en la temporada de secas o *tonalmil*, como en la de lluvias o *xopalmil*, de acuerdo con su calendario o *tonalamatl* (Sahagún, 1950; Valle, 2003). Sin

embargo, la modificación de los ecosistemas por las prácticas indígenas agrícolas como la milpa o la minería artesanal, una vez finalizada la Conquista española, incrementaron debido a la introducción de nuevas técnicas, pero además nuevas prácticas se implementaron, como la ganadería, la construcción y la urbanización, utilizando como modelo a la Ciudad de México para el resto de las ciudades americanas (Manzanilla-Schaffer, 2004; Kuntz, 2010, Barrera-Osorio *et al.*, 2019).

Respecto a la época de la Independencia y años posteriores a esta, aunque en los estudios historiográficos se menciona que fue un periodo caracterizado por un bajo desarrollo económico, la agricultura jugó un papel relevante ligado a la degradación, al haber registros de incremento de la superficie cultivable de 1820 a 1860 en estados como Jalisco, Veracruz y Michoacán. Asimismo, la actividad minera, relacionada indirectamente con la acuñación de la moneda mexicana (Fig. 3), casi se igualó después del conflicto bélico independentista en comparación con la acuñación previa al periodo de 1811 a 1815 (Sánchez-Santiró, 2010).



**Figura 3. Promedios anuales de acuñación de moneda en México.  
Tomado de Sánchez-Santiró (2010)**

A pesar de esto, en los periodos Pre y Posrevolucionarios las actividades antrópicas pudieron representar una mayor degradación. Por una parte, en los años previos a la Revolución Mexicana se tuvo un desarrollo acelerado en la industrialización que nutría las exportaciones. A su vez, las exportaciones fueron fomentadas con la implementación de la red ferroviaria hacia los puertos marinos (Kuntz, 2010).

Por otra parte, el periodo Posrevolucionario trajo como resultado el reparto agrario. Este reparto representó el establecimiento de 30,000 ejidos para más de 3 millones de familias que recibieron 100 millones de hectáreas de tierras, equivalentes a la mitad del territorio nacional (Warman, 2003). Como consecuencia, 100 millones de hectáreas sufrieron degradación de su cobertura vegetal natural, ya que la visión de trabajar la tierra en el sistema ejidal pudo ocasionar el cambio de uso de suelo para fines agrícolas, resultando afectados los ecosistemas de bosques templados (Merino & Segura, 2002).

### **3.1.2.2. Actividades antrópicas en la actualidad**

En la actualidad se conserva la actividad de la agricultura, pero también se han introducido, además de las prácticas de producción agrícola contemporánea, otras actividades como la ganadería y la minería contemporánea que causan degradación y pérdida de la biodiversidad en esta zona de estudio.

#### **3.1.2.2.1. Agricultura y ganadería**

La actividad agrícola desarrollada en la actualidad está representada principalmente por cultivos de cebada, aunque otros tipos de cultivos comunes son de flores, hortalizas, maíz y forrajes. La tierra para siembra y para pastizales se intercala temporalmente, para favorecer el pastoreo de ganado caprino (Orozco-Hernández *et al.*, 2017).

#### **3.1.2.2.2. Minería**

Otra actividad importante desarrollada en la zona es la minería pétreo, que es aquella que extrae el material proveniente de la roca y lo utiliza sin sufrir demasiadas transformaciones. Regularmente se encuentra en forma de bloques, losetas o fragmentos de distintos tamaños conocidos como canteras y gravas (Secretaría de Economía, 2015). La problemática principal de esta rama de extracción es que no es asociada a una contaminación severa que favorezca la movilización de sustancias tóxicas, como los metales pesados en el caso de la minería siderúrgica. Pese a esta consideración, produce un fuerte impacto ambiental, que es causado por la remoción de la vegetación y la capa superficial de suelo que cubre al yacimiento de interés, provocando la pérdida de la biodiversidad. Además, genera residuos posteriores a la extracción de materiales no consolidados que son depositados como jales mineros (INEGI, 2016).

La Ley Minera establece que para cada proyecto y en un momento previo a la extracción, es necesario realizar la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) ante las autoridades estatales y federales relacionadas con la ecología y el medio ambiente, e incluir las acciones de restauración, recuperación, sostenimiento y mantenimiento de estas medidas para el amortiguamiento del impacto ambiental (Diario Oficial de la Federación, 2014; Secretaría de Economía, 2015).

Por el contrario, en el marco del Reglamento de la Ley Minera no existe un mecanismo o procedimiento específico para realizar estas acciones de amortiguamiento (Diario Oficial de la Federación, 2014). Además, las evaluaciones que se realizan para las MIA's se centran en la caracterización de las especies vegetales y de la macrofauna, que en la mayoría de los casos son usadas como excusas para no establecer las medidas a favor de la protección con la justificación de que no son observables en la zona de la extracción (SEMARNAT, 2002, 2004).

Diversas empresas en la zona se dedican a la extracción de los materiales pétreos para dos posibles formas de comercialización, una realizada posterior a la transformación u obtención de materiales vibrocomprimidos para la construcción, y la otra como material de relleno. Se calcula que hay alrededor de 212 minas activas, de acuerdo con el Directorio del Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Gobierno del Estado de México (2017).

### **3.1.2.2.3.      E I NA I C M**

Las actividades mineras pétreas han tenido un importante impacto en la degradación de los bosques de pino-encino que se ubican sobre materiales pétreos, en especial con el proceso de construcción del cancelado Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM).

Este proyecto generó una gran degradación documentada en reportajes periodísticos, donde se registra que para la cimentación y otras obras de ingeniería para evitar el hundimiento estructural, se requirieron entre 30 y 90 millones de metros cúbicos de material basáltico, lo que generó una amplia demanda a las 212 minas activas. Esta demanda no solo incrementó la degradación del ecosistema del bosque de pino-encino,

también modificó la geomorfología de la Sierra Nevada, causando afectaciones estructurales a casas cercanas a las minas e incluso, un daño estético al componente del paisaje natural del Cerro Patlachique y su relación con el componente arqueológico de la Pirámide del Sol de Teotihuacán (Villalobos, 2017; Barragán, 2018; De Miguel & Guerrero; 2018).

### **3.1.3. Conocimiento general de su biodiversidad**

A pesar del manejo histórico y las actividades contemporáneas que han tenido estos ecosistemas de pino-encino, aquellos que conservan su estado primario albergan a especies de importancia fundamental, siendo ciertos grupos más ampliamente estudiados como aves y mamíferos (Galindo-Leal & Krebs, 1997; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2007, Gámez *et al.*, 2012).

No obstante, grupos de gran importancia como Mollusca y Arthropoda, que pudieran parecer de poco interés para estos ecosistemas al ser representados por especies de menor tamaño y movilidad, son en realidad de excepcional importancia por factores como su amplia distribución, abundancia y riqueza. Además, pueden superar el número de endemismos de las especies vegetales y de macrofauna, siendo los sustratos arbóreos y edáficos los principales hábitats para su desarrollo (Naranjo & Olivera, 2007). La importancia de la evaluación del estado de conservación de los bosques usando artrópodos como indicadores radica en que son mejores en comparación con otros organismos, como los vertebrados y aves, ya que los artrópodos por su escala espacial y temporal pueden determinar condiciones de sitios muy específicos (Maleque *et al.*, 2006).

### **3.1.4. Artrópodos edáficos**

El Phylum Arthropoda es el más grande del Reino Animal al contener alrededor del 80% de especies descritas (Cabezas, 1996). Como características generales, todos los artrópodos presentan un cuerpo segmentado cubierto con un exoesqueleto quitinoso que se renueva periódicamente, usualmente agrupado en dos o tres regiones, y apéndices articulados o segmentados en pares que se desarrollan diferencialmente a estructuras como patas o antenas (Guillot, 2005). Asimismo, su plasticidad fenotípica les permite tener una respuesta rápida ante los cambios ambientales, lo que se traduce en una gran diversidad de formas y adaptaciones que desarrollan para cada medio en el que habitan, y en adición

con sus rápidos ciclos de vida, les han permitido tener una amplia y exitosa distribución en la gran mayoría de los ecosistemas terrestres (Sehna, 1985; Begon *et al.*, 1995; Canfield & Greene, 2009).

Los artrópodos tienen gran importancia en los ecosistemas. Un buen ejemplo de esto es el papel ecológico que desempeñan en el suelo. Algunos grupos son definidos como facilitadores, al ser a) consumidores de gran variedad de productos como hojas, tallos y tejidos muertos; b) ayudar en la dispersión vegetal al consumir flores, frutos y polen; y c) controlar la descomposición al consumir y regular poblaciones de bacterias y hongos en el suelo (Maleque *et al.*, 2006; Brussaard *et al.*, 2007). Otros grupos son depredadores de los artrópodos que funcionan como consumidores primarios. Los artrópodos también forman bioporos, lo que mejora la estructura del suelo y favorece la retención de agua (Eisenbeis y Wichard, 1987; Hopkin, 1997; Schowalter, 2006).

### **3.1.5. Artrópodos en Bosques de pino-encino**

Los trabajos realizados de manera general para describir las comunidades de artrópodos son de gran importancia al registrar un buen número de especies encontradas a pesar de la relativa baja cantidad de estudios reportados para este ecosistema mexicano de amplia distribución territorial (Reyes-Solorio, 1994; Castaño-Meneses *et al.*, 2001; Cejudo-Espinosa & Deloya, 2005; Téllez, 2006).

Concretamente para los bosques de la FVT se han realizado algunos estudios (Luna-Reyes *et al.*, 2004; Morrone & Gutiérrez, 2005; Acosta & Fernández, 2006), donde son de especial interés aquellos que describen a los grupos taxonómicos de mayor relevancia como ácaros y colémbolos, ya que en conjunto pueden llegar a representar el 95% de las comunidades de microartrópodos del suelo (Palacios-Vargas *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2008; Martínez-Falcón, 2015).

#### **3.1.5.1. Indicadores de la perturbación**

Los artrópodos edáficos pueden ayudar para la evaluación del estado de conservación, al ser utilizados como bioindicadores, es decir, organismos de ciertas especies que por su alta sensibilidad, o en caso contrario, por su gran resistencia ante determinadas condiciones

ambientales, sirven de indicadores del estado de alteración por su presencia o ausencia en su medio, tomando generalmente como parámetros para la descripción de la comunidad, la riqueza y abundancia de estas especies (McGeoch, 1998; Hodkinson y Jackson, 2005).

En la actualidad, hay una gran amplitud de ejemplos de bioindicadores en diferentes medios acuáticos y terrestres (Hawksworth *et al.*, 2005; Reyes-Novelo *et al.*, 2009; Uehara-Prado *et al.*, 2009). Centraremos nuestra atención en los artrópodos edáficos como bioindicadores, puesto que algunas especies tienen una gran tolerancia a la perturbación, lo que les permite permanecer en zonas de manejo antrópico como la agricultura y otros ambientes naturales degradados (Rusek, 1987; Paoletti *et al.*, 1991; van Straalen, 1998).

Muchos de los estudios que utilizan a los artrópodos edáficos como bioindicadores generalmente realizan la descripción de las comunidades de artrópodos, así como las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Como condiciones ambientales de los artrópodos en ambientes edáficos se suelen analizar parámetros fisicoquímicos del suelo como el pH, el porcentaje de humedad, la conductividad eléctrica, la densidad, la porosidad y la textura (Huhta *et al.*, 1967; Malumbres-Olarte, 2013; Menta y Remelli, 2020).

Hay trabajos reportados que además de describir, relacionan ciertos grupos de artrópodos con parámetros edáficos. Por ejemplo, Vreeken-Buijs *et al.* (1998) correlacionan a los ácaros oribátidos con el bajo contenido de materia orgánica y a los colémbolos y ácaros no oribátidos con el alto contenido de la materia orgánica resultado de la adición de esta en algunos sistemas de producción agrícola.

Por otra parte, Tsiafouli *et al.* (2005) evaluaron la respuesta de las comunidades de artrópodos edáficos ante la inducción de periodos de sequía y riego, modificando así la humedad y temperatura máxima del suelo. Los resultados que presentaron indican que la modificación del riego provoca variaciones en algunos grupos taxonómicos, pero de forma general, la sequía inducida provoca una disminución en la humedad del suelo, en la riqueza y abundancia de artrópodos edáficos.



Acerca de los trabajos que describen las comunidades de ácaros y colémbolos en zonas de restauración y rehabilitación por degradación minera, St. John *et al.* (2002) describen en su comparación de zonas no degradadas con zonas restauradas después de la depositación de jales mineros de cobre y níquel, que la abundancia, riqueza y densidad de ácaros oribátidos y mesostigmados era menor en las anteriores zonas de jales pese a los esfuerzos de restauración. Por otra parte, Zeppelini *et al.* (2009) describen que la riqueza de especies de colémbolos, en áreas reforestadas después de la extracción de metales, fue menor en comparación con las áreas no perturbadas.

### **3.1.6. Ordenamiento y Planeación Territorial**

El Ordenamiento Territorial es considerado como una herramienta legal con aplicación teórica, normativa y metodológica para planear y gestionar el territorio (Sánchez *et al.*, 2013). En sus primeros años de desarrollo, fue implementado con aproximaciones desde la perspectiva de la urbanización y su mejoramiento (Azuela, 2013). Más recientemente, esta herramienta se ha ido incorporando en diferentes iniciativas para la conservación y protección de ecosistemas. Por ejemplo, se ha usado para comprender cambios de uso de suelo al hacer comparaciones multitemporales con las cuatro series de uso de suelo y vegetación del INEGI, disponibles desde la década de 1970 hasta la fecha (Victoria *et al.*, 2013).

Una herramienta usada es el análisis multicriterio, que define áreas prioritarias para fines específicos de cada propuesta a partir de datos cartográficos y bases de datos que nutran de datos suficientes para el estudio (Bosque & García, 2000; Escobar & González del Valle, 2005; Contreras, 2013). Aunque la descripción de la diversidad de las comunidades de los ecosistemas generalmente es el primer paso a favor de su conservación, ya que facilita la toma de decisiones sobre la rehabilitación, restauración o conservación ecológica (Navarro *et al.*, 2008; Martínez-Ramos *et al.*, 2012; Gutiérrez & Garbey, 2014), hay trabajos de gran innovación donde además de la evaluación ambiental, se incorpora la participación comunitaria para colaborar y realizar la planeación y gestión del territorio de forma sustentable, encaminando los esfuerzos a mejorar los usos y manejos de los bosques de pino-encino (Alcalá *et al.*, 2009; Alvarado *et al.* 2013).

### **3.1.7. Educación ambiental**

La participación comunitaria para la colaboración en la implementación de planes de rehabilitación es una necesidad mencionada en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) (Diario Oficial de la Federación, 2012).

Promover la participación política de la ciudadanía es un rasgo básico que busca la educación ambiental, al proveer además de información sobre los procesos y fenómenos ambientales, una concienciación de los participantes sobre su identidad, valores, comportamientos, conductas y acciones, para promover que en conjunto estén encaminadas hacia un mejoramiento de su entorno local para el cuidado del ambiente y su desarrollo comunitario (Vitale, 1983; Marleau, 2009; González & Arias; 2015; Torres-Carral, 2015).

Con estos objetivos ambiciosos, pero necesarios, la educación ambiental se ha enfrentado a la poca participación y escaso fomento en las políticas públicas educativas, por lo que su implementación se ha realizado principalmente a través de programas de educación no formal que buscan la alfabetización ambiental (De Alba & González, 1997; Caride & Meira, 2001; González & Arias; 2015). La educación no formal es entendida como la educación independiente de los programas oficiales educativos, pero que tiene una estructura y metodología definida de acuerdo con las necesidades particulares del contexto en el que se desarrollarán tales actividades (Sánchez et al., 2013).

De esta manera, los programas no formales incluso pueden adaptarse a necesidades de lenguaje o cultura, pero también pueden incluir distintas disciplinas y áreas de conocimiento, así como estrategias educativas para su implementación (Chacón-Ortíz, 2015).

Un enfoque multidisciplinario como el de las Ciencias de la Tierra, que integre las herramientas teóricas y prácticas de distintas disciplinas puede abordar procesos socioambientales complejos, cuidando que sus enfoques no se solapen, más bien se complementen (Anguita, 1994).

Pero además de abordar procesos complejos, tanto en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra como en la Educación Ambiental no formal, se busca que estas visiones puedan generar aprendizajes significativos, lo que desde una perspectiva constructivista y de manera general pretende reconocer los conocimientos previos de los participantes y a partir de ellos, generar andamiajes o brindar las herramientas necesarias que permitan al estudiante construir sus propios procedimientos y conocimientos (De Alba & González, 1997; Serrano & Pons, 2011; Correa & Greco, 2017).

Asimismo, de acuerdo con Arellano & Quintero (2016), la educación ambiental no formal busca integrar las siguientes cuatro facetas necesarias en los educadores ambientales:

- 1) Comprensión de teorías ambientales y pedagógicas.
- 2) Diseño de estrategias educativas ajustadas a las necesidades de los participantes y a su contexto cultural-histórico-social.
- 3) Facilitación del conocimiento teórico y de habilidades de pensamiento crítico y reflexivo.
- 4) Evaluación de los aprendizajes transmitidos.

Con esta perspectiva se han producido diversos materiales educativos y didácticos, donde se integra a la biodiversidad natural y cultural de los ecosistemas, y que han sido dirigidos mayormente al público en general (González & Arias; 2015). Estas actividades esperan generar la participación social en diversos programas, promover el desarrollo y no criminalizar las actividades de las comunidades humanas que cohabitan con las vegetales y animales, y por tanto, fortalecer la apropiación y trascendencia temporal de dichos programas (West et al. 2006; González, 2011; Quintana, 2019).

Persiguiendo estos objetivos en varios países se han generado, implementado y evaluado diversas estrategias acopladas a sus necesidades y recursos particulares. En Suecia por ejemplo, el contacto con la naturaleza se realiza desde edades preescolares. Se ha reportado que los alumnos han generado una conciencia de reconocimiento de la naturaleza como aula al poder aprender de ella, como hogar al comer y descansar en ella, y como lugar de recreación donde fomentan su imaginación (Änggård, 2010). En Estados Unidos, se ha evaluado la capacidad de los alumnos de tercero a quinto grado con

diferentes contextos socioeconómicos para proponer soluciones a los problemas ambientales de sus entornos (Fisman, 2005). En Brasil se ha estudiado el interés de los alumnos de bachillerato por temas ambientales como la descripción y conocimiento de la biodiversidad local o acciones a favor del ambiente y el papel de los países emergentes para implementarlas (Franzolin *et al.*, 2020). En Colombia se estudió el efecto de un plan de restauración ambiental donde se cultivaron y propagaron semillas para la reforestación de especies nativas, pero además se capacitó a quince personas como “científicos locales” para un programa de educación ambiental enfocado en la ecología de la restauración (Garzón *et al.*, 2020).

En México, hay diversos trabajos que reportan la implementación de programas de Educación Ambiental bajo diferentes objetivos, temáticas y participantes con sus respectivos contextos y socioecosistemas. Por ejemplo, en 1994 se realizó un programa de alfabetización ambiental para docentes y alumnos de 4° de primaria procedentes de algunas escuelas del Estado de Veracruz, donde incorporaron al currículo la concienciación de las aves migratorias (De Alba & González, 1997). Más recientemente, en el 2006 se realizó un estudio con alumnos de secundaria del Puerto de Veracruz donde se evaluó la comprensión de términos relacionados con el cuidado ambiental (Navarro & Ramírez, 2006).

En Tabasco se han realizado importantes esfuerzos para incluir programas de educación ambiental no formal en proyectos de desarrollo comunitario con el fin de impactar la cultura de diferentes grupos sociales de zonas rurales para fomentar su organización social y mejorar la relación, uso y conservación de los recursos naturales (Puente & López-Hernández, 2008). En Morelos se reporta un trabajo de colaboración comunitaria donde se diseñó e implementó un programa de educación ambiental y ecoturismo para la Selva Baja Caducifolia de la Sierra de Huautla (Alonso & Dhakal, 2009). En la Ciudad de México se llevó a cabo un estudio sobre la enseñanza de la huella hídrica para grupos de 1° y 2° de primaria en una escuela Montessori (Perkins & Calixto, 2019).

En Jalisco destacan dos trabajos de análisis sobre la implementación de la educación ambiental para la rehabilitación y conservación de los ecosistemas. El primero de ellos

hace referencia a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala en su Selva Baja Caducifolia (Castillo *et al.*, 2005). El segundo estudio en esta entidad fue realizado en una zona con degradación en los bosques de pino-encino por cambio de uso de suelo. Ante la degradación se sugiere la implementación de la educación ambiental no formal para la conservación y rehabilitación de la zona afectada por cambio de uso de suelo forestal a minero y agropecuario (López-Gómez & Bastida-Izaguirre, 2018)

Ante la heterogeneidad de condiciones, objetivos y propuestas, una de las mayores críticas que tiene la Educación Ambiental no formal es la falta de evaluación de las actividades realizadas y programas propuestos (De Alba & González, 1997; Chacón-Ortíz, 2015; González, 2016). Sin embargo, el reto no es trivial, puesto que la Educación Ambiental al igual que sus objetivos, consta de una amplia evaluación que busca a través de indicadores instructivos y educativos determinar habilidades, conocimientos, procedimientos, e incluso conductas como convicciones, sentimientos y actitudes a través del tiempo (González, 2016). Un primer acercamiento a la evaluación puede realizarse al evaluar previamente los conocimientos, ideas o esquemas mentales de los participantes con la ayuda de breves cuestionarios, encuestas o entrevistas para su posterior comparación una vez realizada la intervención (Bao & Redish, 2001; Fisman, 2005; Navarro & Ramírez, 2006).

Un ejemplo de este modelo de evaluación desde las Ciencias de la Tierra fue implementado con maestros de primaria que recibieron Talleres de Formación Docente con experimentos físicos relacionados con la gravedad (Ramos *et al.*, 2019). Sin embargo, en temas socioambientales para la promoción de la participación en la rehabilitación, cuidado y conservación destacan algunos trabajos de grado en la zona conurbada de la Ciudad de México para el cuidado de mamíferos silvestres (Del Moral, 2013), en el Estado de México para el cuidado del agua (Montiel, 2008) y del medio ambiente (Villegas, 2013), y en la Sierra Tarahumara para la conjugación entre una comunidad rarámuri y una organización civil (García, 2013). En el taller de Educación Ambiental desarrollado por Del Moral (2013), se buscó sensibilizar a los participantes, con edades mayores a 15 años, sobre la conservación de los mamíferos silvestres de México con presentaciones en PowerPoint. Se aplicaron cuestionarios con preguntas relacionadas antes y después de cada taller. También se motivaba a los participantes a compartir sus experiencias sobre el

tema. Los resultados reportados muestran un efecto positivo en los participantes después de los talleres, al estar más sensibilizados sobre la conservación de los mamíferos silvestres y la biodiversidad en general.

En los talleres realizados por Montiel (2008) con actividades lúdicas para niños de 4° de primaria en el Valle de Chalco, se buscó sensibilizarles sobre la sobreexplotación y contaminación del agua en la Ciudad de México y sus áreas conurbadas. También a través de cuestionarios antes y después de las sesiones se evaluó el efecto de la intervención. Los resultados reportados mencionan un efecto positivo, pero no homogéneo influenciado por la participación del docente frente a grupo.

Villegas (2013) también reporta como medio de evaluación cuestionarios antes y después de los talleres, comparando grupos rurales y urbanos de 3° de primaria sobre la percepción del cuidado del medio ambiente. En sus resultados reporta que hubo diferencias significativas en los conocimientos adquiridos y a la sensibilización de su entorno ambiental posterior a los talleres impartidos.

En los ejemplos mencionados, las intervenciones se realizan con objetivos de sensibilización o concienciación de problemáticas ambientales, y la alfabetización de los participantes evaluando los conocimientos previos y posteriores al taller. En contraparte García (2013) aborda la importancia de escuchar e incorporar dentro de los talleres, conocimientos tradicionales de las comunidades rarámuris en conjunto con las propuestas de una organización civil a través de la interculturalidad, para que en vez de alfabetizar a través de elementos teóricos idealizados, se construyan en conjunto con las visiones de todos los actores, propuestas acopladas a las condiciones particulares de su entorno ante problemas como pérdida de la masa forestal y erosión edáfica, para que puedan ser apropiadas por la comunidad y se garantice su trascendencia.

#### **4. Objetivos generales y específicos**

##### **4.1. Eje 1. Descripción ambiental a través de las comunidades de artrópodo-fauna edáfica en diferentes usos de suelo.**

###### **4.1.1. Objetivo general**

Caracterizar la diversidad de artrópodos edáficos, en relación con las características fisicoquímicas del suelo para cinco sitios asociados a diferentes usos de suelo, ubicados en el Municipio de Tepetlaoxtoc, Estado de México.

###### **4.1.2. Objetivos específicos**

- 4.1.2.1.** Determinar riqueza, abundancia y densidad de microartrópodos edáficos, así como sus índices de diversidad y equitatividad en cada sitio.
- 4.1.2.2.** Evaluar los parámetros fisicoquímicos del suelo asociados al hábitat de los microartrópodos edáficos de cada sitio.
- 4.1.2.3.** Evaluar el efecto del sitio sobre la densidad de organismos y abundancia por muestra, así como las diferencias o similitudes entre los sitios.

##### **4.2. Eje 2. Análisis Multicriterio para la Rehabilitación**

###### **4.2.1. Objetivo general**

Identificar en una zona de rehabilitación las áreas más aptas para realizar distintas acciones mediante un ejercicio de análisis multicriterio.

###### **4.2.2. Objetivo específico**

- 4.2.2.1.** Integrar tres variables para el análisis multicriterio.

##### **4.3. Eje 3. Propuesta de actividades lúdicas para la Educación Ambiental no formal**

###### **4.3.1. Objetivo general**

Diseñar actividades para la Educación Ambiental no Formal para docentes de educación básica, que ayuden a concienciar procesos de formación de su ambiente, su interacción, así como las problemáticas del cambio de uso de suelo.

###### **4.3.2. Objetivos específicos**

- 4.3.2.1.** Elaborar material lúdico con el enfoque de la educación ambiental no formal que esté compilado en un manual de actividades para brindar información y actividades a docentes y educadores ambientales para la concienciación sobre la degradación causada por el cambio de uso de suelo.
- 4.3.2.2.** Realizar un taller piloto como experimento social exploratorio para evaluar el impacto de una de las actividades propuestas en el manual.

