Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias

Diagnóstico de la geo-biodiversidad de un Pedregal Remanente (# 178 "Yoltic") en el Campus de la Ciudad Universitaria de la UNAM

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LIC. EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:

Frida Itzel Villegas Granados

DIRECTOR:
Dra. María del Pilar Ortega Larrocea

Ciudad Universitaria, CD.MX., 2024

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

1. Datos de la alumna
Villegas Granados
Frida Itzel
(55) 32 04 31 43
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Ciencias de la Tierra
315593499

2. Datos del tutor
Dra.
Ortega Larrocea
María del Pilar

3. Datos del sinodal 1
Dra.
Cram Heydrich
Silke

4. Datos del sinodal 2
Dr.
Corona Núñez
Rogelio Omar

5. Datos del sinodal 3
Dra.
Guilbaud
Marie-Noëlle

6. Datos del sinodal 4
Dra.
Martínez-Báez Téllez
Fernanda

8. Datos del trabajo escrito
"Diagnóstico de la Geo-Biodiversidad de un Pedregal Remanente (#178 "Yoltic") en el Campus de la Ciudad Universitaria de la UNAM", 94p. Año 2024

A mis padres:
Santa Angela Granados García y José Ramón Villegas Vázquez

Entre fuego y lava, renaceremos.

Frida

Figura 1: ”La erupción del Xitle” Pintura al óleo. Jorge González Camarena, 1947

Agradecimientos

Esta tesis fue realizada en el marco del proyecto del Instituto de Geología PAPIME-PE115024 (2024-2026) "Geopedregal, primer geositio restaurado en el campus de la UNAM para la enseñanza del geobiopatrimonio de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM y desarrollada bajo el proyecto CONAHCYT CBF2023-2024-1049 (2024-2026) "Proyecto Geocity: Geopatrimonio del sur de la Ciudad de México y su relación con aspectos biológicos y socioculturales" y se desarrolló en el marco del Taller de Investigación de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra (2023-1 / 2023-2) "Geopatrimonio en Ciudad Universitaria".

A quienes me dieron el valor de luchar por la vida, mis padres, Santa Angela Granados García y José Ramón Villegas Vázquez. Gracias por su apoyo tan lleno de amor y por todas las aventuras que me llenaron la mente, el corazón y el espíritu de la alegría que conlleva la consciencia de la existencia.

A mi familia muégano: mis abuelos paternos Antonia Vázquez Flores y José Ramón Villegas Contreras, quienes siempre me recibieron con las noticias geológicas de último momento; a mis abuelos maternos, Francisca García Molina y Emigdio Granados Vera, por recordarme la humildad y la honestidad del ser. A mis primos Alondra Guzmán, Sebastián Guzmán e Ian Granados, por su apoyo incondicional y todas las risas que me sacaron en los momentos más complejos. A mis tíos, de sangre y no, Marco Ávila, Rafaela Granados, Edgar Portillo, Lucila Castro, Alfredo Villegas, Emma Granados, Galdino Gómez, Gloria Villegas, Josefina Villegas, Rubén Guzmán, Alejandro Villegas, Alejandro González, Felipe Gómez, Sandra González, Jovan García, Melissa García, por econsejarme y estar siempre cerca.

A mi pareja, Luis Fernando Galicia Cruztitla, por su amor siempre presente en las palabras de apoyo, en las desveladas trabajando y redactando, en las caminatas juntos, en las risas y en el llanto de lo que nos ha tocado compartir.

A mi profesora y asesora de tesis, Ma. del Pilar Ortega Larrocea, por enseñarme las maravillas de la vida entre las rocas, por su amistad y empoderamiento durante este proceso, además de integrarme a experiencias que me permitieron reconectar con mi en-

torno y encontrar a más personas que respetan la vida, por apoyarme en mis proyectos tanto académicos como personales. A Fernanda Martínez, Amanda Alejo, Emmanuel Zeno y Néstor Tunal, por compartir sus saberes y amistad; a Marie-Noëlle Guilbaud y Silke Cram, acogiéndome en el entorno holístico y tan hermosamente volcánico de los pedregales; así como a Rogelio Corona por su guía y consejo en la realización de mi tesis.

A mis amistades: Jessica Hernández, Lety Cordero, Juan Hernández, Pamela González, Paola López, Angela Prado, Eira Segoviano, Gala Osorio, Andrea Cedillo, Nirvana Villamar, Andrea Hernández, Aura Campos, Jann Macías, Pamela Becerril, Gonzalo Hernández, Alondra Blas, Joshua Briones, Germán González, Diana Vilchis, Carolina Pérez, Brenda Esteban, Guillermo Aguayo, Diana Núñez, Aleida Pérez, Omar Lucas, Jorge Alonso y todas las que puedan faltar, por su apoyo incondicional.

Al equipo de coolaboradorus REPSA, en ese entonces dirigido por Néstor Chavarría, por apoyarme (incluso antes de entrar a la licenciatura) a emprender el camino de la conservación del pedregal de San Ángel. Gracias Jess, Lili, Nirv, Andy C., Andy H., Ubaldo, Néstor, Ianka, Dani Hdz., Dani Ferrusca, Rubén, Dra. Genoveva y Marce, por todas las enseñanzas.

Al equipo del Geopedregal, por ofrecerme siempre palabras de apoyo y por tanto trabajo compartido: Katt, Letty, Julio, Meli, Wen, José, Jesús, además de Dani, Cami y Sol (por su valiosa compañía en el cubito del instituto de Geología).

A mis profesores Fabiola Vilchis y Salomé Bobadilla, por ayudarme a encontrar mi voz y a reconocer mi valor. A Sonia Díaz, por ser una luz en años de oscuridad. A Guillermo Jiménez, por compartir su alegría en la enseñanza. A Víctor Gelista, por inspirarme a estudiar la Tierra. A Roberto Maldonado, Liz Brito y Violeta Ortiz, por sus enseñanzas y amabilidad durante momentos cruciales en la carrera.

A la Facultad de Ciencias de la UNAM y a sus profesores en materia de Biología y Ciencias de la Tierra, por su esfuerzo en impartir los valores necesarios para formar a seres humanos con ética y moral ante la crisis climática y social.

A las sincronicidades en mi vida y a la divinidad de la consciencia y la intuición que compartimos todos los seres, por estar presente en mis acciones, las cuales continuaré realizando en pro del cuidado del planeta.

Declaración de autenticidad

Por la presente declaro que, salvo cuando se haga referencia específica al trabajo de otras personas, el contenido de esta tesis es original y no se ha presentado total o parcialmente para su consideración para cualquier otro título o grado en esta o cualquier otra Universidad. Esta tesis es resultado de mi propio trabajo y no incluye nada que sea el resultado de algún trabajo realizado en colaboración, salvo que se indique específicamente en el texto.

Frida Itzel Villegas Granados. Ciudad Universitaria, CD.MX., 2024

Resumen

El presente trabajo desarrolla una propuesta de restauración del pedregal remanente número 178 del derrame del volcán Xitle, ubicado dentro de la Ciudad Universitaria de la UNAM, a partir de la descripción de su geo-biodiversidad, es decir, de la flora y fauna nativa y exóticas que en él habitan, además de las estructuras geológicas de las lavas basálticas con las que cuenta. A partir de ello se identifican los microambientes que se formaron en esta porción del derrame y los servicios ecosistémicos que brinda en conjunto. Por otro lado, se identifican las amenazas a los que éste se encuentra expuesto y las vulnerabilidades que conllevan.

Para la realización experimental se siguieron métodos cualitativos y cuantitativos. En el caso de la elaboración de la lista de especies vegetales, se identificaron con ayuda de un profesionista taxónomo y se recolectaron algunos ejemplares para la elaboración de un herbario del sitio; para la descripción de geoformas se siguió la identificación teórica y práctica con asesoramiento profesional, además de elaborar esquemas y mapas que facilitaran su identificación y ubicación. La descripción de las amenazas y vulnerabilidades se elaboró con asesoramiento profesional. Para estas tres etapas se utilizaron diferentes herramientas para registrar los objetos de estudio.

Los microambientes, por su parte, se caracterizaron a partir del análisis de datos de parámetros cuantificables dentro de las geoformas del pedregal, como lo fueron la temperatura, la humedad y la luminosidad, con sensores HOBO's ®, en un periodo de una semana, además de analizar las características de diversidad biológica de cada sitio en los que se colocaron los sensores.

Este estudio busca resaltar su importancia como geopatrimonio en la red de geosenderos universitarios (ReGeU) en el campus de Ciudad Universitaria, así como visualizar su estado de perturbación y la prioridad de mitigarla. Asimismo, se le asigna un nombre propio con el fin de apropiarlo a la identidad universitaria, vinculándolo así a las labores

de conservación y mitigación de riesgos no solo del personal institucional, si no de todas las personas que interactúan con este pedregal.

Palabras clave: Xitle, geopatrimonio, geosendero, biodiversidad, geodiversidad.

Abstract

The present work develops a proposal for the restoration of the remaining "pedregal"number 178 of the Xitle volcano lava flow, located within the Ciudad Universitaria, at UNAM, based on the description of its geo-biodiversity, that is, the native flora and fauna and exotic species that live there, in addition to the geological structures of the basaltic lavas that it has. From this, the microenvironments that were formed in this portion of the lava flow and the ecosystem services they provide together are identified. On the other hand, the threats to which it is exposed and the vulnerabilities they entail are identified.

Qualitative and quantitative methods were followed for the experimental implementation. In the case of preparing the list of plant species, they were identified with the help of a professional taxonomist and some specimens were collected for the preparation of a site herbarium; for the description of geoforms, theoretical and professional identification was followed, in addition to developing diagrams and maps that facilitate their identification and location. The description of the threats and vulnerabilities was prepared with professional advice. For these three stages, a digital camera and different scales were used to record the study objects.

The microenvironments, for their part, were characterized from the analysis of data of quantifiable parameters within the geoforms of the remaining "pedregal", such as temperature, humidity and luminosity, with HOBO's ® sensors, in a period of one week, in addition to analyze the biological diversity characteristics of each site where the sensors were placed.

This study seeks to highlight its importance as geoheritage in the network of geotrails on the Ciudad Universitaria campus, as well as visualize its state of disturbance and the priority of mitigating it. Likewise, it is assigned a name in order to appropriate it to the university identity, thus linking it to the conservation and risk mitigation work

not only of the institutional staff, but of all the people who interact with this rocky area.

Keywords: Xitle, geoheritage, geopath, biodiversity, geodiversity.

Índice general

1. Introducción **1**

2. Marco teórico **3**
2.1. Geopatrimonio mexicano 3
2.2. Geopatrimonio de derrame del Xitle: lavas pahoehoe 4
2.2.1. Geoformas de las lavas *pahoehoe* 7
2.3. Geositios del volcán Xitle 13
2.4. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en la Ciudad Universitaria 15
2.4.1. Importancia de los pedregales remanentes 16
2.4.2. Programa de Adopción de Pedregales 18
2.4.3. Atlas de Riesgos de la REPSA y amenazas de los pedregales . . . 18
2.5. Geopedregal 20
2.5.1. Taller de Geopatrimonio de Ciudad Universitaria y la Red de Geosenderos (ReGeU). 21

3. Justificación **25**

4. Objetivos **26**
4.1. Objetivo general 26
4.2. Objetivos específicos 26

5. Metodología **27**
5.1. Descripción de la geo-biodiversidad 27
5.1.1. Listado de la diversidad vegetal 27
5.1.2. Listado de especies de fauna y hongos 27
5.1.3. Mapeo del sitio y descripción de las geoformas 28
5.2. Caracterización de los microclimas y los microambientes 29
5.3. Identificación de amenazas y vulnerabilidades 29
5.4. Identificar los servicios ecosistémicos del sitio 30
5.5. Identificación de líneas de acción 31

6. Resultados **33**
6.1. Descripción de la geo-biodiversidad 33
6.1.1. Listado de la diversidad vegetal 33
6.1.2. Listado de especies de fauna y hongos 41
6.1.3. Descripción de las geoformas 45
6.2. Caracterización de microambientes 65
6.3. Amenazas y vulnerabilidades identificadas en el pedregal "Yoltic" 70
6.4. Servicios ecosistémicos 78
6.5. Líneas de acción para la conservación y restauración. 78

7. Análisis **80**

8. Conclusiones **82**

9. Anexo **83**
9.1. Glosario 83
9.2. Contexto socio-ecológico del pedral remanente no.178 85
9.3. Especies animales 90

Capítulo 1

Introducción

El derrame de lava ocasionado por la actividad del volcán monogenético Xitle ocurrido hace 1670 ± 35 años al Sur de la Ciudad de México [25], abarcó un área de aproximadamente 70 km^2 [6]. En ésta, se formó un ecosistema de matorral xerófilo con la especie dominante *Pittocaulon praecox*, mejor conocida como palo loco. Este paisaje, conocido coloquialmente como "malpaís", el cual se ha visto amenazado por el rápido crecimiento urbano de la ciudad, ya que la roca basáltica del derrame se usa para la construcción de casas y edificios durante la continua expansión de la Ciudad de México y se extrajo de manera exhaustiva en décadas recientes, usando parte de estos materiales para el sellamiento del derrame al urbanizarse [20].

El ecosistema que se desarrolla sobre este derrame es conocido como Pedregal de San Ángel, ya que parte del mismo se encuentra en la zona urbana colindante con el mismo nombre y es considerado como una de las áreas protegidas de mayor riqueza florística y faunística de toda la cuenca de México. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) resguarda una superficie de 280 ha decretadas el año de 1987 a través de la creación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), lo cual fue una de las principales propuestas de conservación del pedregal [12] [30].

Dentro de la Universidad, varias propuestas han surgido para que los pedregales, que quedaron inmersos en la Ciudad Universitaria y que no forman parte de la REPSA, puedan ser protegidos como áreas verdes que conserven el geopatrimonio [10]. Entre las iniciativas esta la adopción de pedregales remanentes se creó la red de Geosenderos, que es un proyecto vinculado al primer geositio institucional restaurado llamado Geopedregal. Esta red pretende identificar todos los pedregales remanentes que se encuentran alrededor de los Institutos de las Ciencias de la Tierra para llevar a cabo un diagnóstico del estado en que se encuentra su geo-biodiversidad y de las amenazas que ponen en riesgo su persistencia, para hacer propuestas que permitan su restauración y protección.

Es el caso del Pedregal Remanente no. 178 (denominado "Yoltic", nombre de la lengua náhuatl, que significa ."el que vive"), numerado así en el Atlas de Riesgos de la

Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) [30], un sitio que cuenta con geo-biodiversidad del ecosistema del matorral xerófilo de *Senecio praecox* (Figura 1.1). La perturbación del sitio está asociada a la fragmentación del ecosistema original, al impacto del tránsito de personas por los caminos que conectan a los institutos, a diversas fuentes de contaminación (residuos de material para construcción, colillas de cigarro, empaques de alimentos, entre otras) y a la introducción de especies vegetales y animales ajenos al ecosistema original. Lo anterior indica otro problema que probablemente es el central, que es la baja percepción que tienen las personas de la importancia que tienen los ecosistemas nativos para nuestro bienestar.

En consecuencia, es importante generar líneas de acción para recuperar, conservar y proteger el Pedregal, las cuales se sustenten en la descripción de su geodiversidad y biodiversidad, de los servicios ecosistémicos que este pedregal brinda a la comunidad, pero sobre todo en las amenazas que ponen en riesgo a que el Pedregal desaparezca. Para todo ello es necesario visibilizar la situación ante la población.

Figura 1.1: Flor Oceloxóchitl (*Tigridia pavonia*) en el pedregal remanente no. 178

Capítulo 2

Marco teórico

La importancia de describir los elementos geológicos de un sitio (llámese rocas, fósiles o formas del relieve) se hace presente al momento de integrarlo a un plan de restauración y conservación, ya que es el territorio como tal el que alberga a la biodiversidad y a la herencia socio-cultural [10].

En el presente capítulo (así como en el Anexo presente al final de este trabajo) se realiza un breve repaso de la historia geológica y del contexto socio - ecológico relacionados con la conservación, restauración y descripción de la geo-biodiversidad del ecosistema remanente del Pedregal de San Ángel.

2.1. Geopatrimonio mexicano

En México, la iniciativa de contar con sitios destinados al geoturismo se ha planteado recientemente (última década). Para el año de 2016, los geoparques en proceso de creación en México eran la Huasteca Potosina, en San Luis Potosí; Yanhuitlán, en la Mixteca Alta, Oaxaca; Entre Cañones (que incluye el Cañón del Sumidero y el Volcán Tacaná) en Chiapas, El Oro-Tlalpujahua, en el Estado de México y Michoacán; Bosque de La Primavera, en Jalisco y la Comarca minera de Real del Monte, en Hidalgo [16].

Fue hasta el mes de mayo del año 2017 que la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) anunció la integración de ocho sitios geológicos de América Latina, Asia y Europa a la Red de Geoparques Mundiales de la UNESCO [27], entre ellos dos pertenecientes a México: Geoparque Mundial "Comarca Minera", en el estado de Hidalgo y Geoparque Mundial "Mixteca Alta" en el estado de Oaxaca [2].

2.2. Geopatrimonio de derrame del Xitle: lavas pahoehoe

El volcán Xitle que se localiza en las laderas del volcán Ajusco, en la Ciudad de México en una zona volcánicamente activa llamada el campo volcánico Sierra Chichinautzin (Figuras 2.1 y 2.2). Éste se trata de un conjunto de más de 200 edificios volcánicos de edad cuaternaria y que, en su mayoría, se componen de conos de escoria y lavas [24]). A su vez, este campo volcánico es parte central del cinturón volcánico transmexicano, que se ha definido como un complejo que cruza el país de este a oeste [10]. El volcán monogenético del Xitle se ha clasificado como un cono de escorias y dio pie, hace 1670 $\pm$ 35 años AP [25], a productos explosivos y efusivos que fueron nombrados como la "Formación Xitle" [9]. Según este autor, ésta cuenta con nueve miembros, que son: 1) los productos explosivos, como ceniza y tefra,2) el cono de escorias llamado Xicontle, 3 a 9)siete unidades de flujos de lava (miembros 3 a 9). Los derrames de lava se desplazaron hacia el N y hacia el NE, bajando por los valles que drenan el Ajusco hasta llegar a la cuenca lacustre, abarcando un área de 80 km^2 [24].

Los suelos que se forman sobre las lavas son muy superficiales ($<$4 cm) y se localizan sólo en depresiones morfológicas, permitiendo una superficie de roca casi continua. Estos suelos contienen menos del 20 % de partículas finas y bajas cantidades de nutrientes, pero alta materia orgánica, clasificándose como suelos nudilíticos de Leptosol hiperesquelético [26].