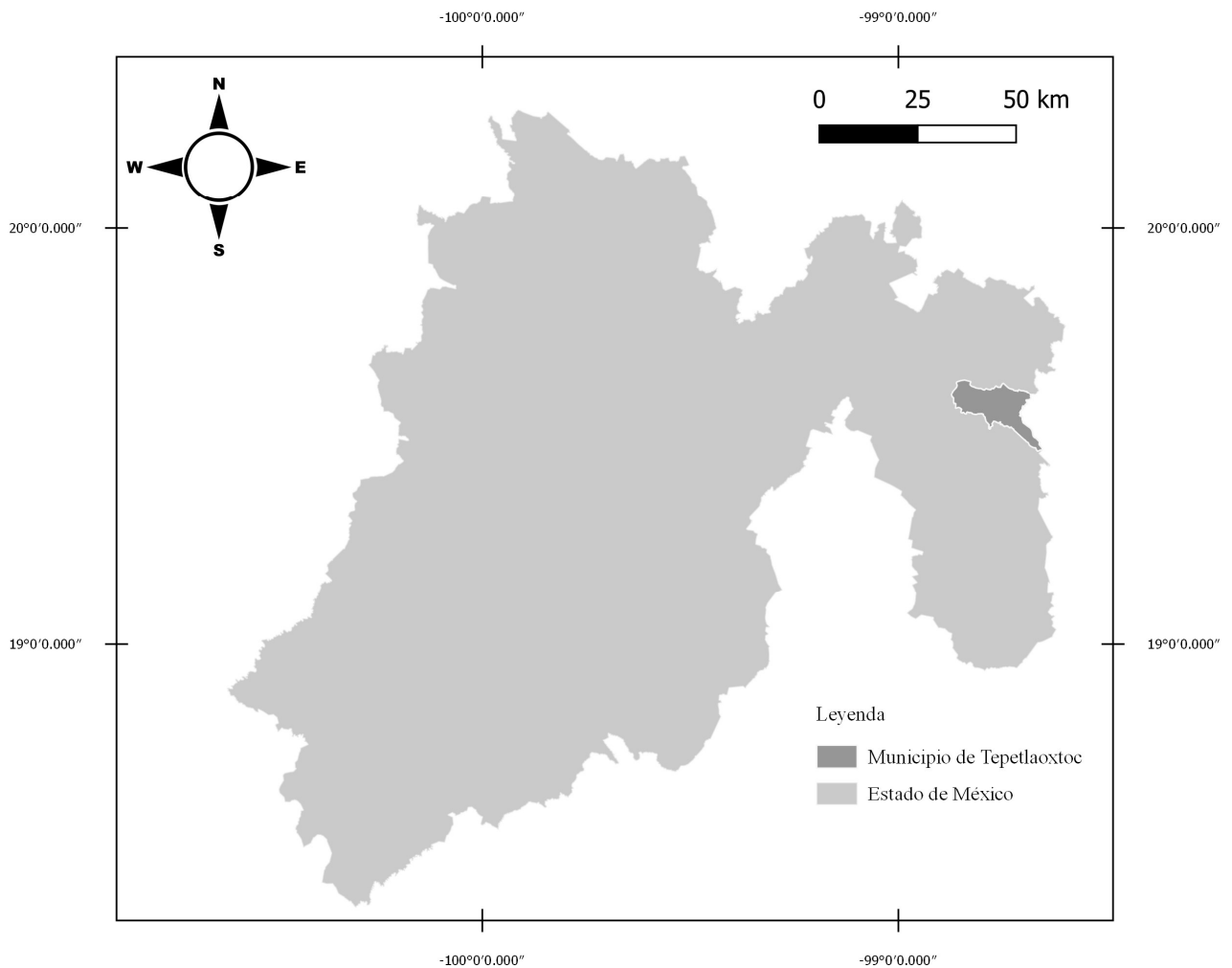
**5. Eje 1. Descripción ambiental a través de las comunidades de artropodofauna edáfica en diferentes usos de suelo.**

**5.1. Materiales y métodos**

**5.1.1. Sitio de estudio**

**5.1.1.1. Localización, fisiografía y geología**

La zona de estudio se localiza en el Municipio de Tepetlaoxtoc, Estado de México (Fig. 4). Esta zona pertenece a la provincia morfotectónica denominada Faja Volcánica Transmexicana, que es descrita como un conjunto de alrededor de 8,000 estructuras volcánicas de diferentes edades que se formaron en cuatro episodios durante los últimos 19 millones de años y que fueron alineadas sobre una franja que cruza el territorio mexicano de oeste a este (Gómez-Tuena *et al.*, 2005; Espinosa & Ocegueda, 2007; Ferrusquía-Villafranca, 2007).



*Figura 4. Municipio de Tepetlaoxtoc, Estado de México.*



La formación geológica de la Sierra Nevada pertenece a la zona oriental de la FVT y es resultado del último episodio geológico identificado entre los periodos del Plioceno tardío y el Cuaternario, formando los estratovolcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Telapón y Tláloc con depósitos de lavas y flujos piroclásticos dacítico-riolíticos (Fig. 5; García- Tovar & Martínez-Serrano, 2011).

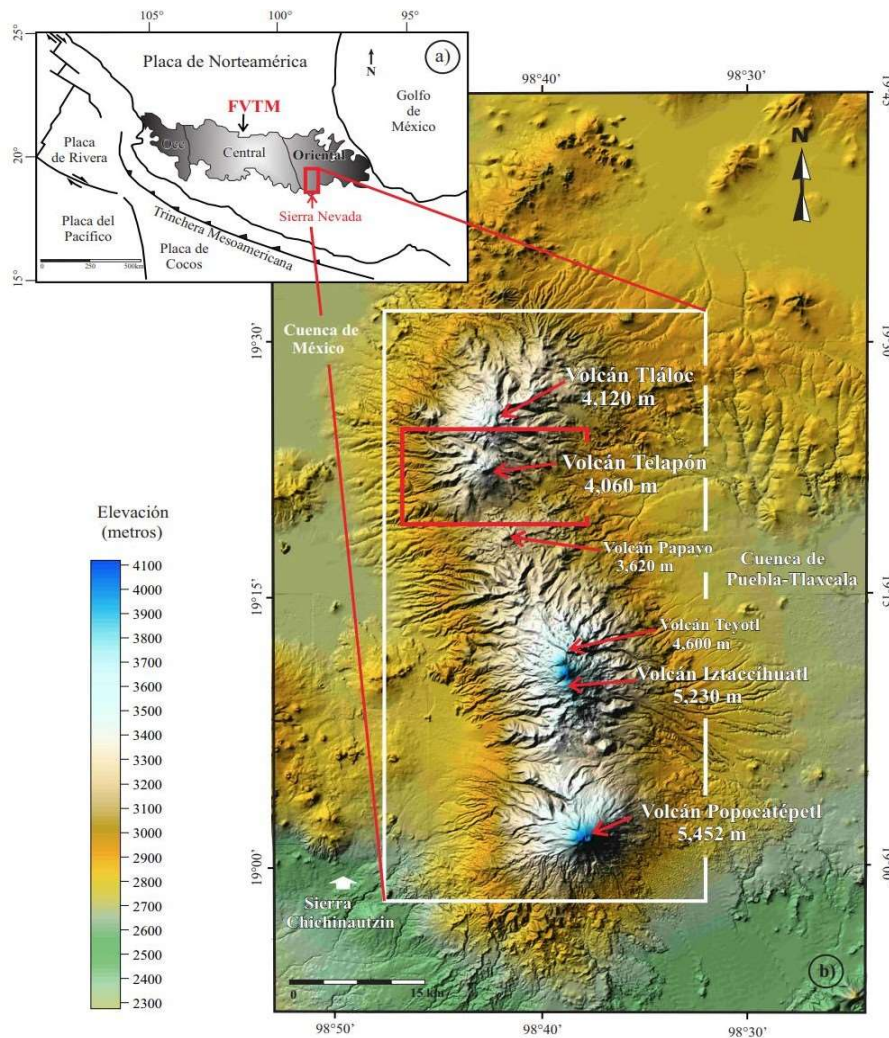
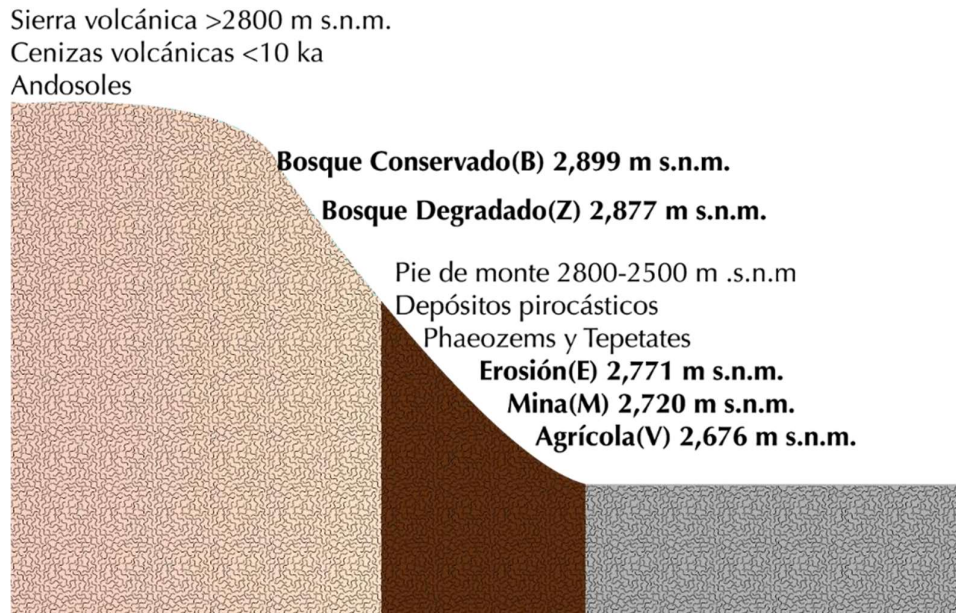


Figura 5. Sierra Nevada de la FVT. Tomado de García-Tovar & Martínez-Serrano (2011).

### 5.1.1.2. Edafología y geomorfología

Los suelos registrados para esta zona principalmente son Andosoles, es decir, suelos volcánicos que se forman sobre cenizas y vidrios volcánicos, así como a partir de otros materiales piroclásticos, que los hace presentar una baja densidad aparente por la presencia de alófanos de rango corto como la imogolita (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2002).

Sin embargo, además de los Andosoles, también se asocian algunos otros suelos como Phaeozems y tepetates, y se describen dependiendo de su ubicación en el paisaje geomorfológico (Peña & Zebrowsky, 1992), donde podemos ubicar a los cinco usos de suelo y vegetación de este estudio (Fig. 6).



*Figura 6. Relación geomorfológica de los usos de suelo y vegetación. Elaboración propia a partir de Peña & Zebrowsky (1992).*

En esta asociación, es importante recalcar los procesos de erosión en forma de cárcavas, ya que para estos suelos volcánicos se reporta que regularmente la erosión hídrica es baja, pero si se realizan cambios en la cubierta vegetal, se desencadenan importantes eventos erosivos que pueden tener un grado tal, que provocan la pérdida del suelo en su totalidad (Sotelo *et al.*, 2011).

### 5.1.1.3. Clima

El clima de acuerdo con la modificación de García a la clasificación de Köppen (1988), es templado, predominantemente en los valles altos y frío en las partes más elevadas de los estratovolcanes mencionados anteriormente con temperaturas medias anuales de 6 °C a 28 °C y una precipitación anual oscilante de 600 a 1,800 mm.

### 5.1.1.4. Vegetación y uso de suelo

De acuerdo con los datos reportados por el INEGI (2015), varios usos de suelo y

vegetación están presentes en el Municipio de Tepetlaoxtoc, Estado de México, siendo predominantes el uso de suelo para la agricultura y pastizal para pastoreo y la vegetación de bosque de pino encino.



### **5.1.2. Sitios de muestreo**



Con el objetivo de conocer las comunidades de artrópodos edáficos en sitios con diferente uso de suelo y vegetación, se eligieron cinco sitios representativos, los cuales corresponden a:

- a) el sitio de bosque de pino-encino (B) que presenta de los dos sitios de bosque la menor degradación (razón por la que lo llamaremos conservado),
- b) el segundo bosque de pino encino que por su mayor degradación respecto a B, se le denominó como el sitio de bosque degradado de pino-encino (Z),
- c) el sitio de agricultura (V),
- d) el sitio con erosión en forma de cárcavas al que llamaremos sitio erosionado (E),
- e) y el sitio de depositación de restos de los materiales de una mina de cantera a la que nos referiremos como sitio de mina (M).

En la Tabla 1 se presentan las coordenadas y fotos de cada sitio, así como la interpretación edáfica establecida por Norma Oficial Mexicana 021-SEMARNAT-2000 (Diario Oficial de la Federación, 2002) realizada por el Grupo de Suelos FAPUR UAEM (sin fecha) de los sitios más característicos del proyecto del que forma parte el presente trabajo.

*Tabla 1. Localización y características de los sitios de estudio.*

Uso de suelo y vegetación	Coordenadas	Características	
<p>Bosque de pino-encino conservado <b>(B)</b></p>	<p>529647.91 m E 2162093.27 m N</p>	<p>Suelos moderadamente ácidos, con alta capacidad de retención de humedad y nutrientes. Contenidos medios de materia orgánica (M.O.) y nitrógeno total (N), deficiente en fósforo (P), capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta y altos contenidos medios de calcio (Ca) y magnesio (Mg).</p>	
<p>Bosque de pino-encino degradado <b>(Z)</b></p>	<p>529645.25 m E 2162187.62 m N</p>	<p>Suelos moderadamente ácidos, con alta capacidad de retención de humedad y nutrientes. Contenidos medios de M.O. y N, alta capacidad de CIC y contenidos medios de Ca y Mg.</p>	

<p>Sitio agrícola (V)</p>	<p>527622.57 m E 2161636.09 m N</p>	<p>Suelos con contenido bajo de M. O., bajo N, deficiente en P y alto en Ca y Mg, sin carbonatos. Alta retención de humedad, pH moderadamente ácido y alta CIC.</p>	
<p>Sitio erosionado (E)</p>	<p>528703.77 m E 2162128.80 m N</p>	<p>Suelos con pH neutro, moderada a baja capacidad de retención de humedad, y nutrientes. Muy bajo contenido de M.O. y N, muy deficiente en P, CIC media y alto contenido de Ca y Mg.</p>	

<p>Sitio de Mina <b>(M)</b></p>	<p>528151.16 m E 2161406.59 m N</p>	<p>Suelos con pH alcalino, moderada a baja capacidad de retención de humedad, y nutrientes. Bajo contenido de M.O., CIC media.</p>	
-------------------------------------	---	--	--

## 5.2. Muestreo de suelo y organismos edáficos

La toma de muestras de suelo y de artrópodos edáficos se realizó por el grupo de investigación en Ecología de Artrópodos en Ambientes Extremos de la UMDI-FC-J con un muestreo dividido en dos fases. La primera parte del muestreo fue en los sitios B, Z y V en febrero de 2017 con cinco muestras para cada sitio. La segunda parte del muestreo se realizó en febrero de 2018 en los sitios E y M con 10 muestras para cada sitio. En cada sitio se trazó un transecto en línea recta donde cada 10 m se realizó un muestreo representativo del sitio. Para la obtención de organismos edáficos, se extrajo suelo desde la superficie hasta una profundidad de 10 cm en un área aproximada de 100 cm<sup>2</sup>. Cada muestra fue etiquetada y guardada en recipientes de plástico para su posterior extracción de la fauna edáfica. Para determinar el porcentaje de humedad del suelo, se tomaron tres muestras de suelo a manera de repeticiones con el método del cilindro (van Reeuwijk, 2002), a una distancia de 1 m aproximadamente respecto al punto de muestreo de los organismos edáficos (Fig. 7). Cada repetición fue etiquetada y guardada en bolsas de plástico cerradas.



*Figura 7. Toma de muestras de organismos y cilindros de humedad. Fotos de archivo propio.*

## 5.3. Trabajo de laboratorio

### 5.3.1. Extracción de organismos

Las muestras para la extracción de la fauna edáfica fueron procesadas en embudos de Berlese-Tullgren durante cinco días, usando un foco los últimos tres días como fuente de luz y calor para capturarlos y conservarlos en frascos de plástico con alcohol al 90% como medio líquido de conservación, para su posterior separación y cuantificación con la ayuda de un microscopio estereoscópico (Fig. 8).



*Figura 8. Embudos de Berlese-Tullgren. Fotos de archivo propio.*

Durante la separación y conteo, se fueron agrupando a los organismos en unidades taxonómicas reconocibles, llegando a distintos niveles de identificación en diferentes grupos. En algunos casos se separó a nivel de orden y en otros a nivel de clase (Millar *et al.*, 2000; Palacios-Vargas & Mejía-Recamier, 2007).

#### **5.3.1.1. Preparaciones para su identificación taxonómica**

Para el montaje e identificación taxonómica de ácaros y colémbolos, se realizaron preparaciones semipermanentes con líquido de Hoyer, por lo que fueron previamente aclarados con solución de potasa al 10% y posteriormente pasados a lactofenol. En el caso de ácaros oribátidos, después de la potasa fueron dejados por varias semanas en ácido láctico (Palacios-Vargas & Mejía-Recamier, 2007). Se utilizaron las claves de Krantz & Walter (2009), para los ácaros, así como la corroboración de especialistas para colémbolos y otros grupos.

#### **5.3.2. Análisis de parámetros edáficos**

Los análisis fisicoquímicos de cada muestra por sitio fueron: porcentaje de humedad, densidad aparente por el método del cilindro de volumen conocido, densidad real por el método del picnómetro, porosidad, pH, conductividad del suelo en solución 1:2.5 en agua destilada, textura por el método de Bouyoucos y cantidad de materia orgánica del suelo con el método de Walkley & Black (van Reeuwijk, 2002; Pansu & Gautheyrou, 2006).

#### **5.3.3. Análisis de datos**

Como parámetros para describir la comunidad de artrópodos edáficos se utilizaron el índice de diversidad de Shannon y el de equitatividad de Pielou, se utilizó el programa estadístico PAST para realizar el análisis (Hammer *et al.*, 2001).

Como análisis complementario se realizó la evaluación de los grupos encontrados con el Índice de Calidad Biológica del Suelo, basado en artrópodos (QBS-ar por sus siglas en italiano). El QBS-ar se aplicó de acuerdo con la metodología propuesta por Parisi *et al.* (2005), calculando el QBS para cada sitio, al sumar los valores asignados para cada grupo según el índice eco-morfológico (EMI por sus siglas en inglés), los cuales son asignados con un valor entre 1 y 20. La premisa de este índice es que en suelos más conservados se tendrá mayor número de organismos que presentan adaptaciones a zonas intermedias y profundas de los diferentes horizontes del suelo, presentando así mayor afinidad y adaptación al suelo. Se realizó una estandarización del índice de QBS por



muestra para después tener valores estandarizados por sitio. Para determinar los coeficientes de correlación entre los parámetros edáficos y la abundancia de microartrópodos en cada sitio se realizaron pruebas estadísticas con el programa R (R Core Team, 2013).

## **5.4. Resultados**

### **5.4.1. Cuento y clasificación de organismos**

Derivado del análisis de las muestras de suelo de los cinco sitios (B, Z, V, E y M) se registraron un total de 1,617 organismos, que fueron clasificados dentro de 17 grupos taxonómicos (Fig. 9) y 71 morfoespecies (Fig. 10).

Para la muestra del sitio B (bosque de pino-encino conservado) se registraron 667 individuos en total, siendo Oribatida sp.1 la morfoespecie más abundante, con 197 individuos. Le siguió Prostigmata sp.1, con 191 individuos.

El sitio Z (bosque de pino-encino degradado) ocupó el segundo sitio en abundancia total de individuos, con 381 contabilizados; siendo Mesostigmata sp.1 la más abundante, con 133 individuos. Seguida de Prostigmata sp.8 con 68 individuos.

Respecto al sitio V (sitio agrícola) con 260 conteos, Prostigmata sp. 8, con 83 conteos y Prostigmata sp.7 con 73 individuos.

El sitio M (Mina) registró 229 individuos en total, siendo Prostigmata sp.7 con 34 individuos y Homoptera sp.3 con 33 las más abundantes.

Por último, el sitio de menor abundancia fue el sitio E (sitio de erosión) con un total de 80 individuos y Prostigmata sp.1 con un total de 47.

En la representación gráfica de los grupos taxonómicos encontrados en los distintos sitios, la leyenda *otros* representa a grupos que no tuvieron demasiada abundancia. Específicamente en B, *otros* contiene a 21 conteos de grupos con abundancias menores a 9 organismos, como Coleoptera, Hymenoptera, Psocoptera y Thysanoptera.

En el sitio Z contiene a los grupos que solo tuvieron un conteo en Astigmata y Thysanoptera.

*Otros* en V representa 5 conteos en conjunto de los grupos Aranae, Oribatida y Psocoptera, con un organismo cada uno y Thysanoptera con dos.

*Otros* en M representa a los grupos Astigmata, Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Mesostigmata, Oribatida y Thysanoptera por sus abundancias menores a 9 individuos.

Por último, en el sitio E solo se clasificaron a los 3 grupos que se muestran, por lo que no fue necesario utilizar la leyenda otros.

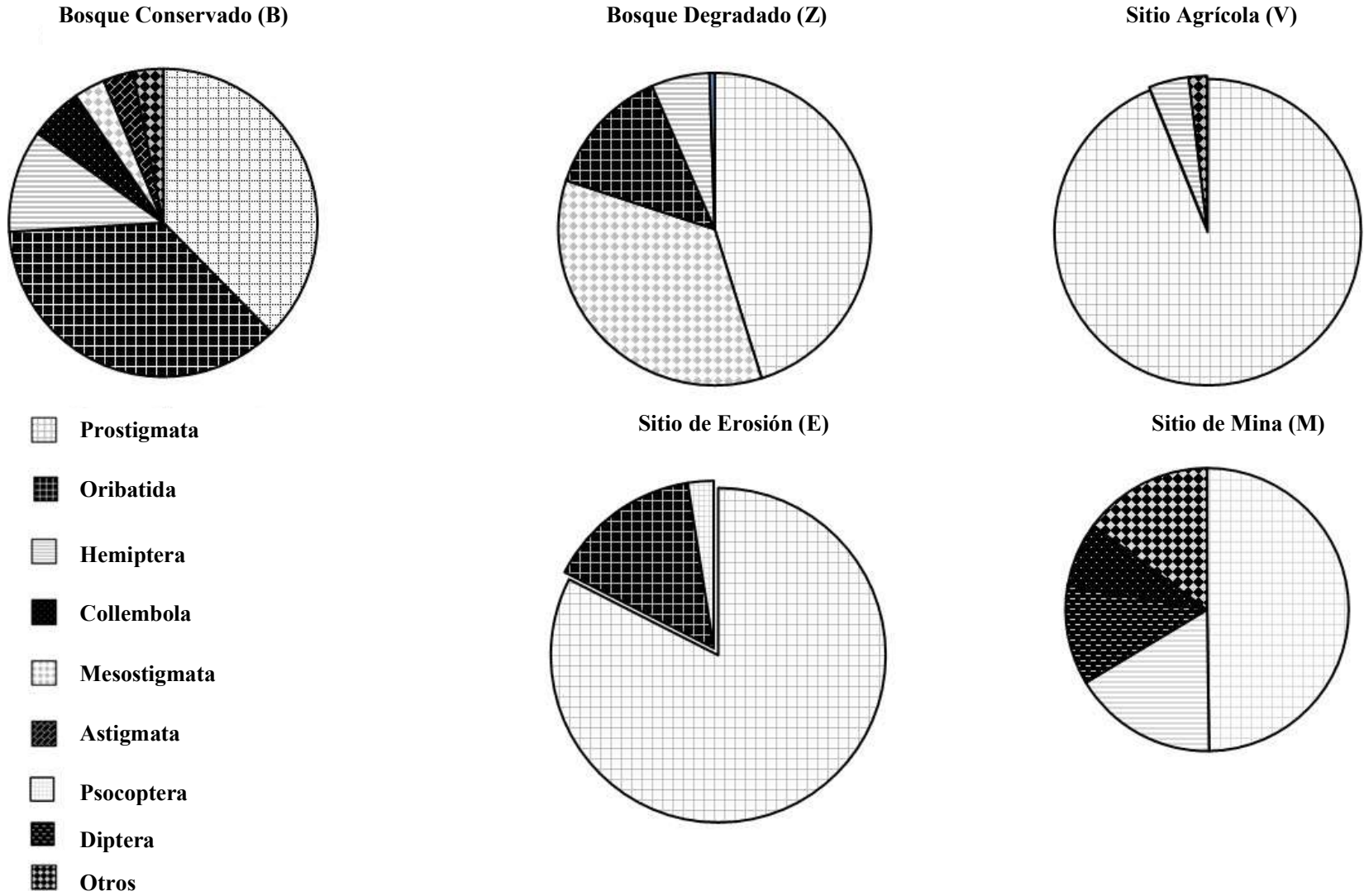
*Otros* en la gráfica de las morfoespecies representa para B 131 organismos en morfoespecies con conteos menores a 33.

En Z, 81 organismos clasificados con conteos menores a 19.

*Otros* en V representa en conjunto a 35 conteos para las morfoespecies que tenían conteos menores a 29.

En M 84 organismos con conteos menores a 11.

Y en E, 25 organismos con conteos en morfoespecie menores a 8.



*Figura 9. Abundancia relativa de grupos de artrópodos por cada sitio.*

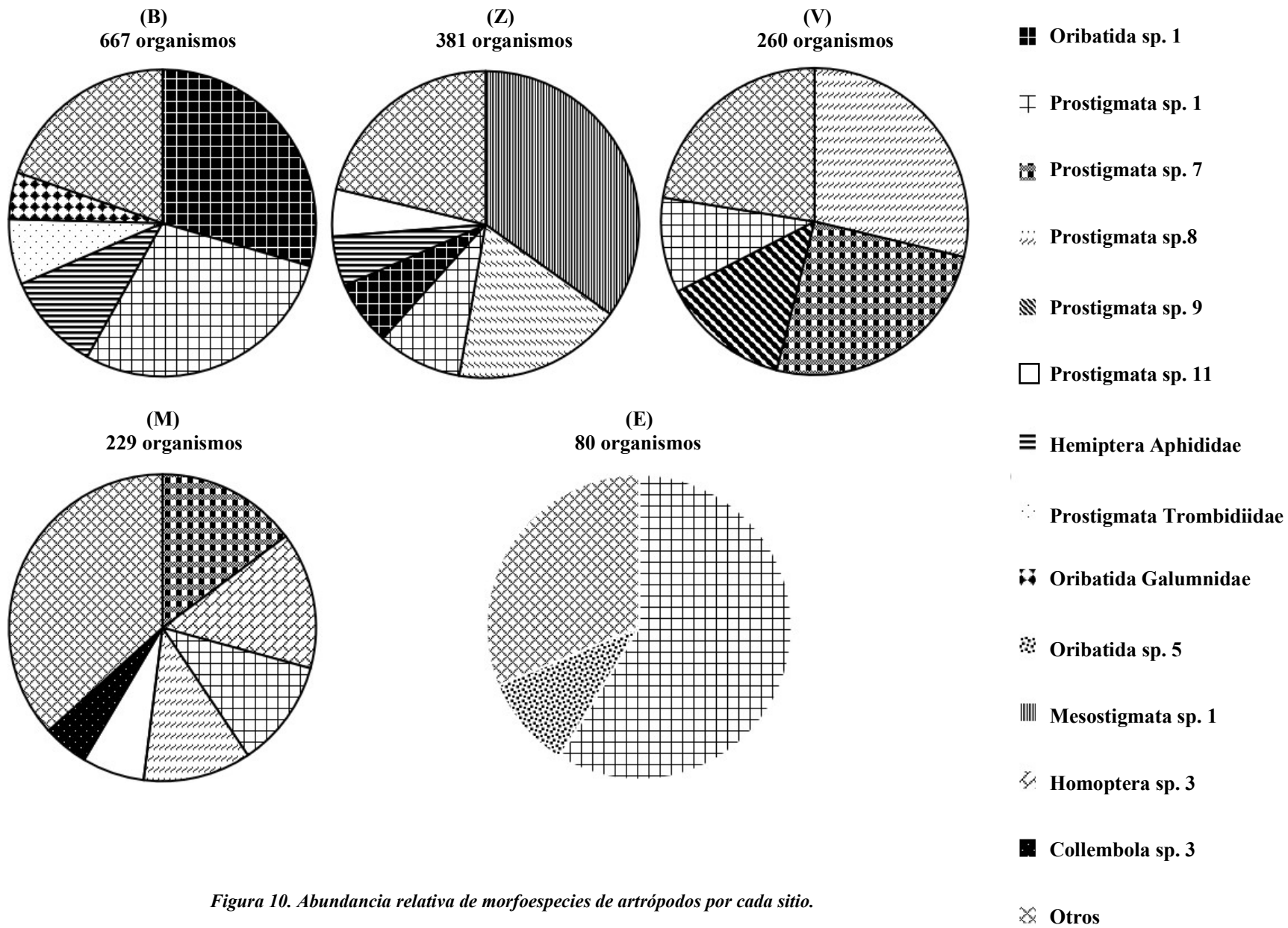


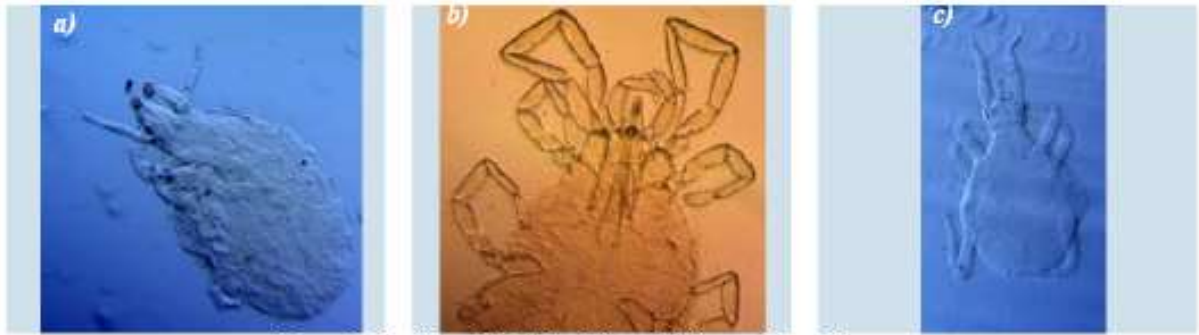
Figura 10. Abundancia relativa de morfoespecies de artrópodos por cada sitio.

#### **5.4.1.1. Identificación taxonómica de las especies**

Algunas especies fueron identificadas taxonómicamente a nivel de familia, para el grupo Prostigmata (Fig. 11), se identificaron a las familias Bdellidae, Cunaxidae y Trombidiidae. Estas 3 familias corresponden a las morfoespecies Prostigmata Bdellidae, Prostigmata Cunaxidae y Prostigmata Trombidiidae, respectivamente. Estas tres familias fueron encontradas solo en las muestras del sitio B, siendo la familia Trombidiidae, con 46 organismos, la más abundante respecto a las otras dos familias, representando el 6.89% del total de organismos registrados en B.

Para Oribatida (Fig. 12) la familia Damaeidae corresponde a la morfoespecie Oribatida Oppidae que también solo se registró en el sitio B. Para Hemiptera (Fig. 13) la familia Aphididae corresponde a la morfoespecie Hemiptera Aphididae, la cual estuvo presente y fue una de las más abundantes en los sitios B y Z, mientras que la familia Pentatomidae solo se registró en B con solo 2 organismos.

Para Collembola (Fig. 14) la familia Entomobryidae corresponde a la morfoespecie Collembola sp. 1 encontrada solo en los sitios B con 21 organismos y M con 11 organismos. La familia Tullbergiidae corresponde a la morfoespecie Collembola sp. 3 encontrada solo en el sitio B con 9 organismos. También del grupo Hymenoptera (Fig. 15) la familia Cynipidae que corresponde a la morfoespecie Hymenoptera sp. 1 fue encontrada en el sitio B con un solo organismo.



*Figura 11. Familias a)Bdelliidae, b)Trombidiidae y c)Cunaxidae.*



*Figura 12. Familia Damaeidae*



*Figura 13. Familias a) Aphididae b) Pentatomidae.*



*Figura 14. Familias a) Tullbergiidae b) Entomobryidae*



*Figura 15. Familia Cynipidae*

### 5.4.2. Análisis de parámetros edáficos

Los análisis de los parámetros edáficos de todas las muestras se agruparon por sitio y se promediaron (Tabla 2).

*Tabla 2. Parámetros edáficos*

Sitios	Humedad (%H)	pH	Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Porosidad (%P)	Materia Orgánica (%M.O.)	Textura
B	17.96 $\pm 4.16$	6.28 $\pm 0.42$	546 $\pm 74.18$	66.21 $\pm 5.61$	27.23 $\pm 9.31$	Franco arcillo arenosa/ Franca
Z	6.96 $\pm 1.49$	6.10 $\pm 0.10$	189.44 $\pm 48.95$	56.47 $\pm 16.31$	8.50 $\pm 2.75$	Franco arcillo limosa
V	5.41 $\pm 1.16$	6.90 $\pm 0.11$	84.66 $\pm 44.29$	60.26 $\pm 3.99$	1.49 $\pm 0.44$	Arcillosa
M	17.36 $\pm 8.57$	8.52 $\pm 0.24$	73.11 $\pm 35.22$	48.54 $\pm 5.61$	0.07 $\pm 0.03$	Areno francosa/ Franco arenosa
E	10.89 $\pm 5.29$	7.06 $\pm 0.39$	86.48 $\pm 32.35$	46.89 $\pm 3.22$	0.54 $\pm 0.32$	Franco arcillo arenosa

### 5.4.3. Índices para la descripción de comunidades

Las cifras de abundancia totales por sitio, además de la abundancia por muestra, densidad de organismos por superficie y los índices de diversidad y equitatividad se muestran en la Tabla 3.

*Tabla 3. Tabla de abundancias e índices por sitio.*

Sitios	Abundancia total	Abundancia por muestra	Densidad (organismos/cm <sup>2</sup> )	Índice de Shannon	Equitatividad de Pielou
B	667	133.4 $\pm 139.4$	1.16	1.74	0.73 $\pm 0.15$
Z	260	52 $\pm 25.9$	0.45	1.78	0.81 $\pm 0.15$
V	381	76.2 $\pm 73.3$	0.66	1.35	0.77 $\pm 0.14$
M	229	22.9 $\pm 12.0$	0.20	1.95	0.90 $\pm 0.04$
E	80	8 $\pm 9.2$	0.08	0.30	0.86 $\pm 0.03$

Para complementar los resultados obtenidos de los índices de diversidad, se realizaron los índices QBS para cada sitio (Tabla 4), donde podemos observar que el sitio B por los grupos clasificados es el que tiene el valor más alto. El valor obtenido para M ya no es el más alto como lo es en el índice de diversidad de Shannon, aunque sigue siendo más alto que Z y V.

**Tabla 4. EMI's de grupos taxonómicos por sitio.**

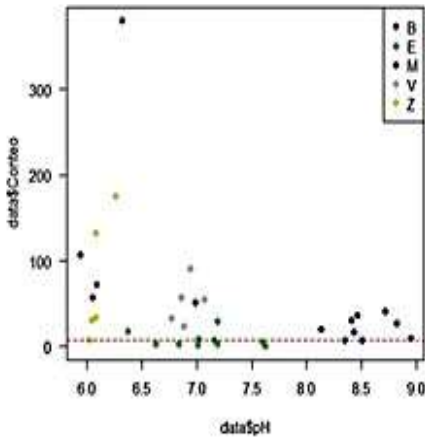
<b>Grupo taxonómico</b>	<b>B</b>	<b>Z</b>	<b>V</b>	<b>M</b>	<b>E</b>
Acari	20	20	20	16	16
Aranae	-	-	4	-	-
Collembola	14	-	-	3	-
Coleoptera	8	-	-	10	-
Diplura	-	-	-	-	-
Hemiptera	10	8	2	7	-
Hymenoptera	1	-	-	1	-
Lepidoptera	-	-	-	5	-
Pseudoscorpionida	20	-	-	-	-
Psocoptera	1	-	-	-	-
Thysanoptera	1	-	-	-	-
<b>QBS</b>	<b>75</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>42</b>	<b>16</b>

#### **5.4.4. Análisis de correlación**

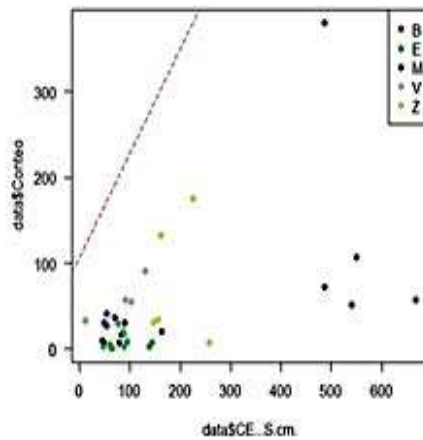
Respecto a la correlación de las abundancias de los microartrópodos con los parámetros edáficos (Fig. 16), el coeficiente de correlación para la mayoría de los casos ( $r^2$  valor) resultó muy bajo, aunque el valor de significancia ( $p$  valor) a excepción de la porosidad y los tamaños de textura son menores a 0.05, lo que se puede interpretar cómo poca correlación, pero significativa.



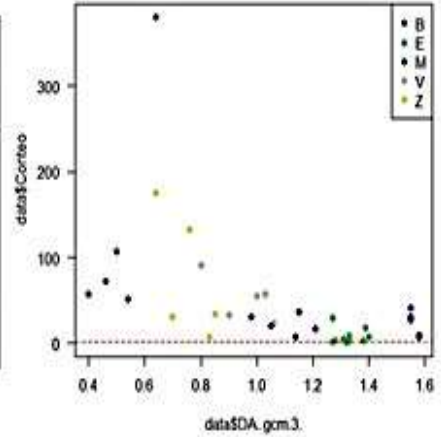
Residual standard error: 0.9052 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.1294, Adjusted R squared: 0.103  
 F-statistic: 4.904 on 1 and 33 DF, p-value: 0.03381



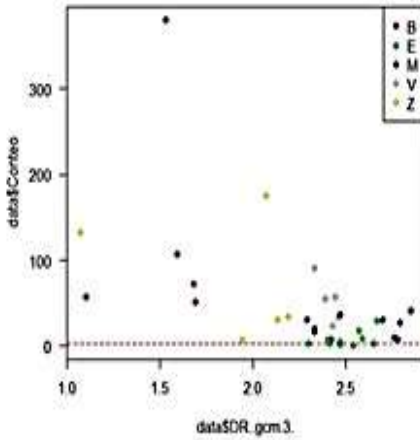
Residual standard error: 147.7 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.2558, Adjusted R squared: 0.2332  
 F-statistic: 11.34 on 1 and 33 DF, p-value: 0.001939



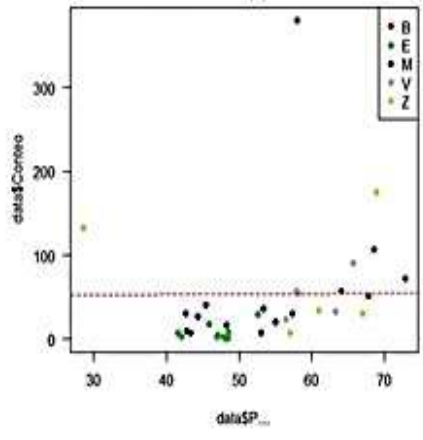
Residual standard error: 0.3022 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.2791, Adjusted R squared: 0.2572  
 F-statistic: 12.77 on 1 and 33 DF, p-value: 0.001107



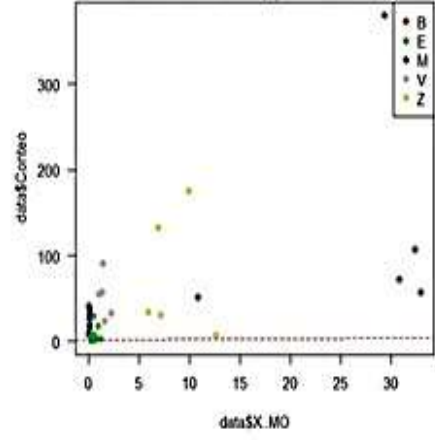
Residual standard error: 0.3801 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.302, Adjusted R squared: 0.2809  
 F-statistic: 14.28 on 1 and 33 DF, p-value: 0.0006272



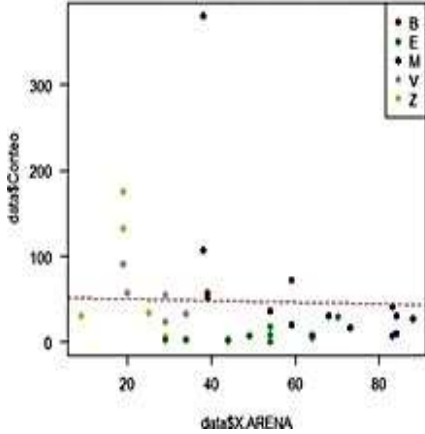
Residual standard error: 9.713 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.08209, Adjusted R squared: 0.05427  
 F-statistic: 2.951 on 1 and 33 DF, p-value: 0.09518



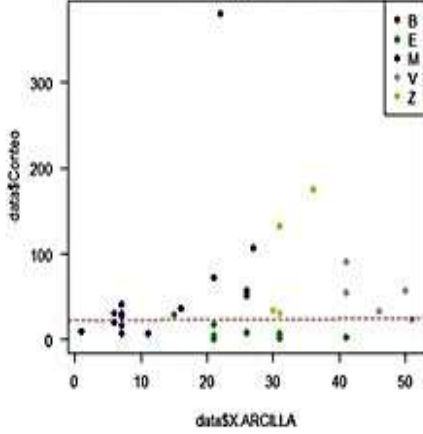
Residual standard error: 8.229 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.3439, Adjusted R squared: 0.324  
 F-statistic: 17.3 on 1 and 33 DF, p-value: 0.0002138



Residual standard error: 21.43 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.08865, Adjusted R squared: 0.06103  
 F-statistic: 3.21 on 1 and 33 DF, p-value: 0.08236



Residual standard error: 13.63 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.01645, Adjusted R squared: 0.01335  
 F-statistic: 0.5521 on 1 and 33 DF, p-value: 0.4627



Residual standard error: 11.76 on 33 degrees of freedom  
 Multiple R squared: 0.149, Adjusted R squared: 0.1232  
 F-statistic: 5.778 on 1 and 33 DF, p-value: 0.022

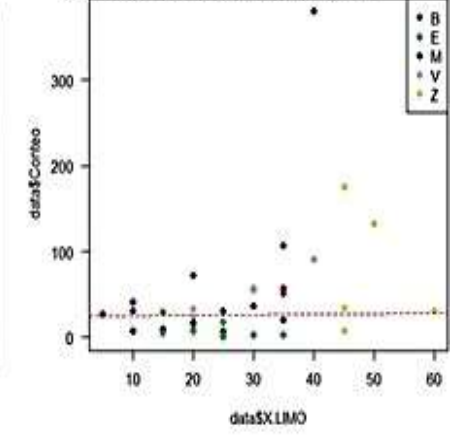


Figura 16. Diagramas de dispersión de correlación entre el conteo de muestras por sitio y sus parámetros edáficos.

## 5.5. Discusiones

El grupo de artrópodos edáficos dominante del sitio B es Oribatida, al presentar la mayor abundancia. Esta alta abundancia respecto a otros grupos es asociada a sus hábitos de alimentación saprófaga y micófaga, lo que permite contar con una alta disponibilidad de recursos de los horizontes orgánicos de suelos conservados (Behan-Pelletier, 1999; Neher & Barbercheck, 1999; Iturrondobeitia & Subías, 2015). La familia Damaeidae encontrada en las muestras del sitio B, pertenece a este grupo de los ácaros oribátidos y es importante resaltar que en México que es una familia poco descrita, con dos únicas descripciones, realizadas también para la Sierra Nevada, en el volcán Popocatepetl (Iglesias *et al.*, 2012).

Como segundo grupo dominante del sitio B se encuentra Prostigmata, que es considerado de manera general como uno de los grupos dominantes en el suelo, pero a diferencia de Oribatida es asociado a hábitos de alimentación más heterogénea, siendo la mayoría de los prostigmados depredadores y micófagos (Kethley, 1990; Neher & Barbercheck, 1999). De este grupo, se identificaron tres familias. Las especies de la familia Cunaxidae son descritas como especies de ácaros depredadores (Skvarla *et al.*, 2014) y las especies de Bdellidae como depredadoras de pequeños artrópodos, así como de sus huevos y larvas (Atyeo, 1960). Algunas especies de la familia Trombidiidae han sido descritas como parasitoides de invertebrados (Vázquez-Rojas *et al.*, 2015).

Hemiptera es el siguiente grupo dominante del mismo sitio B. Esta dominancia, aunque es menor en relación con Oribatida y Prostigmata, pudiera ser un poco alarmante, debido a que la familia identificada como Aphididae es generalmente asociada como plaga para diferentes cultivos forestales. Sin embargo, también se encontró presente a la familia Cynipidae, que podría estar funcionando como control poblacional de los áfidos por ser sus hiperparasitoides naturales (Gaona *et al.*, 2000). El resto de los grupos como Collembola, Mesostigmata y Astigmata guardan una relación proporcional, aunque menos abundante respecto a los grupos anteriormente mencionados (Fig. 9).

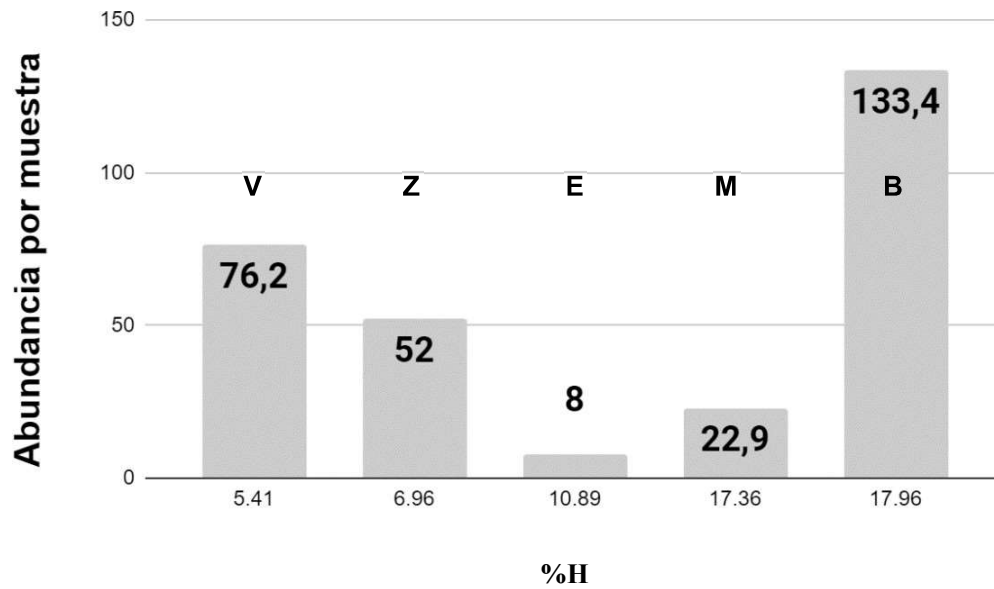
Los colémbolos al igual que los oribátidos, son los encargados de promover los procesos de descomposición en el suelo, al favorecer el ciclo de nutrientes por ser

micófagos y bacteriófagos (Maleque *et al.*, 2006). Sin embargo, sus abundancias son susceptibles a la estacionalidad del año (Palacios-Vargas, 2014). Las diferentes especies de colémbolos pertenecientes a la familia Entomobryidae han sido descritas en una gran diversidad de hábitats y condiciones (Mari-Mutt, 1979). En caso contrario, la familia Tullbergiidae es mencionada como indicadora de impacto ambiental por su alta sensibilidad ante los cambios ecológicos en el medio en el que está (Palacios-Vargas & Salazar- Martínez, 2014).

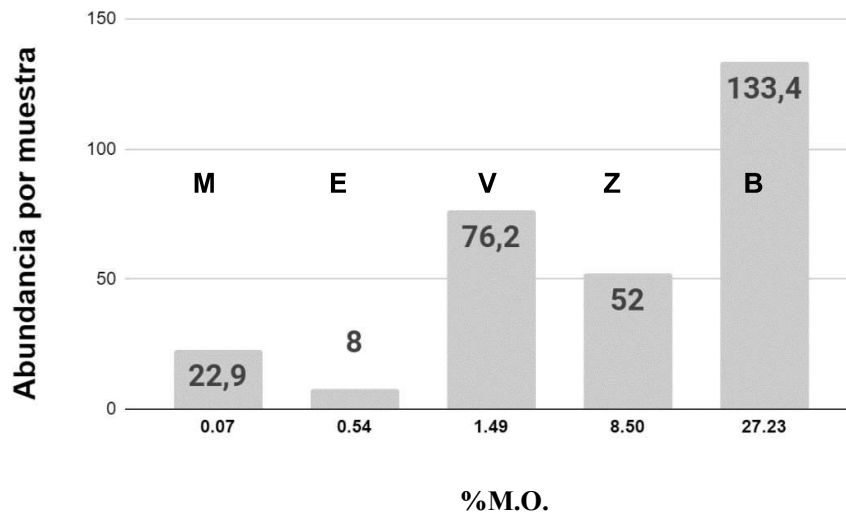
De manera general, la presencia de familias y grupos de depredadores y parasitoides mencionados anteriormente nos puede dar una idea general de la estabilidad del sitio al presentar organismos de alta sensibilidad, además de posibles cadenas tróficas que están soportando a organismos depredadores de niveles superiores (Brussaard *et al.*, 2007).

Ejemplo de esto es la presencia de la familia Tullbergiidae de alta sensibilidad solo en el sitio B. Además, la aparente relación de hiperparasitoidismo entre la familia Aphididae y Cynipidae, nos da la posibilidad de inferir que el sitio B es el que presenta una menor degradación, y que conserva además de la vegetación de pino-encino, a las comunidades de artrópodos, así como las condiciones necesarias para la supervivencia e interacción de estos a pesar de que las condiciones en este sitio presentan cierta perturbación.

Las condiciones que presenta cada sitio asociadas a los parámetros edáficos son heterogéneas. Y aunque hay poca correlación, es significativa. Esta correlación es más apreciable entre la abundancia por muestra y los porcentajes de humedad y materia orgánica (Figuras 17 y 18), siendo el sitio B el que presenta los porcentajes más altos de las dos variables edáficas, así como la mayor abundancia por muestra. La mayor abundancia de B puede ser asociada a esos valores edáficos porque puede estar causando una mayor densidad de consumidores primarios para este sitio (como oribátidos y colémbolos) y en consecuencia, el establecimiento de mayores interacciones y redes tróficas (Vreeken-Buijs *et al.*, 1998).



*Figura 17. Abundancia por muestra de cada sitio frente al porcentaje de humedad.*



*Figura 18. Abundancia por muestra frente al porcentaje de materia orgánica.*

Continuando este análisis comparativo, el segundo sitio con mayor humedad es el sitio M, presentando un porcentaje de humedad muy cercano al sitio B. No obstante, su porcentaje de M.O. es el más bajo de todos los sitios. En consecuencia, a pesar de que presenta un valor de diversidad elevado, este valor puede no estar asociado a estos parámetros edáficos, a diferencia con el sitio B, e incluso como pudiera estar siendo representado con los sitios Z y V en relación con su abundancia.

Específicamente para la muestra del sitio Z, llama la atención que hay un incremento del grupo Mesostigamata, seguido de los grupos Prostigmata, Oribatida y Hemiptera. Sin embargo, los grupos Hymenoptera, Collembola, y Astigmata no están presentes, aunque en Z es el único sitio con presencia del grupo Aranae con un organismo. Por otra parte, en el sitio V la predominancia del grupo Prostigmata respecto a los otros grupos es muy notoria, aunque aún se puede apreciar al grupo Hemiptera presente.

Respecto al sitio E, Prostigmata y Oribatida son los grupos más dominantes. Y para el sitio M, el grupo predominante también es Prostigmata, aunque podemos observar la reaparición del grupo Collembola en este sitio.

Esta reaparición en los conteos del grupo Collembola a pesar del bajo porcentaje de materia orgánica hacen que el sitio M sea un sitio particularmente interesante, también porque presenta el mayor valor en el índice de diversidad de Shannon, el segundo valor en el índice QBS y una alta densidad relativa.

Estos resultados pueden explicarse desde dos perspectivas de colonización relacionadas a las diversas estrategias de adaptabilidad de los microartrópodos. La primera está relacionada con la colonización de zonas de montaña, donde después de un evento que modifica la cobertura vegetal, diversos artrópodos son los primeros en llegar a través de medios aéreos como la dispersión por viento o al utilizar estructuras de vuelo, que son características de etapas juveniles de algunos grupos (Edwards, 1986). Lo anterior, sumado a su rápida capacidad de adaptación a los cambios ambientales, les permite habitar sitios con condiciones desfavorables, tales como superficies de flujos de escombros.

La segunda perspectiva está relacionada con el establecimiento de comunidades de microartrópodos pero en zonas con acciones de restauración. Pese a que las comunidades de artrópodos edáficos presentan disminución en su abundancia y riqueza, se indica la importancia de establecer junto con las acciones de reforestación para la restauración, corredores ecológicos entre los sitios no degradados y los que han sido restaurados para ayudar a la colonización de especies no voladoras (Zeppelini *et al.*, 2009).

Conviene subrayar que el sitio M es una zona de depositación de restos de una mina pétreo y que pese a al recubrimiento, no hay una remoción de la cobertura vegetal original, ni de los horizontes orgánicos del suelo. Lo anterior, podría llegar a considerarse como un contacto entre las comunidades de artrópodos originarias de los horizontes orgánicos que fueron cubiertas con el material depositado y las comunidades que pueden estar llegando a través de medios aéreos. En esta especie de corredor ecológico, debemos también de señalar que posiblemente los valores altos de humedad y porosidad pueden estar formando microhábitats que coadyuven en el establecimiento de los microartrópodos en el sitio M (Razo-González *et al.*, 2014).

En el mismo sentido, debemos considerar que los grupos dominantes no voladores pueden provenir de los suelos sobre los que se realizó la depositación, al sobrevivir a la modificación de sus condiciones originales, e incluso adaptarse a estas nuevas condiciones para mantener y aumentar sus poblaciones. Los ácaros prostigmados podrían estar asociados a la alta humedad con sus hábitos micófagos o a la depredación de colonizadores. Específicamente en el caso de Collembola, los organismos encontrados pertenecen a la familia Entomobryidae, que es una familia adaptada a diversas condiciones, y que en consecuencia, pudiera estar adaptándose a las condiciones edáficas del sitio. En el caso de otros grupos dominantes en M, como Diptera y Hemiptera son organismos que pueden llegar a través de medios aéreos.

## 5.6. Conclusiones

Al determinar y relacionar la riqueza, abundancia y densidad de microartrópodos edáficos, los índices de diversidad y equitatividad, así como los parámetros fisicoquímicos del suelo, se observó que la materia orgánica y la humedad son los principales factores que pueden estar influyendo en la presencia o ausencia de ciertos grupos de artropodofauna.

Asimismo, la degradación causada por los cambios de uso de suelo se hace evidente al comparar las comunidades de artrópodos edáficos de los sitios de bosque de pino-encino conservado y las comunidades del sitio agrícola o el erosionado. El caso del sitio M es un caso particular que debe de considerarse y estudiarse con más detalle, ya que este sitio puede estar siendo rehabilitado por comunidades ya presentes del sitio en el momento de la depositación de subproductos mineros o por colonizadores.

Además, este estudio logró identificar en los sitios a diferentes grupos, entre los que destacan los que han sido descritos por su alta sensibilidad, así como grupos como el hiperparasitoidismo o la depredación, lo que indica cierto estado de conservación y estabilidad ante la degradación en los bosques semiconservados.

Estos resultados preliminares podrían ser una forma de evaluación que por su fácil implementación y bajo costo para brindar un panorama general del estado de conservación bajo diferentes usos de suelo. Incluso los índices obtenidos en la evaluación pueden incorporarse a las propuestas para la rehabilitación en el Ordenamiento Territorial, esto se abordará en el siguiente eje.

## 6. Eje 2. Análisis Multicriterio para la Rehabilitación

### 6.1. Materiales y métodos

Se realizó el análisis multicriterio para identificar las zonas más aptas de un cuadrante para rehabilitación considerando dos atributos ambientales. Este análisis se nutrió con datos vectoriales disponibles para su descarga del INEGI (Tabla 5).