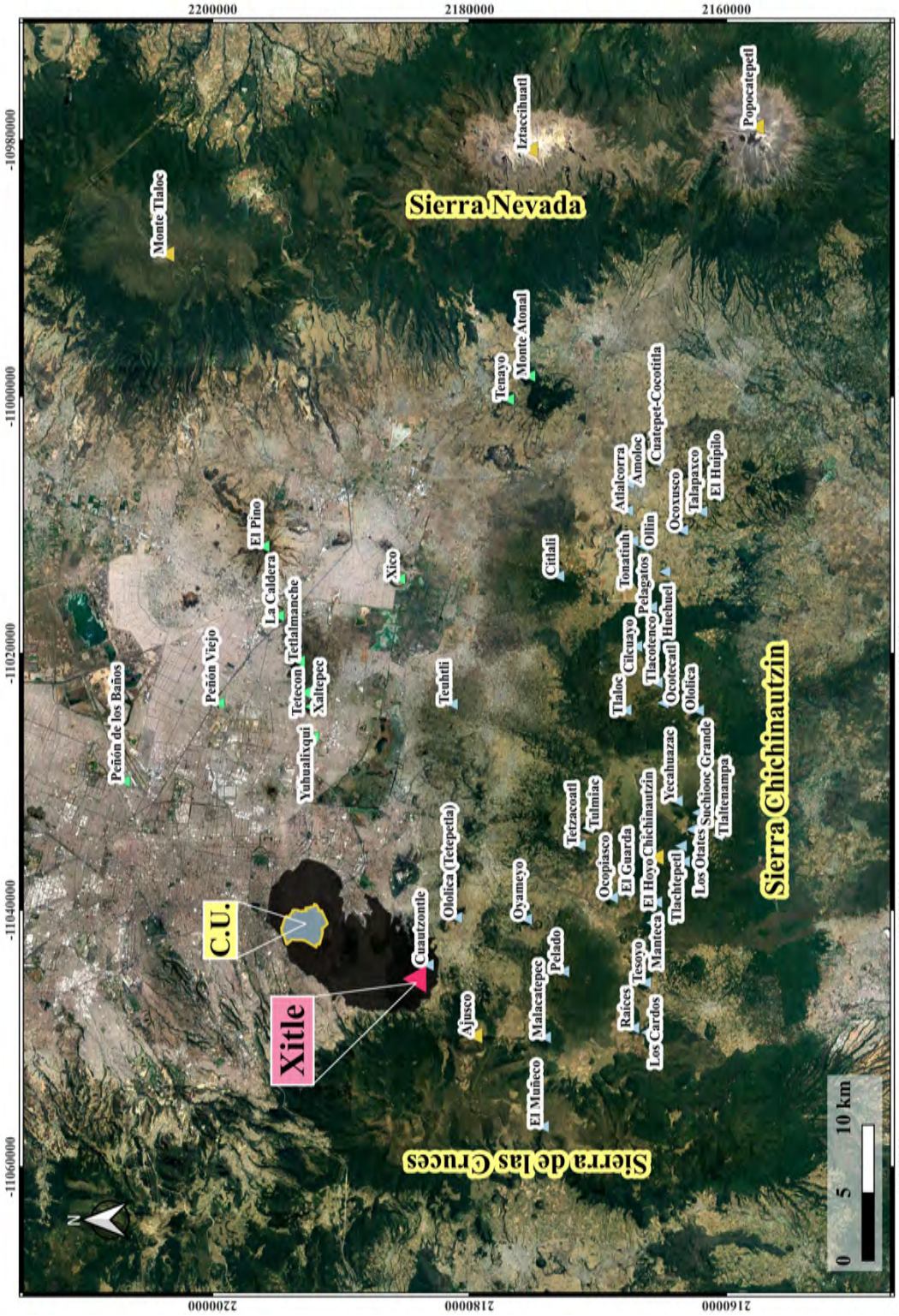


Figura 2.1: Localización del volcán Xitle (triángulo rosa) y su derrame (polígono negro) y de la Ciudad Universitaria de la UNAM (polígono gris) en el Sur de la Ciudad de México, a su vez localizados en la Faja Volcánica Transmexicana (triángulos azules).

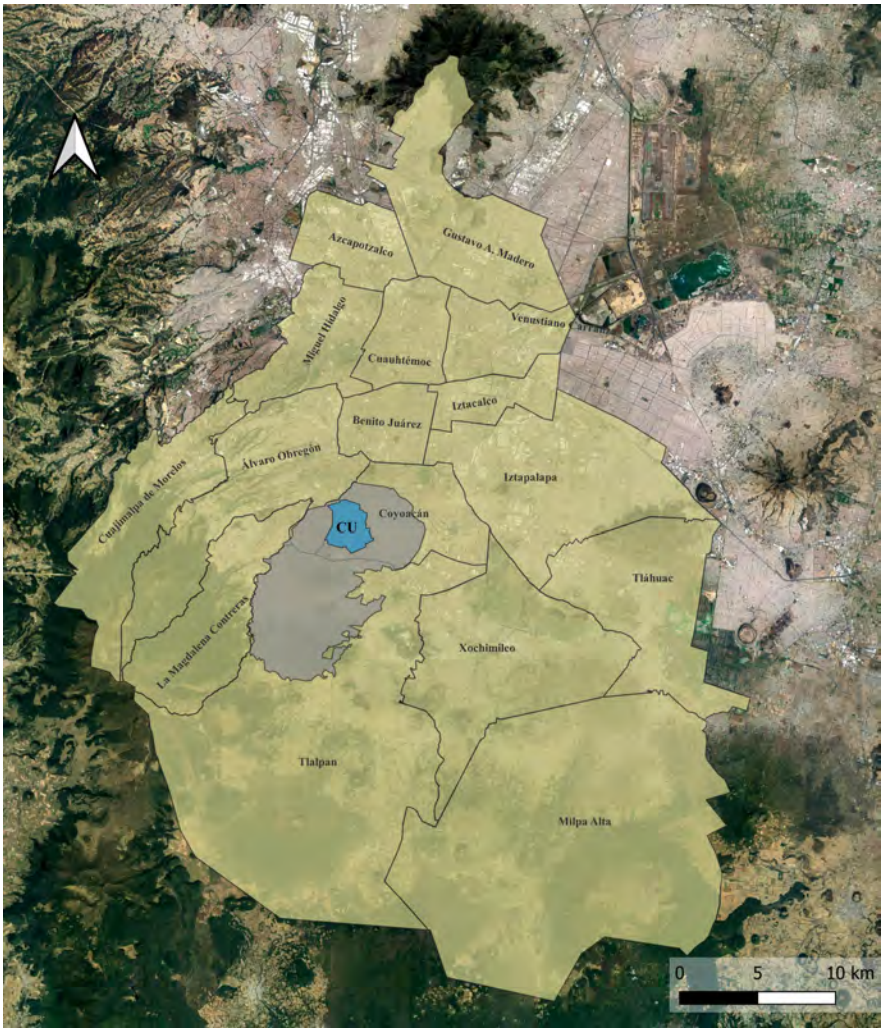


Figura 2.2: Localización actual del derrame del volcán Xitle y Ciudad Universitaria (CU) dentro de la Ciudad de México. Datos vectoriales proporcionados por INEGI y SEREPSA.

Las lavas del Xitle son principalmente de tipo "pahoehoe" [9]. Se caracterizan también por tener un movimiento lento y continuo al producirse, el cual forma extensos derrames de lava [19]. Este tipo de lavas es el más dominante en la superficie del planeta, encontrándose en mayor abundancia en la corteza oceánica que en la continental, debido a que son las que dan origen a nueva corteza terrestre [19].

Este tipo de lava tiene una composición química que va del 52 % al 58 % de sílice (SiO_2)[6], encontrándose en ellos cristales de olivino, las cuales continen inclusiones que presentan de manera disuelta compuestos volátiles como el CO_2, S y SO_2. Asimismo, algunos análisis realizados en las lavas, permitieron denominar a las lavas del volcán Xitle como basálticas y basáltico-andesíticas de afinidad calcialcalina [9].

2.2.1. Geoformas de las lavas *pahoehoe*

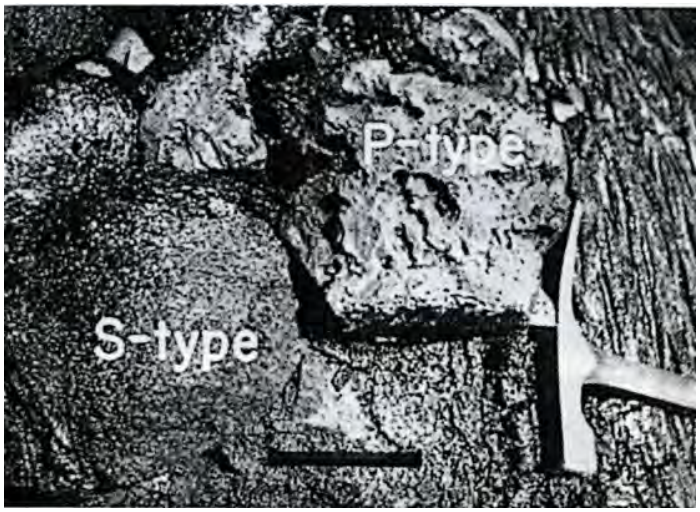
En cuanto a la morfología de los derrames de lava pahoehoe, es posible encontrar flujos en forma de lóbulos y otros en forma de hojas (denominadas "sheets flows" en inglés). Su formación se relaciona a que el proceso de inflación de la lava puede convertir lóbulos delgados en capas gruesas en cuestión de semanas, es decir, se genera un levantamiento de la superficie de la masa de lava provocado por la inyección de más material líquido en la corteza (aún fundida) del flujo [19]. De igual forma, existen los flujos con montículos ("hummocky flows" en inglés), los cuales son discontinuos, pues el movimiento de la lava que los forma es lento; asimismo, los derrames de tipo pahoehoe pueden generar tubos de lava a partir de depresiones existentes en el terreno que son recubiertos por estos flujos de lava.

A su vez, es posible caracterizar a una lava pahoehoe mediante el análisis de la distribución de vesículas (que son aquellas cavidades formadas por la desgasificación de la lava y que pueden ser esféricas, alargadas, irregulares y de diversos tamaños), la cristalinidad, las uniones entre flujos de lava y por su textura [19]. Las lavas pahoehoe suelen ser reconocidas por presentar una capa del grosor de tan sólo unos milímetros que suele contar con vesículas alargadas, una corteza de 3 a 5 mm que cuenta con fragmentos minerales recién cristalizados y con vesículas esféricas, además de tener una morfología cordada ocasionada por la deformación de la lava superficial que empieza a solidificar mientras la que se encuentra a mayor profundidad continúa en movimiento [19].

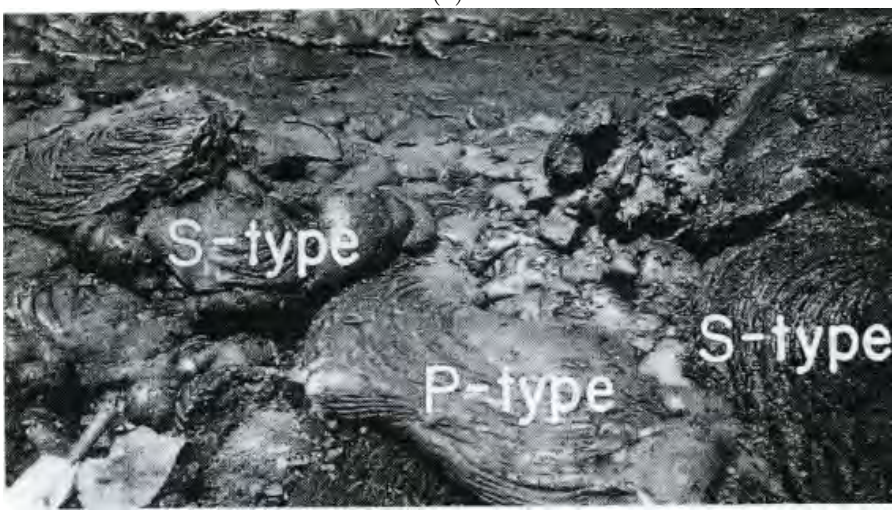
Las estructuras denominadas "lóbulos", son pequeños paquetes de lava que, a su vez, pueden ser clasificados en varios tipos en base a su vesicularidad y a sus texturas cristalinas. Estas categorías, definidas por *Wilmoth y Walker*, (*1993*), [28] son las siguientes:

- **Tipo "S".** Se denominan así debido a que tienen una textura esponjosa (spongy, en inglés) y cuentan con vesículas esféricas. Estas vesículas se concentran más en el interior. Son flujos no newtonianos, pues cuentan con 50 % de burbujas.
- **Tipo "P".** Son aquellos lóbulos que contienen vesículas en forma de conducto o tubo (pipe, en inglés), pero son más densos en su interior que en su exterior.

Otras morfologías que pueden generar las lavas pahoehoe, sobre todo las que es posible encontrar en el área de Ciudad Universitaria, son los derrames compactos, masivos y vesiculares, así como fragmentos cordados y oquedades. También se presentan chimeneas y tubos de lava, túmulos (que son lavas en forma de domo), lavas plateaux (superficie que suelen ser casi planas), hondonadas o depresiones de colapso que están asociadas a crestas y cavernas por levantamiento [17] (Figs. 2.4, 2.5 y 2.5).



(a)



(b)

Figura 2.3: Fotografías de lóbulos tipo P y S localizadas en el derrame del volcán Kilauea, Hawaii (*Wilmoth y Walker, 1993*) [28].

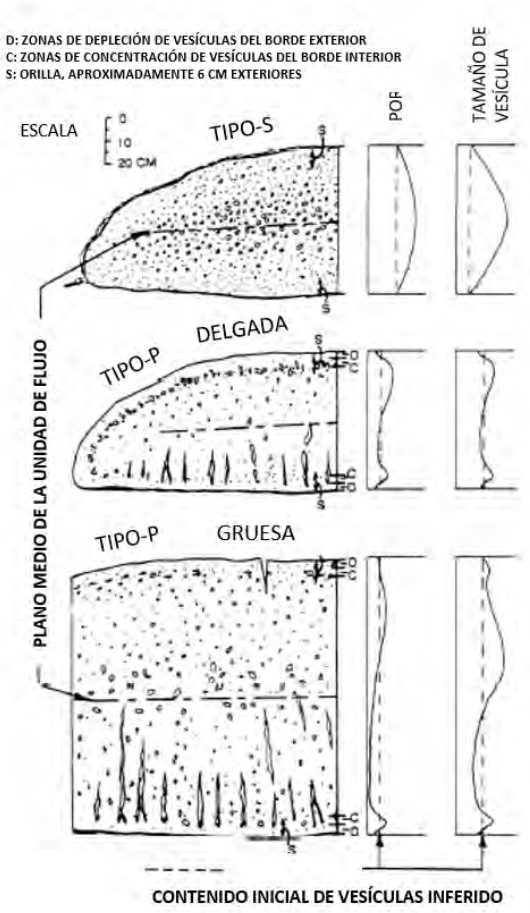


Figura 2.4: Esquema de las secciones transversales de los tipos de lóbulos (S y P), donde es posible visualizar las diferentes formas y zonas de acumulación o agotamiento de vesículas. Otra de las características de los lóbulos es que sus dimensiones abarcan los 20 a 50 cm de grosor, 20 a 300 cm de ancho y 0.5 a 5 m de largo. Estas dimensiones son definidas por la rigidez de la lava con presencia de vesículas. Los lóbulos, a su vez, pueden fusionarse lateralmente, formando flujos en forma de hojas, con un ancho de decenas a kilómetros. De igual manera, la inflación de un lóbulo puede durar de días hasta años, y son estas consideraciones las que ayudan a determinar su tiempo de emplazamiento [19].

Figura 2.5: Túmulo formado en 1995 en el campo Puu Oo en Hawai (imagen tomada de *Self et al., 1998*) [19].

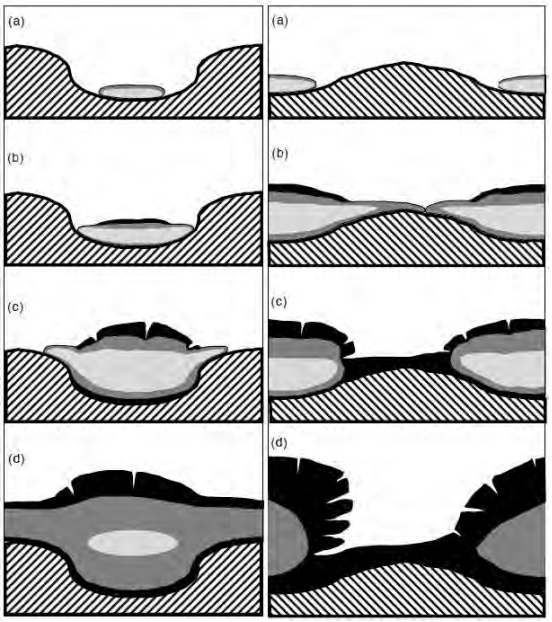


Figura 2.6: Ilustraciones que muestran en sección transversal un túmulo en formación. La simbología es ashurada para la forma original del terreno; color gris claro para la lava líquida; el gris obscuro, para la corteza visco-elástica; el negro, para la corteza frágil (sólida): a) lóbulos pequeños de pahoehoe se confinan en las áreas con depresiones. b, c) Conforme avanzan los flujos, también se inflan y extienden lateralmente, llenando las depresiones; debido a que la corteza más gruesa se encuentra en la parte más antigua del flujo, la inflación más alta se produce en lo que originalmente era el terreno más bajo. (d) Dependiendo de la tasa de inflación en relación con la tasa de crecimiento de la corteza, se forma una lámina continua o un pozo de inflación sobre los puntos máximos anteriores (imagen tomada de *Self et al., 1998*) [19].

Asimismo, *Castillo et al.* [5] caracterizan a estas geoformas a partir de su relación con los organismos que se albergan y desarrollan en éstas, por lo que es posible identificar los siguientes microambientes:

1. **P**lanos. Corresponde a la roca expuesta, es decir, a las lavas plateaux. Presentan escasa acumulación de suelo y hojarasca. La incidencia solar y la evaporación son altas, y en ellos suelen abundar hierbas y arbustos.
2. **O**quedades. Son cavidades (correspondientes a chimeneas o túneles de lava) con diferente forma, tamaño y profundidad, donde se acumula hojarasca y suelo; la penetración de radiación solar es baja y la humedad es relativamente alta. En la temporada de lluvias se puede acumular agua.
3. **P**romontorios. Son los sitios correspondientes a túmulos, que son estructuras elevadas con roca expuesta, fragmentada o en planchas. Presentan pequeños intersticios donde suele acumularse suelo; la incidencia de radiación solar y la evaporación son altas. En ellos crecen hierbas y plantas de mayor talla.
4. **C**uevas. Son micrositios de tamaño y profundidad variable, pero mayores a las oquedades. La acumulación de suelo y hojarasca es escaza, tiene poca radiación solar y la humedad es alta.

(a)

(b)

(c)

Figura 2.7: a. Flujo de lavas cordadas cerca del cono del volcán Xitle. b. Interior de un túnel de lava cercano al cono del volcán Xitle. c. Chimenea de lava cercana al cono del volcán Xitle.

2.3. Geositios del volcán Xitle

Se han identificado nueve geositios del derrame del volcán Xitle, de los cuales, seis de ellos se encuentran localizados actualmente en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) en la UNAM y, entre ellos, cuatro se han identificado como prioritarios [15] [10]. Se ha propuesto considerar los geositios dentro de la reserva como geopatrimonio en su conjunto gracias a sus altos valores de representatividad, integridad, asociación con valores ambientales y arqueológicos, a las condiciones de observación que brinda, así como el potencial didáctico [10].

Estos geositios corresponden a las siguientes zonas (Fig. 2.8):

1. Lavas pahoehoe del Jardín Botánico de la UNAM.
2. Lavas y manantiales de la Cantera de los Pumas, UNAM.
3. Senda Ecológica, UNAM.
4. Espacio Escultórico, UNAM.
5. Cortes de lava de la entrada principal de CU y paleosuelo en el CEPE, UNAM.
6. Paleosuelo del Campo de béisbol, UNAM.
7. Pirámide de Cuicuilco y lavas almohadilladas en el Centro Comercial "Plaza Cuicuilco".
8. Bosque de Tlalpan.
9. Volcán Xitle.

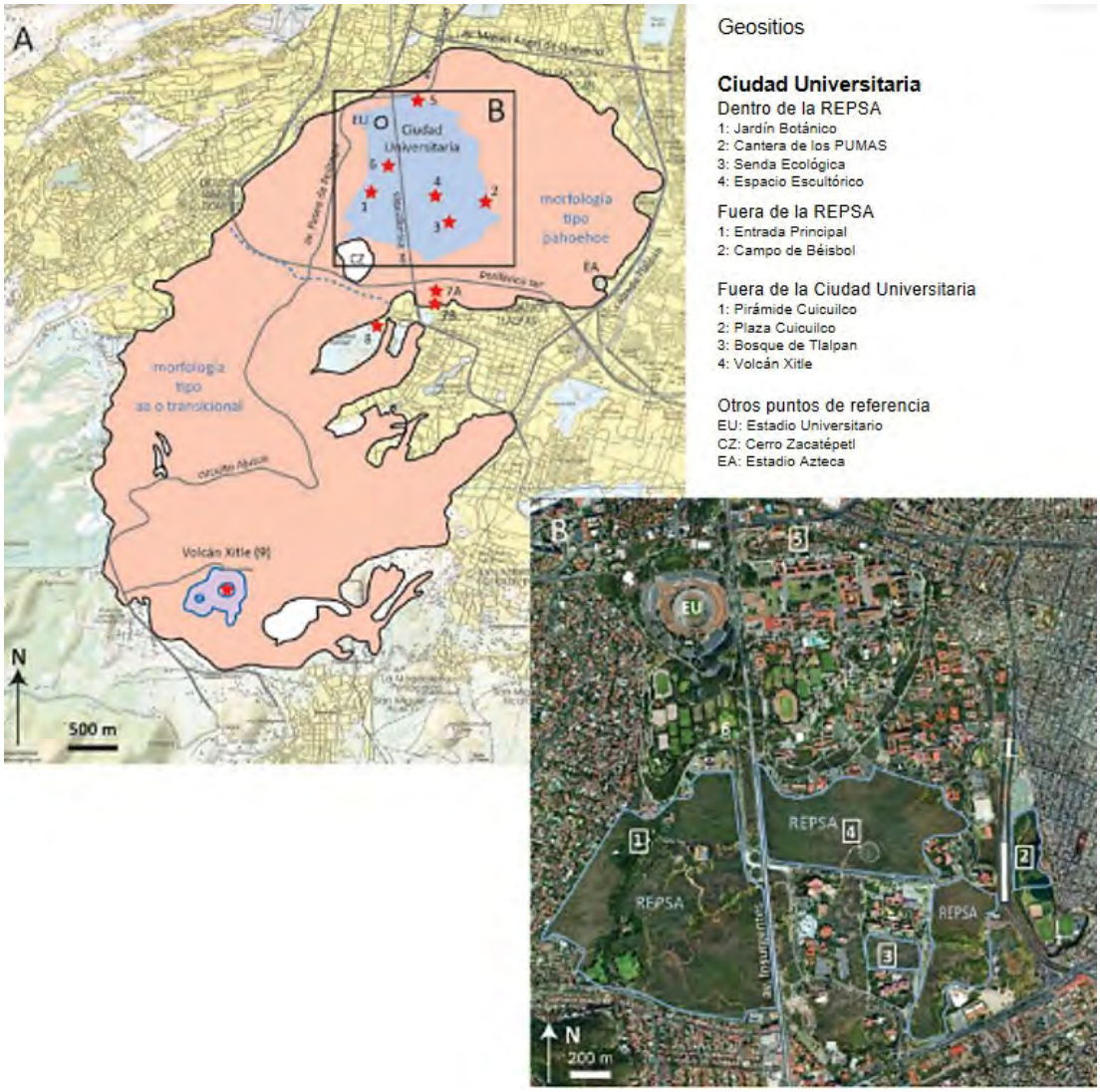


Figura 2.8: Ubicación de los nueve geositios identificados en el derrame del volcán Xitle, CDMX (Tomado de *Palacio y Guilbaud , 2015*) [15].

2.4. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en la Ciudad Universitaria

El campus de Ciudad Universitaria (CU) de la UNAM conserva un patrimonio geológico importante para la ciudad de México, que son los pedregales remanentes, pues estos conservan una parte de la superficie de las lavas que emitió el volcán Xitle [15]. En la reserva, también se protege un ecosistema único en el mundo, el matorral xerófilo de palo loco [18] que actúa como reservorio de agua y mitiga los riesgos de inundación y sísmicos [11]. La REPSA es una reserva natural de carácter urbano, creada en 1987, la cual representa uno de los últimos remanentes del ecosistema establecido sobre las lavas del volcán Xitle y que cuenta con una alta biodiversidad de la cuenca de México [30].

En su trabajo, Jerzy Rzedowski estableció que, así como en todos los ecosistemas, las condiciones climáticas varían por la altura sobre el nivel del mar a lo largo del territorio ocupado por el derrame de lava del Xitle, así como por la existencia de una temporada seca y una lluviosa, por lo que define diferentes hábitats de acuerdo con esto y a la variación del espesor del suelo en cada uno de ellos [18]. De esta forma, denomina al Pedregal de San Ángel como matorral xerófilo de, en ese entonces *Senecio praecox*, conocido como "palo loco", como especie vegetal dominante [18].

La vegetación de la REPSA tiene 377 especies, pertenecientes a 73 familias y 211 géneros, de acuerdo al inventario realizado por *Castillo-Argüero et al.* (*2007*) [5] entre las cuales las especies más representativas son las pertenecientes a las familias Asteraceae (105 especies), seguida por Poaceae (26 especies), Fabaceae (20 especies), Euphorbiaceae (14 especies), Pteridadaceae y Solanaceae (13 especies cada una), Convolvulaceae (12 especies) y Orchidaceae (11 especies). Sin embargo, la literatura menciona que el 55 % de estas especies han sido introducidas o han sido catalogadas como hierbas arvenses [12].

Asimismo, este ecosistema provee de distintos servicios ambientales a los habitantes del sur de la Ciudad de México y que, aun cuando se tienen identificados, no han sido del todo evaluados [12]. Estos se clasifican en servicios de:

1. **Provisión.** Productos no maderables, combustible, madera, recursos genéticos, especies ornamentales, especies medicinales y alimento.
2. **Regulación.** Cantidad y calidad del agua, polinización.
3. **Soporte.** Producción primaria, ciclaje de nutrientes, flujos de energía y cadenas tróficas.
4. **Culturales.** Investigación académica, recreación, belleza escénica y herencia cultural.

2.4.1. Importancia de los pedregales remanentes

El interés por la conservación de los pedregales, lo que a su vez denota su importancia, ha sido mayoritariamente gracias al estudio de los seres vivos que habitan en ellos, sobre todo aquellos acerca de la flora y fauna nativa del ecosistema, así como los nichos ecológicos que cada especie ha desarrollado en él [12]; o bien, las relaciones de organismos descomponedores, como los hongos, que permiten el intercambio de nutrientes en las porciones de suelo que hay sobre el sustrato rocoso. Sin embargo, también cobra relevancia el valor geomorfológico, pues representan la evolución del paisaje de la porción sur de la Cuenca de México [15].

Un ejemplo de lo que conlleva el rescate del ecosistema de los pedregales es el hecho de que algunas orquídeas que habitan la reserva (como la *Dichromanthus cinnabarinus, Aulosepalum pyramidale* o la *Habenaria clypeata*) han sido descritas como especies importantes y una alternativa para rescatar su germoplasma y a las poblaciones nativas es la propagación masiva las plantas, a partir de ejemplares colectados en campo, para después introducirlas de nuevo a su hábitat natural [14].

El área de pedregal remanente (Figura 2.9) cobra vital importancia ante el panorama actual que enfrenta la urbe de la Ciudad de México, así como la del mundo, pues la demanda de áreas verdes de calidad es de 9 a 16 m^2 por habitante (de acuerdo a la ONU)[12], integrando en este hecho la demanda creciente del recurso hídrico. El Pedregal de San Ángel es un entorno natural en el que se acumula poco sustrato y, por lo tanto, cuenta con baja capacidad de retención de agua en el mismo, mas cobra importancia en cuanto a la infiltración de agua através de las rocas volcánicas; además recibe alta radiación solar y está expuesto al viento. Sin embargo, son las plantas que lo habitan, y que se lograron adaptar a estas condiciones, las que permiten la retención de suelo, por lo que es esencial considerarlas para realizar las labores correspondientes a un programa de reforestación del pedregal. Es evidente entonces la urgencia de restauración y conservación de las áreas del pedregal que corresponden a la Ciudad Universitaria de la UNAM [12].

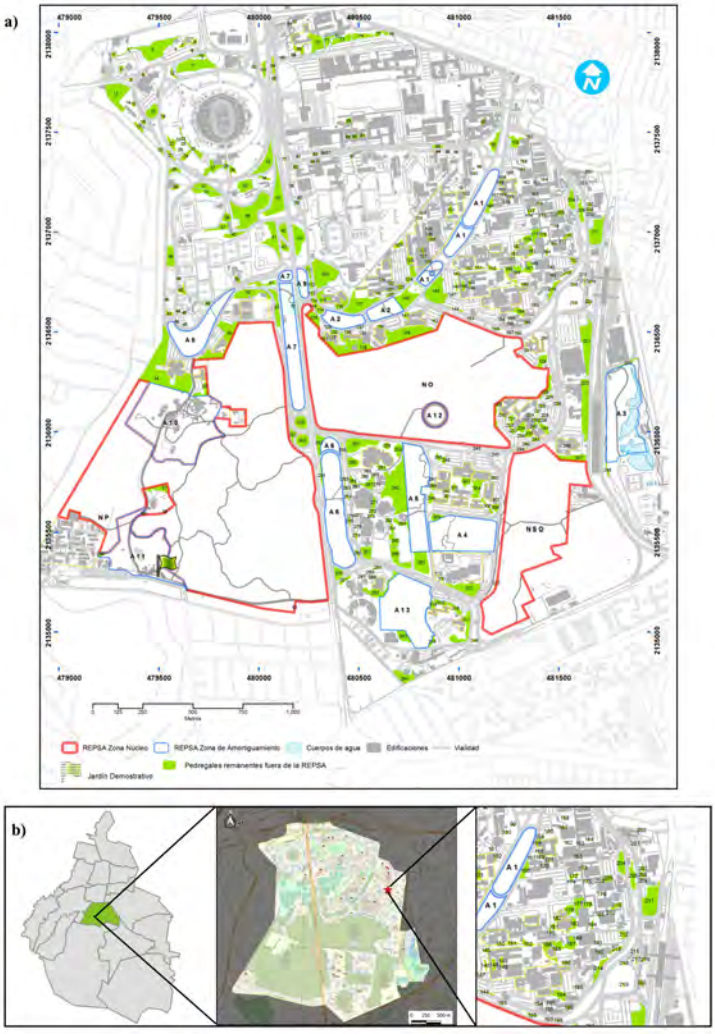


Figura 2.9: Localización de los pedregales remanentes en el campus de Ciudad Universitaria (tomado y modificado del mapa de Mitigación de Pedregales, elaborado por Pavel Jonathan Pérez Hernández en el *Programa de servicio social de la REPSA* [21]

2.4.2. Programa de Adopción de Pedregales

Una iniciativa de la Secretaría Ejecutiva de la REPSA (SEREPSA) fue crear el Programa de Adopción de Pedregales en Ciudad Universitaria, esto en el año 2007 [20], el cual busca promover que las dependencias y entidades universitarias adopten los pedregales que tienen en sus instalaciones o adyacentes. La intención es que se adhieran al programa de forma voluntaria pero permanente en cuanto a las acciones que deben asumir a favor de los siguientes objetivos:

- Identificar y valorar el entorno natural (aprender a mirar el Pedregal y no negar este paisaje como parte de nuestro campus).
- Comprometerse a las acciones de vigilancia y protección en un programa permanente.
- Optimizar los recursos institucionales en coordinación y colaboración con las entidades y dependencias responsables de la vigilancia, de los servicios generales y del mantenimiento de Ciudad Universitaria.
- Mantener una evaluación sistemática de las acciones comprometidas y, pasar de simples reportes de entrega, a resultados autoevaluables sobre el monitoreo del programa en comunicación regular con la Secretaría Ejecutiva de la REPSA.
- Incorporar, con plena libertad y acorde con la naturaleza de la entidad y dependencia, ideas que mejoren la vigilancia y protección de la REPSA.

De igual forma, el Programa contempla dos grandes rubros:

1. Adopción de la zona de amortiguamiento vecina.
2. Vigilancia del perímetro que delimita la zona núcleo de la Reserva con la dependencia.

2.4.3. Atlas de Riesgos de la REPSA y amenazas de los pedregales

Este documento fue emitido con el fin de ser un instrumento para la visualización de los peligros ambientales y de las zonas vulnerables "in situ" del ecosistema del Pedregal de Ciudad Universitaria. Cuenta con información metódica en la temática de riesgos ambientales, que permite aplicar, posteriormente, acciones efectivas en la cultura de la prevención y la educación ambiental y, por lo tanto, hacer partícipe a la comunidad universitaria y a la sociedad en programas colectivos para preservar a vida silvestre y al paisaje del Pedregal [30].

Las principales amenazas ambientales detectadas para este espacio dentro de la Ciudad Universitaria son aquellas causadas por acciones humanas, difíciles de cuantificar y

clasificar, ya que cada una implica diversificaciones respecto a su origen y suelen sumarse a otras amenazas; por ejemplo, los incendios y la basura mal dispuesta que funciona como combustible para el fuego [30]. Este documento enlista las siguientes amenazas como grupos que pueden subdividirse y estudiarse de acuerdo al interés de los planificadores de los programas de restauración y de conservación de los pedregales:

1. **Reducción del Pedregal por el crecimiento urbano.** Se refiere a la extracción de roca y la construcción de edificios, vialidad, estacionamientos y jardines, así como de la infraestructura asociada que se requiere.

2. **Vulnerabilidad de los límites.** Dentro de la Ciudad Universitaria, se marcan dos zonas delimitadas generalizadas: la destinada a las construcciones y la destinada a la REPSA. Sus bordes presentan una heterogeneidad en los tipos de rejas y bardas.

3. **Presencia sistemática de personas.** Los caminos y los accesos, formales e informales, están ligados a la acumulación de basura, los incendios, la extracción de flora y fauna, a la presencia de indigentes (quienes suelen encontrar refugio en el pedregal y depositan en él desechos de su vida cotidiana) y vandalismo (robo e intercambio de objetos relacionados al vandalismo). Este último componente afecta directamente a las personas que transitan por la universidad, lo que lleva al abandono del interés en la conservación en estos sitios. Acumulación de residuos. Engloba a la producción de basura (residuos de productos de uso diario, así como lo que se consume) y a los residuos de obras y construcciones.

4. **Riesgos para la flora y la fauna nativas.** Se refiere a las amenazas que llevan a la pérdida de la biodiversidad en un ecosistema, como lo es la extracción de la flora y fauna nativas, y la introducción de flora y fauna exótica al ecosistema; como lo es el pasto *Cenchrus clandestinus* y la hierba *Leonotis nepetifolia*, así como la fauna feral.

5. **Contaminación por iluminación y sonido.** Se centra en el hecho de que en la Ciudad Universitaria se cuenta con más de 2000 luminarias, 47 ubicadas dentro de la REPSA y 15 de 3 a 10 metros de su perímetro. La iluminación artificial favorece los accidentes y atropellamientos de fauna silvestre y modifica las conductas de las poblaciones animales. Asimismo, la generación de ruido causa en las especies nativas la modificación de su comportamiento y de su distribución espacial, sobre todo de artrópodos, anfibios, aves y mamíferos.

6. **Incendios - Instalaciones dentro de la Reserva.** Enfatiza que los incendios desplazan, dañan y eliminan a individuos de diversas especies dejando espacios abiertos para que otros seres vivos los colonicen, cambian las condiciones biofísicas del ambiente modificando la disponibilidad de recursos, alterando la dinámica de la comunidad y por lo tanto la sucesión del ecosistema. A partir del año 2011,

Bomberos UNAM y la SEREPSA cuentan con una base de datos que, para el año 2016, contaba con 250 registros.

De igual forma existen esculturas, edificios o construcciones e infraestructura (ductos de agua, cableado y líneas eléctricas) dentro de los polígonos de la Reserva o circundados totalmente por ella; dichas instalaciones son visitadas frecuentemente por el público en general o requieren de mantenimiento, por lo que requieren un manejo adecuado para disminuir el impacto que la población que los visita pueda provocar (*Zambrano et al., 2016*) [30].

2.5. Geopedregal

El geositio institucional Geopedregal fue creado en el año 2012 sobre un afloramiento de lava de 3000 m^2 que está ubicado entre los institutos de Geología y Geografía de CU. Este lugar fue originalmente utilizado como vertedero de desechos académicos (muestras de suelo y sedimento, rocas, fósiles) y también de residuos sólidos urbanos y cascajo), sin embargo fue limpiado, restaurado y convertido en un sitio que alberga un remanente de matorral xerófilo de palo loco, siendo el primer geositio restaurado dentro del campus.

Además, este sitio se caracteriza por albergar todos los microambientes descritos para el ecosistema de matorral xerófilo de la REPSA. Esto permite llevar a cabo una restauración ecológica en la que pueden habitar una especies adaptadas a estos sitios.