*Tabla 5. Atributos ambientales para el análisis multicriterio.*

<b>Atributo ambiental</b>	<b>Datos vectoriales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Variables</b>
Uso de suelo	Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:1'000,000 Serie II (Continuo Nacional)	Cobertura con propiedades relevantes para realizar acciones de rehabilitación	Tipo de vegetación y uso
Carreteras y vialidades	Conjunto de Datos Vectoriales de Carreteras y Vialidades Urbanas Edición 1.0 (Distribución por entidad federativa)	Accesibilidad al área	Distancia permisible de 1 km

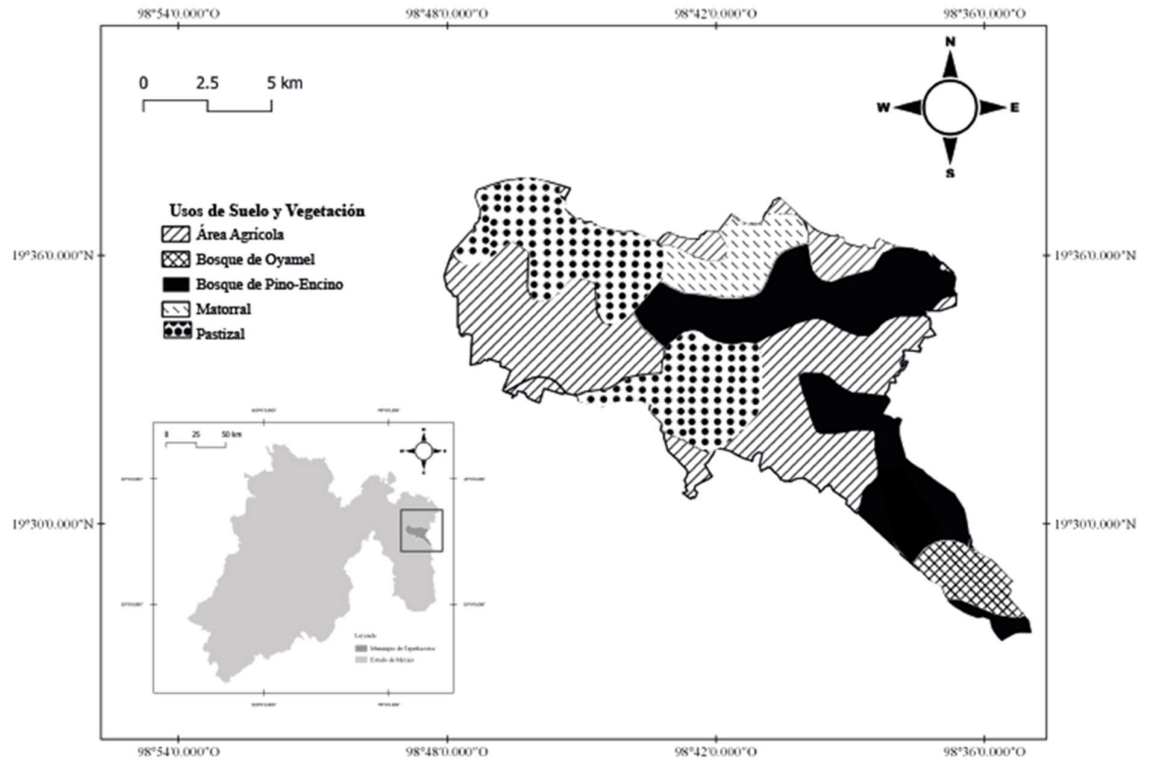
Los resultados del análisis multicriterio fueron complementados con la incorporación de los índices QBS, obtenidos de la evaluación ambiental del Eje 1. Esta incorporación como atributo ecológico, permite hacer una combinación de escalas pequeñas del análisis multicriterio con elementos de gran escala cartográfica, como los obtenidos de la evaluación ambiental.

#### 6.1.1. Análisis multicriterio

##### 6.1.1.1. Primer atributo

Para el primer atributo de uso de suelo y vegetación se seleccionaron datos correspondientes únicamente al municipio de Tepetlaoxtoc (Fig. 19). Una vez identificados los usos de suelo y vegetación municipales, se realizó una ponderación lineal simple priorizando para la rehabilitación usos de suelo sobre vegetación (Tabla 6 y 7).





*Figura 19. Usos de suelo y vegetación en el Municipio de Tepetlaotoc, Estado de México.*

*Tabla 6. Ponderación lineal simple del uso de suelo y vegetación.*

	Pastizal	Agricultura	Matorral	Pino-Encino	Oyamel
Pastizal	1	3	5	7	9
Agricultura	1/3	1	2	5	7
Matorral	1/5	1/2	1	3	5
Pino-Encino	1/7	1/5	1/3	1	5
Oyamel	1/9	1/7	1/5	1/5	1
Totales	1.79	4.84	8.53	16.20	27

**Tabla 7. Valores normalizados.**

<b>Uso de suelo</b>	<b>Valores normalizados</b>						<b>Porcentaje total</b>
Pastizal	0.560	0.619	0.586	0.432	0.333	2.530	51
Agricultura	0.187	0.206	0.234	0.309	0.259	1.195	24
Matorral	0.112	0.103	0.117	0.185	0.185	0.703	14
Pino-Encino	0.080	0.041	0.039	0.062	0.185	0.407	8
Oyamel	0.062	0.029	0.023	0.012	0.037	0.164	3
Totales	1	1	1	1	1	5	100

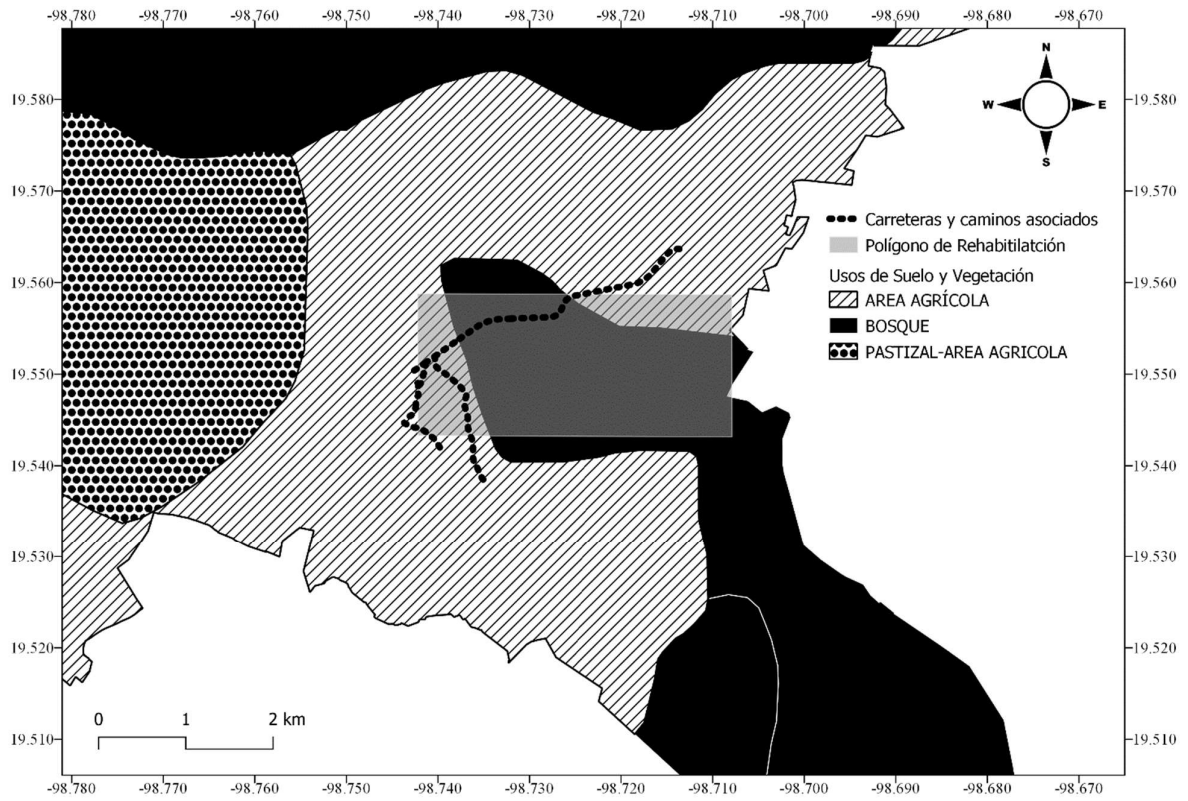
Los porcentajes obtenidos de las ponderaciones se incluyeron en el procesamiento de formatos vectoriales a formato ráster para la identificación de zonas aptas para la rehabilitación.

#### **6.1.1.2. Segundo atributo**

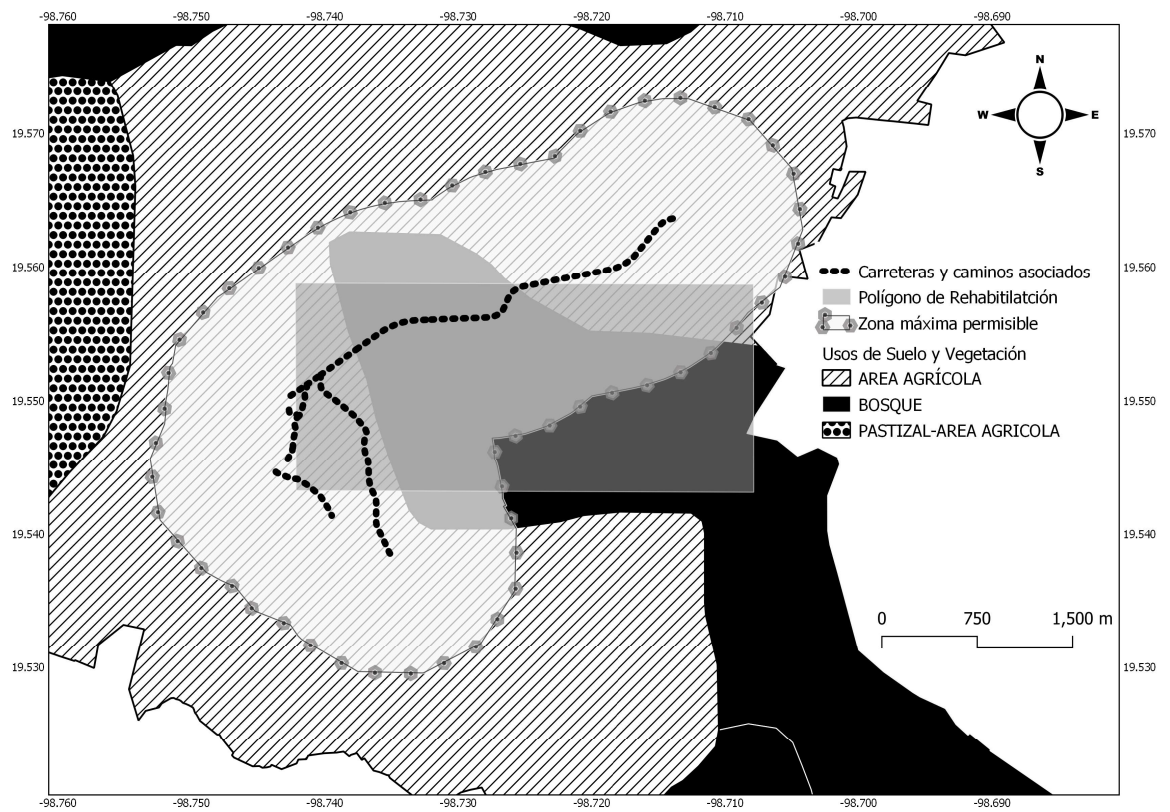
Respecto al segundo atributo de carreteras y vialidades, se seleccionaron carreteras que conectaran específicamente con el polígono de rehabilitación que tiene una superficie de 6.21 km<sup>2</sup> aproximadamente (Coordenadas 19.558674°, -98.707892° 19.543154°, -98.742209°) y forma parte del proyecto CONACYT clave PN-2015-218 (Fig. 20).

También los datos vectoriales fueron procesados a formato ráster. Con este formato se delimitó una zona máxima permisible de trabajo de 1 km con referencia a las vialidades que asociadas al polígono de rehabilitación (Fig. 21).

Emplear a las vialidades como atributo tiene dos objetivos. En primer lugar, se establece que las zonas para la rehabilitación dispongan de vialidades para transportar herramientas y trabajadores. Además, con la delimitación máxima de 1 km respecto a la vialidad se espera que las zonas a rehabilitar resulten de fácil acceso para realizar los trabajos de rehabilitación.



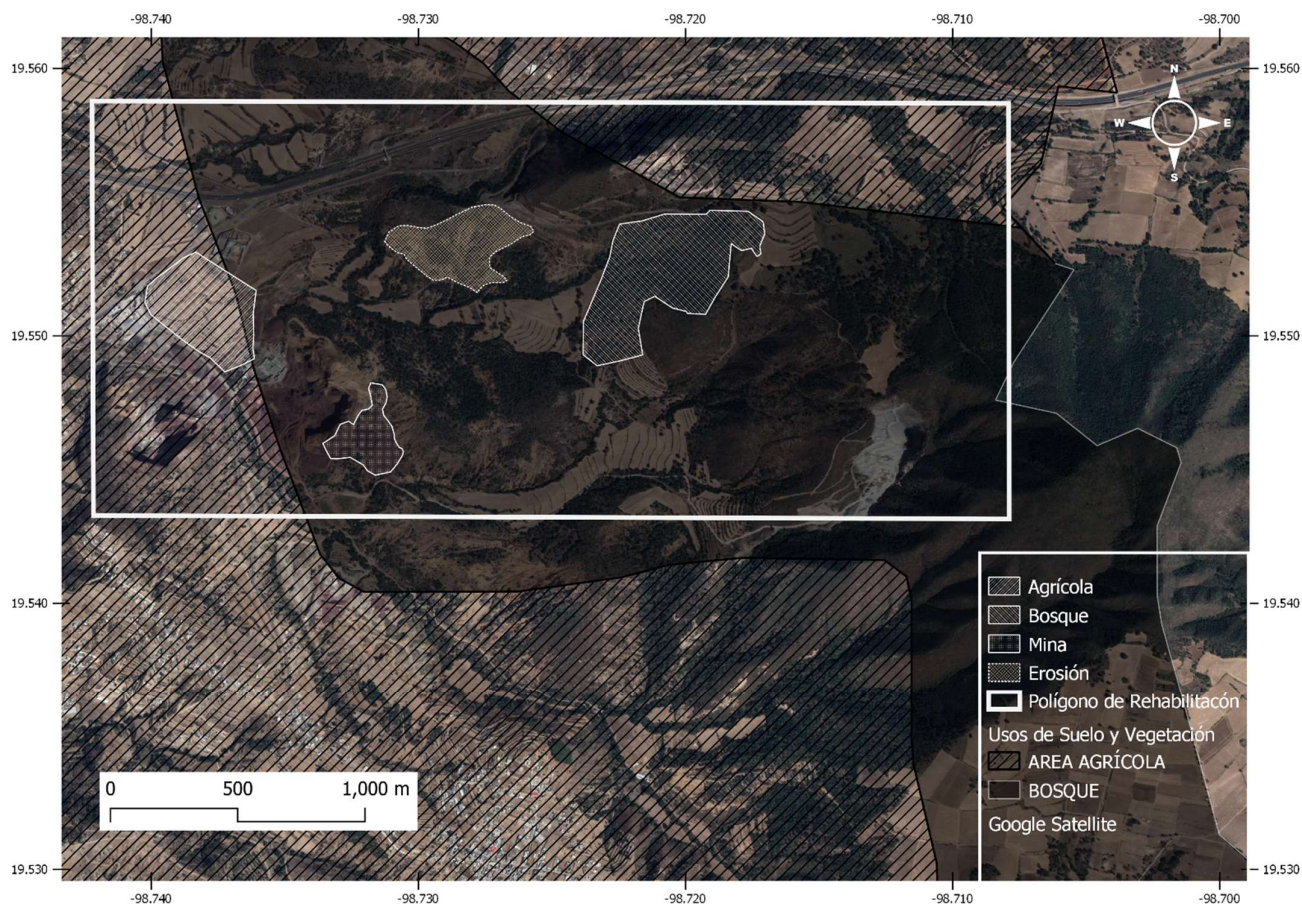
**Figura 20. Polígono de rehabilitación y vialidades asociadas**



**Figura 21. Delimitación espacial con base en vialidades**

### 6.1.2. Análisis complementario

El uso de datos vectoriales de pequeña escala muestra en el polígono de rehabilitación solo 2 usos de suelo y vegetación. Sin embargo, haciendo un análisis con los datos de campo de los cuatro sitios, se trazaron los polígonos correspondientes a bosque de pino-encino (considerando como un mismo tipo de vegetación los sitios B y Z), zona agrícola, zona de erosión y zona de mina (Fig. 22).

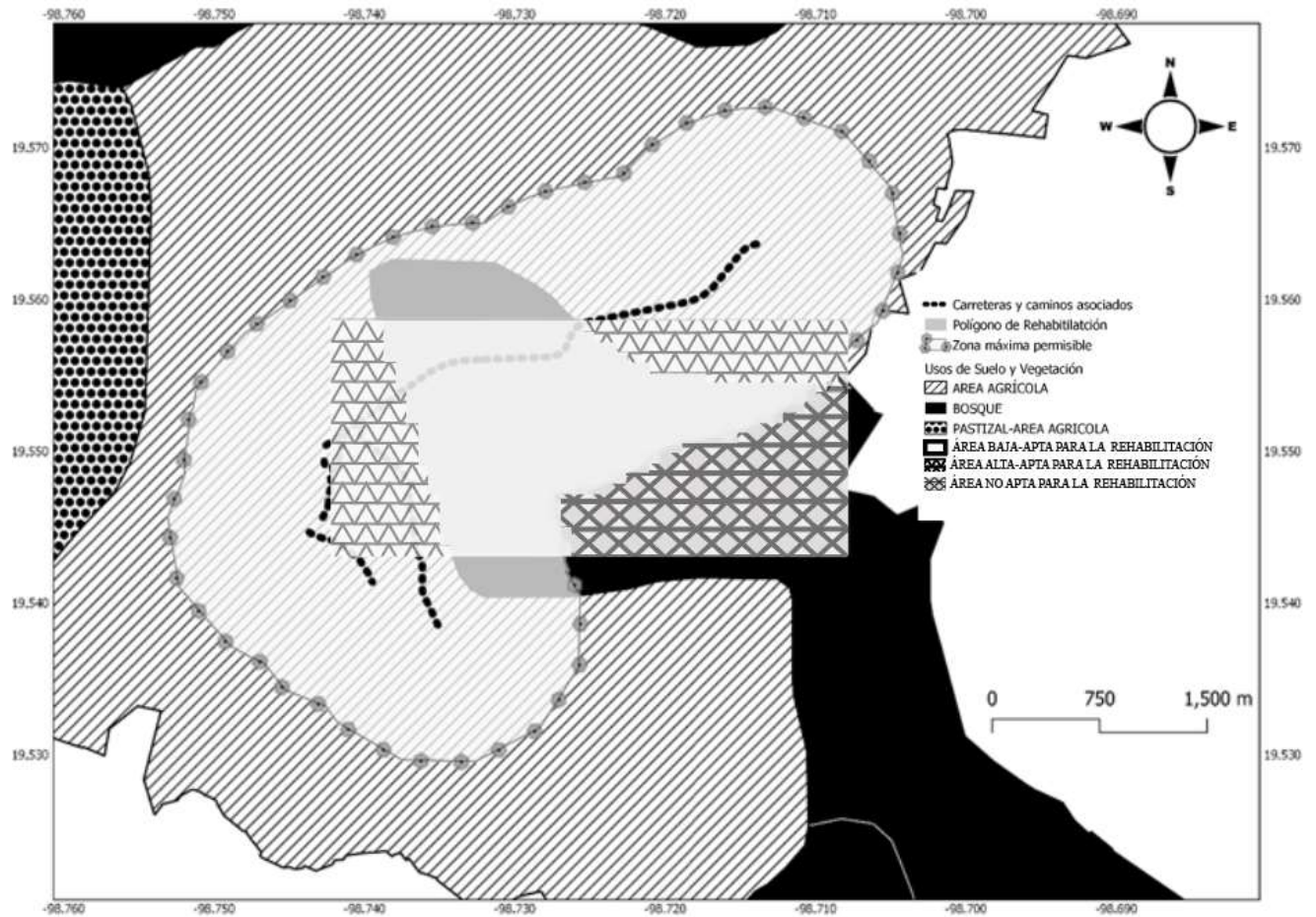


*Figura 22. Polígonos correspondientes a los sitios de la evaluación ambiental.*

Esta incorporación será evaluada en conjunto con los resultados obtenidos del análisis multicriterio.

## 6.2. Resultados

Los resultados del análisis multicriterio muestran que hay dentro del polígono de rehabilitación tres áreas con diferente grado de aptitud para la rehabilitación de acuerdo con los atributos ambientales (Fig. 23).



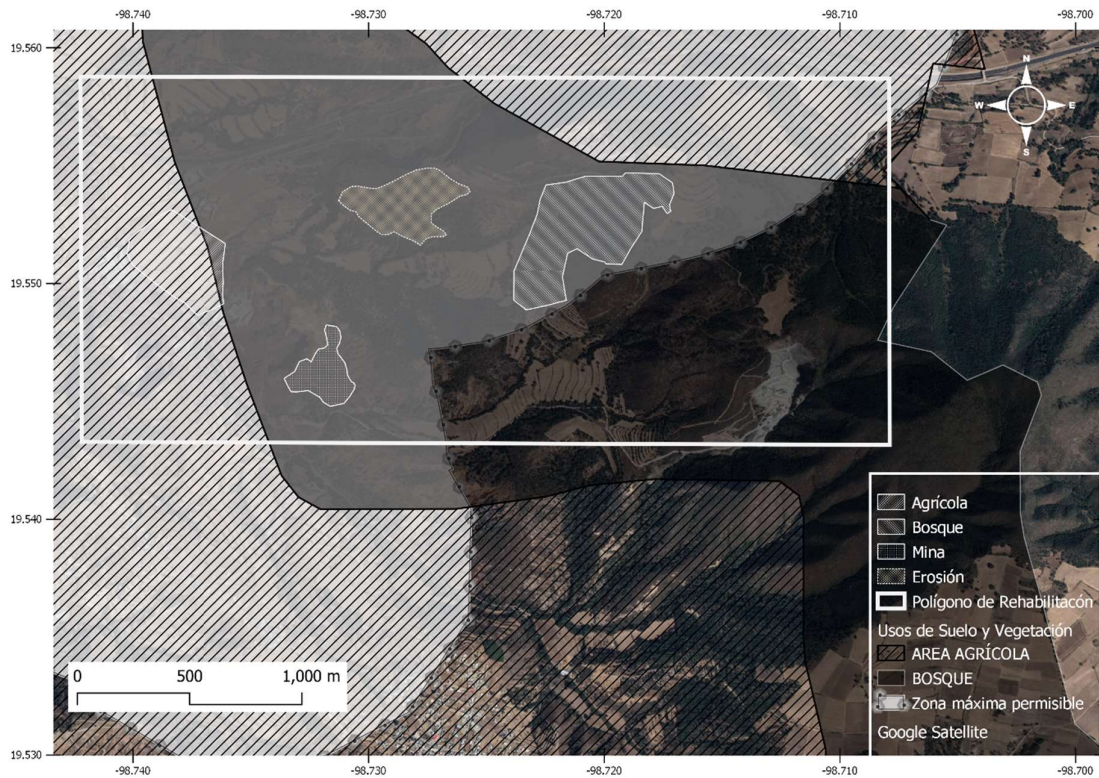
*Figura 23. Clasificación de áreas para la rehabilitación.*

Se puede observar que procedente del atributo de carreteras y vialidades, todas aquellas zonas que exceden la distancia máxima permisible son representadas como no aptas para la rehabilitación. Esta área no apta tiene una extensión de 1.75 km<sup>2</sup>.

Por otra parte, del atributo de uso de suelo y vegetación se aprecia que los dos únicos usos de suelo y vegetación presentes en el cuadrante de rehabilitación son el área agrícola y el bosque de pino-encino. El resultado de la ponderación lineal simple indica que las áreas de aptitud alta son las del uso agrícola que están dentro de la zona máxima permisible. Tales zonas están representadas por un área oeste y otra área noreste dentro del polígono de rehabilitación. El área oeste tiene una

extensión de 0.97 km<sup>2</sup> y la noreste 0.66 km<sup>2</sup>. Por otra parte, el área de aptitud baja corresponde a la vegetación de pino-encino y tiene una extensión de 2.83 km<sup>2</sup> aproximadamente.

La incorporación de los polígonos del análisis complementario brinda la oportunidad de extender el análisis, en especial al incorporar el atributo de la distancia máxima en referencia a los caminos y vialidades. Se puede observar que los polígonos están dentro de la distancia permisible (Fig. 24).



**Figura 24. Clasificación de áreas para la rehabilitación.**

Es importante también recalcar que en esta incorporación, se observa una variación en las descripciones de los datos vectoriales de los usos de suelo y vegetación a pequeña escala cartográfica, donde los sitios de erosión y mina corresponden a la vegetación de bosques de pino-encino.

### 6.3. Discusiones

El análisis multicriterio puede ser una buena herramienta para priorizar las zonas más aptas para realizar la rehabilitación y así, intensificar los esfuerzos y recursos en dichas áreas. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que para esta propuesta realizada, los datos utilizados provenientes están a pequeña escala, a diferencia de la dimensión que tiene el polígono de restauración que representa una gran escala.

Con la integración de los polígonos de gran escala, y retomando los índices QBS obtenidos del Eje 1 (Tabla 8), podríamos establecer que los sitios prioritarios para la rehabilitación son V y E al corresponder con los valores más bajos.

*Tabla 8. Valores del índice QBS por sitio.*

Sitio	B	Z	V	M	E
QBS	75	28	26	42	16

No obstante, también Z podría ser una opción importante, ya que las acciones que favorezcan la rehabilitación de funciones ecosistémicas en equilibrio con una menor inversión de recursos humanos y económicos podrían tener un mejor resultado.

Esto en comparación con el sitio E y Z puede resultar una estrategia acertada, ya que en E, las cárcavas imponen la condición de un sustrato de poca profundidad, muy poca materia orgánica y de fácil erosión. En contraparte, el sitio Z a pesar de la degradación conserva un considerable porcentaje de M. O. en el suelo, situación que puede ser aprovechada para el establecimiento y nutrición en la propagación de especies vegetales.

Igualmente considerar al sitio V podría resultar en el desarrollo de formas de producción alternativas a las convencionales, como cultivos protegidos o sistemas agroecológicos que incorporen sistemas agrícolas, ganaderos y silvícolas (Benítez *et al.*, 2002; Bocero, 2002).

Sin embargo, aunque el sitio M tiene el segundo valor más alto, las acciones de rehabilitación también pueden ser consideradas en esta zona. Estas acciones pueden estar encaminadas al establecimiento métodos de manejo de los depósitos provenientes de la mina (Guijarro, S/A; Ramírez, 2008; Ospina & Castro, 2016, Rueda-Mijangos & Mercado Salgado, 2020).

Por último, el sitio B, aunque presenta el índice QBS más alto, es necesario tener presente que fue el que se estableció como el de menor degradación, mas no el sitio sin degradación. Quizá se puedan implementar acciones de baja inversión que favorezcan la continuidad en los procesos forestales (Pensado-Fernández *et al.*, 2014; Rivas-Rivas, 2017).



#### **6.4. Conclusiones**

El análisis multicriterio permitió identificar a las áreas más aptas para la rehabilitación haciendo uso de las herramientas de los sistemas de información geográfica. Sin embargo, estas herramientas pueden representar escalas pequeñas que se traducen en grandes dimensiones espaciales, y para el uso específico de acciones de rehabilitación de pequeña dimensión espacial, la incorporación al análisis de índices de diversidad de la fauna edáfica, aplicados a polígonos de gran escala cartográfica, puede dar mejores evaluaciones.

No obstante, a pesar de tener una mejor aproximación espacial para los planes de rehabilitación, es necesario incorporar la participación de pobladores y propietarios a través de estrategias como encuestas, presentación de programas prospectivos y reuniones de trabajo para la apropiación de los programas y así fortalecer su implementación (Alcalá et al., 2009; Alvarado et al. 2013; Endara & Herrera, 2016; Duarte & Avella, 2019). Una forma de promover la participación es a través de la educación ambiental no formal acoplada al contexto particular de cada zona para la concienciación del entorno socioambiental. Esta propuesta se realiza en el próximo y último eje.

### **7. Eje 3. Propuesta de actividades lúdicas para la Educación Ambiental no formal**

#### **7.1. Propuesta de Manual para zonas con Bosques Degradados de la Sierra Nevada**

El material lúdico con enfoque en educación ambiental compilado en el “Manual de Actividades para la Educación Ambiental no formal en zonas con Bosques Degradados de la Sierra Nevada, México”, se diseñó tomando en cuenta algunas recomendaciones de la Guía para elaborar materiales de educación ambiental (SEMARNAT, 2009). Las siete actividades propuestas abordan diferentes temáticas, pero en conjunto tienen el objetivo de concienciar desde edades tempranas la importancia de la preservación de los elementos presentes en el ecosistema de bosque de pino-encino a través de la exploración de su historia natural de formación, además de plantear conceptos de recuperación teórica del suelo y su biodiversidad de flora y fauna.

En cada actividad se desarrollan los términos y conceptos claves junto con la actividad lúdica a desarrollar (Tabla 9). En la primera actividad se busca que los participantes conozcan los factores formadores del suelo de la ecuación de Jeny. Además, se resalta la importancia del cuidado del suelo por sus largos procesos de formación, pero también por su capacidad de ser el hábitat de una gran diversidad de organismos, entre ellos, muchas de las plantas de las que nos alimentamos. Como actividad lúdica los participantes realizan el proceso de intemperismo del material parental con galletas, mismas que irán colocando en un recipiente transparente para ir formando el suelo, e integrando los otros cuatro factores formadores.

La segunda actividad se realizó a partir de un estudio de vegetación de un gradiente altitudinal de la Sierra Nevada. Se tomó como referencia la ubicación de la comunidad Santa María Tecuanulco para trazar un transecto altitudinal hasta la cima del Monte Tláloc. Este transecto fue dividido de acuerdo con la descripción altitudinal reportada para que los participantes puedan colocar la vegetación a lo largo del transecto al reconocer los tipos de árboles, arbustos y herbáceas de los seis tipos de vegetación reportados. En esta actividad se busca que los participantes puedan además de reconocer las especies vegetales, asociar las relaciones entre los factores bióticos y abióticos como

la altitud y el suelo, resultado de un proceso largo de adaptación. Una vez asociada la vegetación, en la actividad tres se aborda el tema de biodiversidad, presentando además de conceptos como especies endémicas o bandera, a algunos de los representantes de esa diversidad, específicamente a los artrópodos edáficos que por su pequeño tamaño pudieran pasar desapercibidos pero que en realidad tienen como hemos visto en el eje 1, una importancia fundamental en las funciones que desempeñan en los ecosistemas. Las fotos presentadas en esta actividad son producto de la separación y cuantificación del eje 1.

La actividad cuatro regresa al tema de la vegetación, pero esta vez enfocado a su papel en la estabilización y protección del suelo en el que habitan y se desarrollan las comunidades vegetales, al disminuir el impacto del goteo y regular la infiltración y escorrentía. La actividad lúdica propuesta es una carrera de infiltración donde los participantes compararan el tiempo de infiltración con dos diferentes condiciones de los sustratos, uno con cobertura vegetal y otro sin ella.

La actividad cinco se propone como una actividad de autoconocimiento de los saberes tradicionales, las diferentes aplicaciones que pueden tener, su importancia y su preservación a través de la tradición oral o con la representación pictográfica como es el caso de los códices. Por lo anterior, se busca que los participantes primero platiquen que conocimientos ancestrales en forma de tradiciones, costumbres o remedios les han sido transmitidos para que después lo plasmen en un dibujo.

En la siguiente actividad, las interacciones que tenemos como sociedad con el ambiente y cómo estas generan un impacto ambiental son algunas de las ideas clave. Se propone la actividad lúdica del Catán (Teuber, 2002), que es una adaptación al juego de mesa que lleva ese nombre, pero la adaptación consiste en que los jugadores tienen que pagar los bienes y servicios que tienen de la naturaleza cada turno, en vez de pagar solo cuando se realiza una construcción como ocurre con el juego original. Los jugadores tienen la posibilidad de mejorar su entorno invirtiendo los recursos que tienen, como la madera, para rehabilitar y así mejorar su huella ecológica. Por último, la actividad siete busca fomentar la participación con ensayos de acciones concretas que favorecerán la rehabilitación, como la siembra de semillas en mini-invernaderos.

*Tabla 9. Descripción de actividades para la Educación Ambiental no formal*

# de Actividad	Nombre de la Actividad	Descripción de la actividad	Términos y conceptos clave	Actividad lúdica
1	Andando por los suelos	Se introduce el concepto de suelo y se explica el proceso de formación de este a través de los cinco factores formadores.	5 factores formadores del suelo (clima, vegetación, suelo, organismos, relieve)	Dulces suelos
2	Arriba las plantas	Se explica el concepto de gradiente altitudinal, que es la variación de la elevación y cómo influye en factores como la humedad, la temperatura y la vegetación de cierta zona.	Gradiente altitudinal, gradiente de vegetación, tipos de vegetación, hábitat, ecosistema	¡Ponle la vegetación al Monte!
3	¿Quién vive aquí?	Se introduce en concepto de biodiversidad, así como las diferentes definiciones de las especies que conforman a esta.	Biodiversidad, especies nativas, especies endémicas, exóticas, invasoras, bandera, sombrilla, bioindicadores	La lotería de la biodiversidad
4	Las plantas son nuestras amigas	Se abordan los fenómenos producidos por la precipitación y el papel que juega la vegetación en estos procesos naturales.	Cobertura vegetal, escurrimiento, infiltración, impacto de gota	Carrera de agua
5	Conocimientos ancestrales	Se invita a los participantes a reflexionar sobre conocimientos tradicionales en prácticas comunes como remedios caseros, historias, leyendas o tradiciones culturales.	Conocimientos tradicionales, apropiación cultural, preservación de cultura ancestral	Mi abue mi contó que...
6	Utilizando los recursos: Plantas, suelos y montañas	Se introducen los conceptos de recurso natural, bienes y servicios ambientales, así como el impacto ambiental producido por actividades económicas.	Recursos Naturales y servicios ambientales, impacto ambiental y degradación de ecosistemas	El Catán
7	Recuperando lo que había	Se abordan los conceptos de rehabilitación, resiliencia y restauración, así como sus diferentes estrategias.	Resiliencia, restauración, rehabilitación de ecosistemas	Hagamos un mini-invernadero

## 7.2. Piloto y evaluación del primer taller

### 7.2.1. Materiales y métodos

Con el fin de poner a prueba la viabilidad y pertinencia de las actividades propuestas, se realizó una prueba piloto del primer taller del manual titulado “Andando por los suelos”. Esta prueba piloto se llevó a cabo el 21 de febrero de 2020 en la escuela Cuauhtémoc, ubicada en la comunidad de Santa María Tecuanulco, Municipio de Texcoco, Estado de México (Fig. 25a). Esta comunidad está ubicada a unos 10 km de los sitios de estudio y también presenta una importante degradación por actividad minera pétreo (Fig. 25b). La relatoría y evidencia fotográfica puede consultarse en el Anexo 2.



*Figura 25a (izquierda) Escuela primaria Cuauhtémoc de Santa María Tecuanulco.*

*Figura 25b (derecha). Zona de extracción visible desde el camino hacia Santa María Tecuanulco.*

Para esta evaluación no se tuvo control en la selección de los participantes para la conformación de los grupos, por lo que se define que la metodología de experimentación social utilizada es un preexperimento con un diseño de preprueba-postprueba con un solo grupo (Hernández *et al.*, 1998; Salas, 2013). Este diseño fue aplicado en los grupos de primer a tercer grado de primaria de la escuela.

En este diseño, se aplica a los participantes de los grupos una prueba previa a la actividad (preprueba). Posterior a la actividad, se aplica la misma prueba (postprueba) para evaluar los conocimientos y conceptos adquiridos tomando como punto de referencia la preprueba. Las pruebas consistieron en cuatro preguntas de opción múltiple que contestaron los alumnos de los grupos escolares, que en total conformaron un grupo de 100 participantes (Fig. 26).

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**1) El suelo es:**

- a) Sobre donde caminamos todos los días.
- b) La parte de la superficie de la corteza terrestre donde viven plantas y animales.
- c) El lugar donde sembramos los alimentos.
- d) Ninguna de las anteriores.

**2) El suelo se forma por estos 5 factores:**

- a) Roca madre, relieve, clima, organismos vivos (plantas y animales) y tiempo.
- b) Roca madre, Roca padre, clima, organismos vivos (plantas y animales) y tiempo.
- c) Roca madre, relieve, clima, plantas (animales no) y tiempo.
- d) Ninguna de las anteriores.

**3) Los suelos que hay en tu comunidad se formaron por:**

- a) Las cenizas volcánicas.
- b) Las hojas de los árboles.
- c) Las lluvias y el clima.
- d) Todas las anteriores.

**4) Un suelo se tarda en formar:**

- a) 1 año
- b) 10 años
- c) 1000 años
- d) Ninguna de las anteriores

**5) El suelo es:**

- e) Sobre donde caminamos todos los días.
- f) La parte de la superficie de la corteza terrestre donde viven plantas y animales.
- g) El lugar donde sembramos los alimentos.
- h) Ninguna de las anteriores.

**6) El suelo se forma por estos 5 factores:**

- e) Roca madre, relieve, clima, organismos vivos (plantas y animales) y tiempo.
- f) Roca madre, Roca padre, clima, organismos vivos (plantas y animales) y tiempo.
- g) Roca madre, relieve, clima, plantas (animales no) y tiempo.
- h) Ninguna de las anteriores.

**7) Los suelos que hay en tu comunidad se formaron por:**

- e) Las cenizas volcánicas.
- f) Las hojas de los árboles.
- g) Las lluvias y el clima.
- h) Todas las anteriores.

**8) Un suelo se tarda en formar:**

- e) 1 año
- f) 10 años
- g) 1000 años
- h) Ninguna de las anteriores

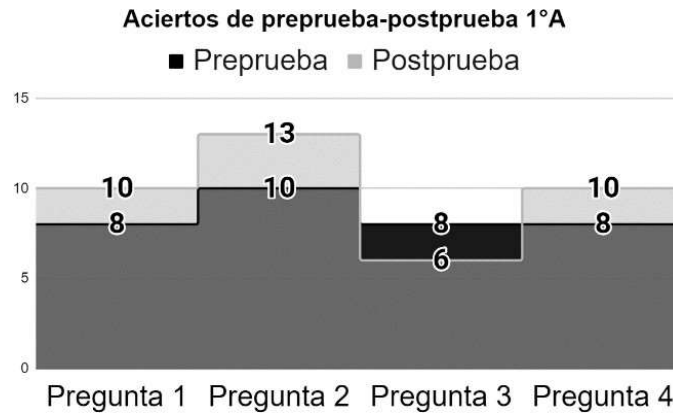
*Figura 26. Ejemplo de cuestionario con la pre y postprueba que respondieron los participantes*

Se realizaron pruebas t de muestras emparejadas comparando los promedios de respuestas correctas de ambas pruebas a través del programa SPSS (IBM Corp, 2017).

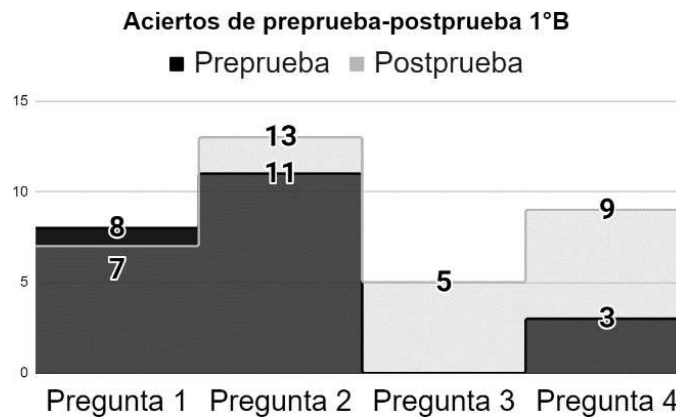
La hipótesis plantea que existirá una diferencia significativa entre las respuestas correctas antes de la intervención con el taller piloto (preprueba) y las respuestas una vez realizado el taller (postprueba). De esta forma, en la hipótesis nula ( $H_0$ ) no hay diferencias significativas entre las respuestas antes y después del tratamiento. Por otra parte, en la hipótesis alterna ( $H_1$ ) hay una diferencia significativa en las respuestas de los participantes antes del taller y después a este. Definimos el valor de significancia ( $\alpha$ ) igual a 0.05 o 5%. Si como resultado de la prueba, la significancia bilateral es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, si es menor entonces se rechaza esta y se acepta la hipótesis alterna.

### 7.3. Resultados

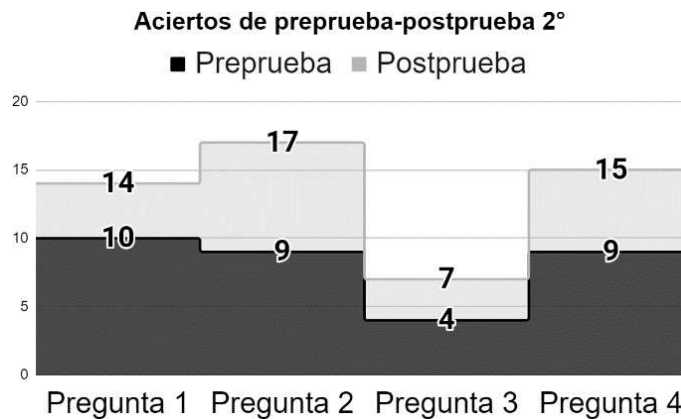
Para comparar las respuestas correctas de las pruebas, se recopilamos solo las respuestas correctas de ambas pruebas y se realizaron gráficas para el grupo de 1ºA (Fig. 27), 1ºB (Fig.28), 2º (Fig.29) y 3º(Fig.30). Por último, se realizó una gráfica que compila el total de las respuestas correctas de los cuatro grupos (Fig. 31).



*Figura 27. Respuestas acertadas del grupo 1ºA.*

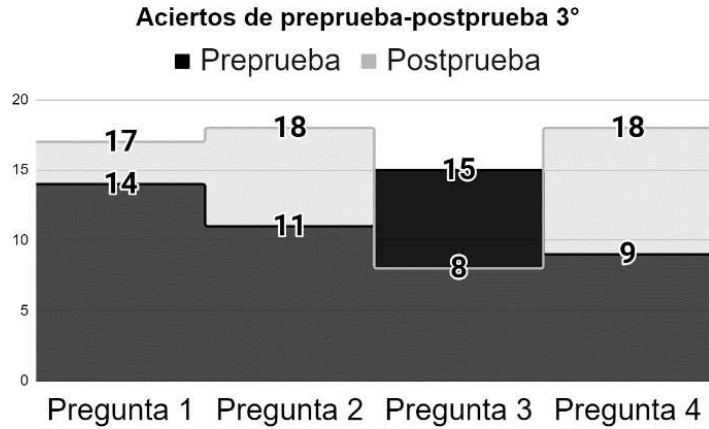


*Figura 28. Respuestas acertadas del grupo 1ºb.*

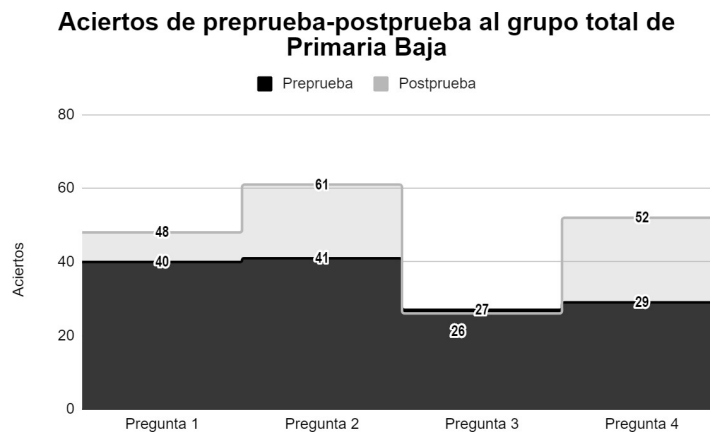


*Figura 29. Respuestas acertadas del grupo 2º.*





*Figura 30. Respuestas acertadas del grupo 3°.*



*Figura 31. Respuestas acertadas del preexperimento de investigación social.*

**Tabla 10. Resultados de la prueba T**

Grupo	Xpreprueba	Xpostprueba	n	t	gl	Significancia (bilateral)
1°A	1.6190	1.8571	21	-0.925	20	0.366
1°B	1.2941	2.0000	19	-2.304	18	0.035
2°	1.1034	1.8276	30	-2.584	29	0.015
3°	1.4688	1.9063	30	-2.521	29	0.017

#### 7.4. Discusiones

Los resultados del análisis de la prueba de  $t$  para los grupos de primer grado nos dan una comparación interesante. Mientras que para el grupo 1°A no hay una diferencia significativa, en el grupo 1°B sí la hay. Es importante mencionar que para estos grupos de primer grado de primaria aún están en proceso de aprendizaje de lectura y escritura, por lo que para la mayoría de los participantes ambas pruebas representaron cierto grado de complejidad. Lo anterior no se tomó en cuenta al momento de realizar las pruebas. Para futuras evaluaciones, adaptar a través de dibujos o figuras podría ser una mejor estrategia o incluso pensar en pequeñas pruebas orales podría ser una alternativa (Fisman, 2005). También serán necesarias más pruebas, además de considerar la posibilidad de tener una selección de los participantes e incorporar grupos control para mejorar el proceso experimental de carácter social, así como los resultados obtenidos (Hernández et al., 1998).

Respecto a los grupos de segundo y tercer grado de primaria, aunque las diferencias son significativas, también podría considerarse realizar una mejor adaptación de los términos y conceptos utilizados en las pruebas. El proceso de generar aprendizajes significativos, de acuerdo con la perspectiva constructivista, es una tarea que depende de los conocimientos previos de los participantes (Serrano & Pons, 2011). En el trabajo realizado por Ramos *et al.* (2019) mostraron que docentes de primaria tenían ciertos conocimientos o ideas previas basadas en experiencias sensoriales y la intuición sobre la caída de los cuerpos que no concordaban con las explicaciones físicas del currículo. Ante esta problemática, proponen realizar experimentos para llegar a nuevos entendimientos conceptuales.

Sin embargo, en los procesos socioambientales, y a diferencia de las leyes de la física clásica, para abordar problemáticas en contextos muy específicos y las posibles soluciones que se propongan, éstas deben de ser acopladas a esos contextos particulares. Como lo mencionan López-Gómez & Bastida-Izaguirre (2018) en su análisis, la necesidad de estrategias para la educación ambiental en bosques de pino-encino degradados deben estar encaminadas hacia propuestas flexibles y que se nutran de todas las disciplinas y recursos humanos y biológicos que estén disponibles.

Esta flexibilidad se busca implementar en las actividades propuestas en el manual al incluir diferentes disciplinas. Sin embargo, estas actividades representan una primera propuesta, ya que además de mejorar las estrategias de evaluación, también es necesario nutrir las actividades con la participación de docentes y miembros de la comunidad. La colaboración con los docentes buscará tener retroalimentación de las actividades desde su experiencia profesional y formación pedagógica, pero también promover que se involucren como piezas clave al ser guías en las actividades (Montiel, 2008). De igual forma, los docentes pueden favorecer el contacto con las familias, y así la participación comunitaria (García, 2013).

No obstante, la participación comunitaria es uno de los objetivos sobre los que se puede trabajar y desarrollar con un currículo definido de educación ambiental, donde las actividades propuestas pueden fungir como base teórica de conceptos socioambientales, en conjunto con las actividades lúdicas de reforzamiento para la concienciación de la rehabilitación y conservación de los bosques de pino-encino de la Sierra Nevada. En especial, por que en estas zonas aunque el manejo antrópico ha estado históricamente presente, actividades recientes como la minería pétrea ha representado un mayor impacto y degradación.

## **7.5. Conclusiones**

El “Manual de Actividades para la Educación Ambiental no formal en zonas con Bosques Degradados de la Sierra Nevada, México” es un esfuerzo para promover a través de conceptos teóricos y actividades lúdicas adaptadas al contexto de sitios cercanos a la zona de estudio de los primeros dos ejes de este trabajo.

Para evaluar el impacto del primer taller, se realizó un taller piloto donde se encontraron áreas de oportunidad para mejorar la transmisión de los conceptos y su aprendizaje. Faltará trabajar con docentes y educadores ambientales para nutrir desde sus experiencias y perspectivas las actividades. También se debe mejorar la forma de evaluación y experimentación.

A pesar de estas mejoras, esta propuesta resulta innovadora ya que busca adecuar los contenidos a condiciones específicas de degradación en contextos socioambientales particulares, en especial para la zona noreste del Estado de México, donde no se reportan actividades de educación ambiental en zonas rurales con fuerte degradación del ambiente natural.

Sin embargo, el último componente que será trascendental es la presentación de estas propuestas ante los integrantes de la comunidad y su retroalimentación sobre las actividades, ya que el efecto de las actividades desde un ámbito escolar es importante, pero la apropiación de estas actividades en la comunidad es uno de los objetivos que se puede buscar a mediano plazo.

## **8. Conclusiones generales**

La degradación en los bosques de pino-encino de la Sierra Nevada ha sido producto de causas históricas y socioeconómicas, aunque actividades intensivas de cambio de uso de suelo han tenido un mayor impacto en los últimos años. Abordar este tipo de problemáticas complejas es un reto que implica incorporar diversas herramientas y perspectivas multidisciplinarias para proponer alternativas ajustadas a los contextos socioambientales.

En este trabajo se proponen a través de sus tres ejes, diferentes perspectivas, donde a partir de los resultados e indicadores obtenidos, se dé una perspectiva integrada que haga frente a la opción de la rehabilitación ecológica.

La rehabilitación no solo se ve interferida por la respuesta natural del ecosistema ante las acciones implementadas, también por la aceptación de las comunidades que cohabitan en el ecosistema y que aceptarán o no, los programas propuestos desde el sector público o desde el sector académico. Construir estos diálogos desde perspectivas teóricas alejadas de la opinión y contexto comunitario puede ser una barrera importante para generar programas exitosos.

Sin embargo, aunque en este trabajo las propuestas realizadas no son una guía de intervención comunitaria para la rehabilitación, la adecuación de la información que va desde las descripciones y evaluaciones ambientales usando comunidades de microartrópodos edáficos, las propuesta del análisis multicriterio para la rehabilitación incorporando elementos de baja y gran escala cartográfica, así como la propuesta de actividades lúdicas para la educación ambiental no formal, pueden ser una pauta que invite a que las investigaciones ambientales puedan ofrecer, además de descripciones de los sitios disponibles para la investigación académica, información a los habitantes con fuertes problemas ambientales donde se realizan estos estudios y propuestas para la construcción de planes de conservación, restauración, rehabilitación o manejo, en sintonía con las comunidades sociales de los sitios y las instituciones públicas.

## 9. Referencias bibliográficas

- Acosta R. & Fernández, J. (2006). New records of mammal fleas (Siphonaptera) in northern and central Mexico. *Entomological News*, 117, 69-72.
- Alcalá, J., Rodríguez, C., Villar, C., Sosa, M., Heredia, G. & Bolaños, H. (2009). Criterios e Indicadores Ambientales como estrategia de Gestión Ambiental en el Ordenamiento Territorial: Bosque Modelo Chihuahua. *Quebracho*, 17(1-2), 77-87.
- Alonso, G. & Dhakal, S. (2009). Community Partnership for Ecotourism base don an Environmental Education Program for Sustainable Development in Sierra De Huautla, México. *Utopía y Praxis Latinoamericana*. 14(44), 117-124.
- Alvarado, L., Mijangos, A., García G. & Fuentes, J. (2013). Inventarios participativos de fauna para el ordenamiento territorial comunitario del ejido de Tumbisca: importancia para la toma de decisiones. En *La política de ordenamiento territorial en México*. (pp. 269-296). México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Änggård, E. (2010). Making Use of “Nature” in an Outdoor Preschool: Classroom, Home and Fairyland. *Children, Youth and Environments*, 20(1), 4-25.
- Anguita, F. (1994). Geología, Ciencias de la Tierra, Ciencias de la Naturaleza: Paisaje de un aprendizaje global. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 15-21.
- Arellano, F. & Quintero, C. (2016). Evaluación en la educación ambiental, oportunidad para repensarnos. En *Contribuciones para la formación ambiental: Experiencias desde la interdisciplinariedad*. (63-76). México: Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Jalisco, Universidad de Guadalajara, Colegio de Profesionales en Ciencias Biológicas y Ambientales de Jalisco A. C., Instituto Superior Politécnico de Tecnologías e Ciencias.
- Atyeo, W. (1960). A Revision of the Mite Family Bdellidae in North and Central America. *The University of Kansas science bulletin*, 40, 345-499.
- Azuela, A. (2013). El ordenamiento territorial en la legislación mexicana. En *La política de ordenamiento territorial en México*. (pp. 47-77). México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Bao, L. & Redish, E. (2001). Concentration análisis: A quantitative assessment of studen states. *American Journal of Physics*, 69 (7), 45-53.
- Barragán, S. (2018). Sindicato manipulado desde GACM controló negocio multimillonario de aeropuerto en Texcoco. *Aristegui Noticias*. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en: <https://aristeguinoticias.com/0912/mexico/sindicato-manipulado-desde-gacm-controlo-negocio-multimillonario-de-aeropuerto-en-texcoco/>
- Barrera-Osorio, A. & Nieto, M. (2019). Ciencia, tecnología, saberes locales e imperio en el mundo atlántico, siglos XV-XIX. *Historia Crítica*, 73, 3-20.
- Begon, M., Harper, J. & Townsend, C. (1995). Variación del ciclo vital. En *Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades*. (pp. 509-548) Barcelona, España: Ediciones Omega.