Para lograr su restauración, se realizó un levantamiento del estado de degradación del sitio, es decir, se ubicaron las zonas que tenían un alto grado de disturbio de diverso origen, como la acumulación de cascajo y basura. Por otro lado, se identificaron a las especies nativas e invasoras y sus proporciones, así como otros factores ambientales del entorno. Fue a lo largo de un año que, a través de más de 40 jornadas de trabajo con personal especializado de la Coordinación de Áreas Verdes y Forestación de la Dirección General de Obras y Conservación de la UNAM, de voluntarios y estudiantes involucrados en el proyecto, se logró limpiar de manera superficial casi la totalidad de los desechos de basura y parte de la vegetación que se encontraba en estado de perturbación [10].

En él se llevan a cabo diversos programas de investigación, trabajo de campo y educación científica, así como la realización de exposiciones fotográficas, visitas guiadas y festividades locales, lo que logra atraer al lugar a personas de los centros de investigación cercanos y ayudan a asegurar su permanencia [10].

Figura 2.10: Logo del geositio Geopedregal, dos especies abundantes en el sitio como la cactácea *Opuntia* y escapos del agavillo *Manfreda brachystachia* vistos desde el primer promontorio o túmulo que se restauró.).

2.5.1. Taller de Geopatrimonio de Ciudad Universitaria y la Red de Geosenderos (ReGeU).

La propuesta de la Red de Geosenderos (ReGeU) inició en el marco del Taller de investigación "Geopatrimonio en Ciudad Universitari" que se impartió en la Licenciatura de Ciencias de la Tierra en la Facultad de Ciencias en Ciudad Universitaria hasta el año 2023, a cargo de las doctoras Marie-Noëlle Guilbaud, Ma. del Pilar Ortega Larrocea y Silke Cram Heydrich. Actualmente se sigue impartiendo en la Licenciatura en Ciencias de la Tierra de la Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra de la UNAM. Este taller pretende formar estudiantes en temas relativos a la caracterización del geopatrimonio y la elaboración de propuestas de rescate o manejo de espacios que tienen potencial de ser restaurados. Los estudiantes identifican pedregales que exponen la geo-biodiversidad y desarrollan propuestas innovadoras para sensibilizar a la comunidad universitaria y a la población sobre la importancia de estos sitios dado a sus funciones y a los servicios ecosistémicos que brindan, con el objetivo de plantear una propuesta para preservar su existencia (Figura 2.11). De la misma forma, se propone asignarle un nombre a cada uno de los pedregales remanentes para generar un sentido de pertenencia de parte de la comunidad universitaria y de quien se hizo cargo de su descripción.

Actualmente la Red de Geosenderos establecida en el Taller, está conformada por diez pedregales descritos durante durante los años 2022 y 2023, los cuales rodean los tres institutos participantes en el área de Ciencias de la Tierra (Geología, Geofísica y Geografía), además del Geopedregal, cada uno con un estado de conservación dife-

rente, respecto a áreas de jardinería y de pedregal, así como el espacio colindante que corresponde a estacionamientos, caminos peatonales y a los institutos (Figura 2.11). Cada pedregal descrito y en proceso de descripción siguió la misma metodología que el presente trabajo, por lo cual se cuenta con información acerca de la bio-geodiversidad relevante para su futuro estudio.

Los pedregales en proceso de descripción corresponden a los colindantes al Instituto de Astronomía, al Servicio Sismológico Nacional, a la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra y a la Coordinación de la Investigación Científica (también Unidad de Enlace del Campus Juriquilla), la mayoría se ubican al Oeste y Suroeste del pedregal no.178. Todos posiblemente fueron parte de un mismo derrame, pero que ha sido fragmentado por los accesos a los diferentes institutos (figura 2.11).

El pedregal que se describe en este trabajo, está clasificado como el pedregal remanente no. 178, según el Mapa de Mitigación de Riesgos del Atlas de Riesgos de la REPSA (Fig. 2.9), el cual se encuentra en las coordenadas 2193440.9 N, -11040314.5 W (WGS84 - UTM14N). Colinda al Este con el Instituto de Geofísica, al Norte con el Servicio Sismológico Nacional, al Noroeste con la Coordinación de la Investigación Científica y al Suroeste con la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra (Fig. 2.12). El manejo como area verde jardinada que se le ha dado a este pedregal, que alguna vez tuvo matorral xerófilo nativo, hace que actualmente tenga especies ornamentales introducidas por el personal a cargo de las áreas verdes de los institutos y la Coordinación de Áreas Verdes de la UNAM (CAVyF) y con diversas especies vegetales exóticas que son muy communes en todo el campus de Ciudad Universitaria, principalmente pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), higuerilla (*Ricinus communis*) y oreja de león (*Leonotis nepetifolia*). El área total del pedregal, obtenida utilizando las herramientas del software Google Earth® es de 2807 m^2, que contempla un área de 1012m^2 correspondiente a la roca volcánica expuesta y 1795 m^2 de jardinería.

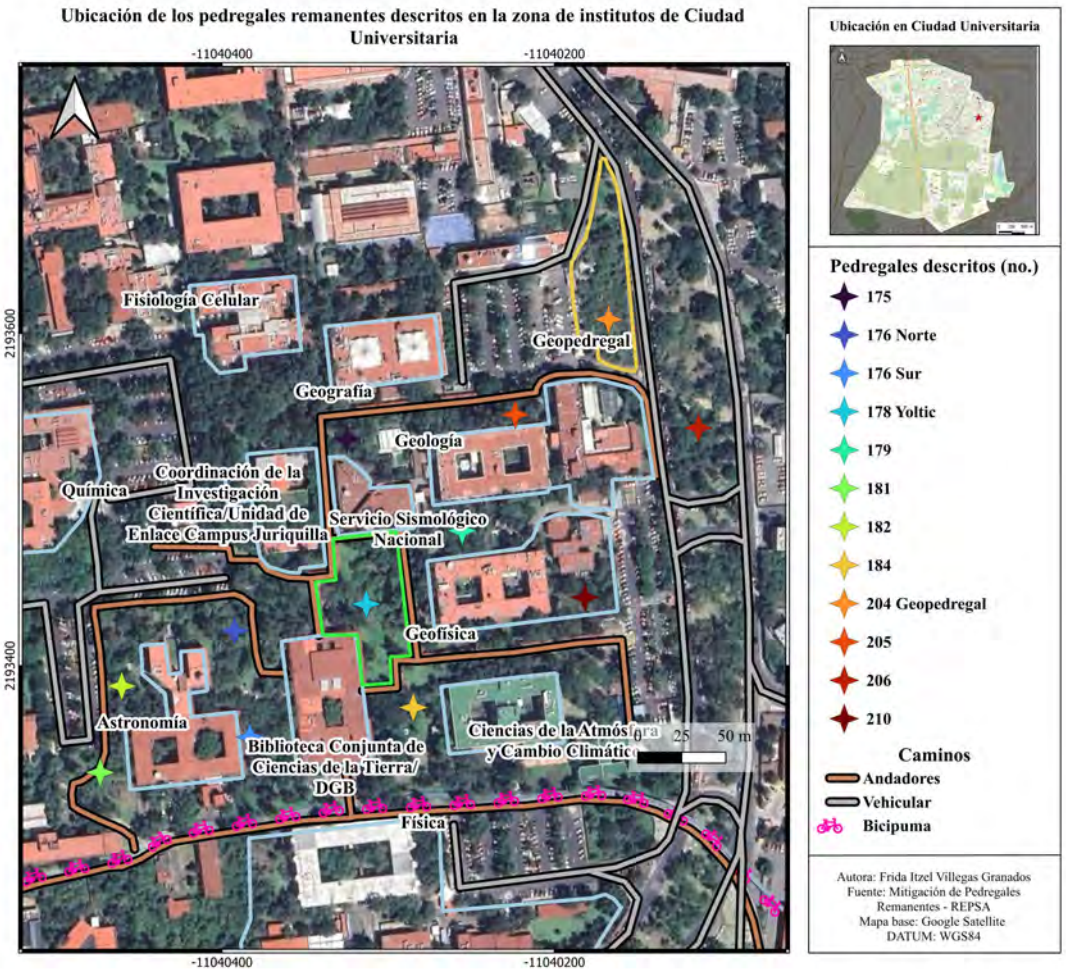


Figura 2.11: Ubicación de los pedregales remanentes que componen la red de Geosenderos propuesta en el Taller " Geoatrimonio" y localización de "Yoltic" (pedregal 178) en la Ciudad Universitaria de la UNAM (información tomada de *Murillo et al., 2023* [13])

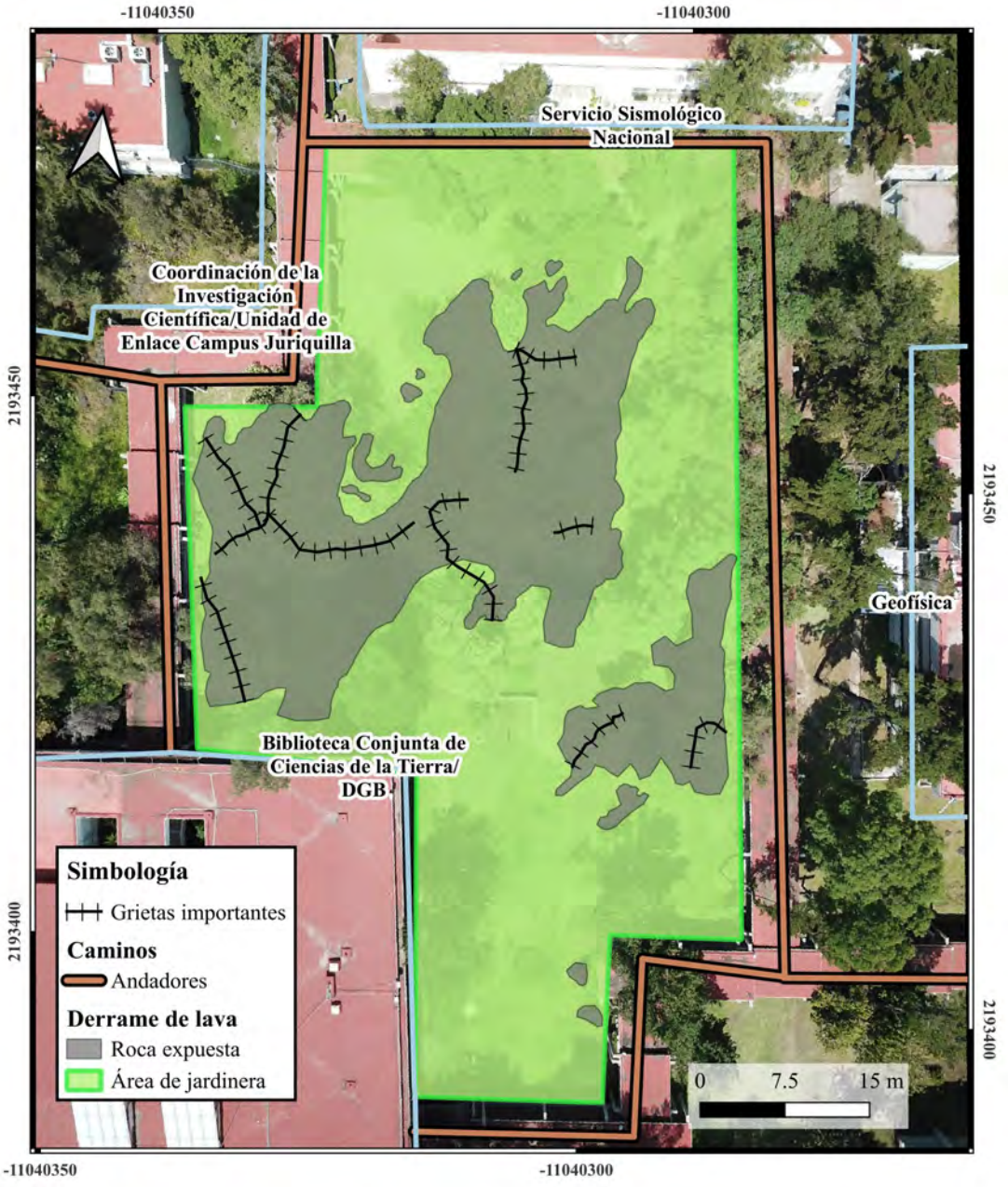


Figura 2.12: Localización del pedregal remanente no.178 (Yoltic), descrito en el Taller durante el año 2023, respecto a su colindancia con los institutos.

Capítulo 3

Justificación

Los pedregales remanentes tienen mucho valor como áreas de conectividad con la REPSA, además de los servicios ecosistémicos que ofrecen. Lamentablemente están expuestos a múltiples amenazas que los pone en riesgo de desaparecer como ecosistemas nativos remanentes para convertirse en áreas verdes ajardinadas con especios exóticas o inclusive ser urbanizados y con ello perder la conectividad y amortiguamiento que brindan a la reserva ecológica y los servicios ambientales que brindan a todos los universitarios.

El pedregal no. 178 (Yoltic) se encuentra actualmente en un estado vulnerable a amenazas de origen antropogénico debido a que esta rodeado de edificios, andadores y áreas verdes ajardinadas, Además es una zona por la que diariamente pasan muchas personas y no es valordo como espacio natural, al contrario, se identifica como un sitio para disponer residuos y se ha ido deteriorando paulatinamente.

Es así que el propósito de este trabajo es generar una propuesta de restauración y mantenimiento del sitio, a partir de realizar la descripción de la bio-geodiversidad de este pedregal para brindar elementos de su importancia en terminos de las funciones que cumple y los servicios ecosistémicos que ofrece, además de caracterizar los factores de amenaza a las que está expuesto e identificar las causas para proponer medidas de protección, haciendo énfasis en la importancia que tiene este espacio para el desarrollo de actividades sin generar un impacto negativo.

Capítulo 4

Objetivos

4.1. Objetivo general

Proponer líneas de acción para lograr la recuperación y protección del Pedregal Remanente no. 178 (Yoltic) del campus de Ciudad Universitaria de la UNAM, con base en la descripción de la geo-biodiversidad, el estado de perturbación y las amenazas qur ponen en riesgo la subssitencia del Pedregal

4.2. Objetivos específicos

1. Descripción de la diversidad geológica (geoformas) y biológica del pedregal.
2. Caracterizar los microambientes y su microclima.
3. Identificar las amenazas y su origen.
4. Identificar los servicios ecosistémicos del sitio y sus atributos.
5. Generar una propuesta de manejo del sitio.

Capítulo 5

Metodología

5.1. Descripción de la geo-biodiversidad

El método para lograr la descripción de la diversidad tanto de especies animales como vegetales, además de la identificación de las distintas geoformas dentro del sitio, consistió en la realización de las actividades que se presentan a continuación. Los listados son únicamente la identificación de ejemplares del sitio, mas no el cálculo de la abundancia de especies dentro de él. Los metadatos de las fotografías se utilizaron para georreferenciar a los objetos de estudio en los mapas.

5.1.1. Listado de la diversidad vegetal

Para llevar a cabo la caracterización de la diversidad vegetal presente en el pedregal no. 178, se realizó un levantamiento de vegetación en los tres estratos (arbóreo, arbustivo y herbáceo). Se realizó un mapa para la localización del estrato arbóreo con apoyo del software QGis®. Dada la estacionalidad de las plantas nativas, este listado fue realizado por un periodo de un año con visitas periódicas en donde se recolectaron ejemplares de herbario de las especies más representativas para la posterior clasificación taxonómica por un especialista, dejando un ejemplar para armar la colección del Taller "Geopatrimonio". A la par, se hizo un registro fotográfico con cámaras de celular y profesional y conteo de individuos.

5.1.2. Listado de especies de fauna y hongos

Durante la visitación del pedregal, se fotografiaron todas las especies animales avistadas interactúando con las plantas y habitando las rocas del pedregal, tales como insectos, aves, reptiles y evidencia de presencia de mamíferos. Esto con el fin de identificar a las especies polinizadoras, las especies nativas y ferales. Se fotografiaron algunos hongos que emergieron en algunos sitios del pedregal durante los periodos de lluvias que acontecieron en el año. Además, se realizó un monitoreo de especies de insectos polinizadores

el día 6 de diciembre del 2023, a la vez en que se realizó un conteo de especies de avifauna, con apoyo de la bióloga Jéssica Hernández Jerónimo, especialista en lepidópteros y experiencia en monitoreo de aves.

5.1.3. Mapeo del sitio y descripción de las geoformas

Utilizando un mapa base de Google Earth® y la información expuesta en el mapa de Mitigación de Pedregales Remanentes, contenido en el Atlas de Riesgo del Pedregal de San Ángel [30], se realizó con el software QGis®, un mapa de localización del pedregal no. 178 "Yoltic" dentro de la Ciudad de México y del campus de Ciudad Universitaria, en el que se señala el área del polígono, los caminos peatonales y la delimitación de los institutos aledaños.

Se realizó un levantamiento de las geoformas identificando estructuras de acuerdo con Walker, 1991 y a las identificadas en Ciudad Universitaria por *Palacio, 2015* [15]. Se realizaron esquemas y un mapa de localización de las geoformas en el sitio, sin embargo, sólo se describieron aquellas que eran más visibles a la hora de realizar el estudio y que estaban menos cubiertas de vegetación. Se realizó la esquematización y descripción de los niveles de vesicularidad de los flujos de lava, orientación y tamaño. La doctora Oryaëlle Chevrel realizó un vuelo de dron (Figura 5.1), con asesoramiento de la Dra. Marie-Noëlle Guilbaud para obtener fotografías que registraran el estado actual de las geoformas con mejor resolución que la fotografía satelital no actualizada disponible por Google Earth®.

Figura 5.1: Dron DJI Mavic Pro® utilizado para realizar el vuelo.

5.2. Caracterización de los microclimas y los microambientes

Los registradores digitales se colocaron en los distintos espacios en los que había depresiones o superficies planas en las geoformas para caracterizar los distintos microambientes con los que cuenta el pedregal, que son grietas, planos, paredes y promontorios [5], esto para documentar la heterogeneidad espacial y temporal de las geoformas lo que permite recabar información para un manejo adecuado de las especies. A una resolución de <10 m^2 es posible identificar microambientes determinados por la forma, la extensión y el grosor de lava, así como por la profundidad del suelo, la incidencia solar, la humedad relativa y la pendiente. Para lograr esta caracterización se utilizaron 8 sensores digitales marca HOBO® (Fig. 5.2), 4 de los cuales registraron temperatura y humedad relativa, 3 sensores registraron temperatura y luminosidad y 1 sensor registró temperatura. Estos sensores se colocaron en lugares contrastantes durante un periodo de 7 días (del 14 al 21 de abril del 2023) recabando datos cada hora a partir de las 14 horas del día de su colocación hasta las 09 horas del día de su retiro del sitio.

Figura 5.2: Sensor de temperatura y luminosidad marca HOBO®

5.3. Identificación de amenazas y vulnerabilidades

Se realizaron visitas quincenales al pedregal por un periodo de siete meses para registrar el contexto social que se desarrolla en él y documentar de forma cualitativa (através de notas de campo y fotografías) el estado de perturbación en el que se encontraba, así como se registraron las diferentes actividades que las personas llevaban acabo al acudir al sitio. La identificación de las amenazas se realizó de acuerdo con el Atlas de Riesgo del Pedregal de San ángel [30], caracterizándose respecto a:

1. Límites de zonas aledañas.
2. Caminos (andadores que conectan a los institutos).
3. Presencia sistemática de personas y su actividad.
4. Acumulación de residuos, desechos, basura y su tipo.

5. Extracción de flora nativa.
6. Introducción de flora y fauna exótica.

5.4. Identificar los servicios ecosistémicos del sitio

Los servicios ecosistémicos son aquellos beneficios esenciales que las personas obtienen de los ecosistemas para su bienestar. De acuerdo a la MEA (*Millennium Ecosystem Assessment*)[3], se clasifican en los siguientes grupos:

1. **Aprovisionamiento.** Son los productos obtenidos de los ecosistemas, como alimentos, agua, bioquímicos, recursos genéticos.
2. **Regulación.** Se refiere a los beneficios obtenidos de la regulación de procesos en los ecosistemas. Un ejemplo son la regulación del clima, saneamiento del agua y la polinización.
3. **Soporte.** Se refiere a los servicios que son necesarios la producción de otros, refiriéndose a la formación de suelo, reciclaje de nutrientes o a la producción primaria de energía.
4. **Culturales.** Son aquellos servicios no materiales, como el espiritual, el religioso, el recreativo, el estético, el educativo o el de identidad.

Para identificar los servicios ecosistémicos del pedregal se utilizó el criterio de *Nava et al., 2009* [12], para ubicar los elementos caracterizados en los distintos tipos.

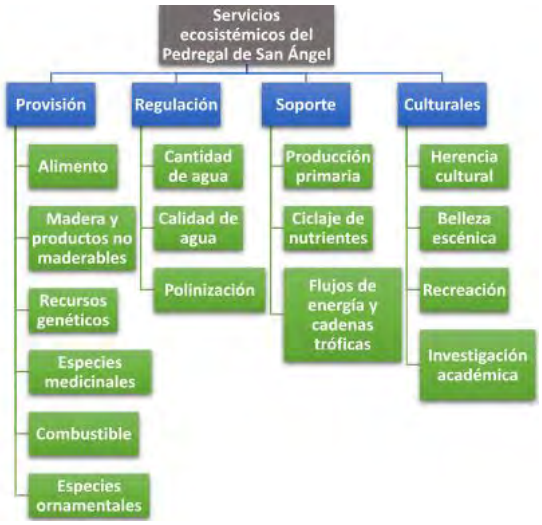


Figura 5.3: Esquema de los servicios ecosistémicos que brinda el ecosistema del Pedregal de San Ángel (tomado y modificado de *Nava, 2009*).

5.5. Identificación de líneas de acción

Con toda la información recopilada se elaboraron listados y mapas que sirvieron de base para realizar una propuesta de líneas de acción adecuadas al sitio, siguiendo las recomendaciones establecidas en el Manual de procedimientos del Programa de Adopción de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel [20]. En este manual se propone una guía de acciones e instrumentación que deberá de llevar a cabo cada entidad/dependencia interesada en la protección y conservación de los pedregales remanentes aledaños a sus instalaciones. Las acciones recomendadas y que se retoman para el Plan de Manejo del Yoltic se enlistadan a continuación:

1. **Eliminación de basura y residuos.** Consiste en organizar jornadas de limpieza de acuerdo al tipo de residuos que se depositen en el sitio, además de vigilar que no se vuelvan a depositar en un futuro.

2. **Prevención de incendios.** Se refiere a evitar la acumulación de residuos, sobre todo los fácilmente combustibles, durante la temporada seca.

3. **Jardinería, control de malezas y protección de la flora nativa.** Es una labor que necesita de una previa planeación con la CAVyF de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC) y con la unidad administrativa responsable del área que abarca el pedregal. Se debe de enfatizar el estudio acerca del manejo adecuado de la vegetación nativa y exótica.

4. **Mascotas, fauna feral y fauna nociva.** Sugiere tener un control sobre este tipo de fauna externa ya que ésta suele depredar diversos grupos de vertebrados, además de transmitir enfermedades que pueden llegar a reducir las poblaciones de la fauna nativa.

5. **Afectación por obras y construcciones.** Se menciona que, para impedir afectaciones en el espacio del pedregal es necesario conocer el Reglamento Interno de la REPSA, conocer el proyecto arquitectónico que se quiere realizar en el sitio, investigar si la DGOyC dio aviso a la empresa contratista de la existencia del Reglamento Interno de la REPSA y asegurarse de que la SEREPSA tenga aviso de la realización del proyecto antes de que éste comience, dar aviso a la misma de cualquier anomalía y realizar un seguimiento de la obra hasta su término.

6. **Salvamento de especies.** Durante el ingreso de personas a las áreas protegidas es posible que se afecte el ecosistema, por lo que es frecuente encontrar plántulas retiradas o arrancadas de su hábitat. Igualmente deben atenderse las recomendaciones específicas de qué hacer si encontramos animales, ya sea sanos o heridos, atrapados o fuera de la Reserva Ecológica.

Por otro lado, es escencial integrar dichas líneas de acción de forma esquematizada y ordenada, lo cual es un plan que ya ha sido propuesto por la SEREPSA [22] denro de

su Plan de Manejo Adaptativo, en donde incluye la siguiente estructura (BAUPLAN) para la identificación de acciones sobre la restauración y conservación del pedregal:

1. **Reflexión inicial.** Explicita las intenciones de lo que se desea hacer y desde qué perspectiva.
2. **Antecedentes.** Recopila la información histórica relevante y sus aprendizajes.
3. **Definición.** Establece el asunto por atender y hacia dónde se requiere llegar.
4. **Fundamentos.** Explicitan las bases filosóficas con las cuales se respalda el proceso.
5. **Caracterización socioecológica.** Describe los elementos del asunto y su estructura.

Capítulo 6

Resultados

6.1. Descripción de la geo-biodiversidad

6.1.1. Listado de la diversidad vegetal

Se fotografiaron e identificaron un total de 80 especies (arbóreas, arbustivas y herbáceas en conjunto), de las cuales 69 son arbustivas y herbáceas, 11 son arbóreas y se recolectaron 55 ejemplares en total. De las especies arbóreas, sumaron 64 individuos en total distribuidos en toda el área del polígono (Tabla 6.1, figura 6.2). Se elaboró un mapa para visualizar la distribución de la vegetación dentro y fuera del derrame de lava (Figuras 6.1 y 6.3). La única especie nativa arborea fue el tepozán blanco (*Buddleja cordata*),con 11 individuos. De las especies arbustivas y herbáceas, 48 son nativas y 23 son introducidas (Tabla 6.2). Las especies removidas corresponden a aquellas que se retiraron por labores de jardinería.

Las 80 especies fotografiadas e identificadas se ubicaron únicamente en el sitio de estudio, sin incluir aquellas que crecían en los caminos (andadores). En la gráfica 1 se comparó la frecuencia entre las especies nativas y ornamentales.

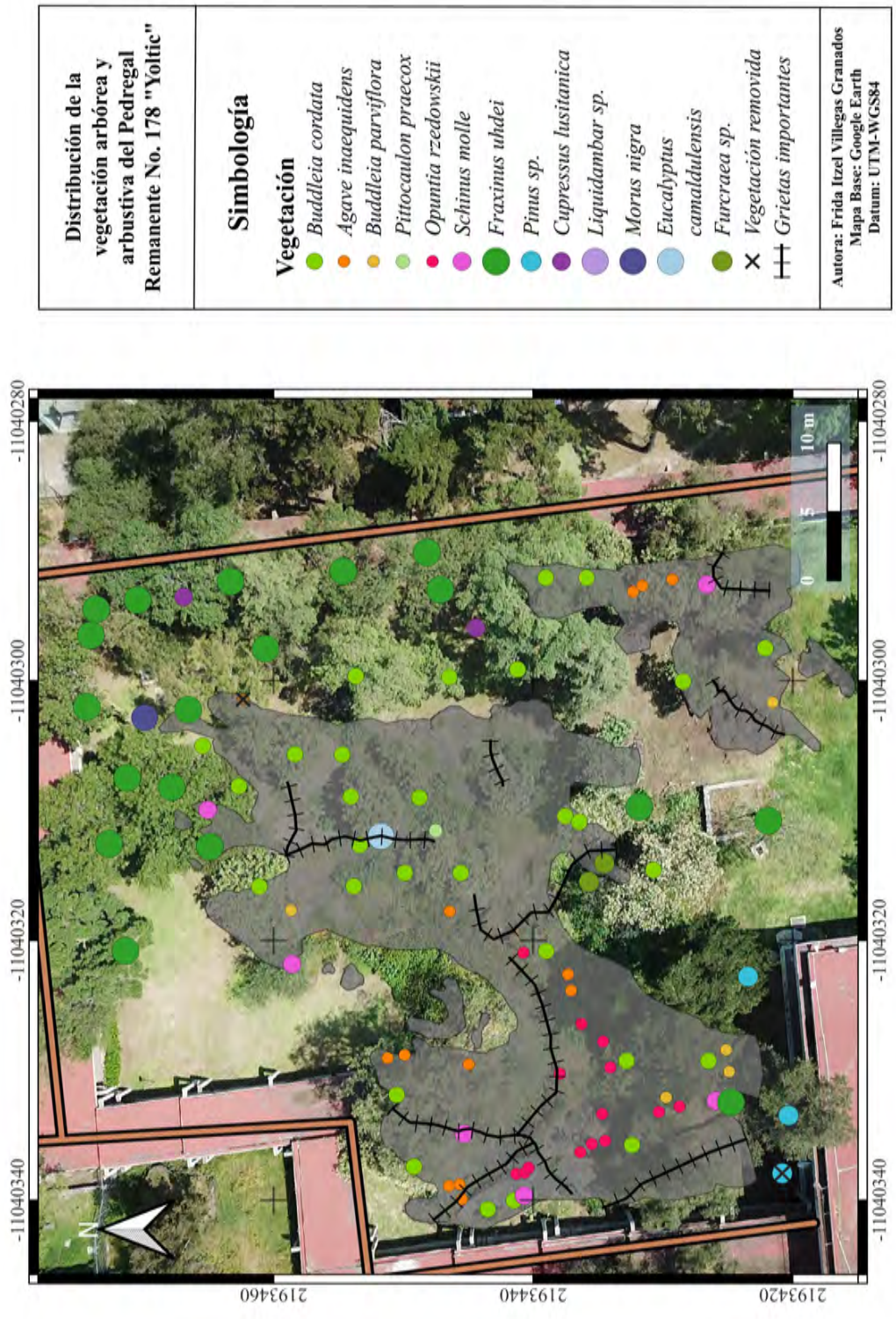


Figura 6.1: Distribución de la vegetación arbórea y arbustiva del Pedregal "Yoltic".

Nombre común	Familia	Especie	Cantidad	Distribución	Hábitat
Cedro blanco	Cupressaceae	*Cupressus lusitanica*	3	Introducida	Bosque mesófilo de montaña
Fresno	Oleaceae	*Fraxinus uhdei*	28	Introducida	Bosque mesófilo de montaña, galería y pino-encino
Tepozán blanco	Scrophulariaceae	*Buddleia cordata*	11	Nativa	Vegetación secundaria, parcelas de cultivo y ambientes urbanos
Tepozán de cerro	Scrophulariaceae	*Buddleia parviflora*	3	Nativa	Bosque tropical perennifolio, pastizal, bosques de encino-pino
Mora	Moraceae	*Morus nigra*	2	Introducida	Sudeste asiático; bosque de galería
Pirul	Anacardiaceae	*Schinus molle*	5	Introducida	Sudamérica; pastizales perturbados, zonas urbanas
Eucalipto	Myrtaceae	*Eucalyptus camaldulensis*	1	Introducida	Australia; suelos secos o húmedos
Pino	Pinaceae	*Pinus sp.*	4	Introducida	Hemisferio Norte
Falso maguey	Asparagaceae	Furcraea	2	Introducida	Trópicos de México, Caribe, Centroamérica, norte y Sur de Sudamérica
Liquidámbar	Altingiaceae	Liquidambar	3	Introducida	Atlántico de Norteamérica; bosque mesófilo de montaña, pino-encino
Jacaranda	Bignoniaceae	*Jacaranda mimosifolia*	1	Introducida	Subtropical de Brasil
Capulín	Rosaceae	Prunus serotina	1	Introducida	América; climas templados y fríos

Tabla 6.1: Especies arbóreas en el sitio de estudio

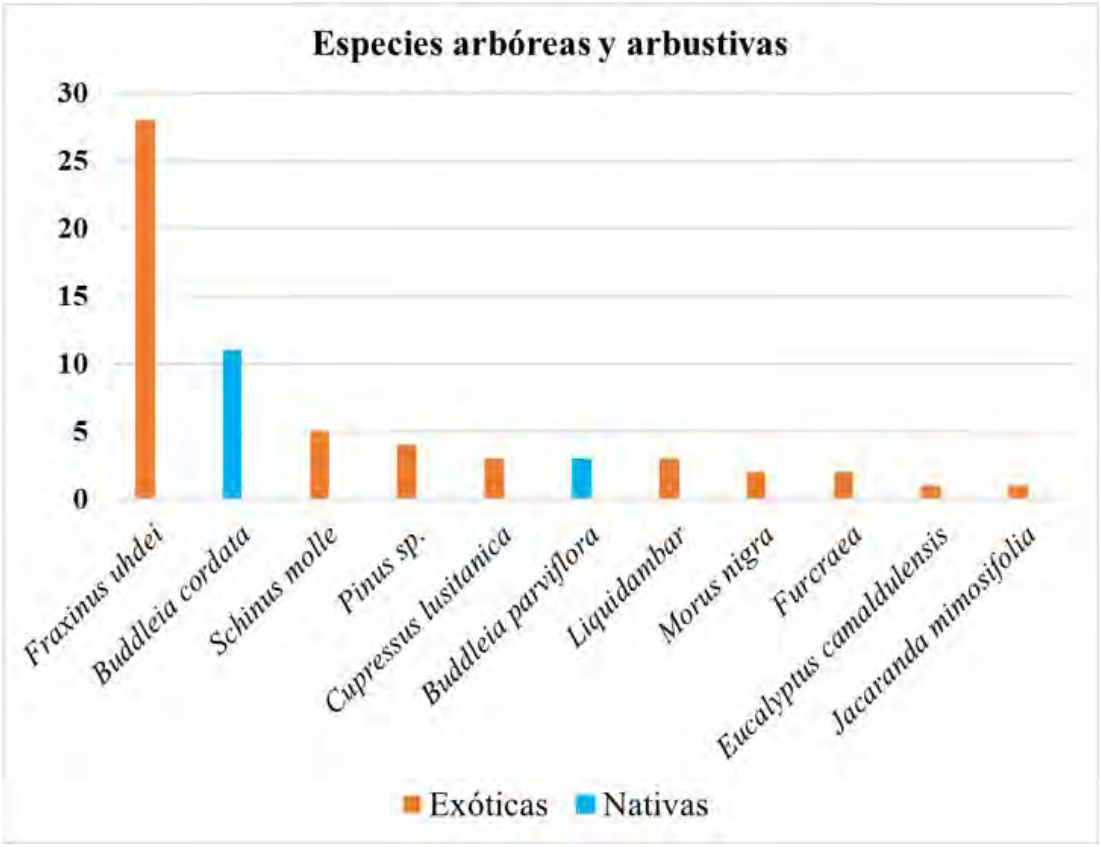


Figura 6.2: Abundancia de especies arbóreas dentro del polígono del pedregal remanente no. 178 “Yoltic”.

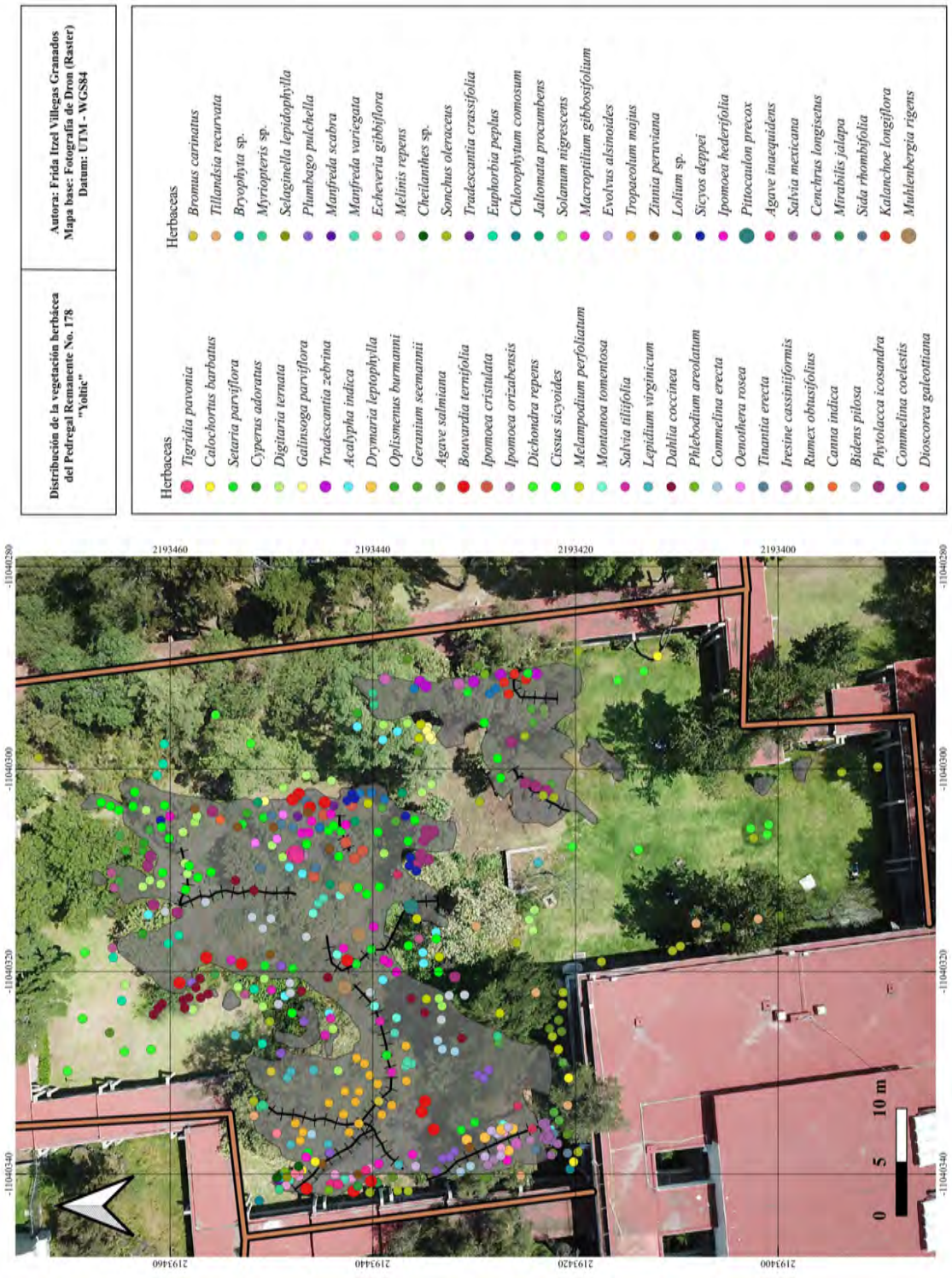


Figura 6.3: Distribución de la vegetación herbácea del Pedregal "Yoltic".