- Behan-Pelletier, V. (1999). Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 411- 423.
- Benítez, G., Equihua, M. & Pulido-Salas, M. (2002). Diagnóstico de la situación de los viveros Oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1), 5-12.
- Bocero, S. (2002). Cultivos protegidos y problemas ambientales: Un estudio de la Horticultura Marplatense en la década del noventa. (Tesis de maestría en Ciencias Sociales). Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Bosque, J. & García, R. (2000). El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 20, 49-67.
- Brussaard, L., Pulleman M., Ouédraogo, É., Mando, A & Six, J. (2007). Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. *Pedobiologia*, 50, 447-462.
- Cabezas, F. (1996). *Introducción a la Entomología*. Distrito Federal, México: Trillas.
- Cabrera, O. & Navarrete, Y. (2017). Sustentabilidad, etnicidad y participación. Experiencias de los pueblos originarios en el semidesierto queretano. En *Dibujando Futuros Posibles: Sustentabilidad y Modos de Vida*. (pp. 127-166). México: Plaza y Valdés S.L.
- Camacho-Sanabria, J., Juan, J., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L., & Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y bosques*, 21(1), 93-112.
- Canfield, M. & Greene, E. (2009). Phenotypic Plasticity and the Semantics of Polyphenism: a Historical Review and Current Perspectives. En *Phenotypic Plasticity of Insects*. (pp. 65-80). Enfield, Estados Unidos: Science Publishers.
- Carabias, J., Ruiz, L. & Rabasa, A. (2016). El marco legal de la restauración de ecosistemas forestales en México. (pp. 49-78). Cuernavaca, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Caride, J. & Meira, P. (2001). *Educación ambiental y desarrollo humano*. Barcelona, España: Ariel.
- Castaño-Meneses, G., Mejía-Recamier, B., Castellanos-Vargas, I., Estrada, D., Varela-Gómez, M. & Vences-Blanco, M. (2001). Artropodofauna Edáfica del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo, México. *Avances en Investigación Edafología*, 4, 11-22.
- Castillo, A., Pujadas, A., Magaña, M., Martínez, L. & Godínez, C. (2005). Comunicación para la Conservación: Análisis y propuestas para la Reserva de la Biosfera Chamela Cuixmala, Jalisco. En *Educación para la Conservación*. (pp. 93-110). México: Facultad de Ciencias, Programa Universitario del Medio Ambiente-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ceccon, E. & Martínez-Garza, C. (2016). La complejidad socioecológica de la restauración en México. En *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. (pp. 23-30). Cuernavaca, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Cejudo-Espinosa, E. & Deloya C. (2005). Coleoptera necrófilos del bosque de *Pinus hartwegii* del Nevado de Toluca, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 44, 67-74.
- Cevallos-Ferriz, S., González-Torres, E., & Calvillo-Canadell, L. (2012). Perspectiva Paleobotánica Y Geológica de la Biodiversidad en México. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 317- 350.
- Chacón-Ortíz, M. (2015). El proceso de evaluación en educación no formal: Un camino para su construcción. *Revista electrónica Educare*, 19(2), 21-35.
- Challenger, A. & Dirzo, R. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. (pp. 37–73). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2016). *Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y plan de acción 2016-2030*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Contreras, G. (2013). El reordenamiento de rutas de colectivos por medio del método multicriterio y un SIG en el Distrito Federal. En *La política de ordenamiento territorial en México*. (pp. 251- 542). México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Correa, C., Mendoza, M., Etter, A. & Pérez D. (2017). Anthropogenic impact on habitat connectivity: A multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico. *Ecological Indicators*, 72, 895-909.
- Correa, L. & Greco, R. (2017). La integración de temas geocientíficos para la educación en ciencias, tecnología, sociedad y medioambiente: una propuesta para el aprendizaje significativo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(2), 168-175.
- Couturier, S., Mas, J. F., López-Granados, E., Benítez, J., Coria-Tapia, V., & Vega-Guzmán, Á. (2010). Accuracy assessment of the Mexican National Forest Inventory map: a study in four ecogeographical areas. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 31(2), 163-179.
- De Alba, A. & González, E. (1997). *Evaluación de programas de Educación Ambiental. Experiencias en América Latina y el Caribe*. México: Coordinación de Humanidades Centro de Estudios sobre la Universidad, UNAM- Centro de educación y capacitación para el Desarrollo sustentable, SEMARNAP- Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe, UNESCO.
- De Miguel, T. & Guerrero, H. (2018). El oscuro legado del Nuevo Aeropuerto. *El País*. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en: <https://elpais.com/especiales/2018/nuevo-aeropuerto-mexico/>
- Del Moral, M. (2013). *Aplicación de un taller de educación ambiental no formal para contribuir a la sensibilización del público visitante del parque Tezozomoc. Azcapotzalco, D.F., sobre los mamíferos silvestres de México*. (Tesis de Licenciatura en Biología). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Diario Oficial de la Federación. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-2000. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en:



<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>

- Diario Oficial de la Federación. (2014). Ley Minera. Última reforma publicada DOF 11-08-2014. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en: [http://www.siam.economia.gob.mx/swb/work/models/siam/Resource/18/1/images/LEY\\_MINE\\_RA\\_2006.pdf](http://www.siam.economia.gob.mx/swb/work/models/siam/Resource/18/1/images/LEY_MINE_RA_2006.pdf).
- Diario Oficial de la Federación. (2020). Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable. Última reforma publicada DOF 13-04-2020. Recuperado el 27/11/2020. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS\\_130420.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS_130420.pdf)
- Duarte, D. & Avella, A. (2019). Análisis socio-ecológico de una iniciativa de restauración liderada por autoridades ambientales en Santander, Colombia. *Colombia Forestal*, 22 (1), 68-86.
- Edwards, J. (1986). Arthropods as pioneers: recolonization of the blast zone on Mt. St. Helens. *Northwest Environmental Journal*, 2 (1), 63-73.
- Eisenbeis, G. y Wichard, W. (1987). *Atlas on the Biology of Soil Arthropods*. Berlin, Alemania; Springer.
- Endara, A. & Herrera, F. (2016). Deterioro y conservación de los bosques del Nevado de Toluca y el rol de los actores locales. *Ciencia Ergo Sum*, 23 (3), 247-254.
- Escobar, M. & González del Valle, E. (2005). Métodos de Decisión Multicriterio. *Denarius Revista de Economía y Administración*, 10, 63-79.
- Espinosa, D. & Ocegueda, S. (2007). Introducción y Medio Físico. En *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. (pp. 5-7). Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ewel, J. (1987). Restoration is the ultimate test of ecological theory. En *Restoration ecology: A synthetic approach to ecological*. (pp. 31-33). Gran Bretaña: Cambridge University Press.
- Facultad de Planeación Urbana y Regional (FAPUR)-Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) (sin fecha). Informe Técnico Análisis e Interpretación de parámetros físico químicos de los suelos del predio Basaltex.
- Farjon, A. (1996). Biodiversity of Pinus (Pinaceae) in Mexico: speciation and palaeo-endemism. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 121, 365-384.
- Fernández-Nava, R. & Arreguín-Sánchez, M. (2007). Sinopsis de la flora del Valle de México. En *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. (pp. 199-229). Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ferrusquía-Villafranca, I. (2007). Ensayo sobre la caracterización y significación biológica En *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. (pp. 7-23). Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fisman, L. (2005). The effects of Local Learning on Environmental Awareness in Children: An Empirical

- Investigation. *The Journal of Environmental Education*, 36(3), 39-50.
- Flores-Villela, O. & Gerez, P. (1994). Biodiversidad y conservación en México: Vertebrados, vegetación y uso del suelo. Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Franzolin, F., Garcia, P. & Bizzo, N. (2020). Amazon conservation and student's interests for biodiversity: The need to boost science education in Brazil. *Science Advances*, 6, 1-10.
- Galicia, L., Gamboa, A., Cram, S., Chávez, B., Peña, V., Saynes, V. & Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1-29.
- Galindo-Leal, C & Krebs, C. (1997). Habitat structure and demographic variability of a habitat specialist: the rock mouse (*Peromyscus difficilis*). *Revista Mexicana de Mastozoología*, 2, 72-89.
- Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M., & Morrone, J. (2012). Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 258-272.
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- García, I. (2013). La construcción de una experiencia de educación no formal: un ejido y una organización civil unidos por una problemática ambiental en la Sierra Tarahumara, México. (Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales). Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Tovar, G. & Martínez-Serrano, R. (2011). Geología y geoquímica de las lavas pleistocénicas del estratovolcán Telapón, Sierra Nevada, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28 (2), 301-322.
- Garzón, N., Rodríguez, C., Ceccon, E. & Pérez, R. (2020). Ecological restoration-based education in the Colombian Amazon: toward a new society-nature relationship. *Restoration Ecology*, 28 (5), 1053-1060.
- Gaona, G., Ruíz, E. & Peña, R. (2000). Los Pulgones (Homoptera: Aphididae) y sus enemigos naturales en la naranja, *Citrus sinensis* (L.), en la zona centro de Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 81, 1-12.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M. & Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 227-283.
- González, E. & Arias, M. (2015). La investigación en Educación Ambiental para la Sustentabilidad en México, 2002-2011. Distrito Federal, México: ANUIES, Dirección de Producción Editorial Consejo Mexicano de Investigación Educativa.
- González, G. (2016). La Evaluación de la Educación Ambiental en las Escuelas Cubanas. Algunas Consideraciones. *Amazonia Investiga*, 5 (8), 67-76.
- González, M. (2011). Las representaciones sociales como una alternativa de comprensión para el Desarrollo Sustentable. En *Gobernabilidad y desarrollo sustentable desde la perspectiva de las ciencias sociales*. 55-64). Distrito Federal, México: Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México.

- González, T. & Bonfil, C. (2016). Estado del arte sobre la degradación de bosques en una selección de países Latinoamericanos. México. En Degradación de bosques en Latinoamérica Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales. IBERO-REDD+.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G., & Hernández-García, M. (2007). Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(1), 67- 83.
- Granados-Sánchez, D., López Ríos, G. F., Hernández García, M. A., & Sánchez-González, A. (2004). Ecología de la fauna silvestre de la Sierra Nevada y de la Sierra del Ajusco. *Horticultura*, 11, 111-117.
- Guillot, C. (2005). *Entomology*. Holanda: Springer.
- Guijarro, J. (S/A). *Evaluación de Impacto Ambiental y Restauración de una Cantera*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Gutiérrez, E., & Garbey, D. (2014). Evaluación de la degradación de los bosques naturales del área de manejo “Las Guásimas”, municipio Buey Arriba. Granma. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2 (2).
- Gutiérrez, M., Ortiz, C., Fernández, B., Gutiérrez, E. & González, T. (2017). Los suelos del área de influencia del Códice Santa María Asunción y su representación pictórica. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 101-111.
- Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Hawksworth, D., Iturriaga, T. & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22, 71-82.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (1998). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Hodkinson, I. & Jackson, J. (2005). Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems. *Environmental Management*, 35(5), 649-666.
- Hopkin, S. (1997). *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford, Inglaterra; Oxford University Press.
- Huhta, K., Karppinen, E., Nurminen, M. & Valpas, A. (1967). Effect of silvicultural practices upon arthropods, annelid and nematode populations in coniferous forest soil. *Annales Zoologici Fennici*, 4(2), 87-145.
- IBM Corp. (2017). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0*. Armonk, NY: IBM Corp
- Iglesias, R., Vázquez, R. & Palacios-Vargas, J. (2012). Desarrollo ontogenético y redescipción del adulto de *Epidamaeus mitlsensillus* (Acari: Oribatida: Damaeidae). *Revista mexicana de biodiversidad*, 83, 958-965.
- Iturrondobeitia, C. & Subías, L. (2015). Clase ARACHNIDA Orden Oribatida (= Cryptostigmata).

- Revista Ibero Diversidad Entomológica, 16, 1-17.
- Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Gobierno del Estado de México. (2017). Directorio de minas en el Estado de México I, 2017.
- Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM). (2015). Plan de Desarrollo Municipal de Tepetlaoxtoc.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie V. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016) La industria minera ampliada: Censos Económicos.
- Kethley, J. (1990). Acarina Prostigmata (Actinenida). En *Soil biology guide*. (pp. 667-756). Nueva York, Estados Unidos: John Wiley and Sons. 1349 p.
- Koleff, P., Tambutti, M., March, I., Esquivel, R., Cantú, C. & Lira-Noriega, A. (2009). Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México. En *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. (pp. 651-718.) México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Kuntz, S. (2010). De las reformas liberales a la Gran Depresión, 1856-1929. En: *Historia económica general de México: de la Colonia a nuestros días*. (pp. 305-473) El Colegio de México-Secretaría de Economía.
- Kuromiya, A. (2006) *Salir adelante: Conflicto, armonía y la práctica local del progreso en Santo Tomás Apipilhuasco*, Estado de México. Tesis de Maestría en Antropología Social. México, D.F.
- Leyva-Ovalle, Á., Valdez-Lazalde, J., Santos-Posadas, H., Martínez-Trinidad, T., Herrera- Corredor, J., Lugo-Espinosa, O. & García-Nava, J. (2017). Monitoreo de la degradación forestal en México con base en el inventario nacional forestal y de suelos (Infys). *Madera y Bosques*, 23(2), 69-83.
- Lindig, R. (2017). *Ecología de Restauración y Restauración Ambiental*. (321 pp.). Ciudad de México, México: Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad Universidad Nacional Autónoma de México.
- López-Gómez, R. & Bastida-Izaguirre, D. (2018). La importancia de la educación ambiental no formal en el medio rural: el caso de Palo Alto, Jalisco. *Díálogos sobre educación. Temas actuales en investigación educativa*, 9 (16), 1-21.
- Luna-Reyes, M., & Llorente- Bousquets, J. (2004). Papilionoidea (Lepidoptera: Rhopalocera) de la Sierra Nevada, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(66), 79–102.
- Maleque, A., Ishii, H. & Maeto, K. (2006). The Use of Arthropods as Indicators of Ecosystem Integrity in Forest Management. *Journal of Forestry*, 113-117.
- Malumbres-Olarte, J., Barratt, B., Vink, C., Paterson, A., Cruickshank, R., Ferguson, C. & Barton, D. (2013). Habitat specificity, dispersal and burning season: Recovery indicators in New Zealand native grassland communities. *Biological Conservation*, 160, 140–149.

- Manzanilla-Schaffer, V. (2004). El drama de la tierra en México Del siglo XVI al siglo XXI. Distrito Federal, México: H. Cámara de Diputados LIX Legislatura, Secretaría de la Reforma Agraria, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mari-Mutt, J. (1979). A Revision of the Genus *Dicranocentrus* Schöt (Insecta: Collembola: Entomobryidae). *Bulletin of Agricultural Experiment Station*, 259, 3-78.
- Marleau, M. (2009). Des liens à tisser entre la prise de conscience et l'action environnementales. *Education et francophonie*, 37(2), 11-32.
- Márquez-Huitzil, R. (2007). Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración. Instituto Nacional de Ecología.
- Martínez-Falcón, A., Moreno, C., & Pavón, N. (2015). Litter fauna communities and litter decomposition in a selectively logged and an unmanaged pine-oak forest in Mexico. *Bosque*, 36(1), 81-93.
- Martínez-Ramos, M., Barraza, L., Balvanera, P., Benítez-Malvido, J., Bongers, F., Castillo-Álvarez, A., Cuarón, D., Ibarra-Manríquez, G., Paz-Hernández, H., Pérez-Jiménez, A., Quesada, M., Pérez-Salicrup, D., Sánchez-Azofeifa, A., Schondube, J., Stoner, K., Alvarado, J., Boege, K., del-Val, E., Favila, M., Suazo-Ortuño, I., Ávila-Cabadilla, L., Álvarez, M., Cano, M., Castillo, J., Chaves, O., de la Peña, E., Corzo, A., Godínez, M., Gómez, A., González, A., Fuentealba, B., Gudiño, W., Hernández, O., Kaláscka, M., Lobeck, M., López-Carretero, A., Manrique, C., Maza-Villalobos, S., Méndez-Toribio, M., Mora-Ardila, F., Muench, C., Peñaloza, C., Pinzón, L., Páramo, E., Pineda, F., Ricaño, A., Rocha, M., Rodríguez-Velázquez, J., Schroeder, N., Trilleras-Motha, J., Van Breugel, M., Van der Sleen, P., Villa, E. & Zermeño, I. (2012). Manejo de bosques tropicales: bases científicas para la conservación, restauración y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales. *Investigación Ambiental Ciencia y política pública*, 4(2), 111-129.
- Mastretta-Yanes, A., Moreno-Letelier, A., Piñero, D., Jorgensen, T. & Emerson, B. (2015). Biodiversity in the Mexican highlands and the interaction of geology, geography and climate within the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Biogeography*, 42, 1586-1600.
- McGeoch, M. (1998). The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Review*, 73, 181-201.
- Menta, C. & Remelli, S. (2020). Soil Health and Arthropods: From Complex System to Worthwhile Investigation. *Insects*, 11(1).
- Merino L. y G. Segura. (2002). El manejo de los recursos forestales en México, 1992-2002. Procesos, tendencias y políticas públicas. En: *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*. (pp. 237-256). Distrito federal, México: Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Autónoma Metropolitana, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Millar, I., Uys, V. & Urban, R. (2000). *Collecting and Preserving Insects and Arachnids A manual for Entomology and Arachnology*. Sudáfrica: The Swiss Agency for Development and Cooperation.
- Miranda-Aragón, L., Treviño-Garza, E., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O., González-Tagle, M., Pompa-García, M. & Aguirre-Salado, C. (2013). Tasa de deforestación en San Luis Potosí,

- México (1993-2007). Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente. 19(2), 201-215.
- Montiel, R. (2008). Aplicación de un taller de educación ambiental no formal enfocado a la problemática del agua a niños de 4° año de primaria en el municipio de Valle de Chalco Solidaridad, Edo. de Méx. (Tesis de Licenciatura en Biología). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno, C., Guevara, R., Sanchez-Rojas, G., Tellez, D., & Verdu, J. (2008). Community level patterns in diverse systems: a case study of litter fauna in a Mexican pine-oak forest using higher taxa surrogates and re-sampling methods. *acta oecologica*, 33(1), 73-84.
- Morrone, J. & Gutiérrez, A. (2005). Do fleas (Insecta: Siphonaptera) parallel their mammal host diversification in the Mexican transition zone?. *Journal of Biogeography*, 32, 1315-1325.
- Naranjo, E. & Olivera, M. (2007). Mollusca terrestres. En *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. (pp. 311-330). Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarro, G., De la Barra, N, Rumiz, D. & Ferreira, W. (2008). Criterios para evaluar el estado actual de conservación y degradación de los bosques de Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 22, 1-18.
- Navarro, R. & Ramírez, M. (2006). Construyendo el significado del Cuidado Ambiental: un estudio de caso en educación secundaria. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 4(1), 52-70.
- Navarro-Sigüenza, A., Lira-Noriega, A., Peterson, A., Oliveras, A. & Gordillo-Martínez, A. (2007). Diversidad, endemismo y conservación de las aves. En *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. (pp. 461-483). Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Neher, D. & Barbercheck, M. (1998). Diversity and Function of Soil Mesofauna. En *Biodiversity in Agrosystems*. (pp. 27-47).
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO por sus siglas en inglés)-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (1983). *El Programa Internacional de Educación Ambiental*. Boletín de Educación Ambiental de UNESCO-PNUMA, 8(4).
- Orozco-Hernández, M., García-Fajardo, B., Álvarez-Arteaga, G. & Mireles-Lezama, P. (2017). Tendencias del sector agrícola, Estado de México. *Quivera*, 19(1), 99-121.
- Ospina, J. & Castro, H. (2016). Alternativa para el manejo de Residuos de Construcción generados por los puntos de arrojo clandestino en el perímetro urbano de Bogotá y su aprovechamiento para la restauración en áreas intervenidas por la minería. *Facultad de Ingeniería, Universidad Libre*.
- Palacios-Vargas, J. (2014). Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Biodiversity of Collembola (Hexapoda: Entognatha) in Mexico*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 220-231.
- Palacios-Vargas, J., Cutz-Pool, L. & Estrada, D. (2007). Collembola. En *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. (pp. 331-344). Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el

Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Palacios-Vargas, J. & Mejía-Recamier, B. (2007) Técnicas de colecta, preservación y montaje de microartrópodos edáficos. Distrito Federal, México: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Palacios-Vargas, J. & Salazar-Martínez, A. (2014). A new species of *Tullbergia* (Collembola, Tullbergiidae) from Buenos Aires, Argentina. *Zookeys*, 416, 23-30.
- Pansu, M. & Gautheyrou, J. (2006). Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Holanda: Springer.
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C. & Mozzanica, E. (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105, 323-333.
- Paoletti, M., Bressan, M. & Edwards C.A. (1991) Soil Invertebrates as Bioindicators of Human Disturbance. *Critical reviews in Plant Sciences*, 15(1), 21-62.
- Pensado-Fernández, J., Sánchez-Velázquez, L., Pineda-Lpoez, M. & Díaz-Fleischer, F. (2014). Plantaciones forestales vs. regeneración natural *in situ*: El caso de los pinos y la rehabilitación en el Parque Nacional Cofre de Perote. *Botanical Sciences*, 92(4), 1-6.
- Peña, D. & Zebrowsky, C. (1992). Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. *Terra*, 10, 151-155.
- Perkins, E. & Calixto, R. (2019). La Enseñanza de la “Huella Hídrica” en una Escuela de Educación Primaria. En *Educación Ambiental en las escuelas del nivel básico*. (pp. 167-197). México: Red Durango de Investigadores Educativos.
- Perry, J. (1991). *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press, Portland.
- Puente, E. & López-Hernández, E. (2008). Avances de la aplicación del modelo de educación Ambiental y desarrollo sustentable en comunidades rurales de Tabasco. *Horizonte sanitario*, 7(2), 29-36.
- Quintana, F. (2019). Construcción y resiliencia institucional en los procesos de desarrollo en las comunidades forestales mexicanas. En *Sociedad global, crisis ambiental y sistemas socio-ecológicos*. (217-232). México: Dirección General de Asuntos del Personal Académico, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México.
- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en: <http://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Delgado, J., González, T. & Armenteras, D. (2016). ¿Cómo se mide la degradación?. En *Degradación de bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales*. IBERO-REDD+.
- Ramírez, M. (2008). *Sostenibilidad de la Explotación de Materiales de Construcción en el Valle de Aburrá*. (Tesis de maestría en Medio Ambiente y Desarrollo). Universidad Nacional de Colombia.
- Ramos, S., Alaniz, S., García, R., Nieto, A., Gómez, J, Loza, I. & Sánchez, D. (2019). Modelos mentales

- intuitivos de maestros en servicio de nivel básico en México sobre la caída de los cuerpos. *Docencia Politécnica*, 1 (3), 24-39.
- Razo-González, M., Castaño-Meneses, G., Callejas-Chavero, A., Pérez-Velázquez, M. & Palacios-Vargas, J. (2014). Temporal variations of soil arthropods community structure in El Pedregal de San Ángel Ecological Reserve, Mexico City, Mexico. *Applied Soil Ecology*, 83, 88- 94.
- Reyes-Novelo, E., Meléndez, V., Delfín, H. & Ayala, R. (2009). Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como bioindicadores en el neotrópico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10-1-13.
- Reyes-Solorio, E. (1994). Género y especies de Coleoptera y algunas otras familias de insectos en el bosque La Primavera. (Tesis de licenciatura en Ingeniero Agrónomo). Universidad de Guadalajara Centro de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- Rivas-Rivas, M. (2017). Efecto de la calidad de sitio sobre el crecimiento inicial de tres especies de Quercus en Los Altos de Chiapas. (Tesis de Licenciatura de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural). Colegio de la Frontera Sur.
- Rodríguez-Rodríguez, C., Arbelo, D., Guerra, J. & Mora, J. (2002) Erosión Hídrica En Andosoles De Las Islas Canarias. *Edafología*, 9 (1), 23-30.
- Romeu, E. (1995). Los pinos mexicanos, récord mundial de biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad *Biodiversitas*, 2, 11-15.
- Roncal, X. (2015). La Otra Educación Ambiental. *Integra Educativa*, 8(3), 55-69.
- Rueda-Mijangos, J. & Mercado-Salgado, P. (2020). Desempeño sustentable y resultados de excelencia administrativa en minas pétreas en el Estado de México 2019: un estudio exploratorio. *Minería y Geología*, 36 (3), 268-283.
- Rusek, J. (1987). Protection of soil organisms and improvement of biological properties of soil. En *Agricultural Development and Environmental Research: American and Czechoslovak Perspectives Proceedings of a Bilateral Workshop*. (89-96). České Budějovice, Checoslovaquia: Czechoslovak Academy of Sciences, U.S. National Academy of Sciences.
- Rzedowski, J., (2006). *Vegetación de México*. 1ª edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sahagún, B. (1950). *Florentine Codex: General history of the things of the New Spain*. Santa Fe, Estados Unidos: The School of American Research, University of Utah Press.
- Sánchez, M., Casado, J. & Bocco, G. (2013). La política de ordenamiento territorial en México: de la teoría a la práctica. Reflexiones sobre sus avances y retos a futuro. En *La política de ordenamiento territorial en México*. (pp. 19-44). México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sánchez-Santiró, E. (2010). El desempeño de la economía mexicana, 1810-1860: de la Colonia al Estado-Nación. En: *Historia económica general de México: de la Colonia a nuestros días*. (pp. 275-301). El Colegio de México-Secretaría de Economía.



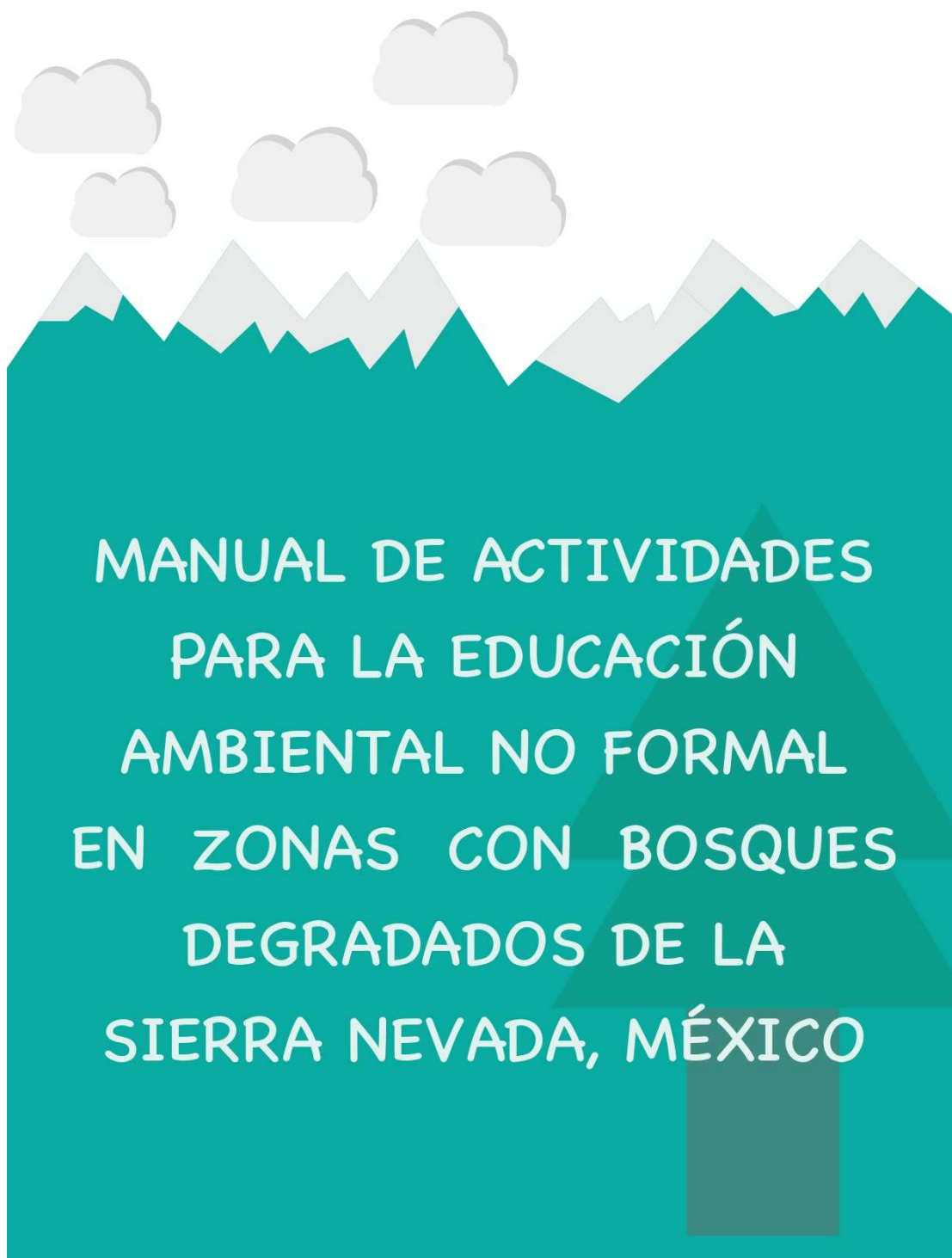
- Santibañez-Andrade G., Castillo-Argüero, S. & Martínez-Orea. 2015. Evaluación del estado de conservación de la vegetación de los bosques de una cuenca heterogénea del Valle de México. *Bosque*, 36(2), 299–313.
- Secretaría de Economía. (2015). Estudio de la cadena productiva de los materiales pétreos. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/51927/cp\\_materiales\\_petreos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/51927/cp_materiales_petreos.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental minero. Modalidad: particular. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/121006/Guia\\_MIA-Particular\\_Minero.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/121006/Guia_MIA-Particular_Minero.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2004). Manifestación de impacto ambiental-sector minería-modalidad particular-Ejemplos. Recuperado el 03/08/2020. Disponibles en: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2011/12GE2011MD060.pdf>  
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2011/12GE2011MD070.pdf>  
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bcs/estudios/2011/03BS2011FD004.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2009). Guía para elaborar materiales de educación ambiental. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México 2012.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Ciudad de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sehnal, F. (1985). Morphology of Insect Development. *Annual Review of Entomology*, 30, 89- 109.
- Serrano, J. M. y Pons, R. M. (2011) El Constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación. *Revista electrónica de investigación educativa*, 13(1), 1-27.
- Schowalter, T. (2006). *Insect Ecology: An Ecosystem Approach*. Estados Unidos: Elsevier.
- Skvarla, M., Fisher, R. & Dowling, A. (2014). A review of Cunaxidae (Acariformes, Trombidiformes): Histories and diagnoses of subfamilies and genera, keys to world species, and some new locality records. *ZooKeys*, 418, 1-103.
- Society for Ecological Restoration (SER). (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration.
- Sosa, V., De-Nova, J. & Vásquez-Cruz, M. (2018). Evolutionary history of the flora of Mexico: Dry forests cradles and museums of endemism. *Journal of Systematics and Evolution*, 56(5), 523-536.
- Sotelo, E., González, A., Cruz, G., Moreno, F. & Cruz, G. (2011). Los suelos del Estado de México y su actualización a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2006. *Revista mexicana de*

ciencias forestales, 2(8), 71-84.

- St. John, M., Baggato, G., Behan-Pelletier, V., Lindquist, E., Shorthouse, J. & Smith, I. (2002). Mite (Acari) colonization of vegetated mine tailings near Sudbury, Ontario, Canada. *Plant and Soil*, 245, 295-305.
- Suárez-Mota, M., Téllez-Valdés, O., Lira-Saade & Villaseñor, J. (2013) Una Regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza Florística. *Botanical Sciences*, 91 (1), 93-105.
- Téllez, D. (2006). Diversidad de la fauna de hojarasca en fragmentos de bosque de pino- encino con y sin manejo forestal. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.
- Teuber, K. (2002). *Catan el juego*. [Juego de mesa]. Alemania: Devir, Kosmos.
- Tobón, W., Koleff, P., Urquiza-Haas, T. & García, G. (2016). Propuesta metodológica para identificar prioridades de restauración en México. En *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. (pp. 31-47). Cuernavaca, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Toledo, V. & Ordóñez, M. (1998). El panorama de la biodiversidad de Mexico: una revisión de los hábitats terrestres. En *La Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución*. (pp. 739-757). Distrito Federal, México: Instituto de Biología. UNAM.
- Toledo, V. (2008). Ecología política, sustentabilidad y poder social en Latinoamérica. En *La agonía de un mito ¿Cómo reformular el “desarrollo”?*. (pp.19-29). Madrid, España: Atrapasueños Editorial, Editorial SODEPAZ.
- Torres-Carral, G. (2015). La meta-disciplina en la educación ambiental. En *Educación ambiental para el desarrollo compatible*. (pp. 15-50). Distrito Federal, México: Universidad Autónoma de Chapingo, Juan pablos Editor.
- Tsiafouli, M., Kallimanis, A., Katana, E., Stamou, G. & Sgardelisa, S. (2005). Responses of soil microarthropods to experimental short-term manipulations of soil moisture. *Applied Soil Ecology*, 19, 17-26.
- Uehara-Prado, M., Brown Jr, K. & Freitas, A. (2007). Species richness, composition and abundance of fruit-feeding butterflies in the Brazilian Atlantic Forest: comparison between a fragmented and a continuous landscape. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 43-54.
- Valencia, S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 75, 33-53.
- Valencia, S. (2007). Encinos. En *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. (pp. 139- 148). Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Valle, J. (2003). *Nahuas de la Huasteca Pueblos Indígenas del México Contemporáneo*. México: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- van Reeuwijk, L. (2002). Procedures for soil analysis. Sixth edition. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, Holanda.
- van Straalen, N. (1998). Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, 9, 429-437.
- Vázquez-Rojas, I., López-Campos, M., Jiménez-Jiménez, M. & Palacios, C. (2015). Nuevo registro el género *Dinothrombium* (Acari: Parasitengona: Trombidiidae) como parásito de *Syspira longipes* (Araneae: Miturgidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 265-268.
- Victoria, A., Niño, M. & Rodríguez, J. (2013). La serie IV de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 de INEGI, información del periodo 2007-2008. En *La política de ordenamiento territorial en México*. (pp. 243-268). México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Villalobos, A. (2017). El hundimiento del nuevo aeropuerto, otro negocio multimillonario. Proceso. 2131. Recuperado el 03/08/2020. Disponible en: <https://www.proceso.com.mx/501774/hundimiento-del-nuevo-aeropuerto-negocio-multimillonario>
- Villegas, D. (2013). Educación Ambiental no formal Aplicada en dos escuelas primarias del Municipio de Tepotzotlán, Estado de México. (Tesis de Licenciatura en Biología). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vitale, L. (1983). *Hacia una historia del ambiente en América Latina: de las culturas aborígenes a la crisis ecológica actual*. Distrito Federal, México: Nueva Sociedad.
- Vreeken-Buijs, M., Hassink, J. & Brussaard, L. (1998). Relationships of soil microarthropod biomass with organic matter and pore size distribution in soils under different land use. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(1), 97-106.
- Vivó-Escoto, J. (2009). Cuerno de la Abundancia o Tierra de la Miseria. En *Lectoras Geográficas Mexicanas Siglo XX*. (pp. 203-206). Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Warman, A. (2003). *La reforma agraria mexicana: una visión de largo plazo*. Land Settlement and Cooperatives. Food and Agriculture Organization, Land Reform, 2.
- West, P., Igoe, J. & Brockington, D. (2006). Parks and Peoples: The Social Impact of Protected Areas. *Annual review of anthropology*, 35(1), 251-277.
- Williams, B. & Harvey, H. (1997). *The codice de Santa Maria Asunción: Facsimile and commentary: Households and lands in sixteenth-century Tepetlaoxtoc*. Salt Lake City, Estados Unidos: University of Utah Press.
- World Wildlife Fund (WWF). (2018). *Informe Planeta Vivo 2018: Apuntando más alto*. WWF, Gland, Suiza.
- Zeppelini, D., Cavalcante, B., Creão-Duarte, A. & Medina, M. (2009). Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 18, 1161-1170.

10. Anexos  
10.1. Anexo 1



# Presentación

**Noviembre 2020**

El presente manual busca ser una primera propuesta de materiales de educación ambiental para zonas con bosques degradados. La degradación, entendida como cualquier perturbación o cambio del medio ambiente, ha afectado a una gran cantidad de ecosistemas.

Pero específicamente los bosques mexicanos han tenido una especial afectación, siendo uno de los ecosistemas que, a pesar de no tener una gran extensión, al representar el 14% de la superficie nacional, contienen una diversidad de especies importantes porque solo se encuentran en México, lo que nos puede contar historias muy importantes de cómo se fueron desarrollando las plantas y animales en estos ecosistemas llenos de condiciones particulares.

Específicamente la zona de la Sierra Nevada Mexicana puede ser muy interesante, al tener una historia geológica muy especial con diferentes volcanes muy conocidos como el Popocatepetl o el Iztaccíhuatl donde a sus alrededores podemos encontrar el ecosistema de pino-encino.

Pero además, otra historia muy importante que debemos también tener en cuenta, es la historia de nuestros ancestros, las comunidades nahuas que habitaron, cuidaron y se sustentaron gracias a estos bosques y que todavía hoy en día hay descendientes de estos pueblos originarios.

Han pasado muchísimos años desde que ellos estuvieron habitando en estas zonas y también los bosques que originalmente estaban, han cambiado, así como su aprovechamiento, causando diferentes problemáticas ambientales, en especial por el aprovechamiento intensificado de los recursos.

Por eso, las actividades presentadas en este Manual buscan ser una propuesta de materiales basados en los objetivos de la educación ambiental que logren fomentar la concienciación de los participantes desde edades tempranas para que reconozcan la importancia de cohabitar con otras especies en el medio en el que están envueltos, y además fomentar su cuidado y preservación.

Estos talleres representan un esfuerzo por combinar visiones ambientales con perspectivas muy generales de sus diferentes disciplinas como la biología, la edafología, la ecología, la restauración de espacios degradados y algunas otras visiones sociales como la sociología y la antropología.

Sin duda alguna, esta primera aproximación es una propuesta audaz que necesitará retroalimentación y refinamiento de las diferentes disciplinas mencionadas además del fortalecimiento desde otras como la pedagogía, así como la acoplación e incorporación a programas de educación ambiental no formal.

**Arturo Erubiel Hernández Tirado**



# Índice



## Cómo usar este manual

-Planeación de clase

### Talleres

1. Andando por los suelos.
2. ¡Arriba las plantas!
3. ¿Quién vive aquí?
4. Plantas amigas.
5. Conocimientos ancestrales.
6. Utilizando los Recursos: Plantas, Suelos y Montañas.
7. Recuperando lo que había.

# Cómo usar este manual

## Planeación de clase

Los materiales presentados en este manual pueden servir como base para las actividades, pero la propuesta es que cada docente y facilitador construya y diseñe su planeación con total libertad bajo las mismas finalidades generales de la educación ambiental de la declaración de Tbilisi en 1977:

- a) Ayudar a hacer y comprender claramente la existencia e importancia de la interdependencia económica, social, política y ecológica en zonas rurales y urbanas.
- b) Proporcionar a cada persona la posibilidad de adquirir conocimientos, el sentido de valores, actitudes, compromisos y aptitudes necesarios para proteger y mejorar el medio ambiente.
- c) Inculcar nuevas pautas de conducta en los individuos, grupos sociales y sociedad en conjunto, respecto del medio ambiente.

Además de tener en cuenta los objetivos de la educación ambiental como la adquisición de conciencia ambiental, acompañada de la comprensión teórica de los procesos socioambientales para generar comportamientos de interés y preocupación por preservar a través de su participación el medio en el que están cohabitando con otras especies.

Con este contexto de educación ambiental, los talleres que son presentados están conformados con una breve descripción de la actividad, términos y conceptos clave que son descritos para fundamentar teóricamente la actividad. Posteriormente se describe la actividad lúdica que está planeada para acompañar al taller.

A partir de esta construcción general de conceptos y actividades lúdicas los docentes y facilitadores pueden realizar su planeación de clase realizando las adecuaciones pertinentes de acuerdo con las necesidades y características de sus alumnos o participantes. De esta forma, cada docente o facilitador debe establecer el grado escolar y edad de quienes estará dirigida la actividad, los recursos con los que cuenta y el tiempo que puede durar la actividad. A partir de estos factores, podrá definir las estrategias de introducción a los conceptos clave, la actividad lúdica y la retroalimentación para resolver dudas y fomentar la participación activo de los participantes a través de sus comentarios y percepciones de la actividad.

# Actividad 1

## Andando por los suelos

### Términos y conceptos clave

¿Qué es el suelo?  
¿Cómo se forma el suelo?



La palabra suelo es de uso común y con diferentes significados, sin embargo, el término científico de suelo puede definirse por las características y funciones que tiene:

1. Es una capa delgada.
2. Se encuentra entre las rocas del interior de la Tierra (Litósfera) y la Atmósfera.
3. Se forma muy lentamente.
4. Es refugio de muchos seres vivos (bacterias, hongos, insectos, etc.) y ayuda a crecer a las plantas con sus nutrientes.

Al igual que una receta de cocina, hay 5 *ingredientes* o factores que necesitaremos para formar o *cocinar* un suelo.

Pasos para formar un suelo:

- 1) Los cambios de temperatura comienzan a romper las rocas.
- 2) El agua se filtra entre las grietas y con el frío se congela, expandiéndose y rompiendo más las rocas.
- 3) Poco a poco se pulverizan las rocas y este material (sedimentos) es arrastrado por las lluvias y el viento. Los sedimentos se depositan en zonas bajas.
4. Pequeñas plantas y musgos crecen metiendo sus raíces entre las grietas de las rocas.
5. También pequeños organismos como lombrices, insectos, hongos y bacterias viven en el suelo, agregando y descomponiendo la materia orgánica.
6. Todo este proceso se desarrolla y repite a través del tiempo.

1. Rocas o material parental	<i>Galletas de diferentes sabores</i>
2. Relieve o formas de la superficie terrestre	<i>Recipiente transparente</i>
3. Clima	<i>Aspersor con agua</i>
4. Seres vivos	<i>Gomitas de animales</i>
5. Tiempo	<i>Tiempo</i>

Figura 1



# Actividad 1



## Andando por los suelos

### Actividad lúdica: Dulces suelos

Pasos para *cocinar* un suelo:

- 1) Para romper y pulverizar las rocas, rompe las galletas de pedazos grandes a pedazos pequeños. Diferentes tamaños representan la resistencia de las rocas a través del tiempo, desde pedazos grandes hasta pequeñas boronas (Fig. 2).
- 2) Acomoda las galletas más grandes y menos rotas en el fondo del recipiente transparente para ir rellenando hacia arriba con las más rotas y pequeñas.
- 3) Agrega las gomitas de animales.
- 4) Rocía un poco de agua para simular la lluvia.



Figura 2



Figura 3



Figura 5



Figura 4

# Actividad 1

## Andando por los suelos

### Algunas recomendaciones

Los factores formadores pueden ser abordados explorando conocimientos y experiencias previas de los participantes, por ejemplo, al hablar sobre las rocas o material parental se puede preguntar qué tipos de rocas son las que hay en su comunidad.

Generalmente las rocas que pueden encontrar en la zona de la Sierra Nevada de la Faja Volcánica Transmexicana son asociadas a depositaciones de flujos piroclásticos o materiales generalmente ligeros que son transformados en forma de cenizas y gases provenientes de volcanes. Los estudios geológicos indican que la actividad comenzó hace 1 millón de años aproximadamente para los volcanes de la Sierra Nevada como el Popocatepetl (Fig. 6), Iztaccíhuatl, Telapón y Tláloc, y como resultado, rocas comunes serán el tezontle o pómez (Fig. 7) y vidrios volcánicos como la obsidiana (Fig. 8), utilizada por varias culturas del Valle de México.

Los seres vivos que habitan en la zona de Sierra Nevada son de muy diversas especies en diferentes ecosistemas, pero un ecosistema importante es el Bosque de Pino-Encino. Estos bosques albergan alrededor de 50 especies de pinos del mundo y 200 especies de encinos, además de otras plantas y animales que solo habitan en este ecosistema, es decir, especies endémicas.



Figura 7



Figura 8

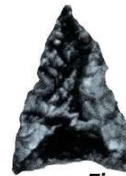


Figura 9

#### Bibliografía:

Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M. & Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(3), 227-283.

Porta, J., López-Acevedo, M., & Poch, R. (2011). Introducción a la edafología Uso y protección de suelos. España: Mundi-Prensa.

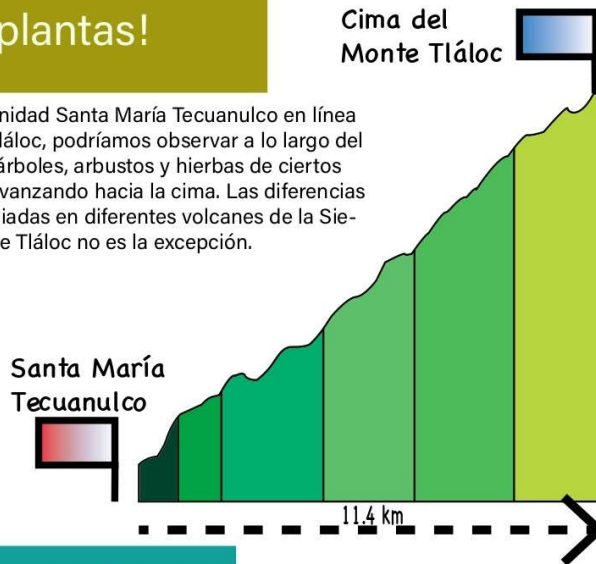
# Actividad 2

## ¡Arriba las plantas!

Si camináramos desde la comunidad Santa María Tecuanulco en línea recta hasta la cima del Monte Tláloc, podríamos observar a lo largo del camino diferentes especies de árboles, arbustos y hierbas de ciertos ecosistemas conforme vamos avanzando hacia la cima. Las diferencias en la vegetación han sido estudiadas en diferentes volcanes de la Sierra Nevada Mexicana, y el Monte Tláloc no es la excepción.

Estas diferencias se deben principalmente a cambios en la temperatura y precipitación porque dependen de la altura.

¿Qué tipo de vegetación podríamos encontrar conforme vayamos subiendo hacia la cima del Monte Tláloc?



## Términos y conceptos clave

En la actividad anterior se mencionó que los bosques de pino-encino albergan alrededor de 50 especies de pinos y 200 especies de encinos. El nombre de "Bosque de Pino-Encino" es un término de clasificación vegetal que se utiliza para describir que especies son las más características de cierto lugar o que por su tamaño o influencia en otras plantas definen a esa clasificación de vegetación.

Sin embargo, no son las únicas especies vegetales que pueden estar presentes, puesto que hay otras plantas que son importantes, en especial cuando se estudian a especies además de árboles (definidos de manera general como plantas con un tronco leñoso que no se ramifican a una altura cercana del suelo) como los arbustos (definidos generalmente como plantas de tronco leñoso que se ramifican desde una altura cercana al suelo) y las herbáceas (definidas generalmente como plantas de tronco blando no leñoso y pequeñas).

Las diferentes plantas que conforman al bosque de pino-encino están acostumbradas a vivir o habitar en un espacio que tiene condiciones muy específicas de ese sitio como el tipo de suelo, los animales que se alimentan de sus raíces, hojas y/o tallos, y el clima que incluye a la temperatura y humedad. Pero así como la temperatura y la humedad pueden cambiar con la altura, las plantas que están acostumbradas a esas condiciones al cambiar estos factores, pueden no soportar esos cambios y en consecuencia, tenemos cambios en las plantas conforme vayamos cambiando de altura. A esto se le conoce como gradiente altitudinal.

# Actividad 2

¡Arriba las plantas!

## Términos y conceptos clave

En el caso del Monte Tláloc, si dibujamos cómo va cambiando la altura del terreno conforme vamos caminando desde la Santa María Tecuanulco hasta la Cima del Monte Tláloc, lo que obtendríamos sería un perfil de elevación.

En este perfil de elevación, podríamos encontrar 6 diferentes clasificaciones de vegetación a lo largo de los 11.4 km de nuestra caminata, siendo los factores más importantes los cambios de temperatura y humedad en un cambio de altitud que empieza desde los 2800 m s.n.m hasta los 4100 m s.n.m.

Los 6 tipos de vegetación tendrían diferentes especies vegetales como las más representativas asociadas a cierta humedad y temperatura dependiente de la altura como se puede observar en la siguiente tabla:

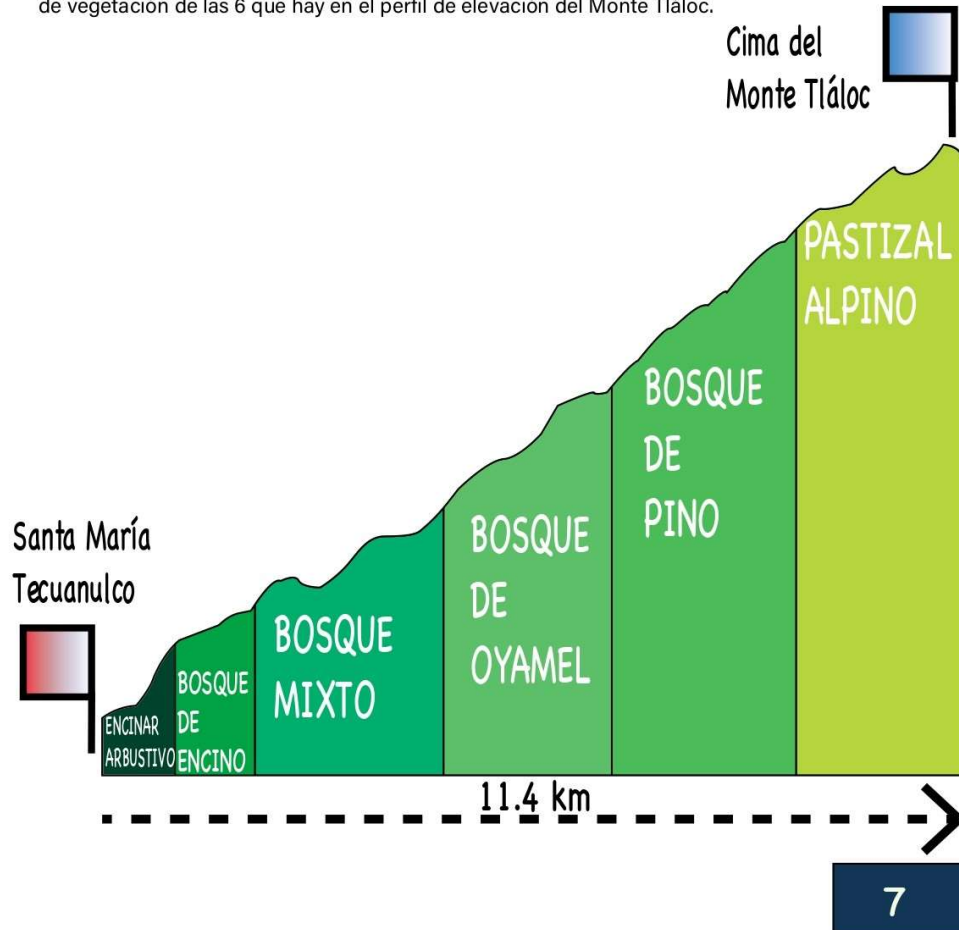
Altitud (m s.n.m)	Tipo de vegetación	Especies características (Árbol, arbusto, hierba)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
2750-2840	Encinar arbustivo	<i>Ceanothus coeruleus,</i>	14-15	800-1000
		<i>Arctostaphylos pungens,</i>		
		<i>Alchemilla aphanoides.</i>		
2850-2950	Bosque de encino	<i>Quercus rugosa,</i>	12-14	800-1000
		<i>Amelanchier denticulata,</i>		
		<i>Alchemilla procumbens.</i>		
2900-3200	Bosque mixto	<i>Cupressus lusitanica,</i>	10-12	900-1000
		<i>Acaena elongata,</i>		
		<i>Archibaccharis hieracioides.</i>		
3100-3500	Bosque de oyamel	<i>Abies religiosa,</i>	10-12	900-1000
		<i>Buddleia parviflora,</i>		
		<i>Brachypodium mexicanum</i>		
3500-3900	Bosque de pino	<i>Pinus hartwegii,</i>	6-10	1000-1200
		<i>Baccharis conferta,</i>		
		<i>Calamagrostis tolucensis</i>		
3900-4100	Pastizal alpino	<i>Pinus hartwegii,</i>	6-10	1000-1200
		<i>Juniperus monticola,</i>		
		<i>Agrostis tolucensis.</i>		

# Actividad 2

¡Arriba las plantas!

Actividad lúdica: ¡Ponle la vegetación al Monte!

A través de la descripción de la temperatura, la precipitación y las especies vegetales de cada tipo de vegetación de acuerdo con la altitud en la que está presente se puede pedir a los participantes que a partir de las imágenes de las especies puedan ubicar o "poner la vegetación" en alguna clasificación de vegetación de las 6 que hay en el perfil de elevación del Monte Tláloc.



# Actividad 2

¡Arriba las plantas!

Actividad lúdica: ¡Ponle la vegetación al Monte!



*Ceanothus coeruleus*<sup>1</sup>



*Arctostaphylos pungens*<sup>2</sup>



*Alchemilla aphanoides*<sup>3</sup>



*Quercus rugosa*<sup>4</sup>



*Amelanchier denticulata*<sup>5,6</sup>



*Alchemilla procumbens*<sup>7</sup>



*Cupressus lusitanica*<sup>8,9</sup>



*Acaena elongata*<sup>10</sup>



*Archibaccharis hieracioides*<sup>11</sup>



*Abies religiosa*<sup>12,13</sup>



*Buddleia parviflora*<sup>14</sup>



*Brachypodium mexicanum*<sup>15</sup>



*Pinus hartwegii*<sup>16</sup>



*Baccharis conferta*<sup>17</sup>



*Calamagrostis tolucensis*<sup>18,19</sup>



*Pinus hartwegii*<sup>20</sup>



*Juniperus monticola*<sup>21,22</sup>



*Agrostis tolucensis*<sup>23</sup>

# Actividad 2

## ¡Arriba las plantas!

### **Bibliografía:**

Rzedowski, J., (2006). Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 pp.

Sánchez-González, A. & López-Mata, L. (2003). Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica*, 74(1), 47-71.

### **Aviso de uso de imágenes:**

**El uso de las imágenes de este taller es con fines educativos y de divulgación, se recuperaron las fotos a través de las siguientes fuentes ordenadas:**

### **Aviso de uso de imágenes:**

El uso de las imágenes de este taller es con fines educativos y de divulgación, se recuperaron las fotos a través de las siguientes fuentes ordenadas:

1. Fuente: Carlos Gerardo Velazco Macías/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
2. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
3. Fuente: Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), *Alchemilla aphanoides* var. *subalpestris* L.M.Perry, ejemplar de: Herbario Nacional de México (MEXU), Plantas Vasculares. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:92190>  
Fecha de actualización: 21/10/2014, 2:08:41 p.m.  
Fecha de consulta: 06/08/2020, 3:39:12 p.m.
4. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
5. Fuente: Oswaldo Téllez Valdés/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
6. Fuente: Oswaldo Téllez Valdés/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
7. Fuente: Guillermo Ibarra Manríquez/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
8. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
9. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
10. Fuente: Guillermo Ibarra Manríquez/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
11. Fuente: Guadalupe Cornejo Tenorio/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
12. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
13. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
14. Fuente: Sven Landrein/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
15. Fuente: Guillermo Ibarra Manríquez/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
16. Fuente: Carlos Gerardo Velazco Macías/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
17. Fuente: Jerzy Rzedowski Rotter/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
18. Fuente: Victor W. Steinmann, 2012. En Ficha de Identificación de la Dirección del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl-Subdirección De Cultura Para La Conservación-Departamento De Investigación Y Monitoreo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en:  
[http://www.conanp.gob.mx/conanp/dominios/iztapopo/documentos/fichas\\_de\\_especies/Calamagrostis\\_tolucensis.pdf](http://www.conanp.gob.mx/conanp/dominios/iztapopo/documentos/fichas_de_especies/Calamagrostis_tolucensis.pdf)
19. Fuente: Victor W. Steinmann, 2012. En Ficha de Identificación de la Dirección del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl-Subdirección De Cultura Para La Conservación-Departamento De Investigación Y Monitoreo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en:  
[http://www.conanp.gob.mx/conanp/dominios/iztapopo/documentos/fichas\\_de\\_especies/Calamagrostis\\_tolucensis.pdf](http://www.conanp.gob.mx/conanp/dominios/iztapopo/documentos/fichas_de_especies/Calamagrostis_tolucensis.pdf)
20. Fuente: Carlos Gerardo Velazco Macías/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
21. Fuente: Guillermo Ibarra Manríquez/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
22. Fuente: Oswaldo Téllez Valdés/CONABIO. Banco de imágenes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
23. Fuente: Arizona State University Vascular Plant Herbarium (ASU:Plants). *Agrostis tolucensis* H.B. & K. Family: Poaceae. Determiner: J. Rzedowski. Collector: Hugo J. Soriano F.116. Date: 1978-11-26. Disponible en:  
<http://herbanwmx.net/portal/collections/individual/index.php?occid=1115186>

# Actividad 3

## ¿Quién vive aquí?

### Términos y conceptos clave

Como hemos visto en el taller anterior, en la naturaleza podemos encontrar diferentes tipos de plantas de diferentes tamaños, formas y colores. Esta característica no es exclusiva de las plantas, también podemos encontrar una gran cantidad de colores, tamaños y formas en los animales que cohabitan en el medio ambiente. A estas diferentes formas de vida se le conoce como biodiversidad, y específicamente en los suelos de bosques de pino-encino podemos encontrar pequeños bichos que se llaman artrópodos. Estos artrópodos se encargan de reciclar los desechos orgánicos del suelo y convertirlos en nutrientes que pueden utilizar diferentes bacterias, hongos y plantas.