Nombre común	**Familia**	**Especie**	**Distribución**
Oceloxóchitl	Iridaceae	*Tigridia pavonia*	Nativa
Ayatito	Liliaceae	*Calochortus barbatus*	Nativa
Zacate Sedoso	Poaceae	*Setaria parviflora*	Nativa
Hierba del Zopilote	Cyperaceae	*Cyperus adoratus*	Introducida
Pasto cangrejo africano	Poaceae	*Digitaria ternata*	Introducida
Guasca	Asteraceae	*Galinsoga parviflora*	Introducida
Matalí	Commelinaceae	*Tradescantia zebrina*	Introducida
Hierba del golpe asiática	Euphorbiaceae	*Acalypha indica*	Introducida
Cadenilla	Caryophyllaceae	*Drymaria leptophylla*	Nativa
Zacate	Poaceae	*Oplismenus burmanni*	Introducida
Agujona	Geraniaceae	*Geranium seemannii*	Nativa
Maguey pulquero	Agavaceae	*Agave salmiana*	Nativa
Trompetilla	Rubiaceae	*Bouvardia ternifolia*	Nativa
Chilito	Euphorbiaceae	*Acalypha phleoides*	Nativa
Trompillo	Convolvulaceae	*Ipomoea cristulata*	Nativa
Escamonea	Convolvulaceae	*Ipomoea orizabensis*	Nativa
Centavito	Convolvulaceae	*Dichondra repens*	Introducida
Tripa de Zopilote	Vitaceae	*Cissus sicyoides*	Nativa
Ojo de perico	Asteraceae	*Melampodium perfoliatum*	Nativa
Bola del Rey	Lamiaceae	*Leonotis nepetifolia*	Introducida
Zoapatle	Asteraceae	*Montanoa tomentosa*	Nativa
Salvia hoja de tilo	Lamiaceae	*Salvia tiliifolia*	Nativa
Lentejilla de campo	Brassicaceae	*Lepidium virginicum*	Introducida
Dalia roja	Asteraceae	*Dahlia coccinea*	Nativa
Helecho palma	Polypodiaceae	*Phlebodium areolatum*	Nativa
Cantillo	Commelinaceae	*Commelina erecta*	Nativa
Hierba del golpe	Onagraceae	*Oenothera rosea*	Nativa
Pata de gallo	Commelinaceae	*Tinantia erecta*	Nativa

Nombre común	**Familia**	**Especie**	**Distribución**
Pie de paloma	Amaranthaceae	*Iresine cassiniiformis*	Nativa
Higuerilla	Euphorbiaceae	*Ricinus communis*	Introducida
Lengua de vaca	Polygonaceae	*Rumex obtusifolius*	Introducida
Caña de india	Cannaceae	*Canna indica*	Introducida
Acahual blanco	Asteraceae	*Bidens pilosa*	Nativa
Mazorquilla	Phytolaccaceae	*Phytolacca icosandra*	Nativa
Quesadilla	Commelinaceae	*Commelina coelestis*	Nativa
Chipahuaxihuite	Dioscoreaceae	*Dioscorea galeottiana*	Nativa
Bromo	Poaceae	*Bromus carinatus*	Nativa
Paixtle Gallinita	Bromeliaceae	*Tillandsia recurvata*	Nativa
Musgo	Filo: Bryophyta	*sp.*	Nativa
Helechos mil hojas	Pteridaceae	*Myriopteris aurea*	Nativa
Doradilla	Selaginellaceae	*Selaginella lepidophylla*	Nativa
Chililllo medicinal	Plumbaginaceae	*Plumbago pulchella*	Nativa
Maguey shishi	Esparagaceae	*Manfreda scabra*	Nativa
Amole	Esparagaceae	*Manfreda variegata*	Nativa
Tememetla	Crassulaceae	*Echeveria gibbiflora*	Nativa
Pasto kikuyo	Poaceae	*Pennisetum clandestinum*	Introducida
Pasto africano rosado	Poaceae	*Melinis repens*	Introducida
Helechos labiados	Pteridaceae	*Cheilanthes*	Nativa
Achicoria Europea	Asteraceae	*Sonchus oleraceus*	Nativa
Matlaxóchitl	Commelinaceae	*Tradescantia crassifolia*	Nativa
Lecherillo mediterráneo	Euphorbiaceae	*Euphorbia peplus*	Introducida
Mala madre	Asparagaceae	*Chlorophytum comosum*	Introducida
Jaltomate	Solanaceae	*Jaltomata procumbens*	Nativa
Chichiquélit	Solanaceae	*Solanum nigrescens*	Nativa
Jícama de monte	Fabaceae	*Macroptilium gibbosifolium*	Nativa
Pico de pájaro	Convolvulaceae	*Evolvulus alsinoides*	Nativa
Mastuerzo	Tropaeolaceae	*Tropaeolum majus*	Introducida

Nombre común	**Familia**	**Especie**	**Distribución**
Mal de ojo	Asteraceae	*Zinnia peruviana*	Nativa
Ballico	Poaceae	*Lolium*	Introducida
Chayotillo	Cucurbitaceae	*Sicyos deppei*	Nativa
Frijolillo	Convolvulaceae	*Ipomoea hederifolia*	Nativa
Liendrilla de venado	Poaceae	*Muhlenbergia rigens*	Nativa
Palo Loco	Asteraceae	*Pittocaulon precox*	Nativa
Agave lechuguilla	Agavaceae	*Agave inaequidens*	Nativa
Tlacote	Lamiaceae	*Salvia mexicana*	Nativa
Zacate plumoso africano	Liliaceae	*Cenchrus longisetus*	Introducida
Maravilla	Nyctaginaceae	*Mirabilis jalapa*	Introducida
Malva de Castilla	Malvaceae	*Malva parviflora*	Introducida
Malva escubilla	Malvaceae	*Sida rhombifolia*	Introducida
Nopal de pedregal	Cactaceae	*Opuntia rzedowskii*	Nativa
Calancho	Crassulaceae	*Kalanchoe longiflora*	Introducida

Tabla 6.2: Listado de especies herbáceas en el área de estudio

6.1.2. Listado de especies de fauna y hongos

La presencia de pequeños animales, entre los que destacan insectos, arácnidos, aves, mamíferos y reptiles, así como hongos, da visibilidad al ecosistema como albergue de organismos que cumplen un nicho ecológico particular. Durante las visitas al pedregal se registraron 78 diversas especies de animales y hongos de manera incidental (Tabla 6.3), encontrando como únicos ejemplares de hongos los agaricales. El listado de avifauna e insectos contiene, además de las especies registradas el día 6 de enero del 2023, especies que se observaron incidentalmente en los días de visita al pedregal, de las cuales se identificaron con apoyo de guías de observación para la ciencia ciudadana de CONABIO® y de la aplicación para celular Merlin®.

Nombre común	**Familia**	**Nombre Científico**	**Distribución**
Mariposa azufre elegante	Pieridae	*Nathalis iole*	Nativo
Mariposa blanca de la col	Pieridae	*Leptophobia aripa*	Nativo
Mariposas azufradas	Pieridae	*Phoebis sp.*	Nativo
Mariposa Xochiquétzal	Papilionidae	*Papilio multicaudata*	Nativo
Mariposa cometa negra	Papilionidae	*Papilio polyxenes*	Nativo
Mariposa pasionaria de motas blancas	Nymphalidae	*Dione vanillae*	Nativo
Mariposa monarca	Nymphalidae	*Danaus plexippus*	Nativo
Mariposas de Macollo	Erebidae	*Halysidota schausi*	Nativo
Mariposas de Macollo	Erebidae	*Halysidota davisii*	Nativo
Polillas tigre	Erebidae	*Arachnis sp.*	Nativo
Polilla esfinge de franjas blancas	Sphingidae	*Hyles lineata*	Nativo
Catarina sin manchas	Coccinellidae	*Cycloneda emarginata*	Nativo
Abejorro carpintero azteca	Apidae	*Xylocopa tabaniformis ssp. azteca*	Nativo

Nombre común	**Familia**	**Especie**	**Distribución**
Abeja melífera europea	Apidae	*Apis mellifera*	Introducido
Avispas peludas	Scoliidae	*Xanthocampsomeris sp.*	Nativo
Periquito del nanche	Membracidae	*Membracis mexicana*	Nativo
Zancudos gigantes	Tipulidae	*Platytipula sp.*	Nativo
Mosca doméstica	Muscidae	*Musca domestica*	Nativo
Moscas del vinagre y parientes	Drosophilidae	*sp.*	Nativo
Mosca calígrafa	Syrphidae	*Toxomerus mutuus*	Nativo
Grana cochinilla	Dactylopiidae	*Pos. Dactylopius coccus*	Nativo
Piojos harinosos	Pseudococcidae	*Pseudococcus sp.*	Nativo
Chapulín de la milpa	Pyrgomorphidae	*Sphenarium purpurascens*	Nativo
Langostas, tucuras y parientes	Acridoidea	*sp.*	No aplica
Araña manchada del jardín	Araneidae	*Neoscona oaxacensis*	Nativo
Ácaro	Erythraeidae	*Leptus sp.*	Nativo
Caracol europeo de jardín	Helicidae	*Cornu aspersum*	Introducido
Ardillón de roca	Sciuridae	*Otospermophilus variegatus*	Nativo
Tlacuache norteño	Didelphidae	*Didelphis virginiana*	Nativo
Cacomixtle norteño	Procyonidae	*Bassariscus astutus*	Nativo
Lagartija espinoza de collar	Phrynosomatidae	*Sceloporus torquatus*	Nativo
Lagartija espinoza del mezquite	Phrynosomatidae	*Sceloporus grammicus*	Nativo
Culebra terrestre del Centro	Colubridae	*Conopsis lineata*	Nativo
Calandria cejas naranjas	Icteridae	*Icterus bullockii*	Nativo

Nombre común	Familia	Especie	Distribución
Chipe rabadilla amarilla	Parulidae	*Setophaga coronata*	Migratorio
Chipe corona negra	Parulidae	*Cardellina pusilla*	Migratorio
Tortolita cola larga	Columbidae	*Columbina inca*	Nativo
Colibrí pico ancho norteño	Throchilidae	*Cynanthus latirostris*	Nativo
Colibrí berilo	Throchilidae	*Saucerottia beryllina*	Nativo
Papamoscas de Hammond	Tyrannidae	*Empidonax hammondii*	Nativo
Sastrecillo	Aegithalidae	*Psaltriparus minimus*	Nativo
Pinzón mexicano	Fringillidae	*Haemorhous mexicanus*	Nativo
Gorrión pálido	Passerellidae	*Spizella pallida*	Nativo
Zanate mayor	Icteridae	*Quiscalus mexicanus*	Nativo
Carpintero moteado	Picidae	*Sphyrapicus varius*	Migratorio
Carpintero mexicano	Picidae	*Dryobates scalaris*	Nativo
Perlita azulgrís	Polioptilidae	*Polioptila caerulea*	Migratorio
Saltapared cucarachero	Troglodytidae	*Troglodytes aedon*	Nativo
Saltapared cola larga	Troglodytidae	*Thryomanes bewickii*	Nativo
Gorrón doméstico	Passerellidae	*Passer domesticus*	Introducido
Gorrión de Lincoln	Passerellidae	*Melospiza lincolnii*	Nativo
Pibí tengofrío	Tyrannidae	*Contopus pertinax*	Nativo
Papamoscas cardenalito	Tyrannidae	*Pyrocephalus rubinus*	Nativo
Mexclilla	Parulidae	*Mniotilta varia*	Nativo
Golondrina tijereta	Hirundinidae	*Hirundo rustica*	Nativo
Jilguero dominico	Fringillidae	*Spinus psaltria*	Nativo
Ocotero enmascarado	Peucedramidae	*Peucedramus taeniatus*	Nativo
Rascador viejita	Passerellidae	*Melozone fusca*	Nativo

Nombre común	**Familia**	**Especie**	**Distribución**
Calandria sp.	Icteridae	*Icterus sp.*	No aplica
Picochueco vientre canela	Thraupidae	*Diglossa baritula*	Nativo
Vireo reyezuelo	Vireonidae	*Vireo huttoni*	Nativo
Papamoscas pecho canela	Tyrannidae	*Empidonax fulvifrons*	Nativo
Chipe cabeza gris	Parulidae	*Leiothlypis ruficapilla*	Nativo
Aurelia	Lobeliaceae	*Icterus pustulatus*	Nativo

Tabla 6.3: Listado de especies animales en el área de estudio

La mayor parte de los animales fueron de especies nativas, como el cacomixtle (*Bassariscus astutus*), el tlacuache (*Didelphis virginiana*), o la culebra (*Conopsis lineata*, hallada muerta y sin cabeza); además el sitio es percha importante de insectos, que llegan en las etapas de floración de la vegetación, y de aves con comportamiento migratorio.

6.1.3. Descripción de las geoformas

La superficie que abarca el derrame de lava que aún aflora (figura 6.4) se conforma de un perímetro de un área de 1012 m^2. Las geoformas más relevantes y evidentes del sitio de estudio se localizan en diferentes puntos de este afloramiento (Figuras 6.5 y 6.6).

Figura 6.4: Foto aérea del estado actual del sitio para noviembre del año 2023

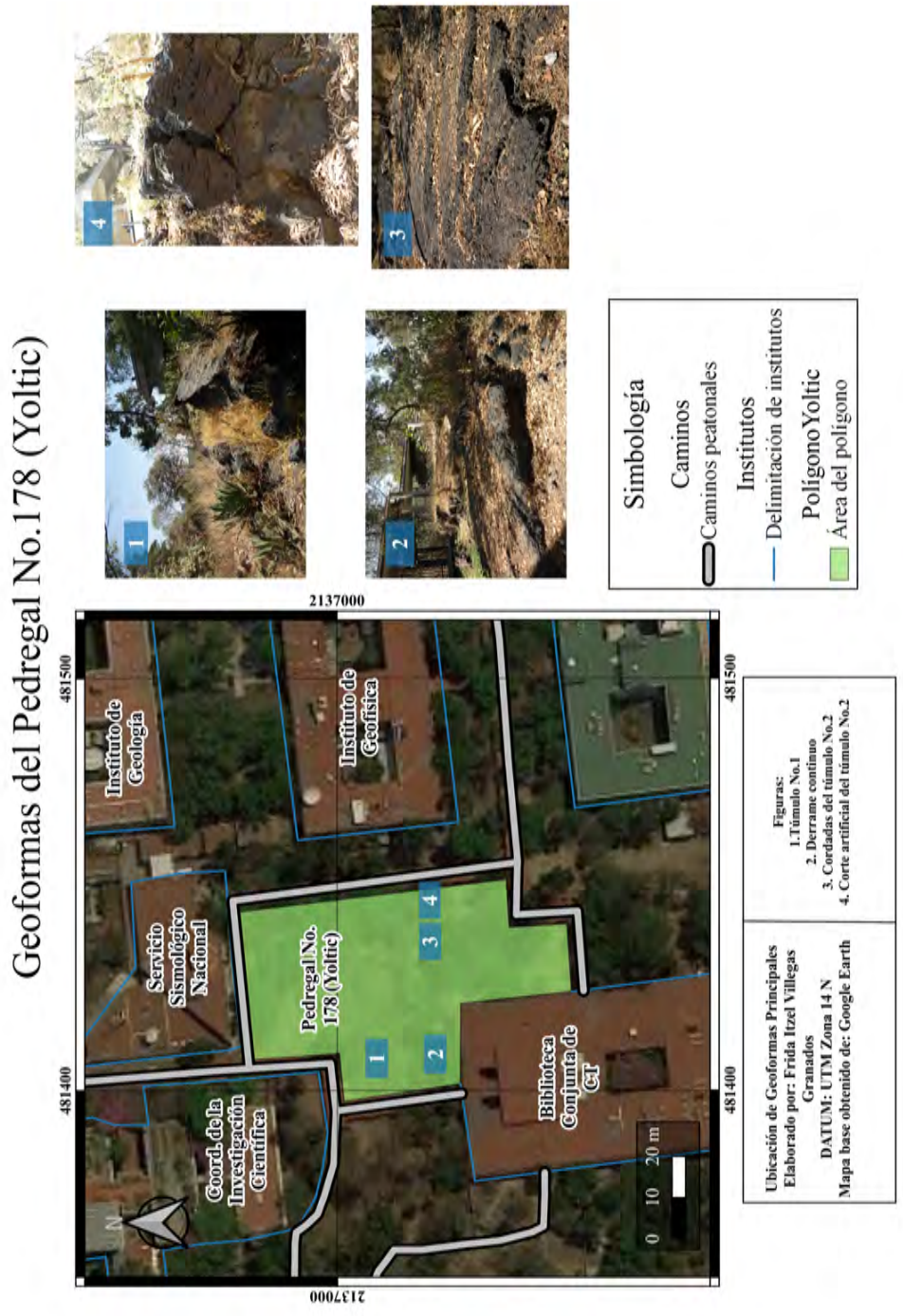


Figura 6.5: Ubicación de las geoformas principales del pedregal remanente no. 178 delimitación de edificios de investigación

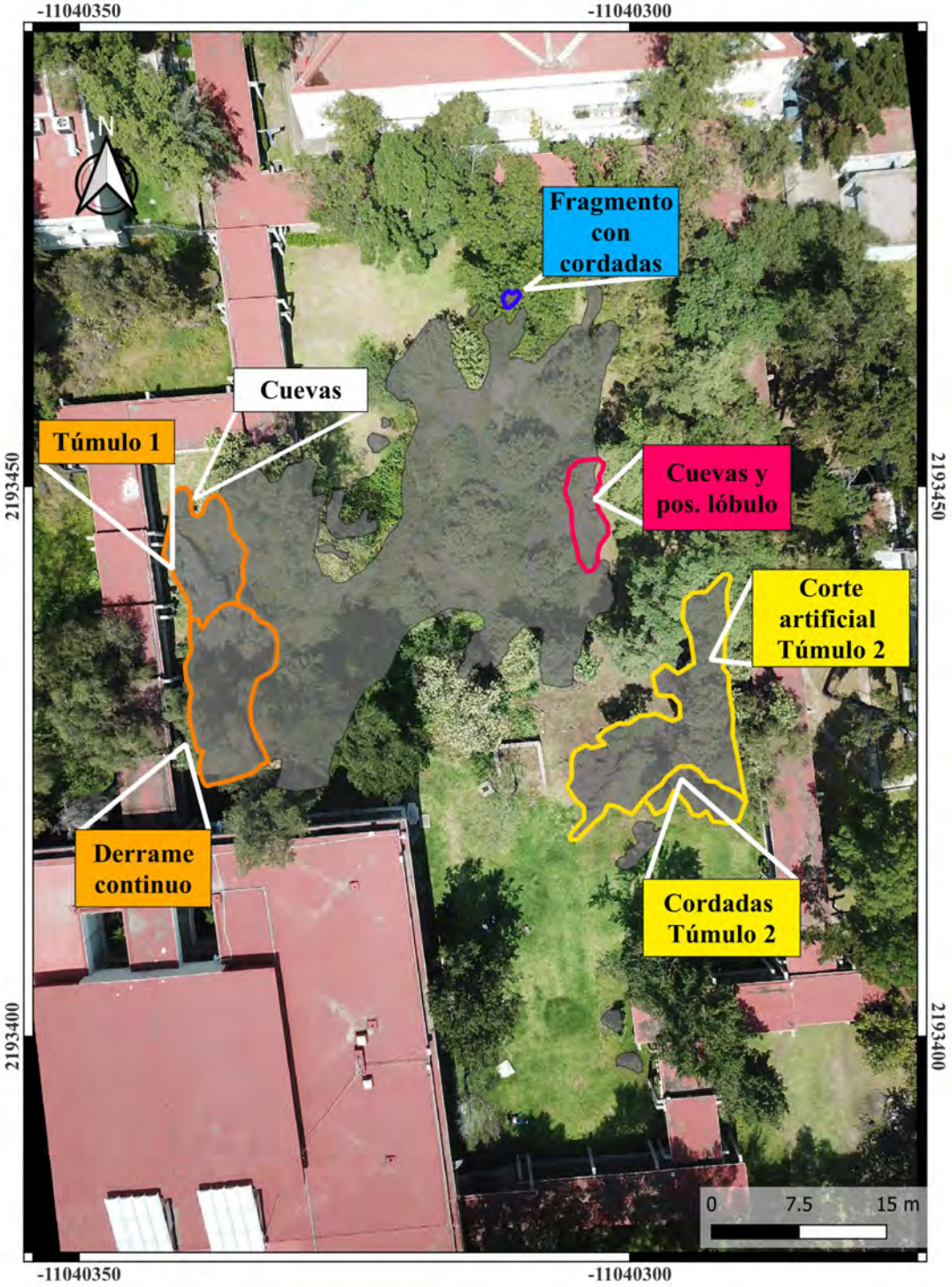


Figura 6.6: Localización de las geoformas en el sitio para noviembre del 2023

Las estructuras principales que se identificaron son:

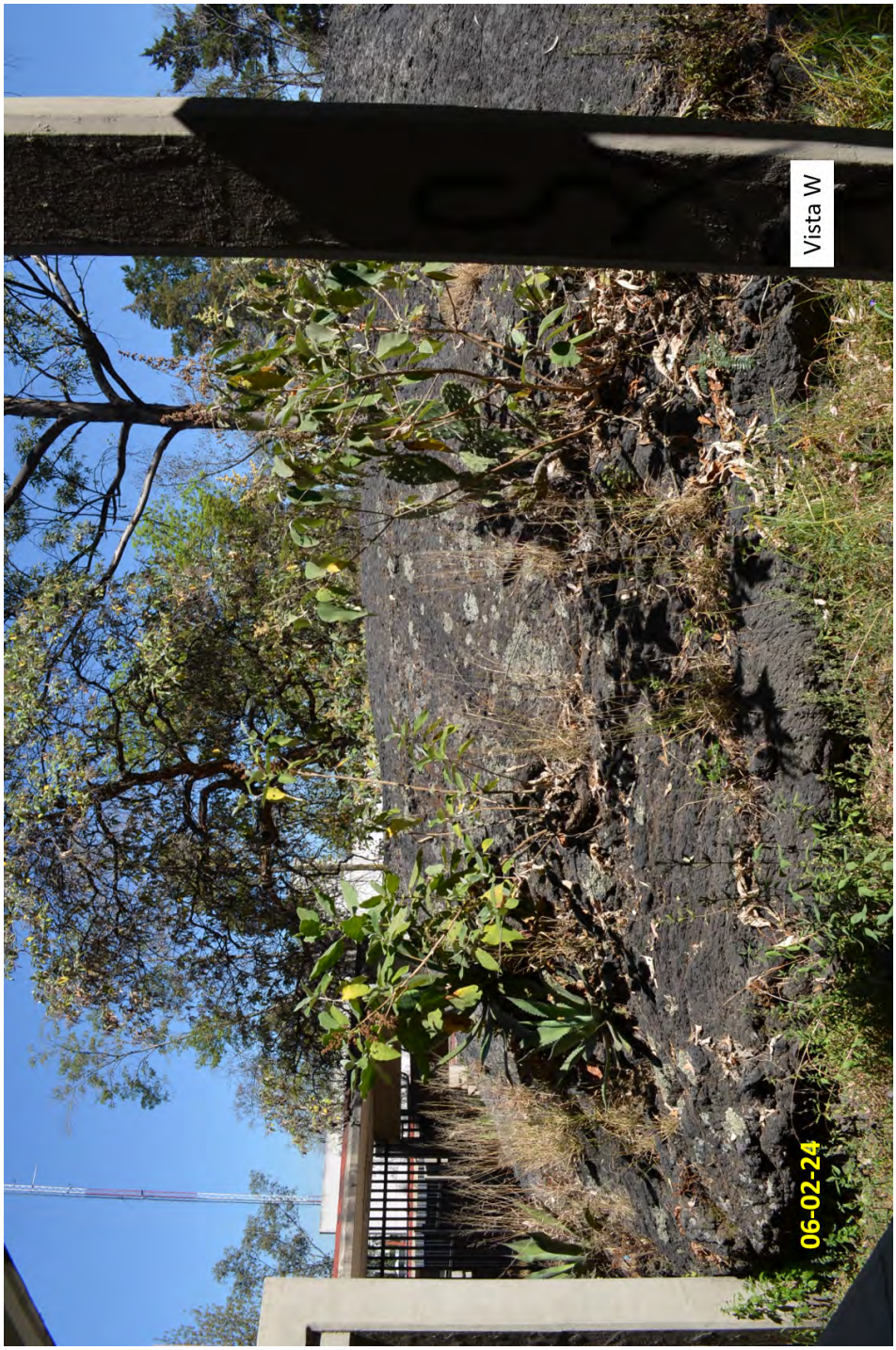
Túmulo 1. Es una estructura elevada causada por el inflamiento de la lava al mismo tiempo que ésta se enfriaba, lo que ocasionó su posterior rupture en dos planos de inclinación (Figura 6.7). El esquema realizado representa las dimensiones de este cuerpo y los diferentes grados de vesicularidad que tiene esta porción del derrame de lava dentro de la grieta.

(a)

(b)

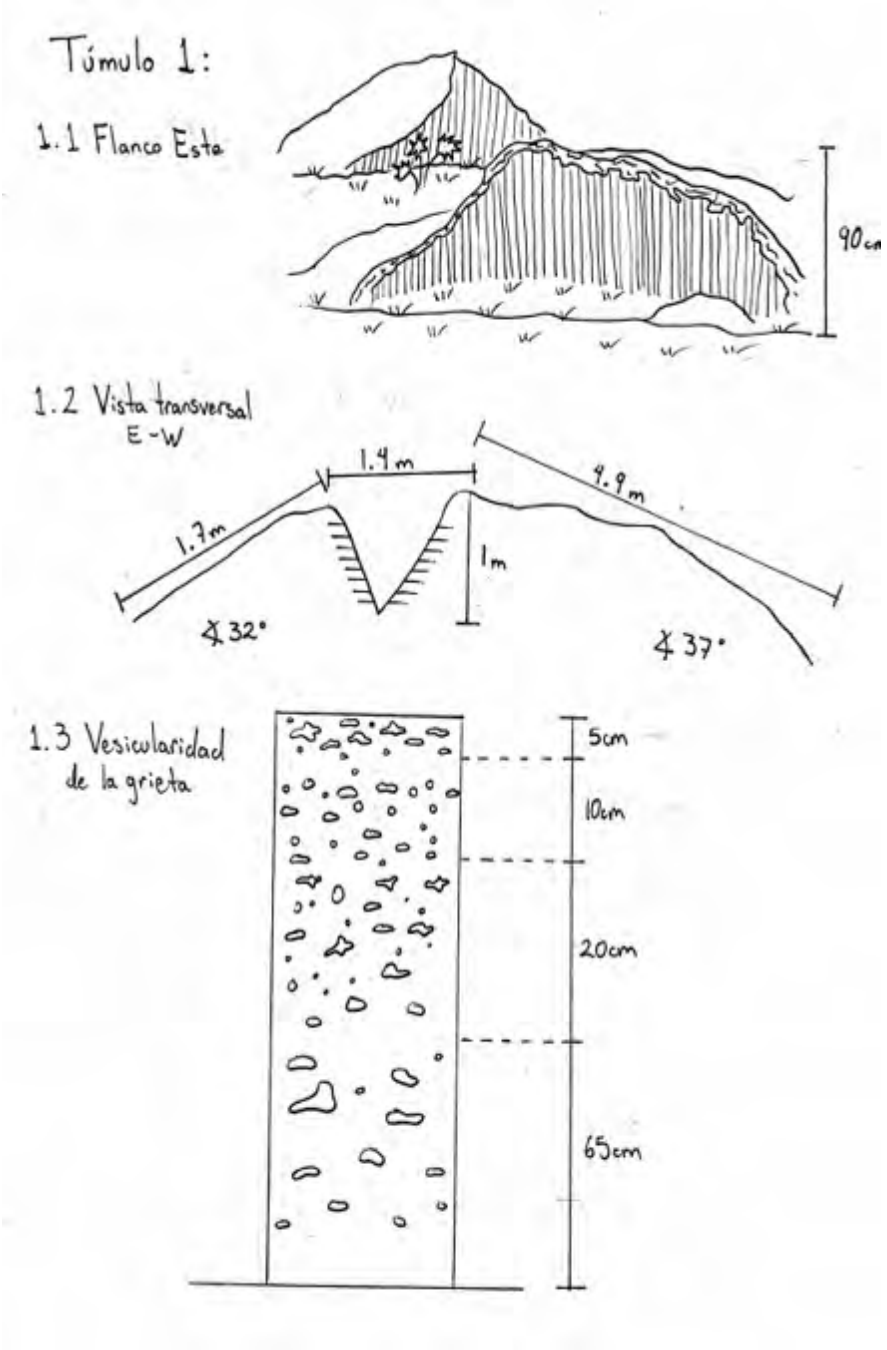
Figura 6.7: Vista aérea vertical (a) y frontal (b) del túmulo 1

(a)



(b)

Figura 6.8: Vista Este-Oeste con vegetación herbácea y arbórea (pastos, agaves lechuguilla, eucalipto, manfredas, entre otras especies)(a) vista Oeste con nopales y tepozanes (b) del túmulo 1. Fotografía con cámara reflex Nikon®, con escala de un pico de geólogo de 28 cm de altura.



(a)

Figura 6.9: Esquematización de la forma y tamaño de las vesículas de la grieta correspondiente al túmulo 1

(a)

Figura 6.10: Especies herbáceas representativas del túmulo 1

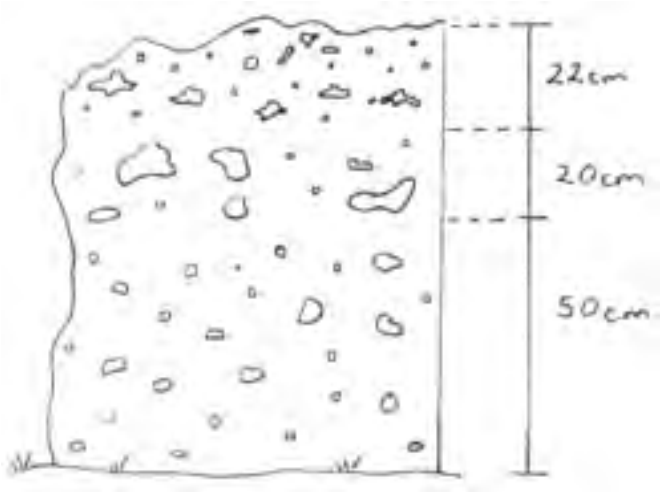
Derrame continuo del Túmulo 1. Es parte de la misma colada de lava que el túmulo 1, sin embargo, esta porción se caracteriza por tener un relieve más homogéneo y plano, a su vez, cuenta con una grieta que posiblemente esté vinculada al proceso de inflamiento de la lava (Figura 6.11). Esta fractura está rellena de tecnosol y basura actualmente, asimismo representa un microambiente apto para el desarrollo de pastos e higuerillas.

(a)

(b)

Figura 6.11: Vista W-E del derrame continuo del túmulo 1 (a), en donde se resalta la apertura de la grieta presente en el derrame (b).

(a)



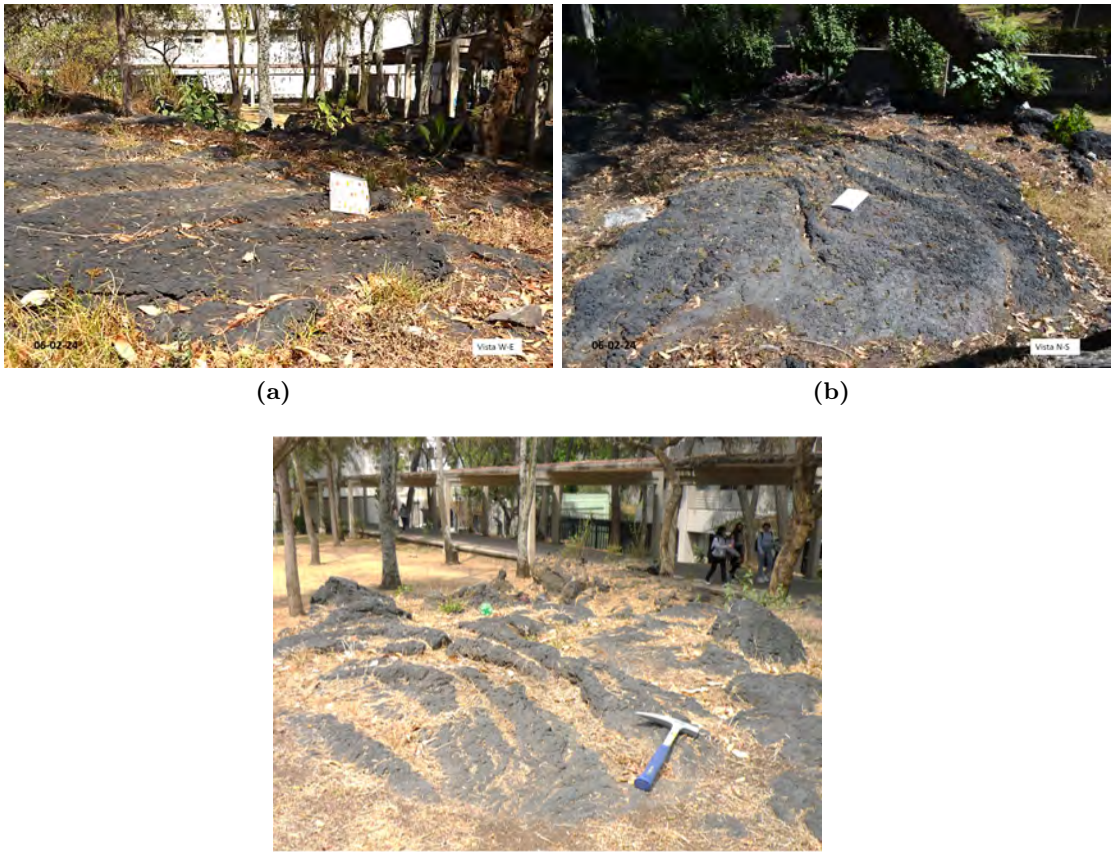
(b)

Figura 6.12: Delimitación con uno de los pasillos y las rejas pertenecientes a la Coordinación de la Investigación Científica (a). Esquematización de la profundidad aparente de la grieta y de la forma y tamaño de las vesículas (b).

(a)

Figura 6.13: Especies herbáceas representativas de la superficie y grieta pertenecientes al derrame del túmulo 1

Estructuras cordadas del Túmulo 2. Es un derrame que aparentemente se encuentra separado de la colada más extensa de lava visible en el polígono, debido al relleno de tecnosol y la capa de vegetación herbácea (sobretodo de pasto kikuyo) en las depresiones del terreno. Este segmento integra algunas lavas cordadas poco evolucionadas (pliegues de 3 cm aproximadamente) y a dos grietas en donde se visualizan diferentes formas y tamaños de las vesículas de esta parte, además de a vegetación asociada (Figura 6.14).

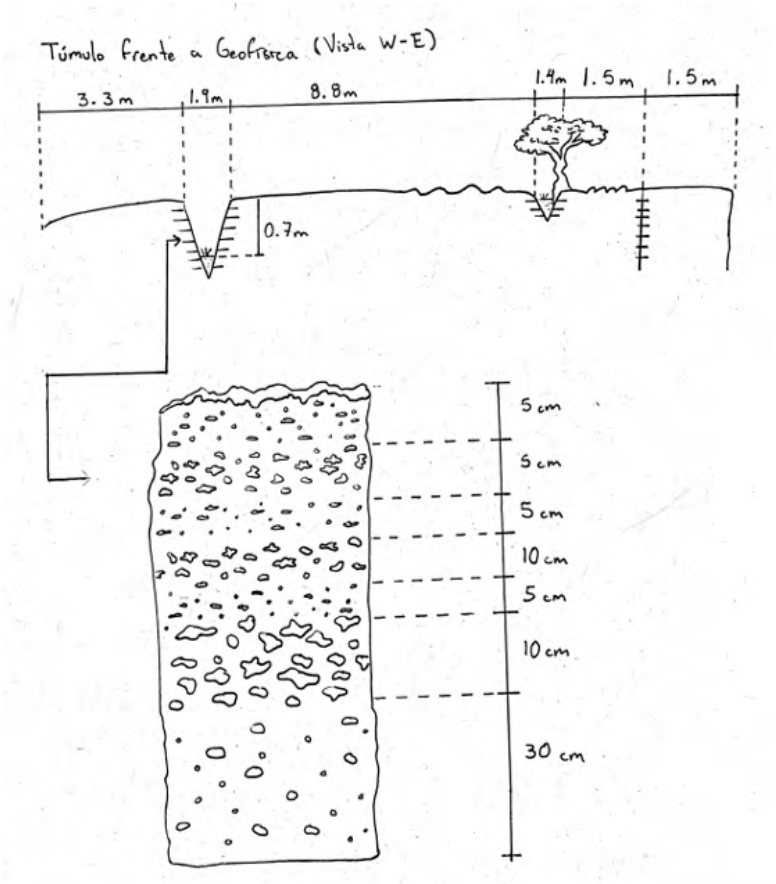


(a) **(b)**

(c)

Figura 6.14: Distribución de los pliegues que forman estructras cordadas en la superficie del túmulo 2, denotando su poca frecuencia (a) y (b). Los pliegues más profundos, que no rebasan los 2 cm, están rellenos de sustrato, lo cual ha sido medio de dispersión para algunas plantas rastreras como el pasto (c). Escalas utilizadas: libreta de 16x20 cm, pico de geólogo de 28 cm de largo.