Si nosotros investigamos que tipos de plantas, animales, hongos y bacterias viven en un lugar, de qué se alimentan, como se reproducen y como se relacionan entre ellos y con su medio ambiente, estaríamos haciendo una investigación del ecosistema. Un ejemplo de ecosistema es el bosque. Diferentes causas, como el deterioro ambiental o el cambio climático han causado que los bosques y su biodiversidad estén en peligro, por lo que es importante cuidar de estos ecosistemas.



Pero como dijo Baba Dioum, ambientalista senegalés, para cuidar o preservar algo primero tenemos que amarlo, y para amar algo tenemos que entenderlo, y para entender algo tenemos que aprender cómo es ese algo. Por tanto, si queremos proteger la biodiversidad de artrópodos del suelo de los bosques de pino-encino debemos conocerla. Además de conocer a los organismos edáficos, hay algunos otros conceptos de la ecología de la conservación que se han usado para proteger y conservar los ecosistemas y que podemos aprender, como los siguientes:

- 1) **Indicador ecológico:** elemento, proceso o característica de un ecosistema que se puede estudiar o cuantificar para saber el estado del ecosistema.
- 2) **Especies Bioindicadoras:** organismos de cierta especie que por su alta sensibilidad o su gran tolerancia a cambios en el ecosistema ayudan a saber el estado de este.
- 3) **Especies sombrilla:** organismos de cierta especie que al ser protegidos, a su vez son utilizados para proteger a otras especies del ecosistema.
- 4) **Especies bandera:** organismos de cierta especie que por ser carismáticos son utilizados como símbolos para atraer el apoyo del gobierno, empresas y público en general para su cuidado.
- 5) **Especies clave:** organismos de cierta especie que con su actividad genera un efecto sobre otras especies o en el funcionamiento del ecosistema.

Las tarjetas de la lotería pueden descargarse para impresión a través del siguiente enlace:

#### Bibliografía:

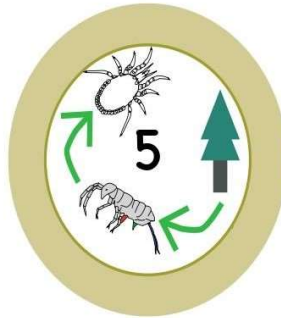
Isasi-Catalá, E. (2011). Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en Ecología de la Conservación. *Interciencia*, 36, 31-38.



# Actividad 3

¿Quién vive aquí?

Actividad lúdica: La mini-lotería de la biodiversidad

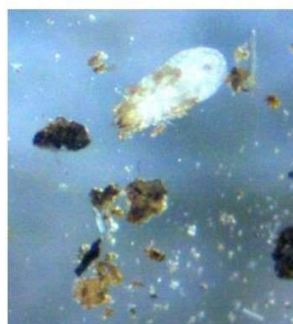


11

# Actividad 3

¿Quién vive aquí?

Actividad lúdica: La mini-lotería de la biodiversidad

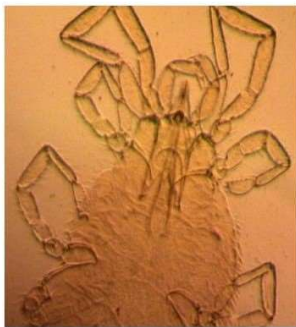


12

# Actividad 3

¿Quién vive aquí?

Actividad lúdica: La mini-lotería de la biodiversidad



13

# Actividad 4

## Plantas amigas

### Términos y conceptos clave



Las plantas además de embellecer el paisaje tienen diferentes funciones como brindar a través de su hojarasca, restos de tallos y raíces parte importante del material que será utilizado y transformado para el ciclo de nutrientes. Las plantas también son una cubierta importante para proteger al suelo, porque disminuyen la velocidad con la que caen las gotas de la lluvia, si no estuvieran frenando la velocidad de caída, las gotas al impactar directamente al suelo provocan cráteres de impacto y a su vez, la pérdida y erosión del suelo.

Otro proceso de erosión y pérdida importante que se da por la falta de la cubierta vegetal es por movimientos en masa o deslaves. Estos procesos ocurren cuando en una ladera o un lugar con pendiente, el agua de la lluvia que se va infiltrando en el suelo llega a ser tanta, que supera la capacidad máxima de infiltración y provoca este movimiento en masa del suelo. Las plantas ayudan a que estos movimientos en masa disminuyan al brindar soporte con sus raíces profundas al suelo.

También las raíces promueven la infiltración del agua en el suelo al funcionar como canales por los que el agua pasará más rápidamente. Por todo lo anterior, podemos decir que las plantas son amigas, tanto de nosotros, como del suelo.

A través de una actividad de comparación de infiltración del suelo podemos comprobar si la infiltración del agua en el suelo ocurre en menor o mayor tiempo en un suelo con plantas y otro sin ellas.

# Actividad 4

## Plantas amigas

### Actividad lúdica: Carrera de agua

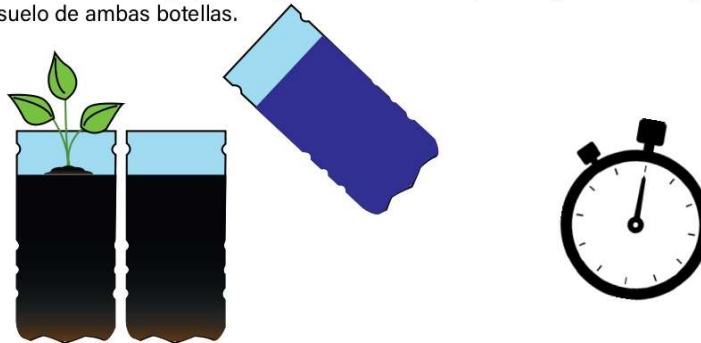
Preparación previa al taller:

Para esta actividad se pueden utilizar 2 botellas de plástico de 600 ml recicladas para hacer macetas. Hay que cortar la parte superior de las botellas. Después hacer 3 agujeros en la base de cada botella. Se rellenan ambas botellas con el mismo suelo (tierra) a  $\frac{3}{4}$  partes de las botellas cortadas.

Es importante que sean rellenas ambas botellas con el mismo suelo para poder hacer la comparación, con y sin planta, pero en el grupo los participantes pueden utilizar diferentes suelos manteniendo un solo tipo para cada par de botellas.

Sembrar de cuatro a cinco semillas solo en una botella y regar ambas botellas con la misma cantidad de agua (se recomienda que sean semillas de plantas de crecimiento rápido como las de jitomate, rábano o lechuga). Cuando las semillas hayan germinado, se puede realizar la actividad. Si se continúan regando las semillas, regar también la botella que solo contiene el suelo para tener la misma humedad.

Ya que se tienen las dos botellas, una con suelo y otra con suelo y planta necesitaremos dos servilletas, un reloj o cronómetro para medir el tiempo y dos recipientes con la misma cantidad de agua. Se coloca una servilleta debajo de cada botella. Después se vierte el agua de ambos recipientes en cada botella tratando de que sea al mismo momento y se empieza a medir el tiempo. Se observa cuál de las dos servilletas se moja primero y se anotan los tiempos en que tardó el agua en infiltrarse a través del suelo de ambas botellas.



#### Bibliografía:

Porta, J., López-Acevedo, M., & Poch, R. (2011). Introducción a la edafología Uso y protección de suelos. España: Mundi-Prensa.

# Actividad 5

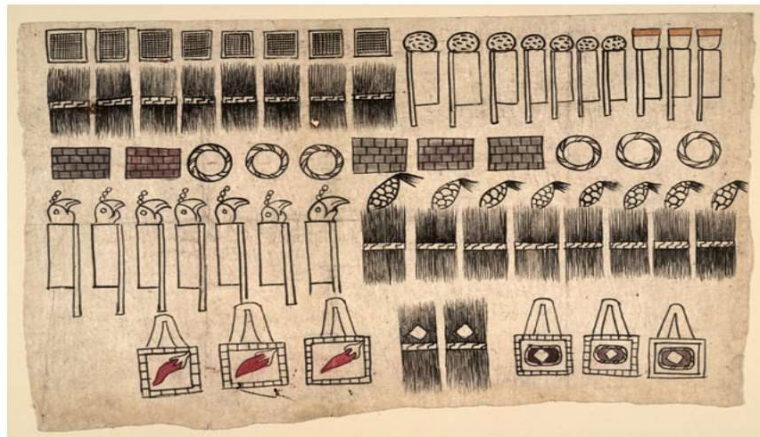
## Conocimientos ancestrales

### Términos y conceptos clave

México además de tener una gran biodiversidad tiene también una gran riqueza y diversidad cultural, ya que como mexicanos heredamos costumbres, tradiciones, lenguajes y formas de entender el mundo de diversos grupos de comunidades y pueblos originarios mesoamericanos.

Por ejemplo, los nahuas que se establecieron cerca de las cadenas de volcanes como el monte Tláloc o el Popocatepetl hace más de 400 años utilizaron los diferentes recursos que tenían disponibles. De esta forma pudieron utilizar la obsidiana que veíamos en el primer taller que es un vidrio volcánico para poder construir diferentes herramientas y armas, como cuchillos, hachas y flechas.

En nuestros tiempos, ya no construimos herramientas de obsidiana, pero tal vez algunos de los usos que le damos a algunas plantas que nos ayudan a aliviar ciertas enfermedades o malestares pudieran ser la herencia de esos conocimientos de nuestros ancestros. Incluso muchas de las palabras que utilizamos en español son parte de esa herencia, en especial en nombres de alimentos como chocolate que probablemente viene de chocóllatl. Otra herencia ancestral que tenemos de los nahuas es la forma de sembrar combinando al maíz, el frijol y la calabaza en el cultivo para formar la milpa o milli.



Estos conocimientos y saberes se fueron transmitiendo de generación en generación, de padres a hijos e incluso de abuelos a nietos. Además de esta transmisión oral, hay algunas evidencias plasmadas en algunos códices que describen como vivían nuestros antepasados, por ejemplo, el códice Santa María Asunción que habla de los nahuas de Tepetlaoxtoc, Estado de México.

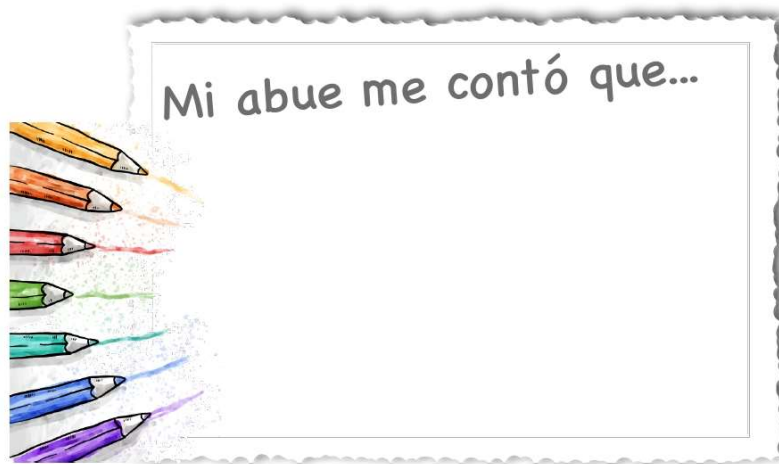
# Actividad 5

## Conocimientos ancestrales

### Actividad lúdica: "Mi abue mi contó que..."

Se divide a los participantes en grupos o equipos. Una vez reunidos en equipos, se les invita a pensar sobre los conocimientos ancestrales que han aprendido en su familia en forma de remedios, cuentos, historias, leyendas, canciones, lenguajes, costumbres y/o tradiciones.

Pueden ir comentando con sus grupos acerca de las cosas que van recordando y mientras deben dibujarlas. Se les da tiempo para dibujar y comentar. Cuando hayan terminado, cada equipo comentará que conocimientos ancestrales pudieron recordar y dibujar empezando con la frase "Mi abue me contó que..."



#### **Bibliografía:**

Hernández, A. (2013). Chocolate: historia de un nahuatlismo. Estudios de cultura náhuatl, 46, 37-87.

Sahagún, B. (1982). Florentine Codex: General history of the things of the New Spain. Santa Fe, Estados Unidos: The School of American Research, University of Utah Press.

Valle, J. (2003). Nahuas de la Huasteca Pueblos Indígenas del México Contemporáneo. México: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

# Actividad 6

Utilizando los recursos:  
Plantas, suelos y montañas

## Términos y conceptos clave

En el taller pasado se compartieron diferentes conocimientos ancestrales, algunos de ellos utilizan plantas o animales de la naturaleza. Además de animales y plantas, también utilizamos rocas como materiales de construcción, agua para tomar y suelo para sembrar. Todos estos ejemplos son parte de un ecosistema, y al hacer uso de ellos, estamos extrayendo bienes o recursos tangibles provenientes de la naturaleza.

Pero los ecosistemas además de bienes o recursos tangibles también brindan servicios ambientales o bienes intangibles, como los procesos y funciones que permiten mantener a las especies de animales y plantas que alberga.

Un ejemplo de bienes intangibles lo podemos ver con las plantas. Además de poder utilizarlas como alimentos o medicinas, las plantas nos ayudan al producir el oxígeno que respiramos (ciclo de carbono), regulando el clima, disminuyendo las inundaciones y la erosión, como habíamos visto en taller de "Las plantas son nuestras amigas".

Todas las especies tienen un efecto sobre otras especies y sobre el lugar en donde se encuentran. Algunos efectos pueden ser más fuertes que otros. Regresando al ejemplo del ciclo de carbono, tan solo al respirar estamos causando un efecto sobre otras especies y sobre el lugar en el que nos encontramos. Pero no solo respiramos, también nos alimentamos y nos relacionamos de diferentes formas con nuestro medio ambiente, teniendo a su vez, consecuencias o impactos ambientales.

Desafortunadamente al hacer un uso intensivo de los recursos naturales, provocamos que con el paso del tiempo se reduzcan los bienes que nos proveía el medio ambiente, sus funciones y procesos, y en consecuencia, sus servicios ambientales. A este proceso se le conoce como degradación ambiental. Pudiera parecer que todo lo que hacemos causa un impacto negativo en el medio ambiente. Sin embargo, debemos encontrar estrategias de equilibrio para poder desarrollarnos responsablemente.

Así como los diferentes ciclos que existen en la naturaleza, debemos de encontrar estas estrategias de equilibrio que nos permitan vivir y convivir en el medio ambiente, asegurando nuestra supervivencia, pero también asegurando la supervivencia de los ecosistemas de los que respiramos, nos alimentamos, nos curamos y obtenemos materiales para transportarnos y construir hogares, escuelas y caminos.

A través de una adaptación del juego "Catán" (Teuber, 2002), los participantes podrían empezar a comprender los procesos de aprovechamiento y explotación de los recursos naturales, pero pensando también en la necesidad de favorecer los procesos de regeneración y cuidado del medio ambiente.



# Actividad 6

Utilizando los recursos:  
Plantas, suelos y montañas

## El catán

Para el juego se necesitan 2 dados y 20 cartas de cada fuente de recursos y 20 de productos (as cartas pueden dibujarse o imprimirse para el juego). Se puede jugar a partir de 2 jugadores donde uno de ellos será el BIA (Banco de Impacto Ambiental). Las fuentes de recursos son bosque, mina, milpa y corral. Cada fuente de recursos da diferentes productos a cambio de ciertas cartas de recursos y productos en el BIA. El bosque da en cada turno dos cartas de madera/ miel sin intercambiar cartas. La milpa da vegetales/forraje al intercambiar una carta de bosque y dos de madera/ miel. El corral da carne al intercambiar una carta de bosque y dos de vegetales/forraje. La mina da minerales a cambio de dos cartas de bosque, una carta de vegetales/forraje y una de carne.

También se podrán solicitar fuentes de recursos en el BIA intercambiando productos, para una carta de bosque se intercambian dos cartas de madera/miel, para una carta de milpa se necesitan tres cartas de madera/miel, para el corral y la mina cuatro cartas de madera/miel. Al final de la ronda de turnos de los participantes, el BIA cobrará a cada participante la huella ambiental, dependiendo de las de cartas fuentes de recursos que tengan. Si solo tienen de bosque, cobrará una carta de madera/miel. Si tienen de bosque y milpa cobrará dos cartas de madera/miel. Si tienen cartas de bosque, milpa y corral o mina cobrará tres cartas de madera/miel. Si tiene cualquier combinación de cartas de fuente de recursos sin la carta de bosque cobrará cinco cartas de madera/miel. Si el participante no tiene suficientes cartas de madera/miel para pagar, en ese momento pierde.



# Actividad 6

Utilizando los recursos:  
Plantas, suelos y montañas

## El catán



Al inicio del juego cada participante debe tener 3 cartas de bosque y se reparten sus respectivas cartas de productos. Cada participante deberá tirar los dos dados. Si los dados caen en una combinación de 1 y 1, el BIA deberá cobrar como lo hace al final de la ronda de turnos. Pero si los dados caen en una combinación de 6 y 6, el BIA deberá de dar a todos los participantes los productos de acuerdo a las cartas de fuentes de recursos que tenga cada participante a cambio de 1 carta de madera/miel. Las otras combinaciones no generarán efecto alguno. Gana quien llegue a tener tres cartas de bosque y por lo menos una carta de cada una de las otras tres fuentes.

### Bibliografía:

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2004). Introducción a los servicios ambientales.

Teuber, K. (2002). Catan el juego. [Juego de mesa]. Alemania: Devir, Kosmos.



# Actividad 7

## Recuperando lo que había

### Términos y conceptos clave

La actividad anterior se realizó un ejercicio teórico con la actividad lúdica de los procesos de regeneración y cuidado del medio ambiente. Sin embargo, la puesta en práctica de estos procesos debe llevarse a cabo con mucha planeación y entendimiento de los procesos del ecosistema. Si no se realiza de esta forma y se llevan a cabo planes sin entender en qué estado está el ecosistema y cómo podemos favorecer su recuperación, podemos a pesar de las buenas intenciones, causar problemas más fuertes o invertir recursos económicos y energéticos que a largo plazo no podrían prosperar.

Para poder entender qué respuestas tiene el ecosistema después de la degradación, podemos abordar los conceptos de resiliencia y resistencia. La resiliencia ecológica es la capacidad de recuperación del ecosistema, así como sus procesos y funciones ante una perturbación. La resistencia ecológica es la capacidad del ecosistema de resistir a las alteraciones a través del tiempo sin que esto afecte en gran manera sus procesos y funciones.

Si el ecosistema es muy resistente, teóricamente soportará los impactos generados. Si el ecosistema es muy resiliente, a pesar del impacto, teóricamente podrá recuperarse. Sin embargo, para la recuperación de un ecosistema puede pasar mucho tiempo, y es muy probable que no recupere sus procesos y funciones como lo hacía antes de la perturbación.

Hay algunas estrategias que buscan ayudar a los ecosistemas con los problemas causados por la degradación, entre ellas la rehabilitación de espacios degradados. Esta rehabilitación busca recuperar algunos procesos y funciones perdidas con la ayuda de técnicas como la reforestación con plantas nativas y mejoradores del suelo.

Un primer paso para llevar a cabo la reforestación es tener plantas disponibles para reintroducirlas en la zona degradada. Las plantas utilizadas generalmente para la reforestación son plantas de calidad de vivero, es decir son plantas que son germinadas y crecidas bajo un vivero o invernadero en el que se busca una mayor probabilidad de supervivencia y desarrollo en el momento de la plantación.

El sustrato sobre el que crecerán las plántulas puede ser únicamente tierra negra, aunque se recomienda preparar un sustrato combinado de dos terceras partes de tierra negra y la otra tercera parte del sustrato de coco para ayudar a la retención de humedad. El sustrato se pone en charolas de germinación para poner las semillas.

Las semillas para la germinación pueden ser recolectadas de individuos vegetales cercanos a la zona a rehabilitar, aunque esto dependerá de los objetivos de la rehabilitación. De acuerdo con el tipo de semilla, será la forma de siembra y el tiempo de germinación.

# Actividad 7

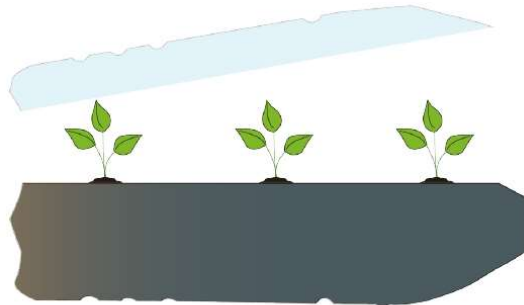
## Recuperando lo que había

### Hagamos un mini-invernadero

Para hacer un ejercicio de germinación y cuidado de semillas se propone la actividad "Hagamos un mini-invernadero". En esta actividad se prepararán los materiales necesarios para germinar semillas de plantas domesticas para que los participantes experimenten el proceso necesario para la germinación así como los cuidados que las plantas deben de tener.

Para los recipientes que servirán de charolas de germinación, se pueden usar botellas de PET recicladas, cortadas a la mitad y con agujeros al final de la botella para dejar drenar el exceso de agua. La parte de arriba de la botella puede servir de tapa para no dejar escapar el agua que se evapora durante el día.

El sustrato puede ser solo tierra negra y las semillas para germinar pueden de alimentos que se encuentran en casa como las semillas de jitomate, chile, frijol o lenteja. La siembra de estas semillas debe de ser a una profundidad de 1 cm aproximadamente. El riego puede definirse diferencialmente para experimentar si cambiando los periodos y cantidades de riego, hay algún efecto en las plántulas.



#### **Bibliografía:**

Holl, James; Falk, Karen; Hobbs, Donald; Palmer, R. (2013). Ecological Restoration Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession (Second).  
Keenleyside, K., Dudley, N., Cairns, S., Hall, C., & Stolton, S. (2014). Restauración Ecológica para Áreas Protegidas: Principios, directrices y buenas prácticas.  
Sáenz, J. T., Villaseñor, F. J., Muñoz, H. J., Rueda, A., & Prieto, J. A. (2010). Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán, 48.

## 9.2 Anexo 2. Relatoría y evidencia fotográfica de los talleres de divulgación científica en la Escuela Primaria Cuauhtémoc.

En el mes de febrero de 2020 se llevó a cabo el taller de divulgación científica denominado “Andando por los suelos” para niños de primero, segundo y tercero de primaria en la Escuela Primaria Cuauhtémoc, en la comunidad Santa María Tecuanulco, Municipio de Texcoco, Estado de México. Este taller fue diseñado por el tesista de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra Arturo Erubiel Hernández Tirado con el asesoramiento de la Dra. Rosa Gabriela Castaño Meneses y el M. en C. Abel Ibáñez Huerta.

El objetivo de visitar la escuela Cuauhtémoc fue realizar un piloto del taller en una escuela cercana a la zona de estudio con actividades y usos de suelo como minería, agricultura y ganadería que representarán cierta degradación al ecosistema de bosque de pino encino. Esta característica se definió con el fin de concienciar la importancia de la conservación de este ecosistema. Se estableció el contacto con la M. en Ed. Yeimmi Rodríguez Ortiz, quien es docente y da asistencia a escuelas del Estado de México a través del sistema USAER de la SEP, y facilitó la comunicación con las autoridades de la escuela Cuauhtémoc. Se definió la fecha de la visita para el 21 de febrero de 2020 y se acordó que se desarrollaría el taller “Andando por los suelos” en los grupos de primaria baja. Para la realización del taller se prepararon los materiales necesarios para 130 participantes.

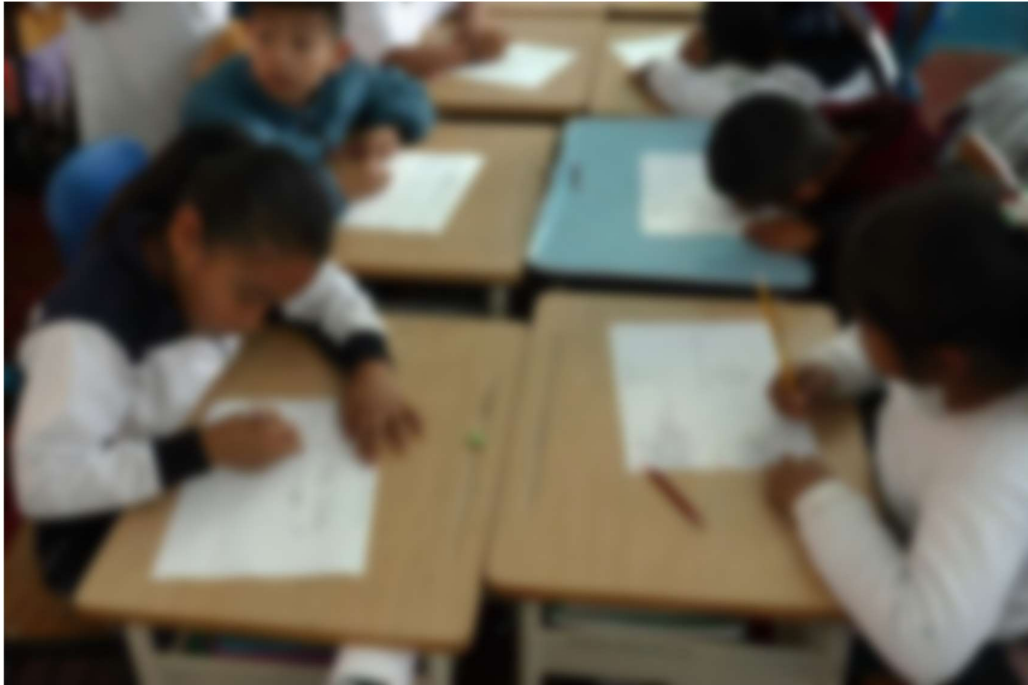
El 21 de febrero se realizó el taller en los cuatro grupos de primaria baja (1°A, 1°B, 2° y 3°) con la presentación de Arturo Hernández y el apoyo de los Maestros Abel Ibáñez y Yeimmi Rodríguez, los estudiantes de posgrado María Daniela Pérez Velázquez y León Esteban Ibarra Garibay, así como los docentes de los grupos. Antes de cada taller, en cada grupo se realizaron pruebas con formularios de cuatro preguntas de opción múltiple para evaluar los conocimientos previos, una vez terminada la explicación y la actividad lúdica las mismas preguntas eran contestadas.





Esta actividad explica qué es el suelo, su importancia, así como sus cinco factores formadores (material parental o roca, clima, relieve, actividad biológica y tiempo). Con la ayuda de dibujos, participación e involucramiento, los participantes pudieron reforzar los diferentes términos y conceptos teóricos.





Después de los conceptos teóricos, se desarrolló la actividad lúdica de formar un suelo, tomando como analogía de los materiales parentales galletas de diferentes sabores que se intemperizaban o fragmentaban en platos de cartón desechables y se depositaban en frascos de plástico transparentes. Por último, se agregaban como organismos vivos gomitas de azúcar en forma de osos y un poco de agua para beber con atomizadores simulando la lluvia.





Por último, la Directora de la escuela, la Profa. Himelda Alfaro López otorgó reconocimientos a los talleristas.



"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la mujer mexicana"

La Escuela Primaria Cuauhtémoc otorga el presente  
**RECONOCIMIENTO** a:

*Arturo Erubiel Hernández Tirado*

Por su participación en la implementación de talleres ambientales para niños de primero, segundo y tercero de primaria, llevados a cabo en las instalaciones de la escuela.

Santa María Tecuanulco, Texcoco, Estado de México a 21 de febrero de 2020



Directora Escolar

Profra. Himelda Alfaro López