(a)



(b)

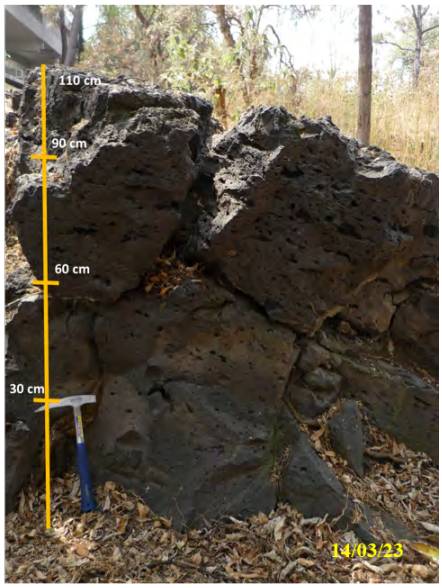
Figura 6.15: Grieta presente en el derrame del túmulo 2 (a) y la esquematización correspondiente a su profundidad máxima, ilustrando la cantidad, la forma y el tamaño de de las vesículas (b).

(a)

Figura 6.16: Especies herbáceas representativas de la superficie cordada del túmulo 2

Corte artificial del túmulo 2. Continuación al derrame de lava que ha sido intervenido para que fuera posible construir el camino que vincula a los institutos y para la construcción del instituto de Geofísica. Así, se observa un corte artificial que expone la vesicularidad de esta porción de lava y es donde se pueden localizar las burbujas más grandes que se han descrito en este pedregal, con un tamaño de hasta 15 cm de largo, en donde habitan insectos y arácnidos, además son aptas para el desarrollo de vegetación de mayor dimensión que las herbáceas (pastos y malvas) como los agaves y el pirul (Figura 6.20).

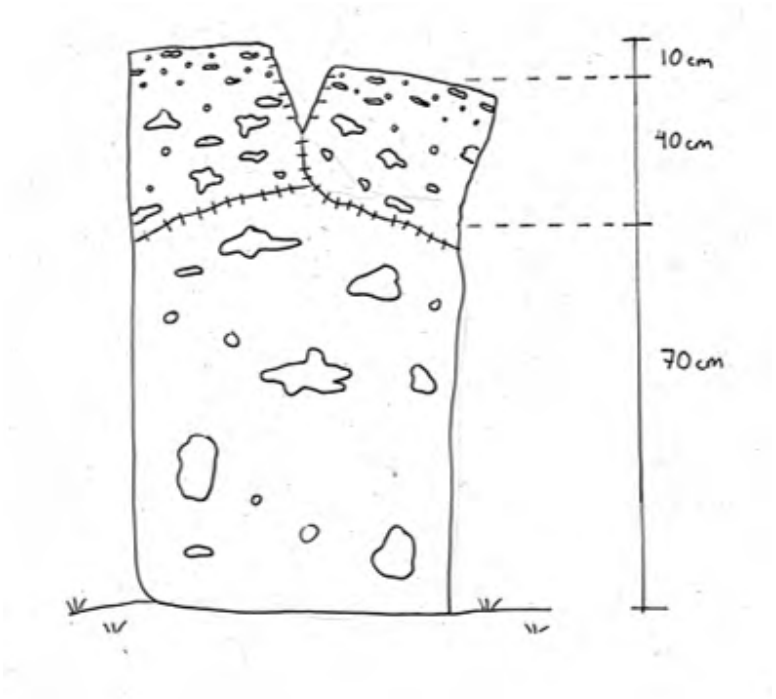
(a)



(b)

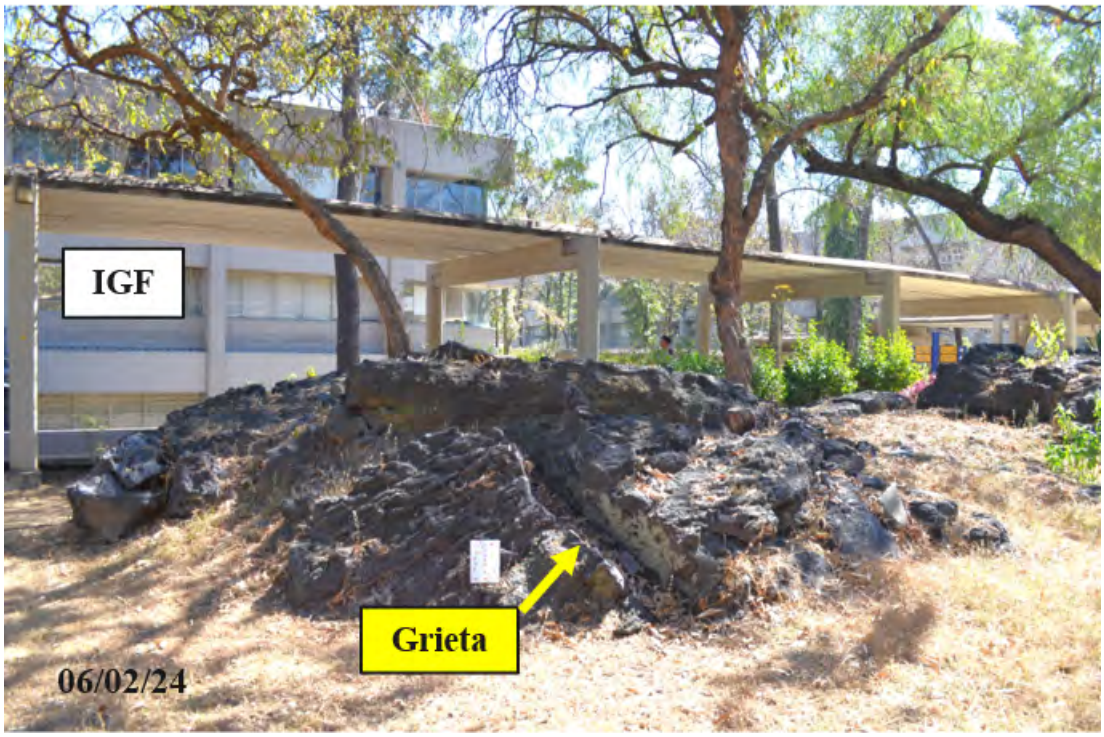
Figura 6.17: Corte artificial del túmulo 2 (a) y sus diferentes niveles de vesicularidad, respecto a la profundidad del derrame (b).

(a)

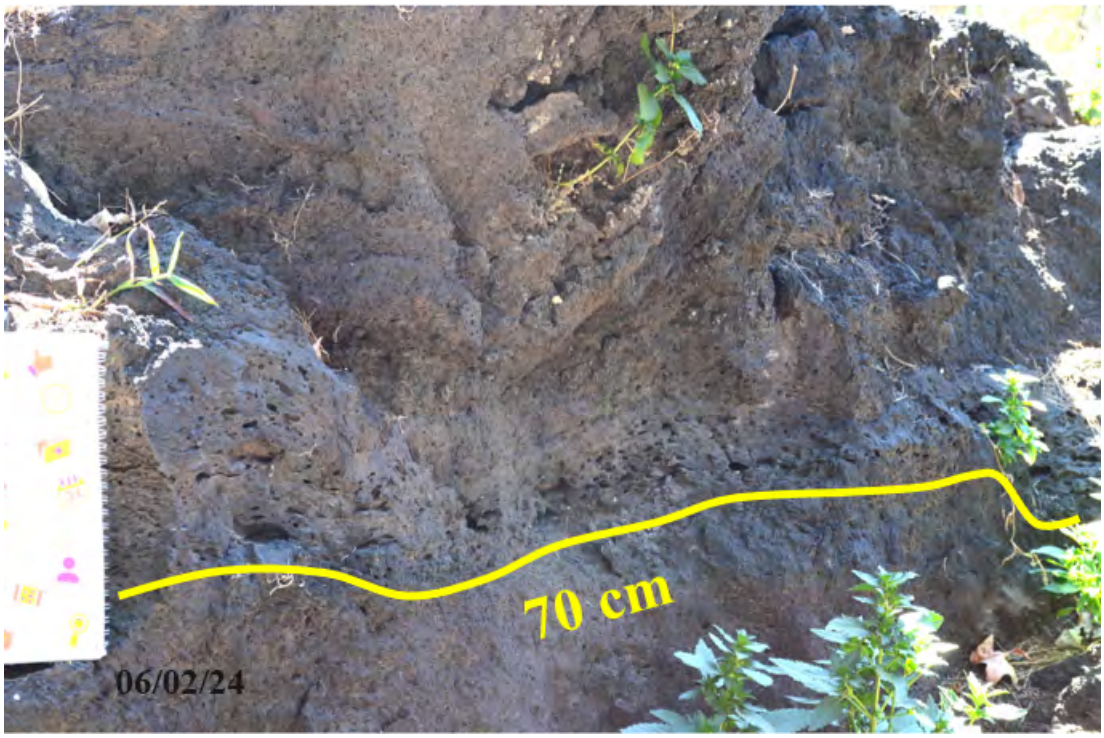


(b)

Figura 6.18: Dimensión de una de las vesículas de mayor tamaño presentes en este corte (a) y esquematización de la forma, tamaño y distribución de las vesículas (b).

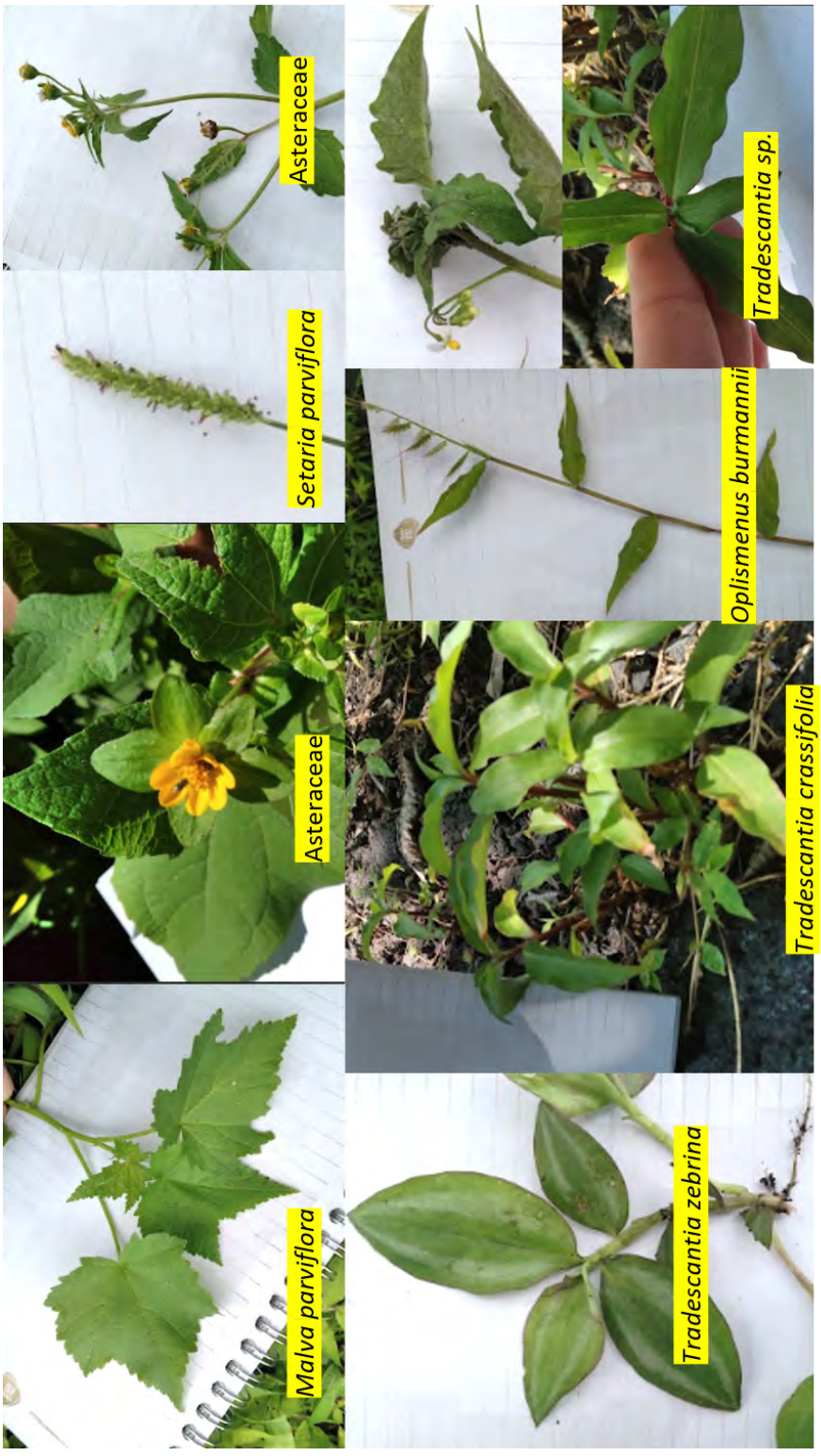


(a)



(b)

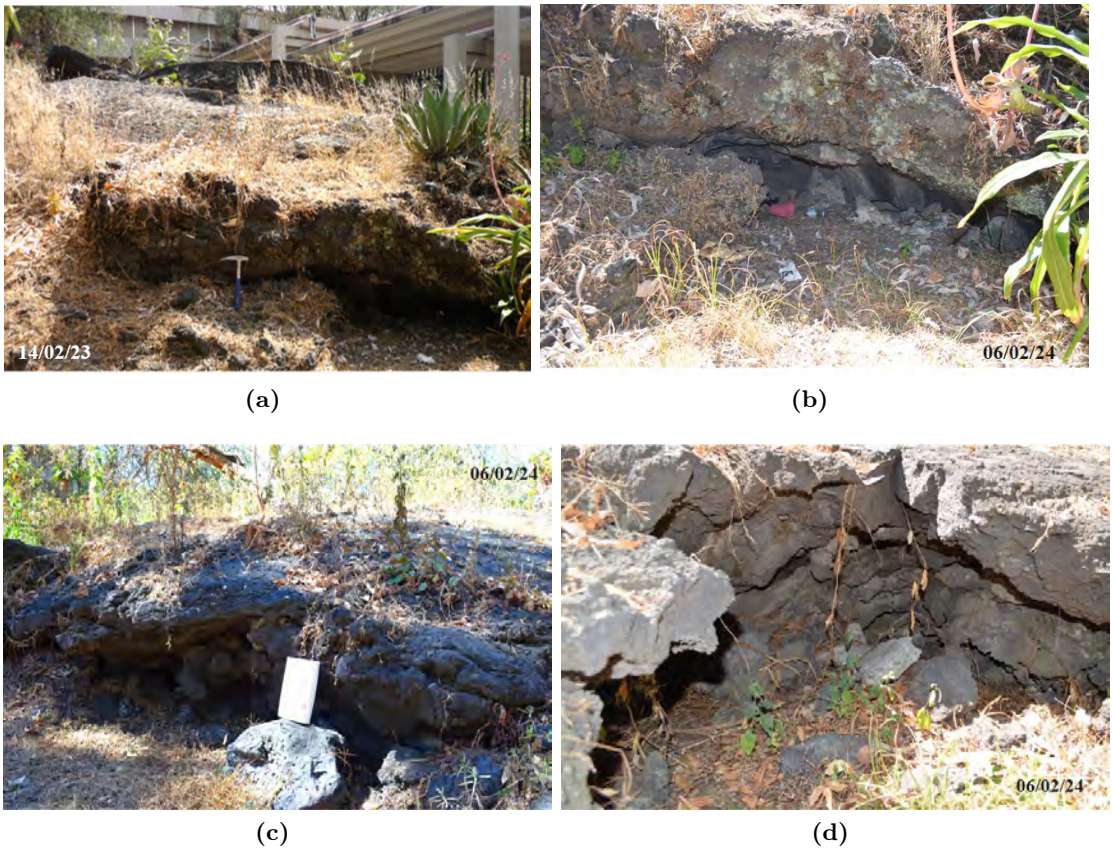
Figura 6.19: Presencia de grieta a un costado del corte artificial del Túmulo 2 (a) y franja de vesículas elipsoidales (b). Escalas utilizadas: libreta de 16x20 cm. Fotografía con celular y cámara reflex Nikon®



(a)

Figura 6.20: Especies herbáceas representativas del túmulo 2

Cuevas por levantamiento y posible lóbulo. En las caras Norte y Este del pedregal no. 178 se encuentran algunas cuevas pequeñas generadas por el levantamiento de la roca basáltica, esto sucede cuando el flujo de lava continúa desgasificándose, por lo tanto inflándose, mientras que otras porciones ya habían solidificado. Estas cuevas no sobrepasan el metro de profundidad, por lo que en ellas suele incidir la luz todavía, aunque en algunos casos es escasa; plantas como los helechos y los musgos, así como líquenes (figura 6.21), prefieren estos microambientes al ser húmedos y al no recibir directamente los rayos de Sol. Por otro lado, en la cara Este del pedregal, cercano al túmulo 2, se encuentra una estructura casi esférica, la cual podría tratarse de un lóbulo; sin embargo, no es lo suficientemente grande como para poder discernir si lo es, además de que es necesario hacer un corte transversal en la roca para poder visualizar mejor su nivel de vesicularidad y lograr clasificarlo (figura 6.22).



(a) **(b)**

(c) **(d)**

Figura 6.21: Cueva del Túmulo 1 (a) con residuos en su interior (b). Cuevas por levantamiento presentes en la cara Este del pedregal (c)(d), ambas también con residuos en su interior. Fotografía con cámara reflex Nikon®

(a) **(b)**

Figura 6.22: Ubicación del posible lóbulo (a)(b), ubicado a un costado del túmulo 2. Fotografía con cámara reflex Nikon®

6.2. Caracterización de microambientes

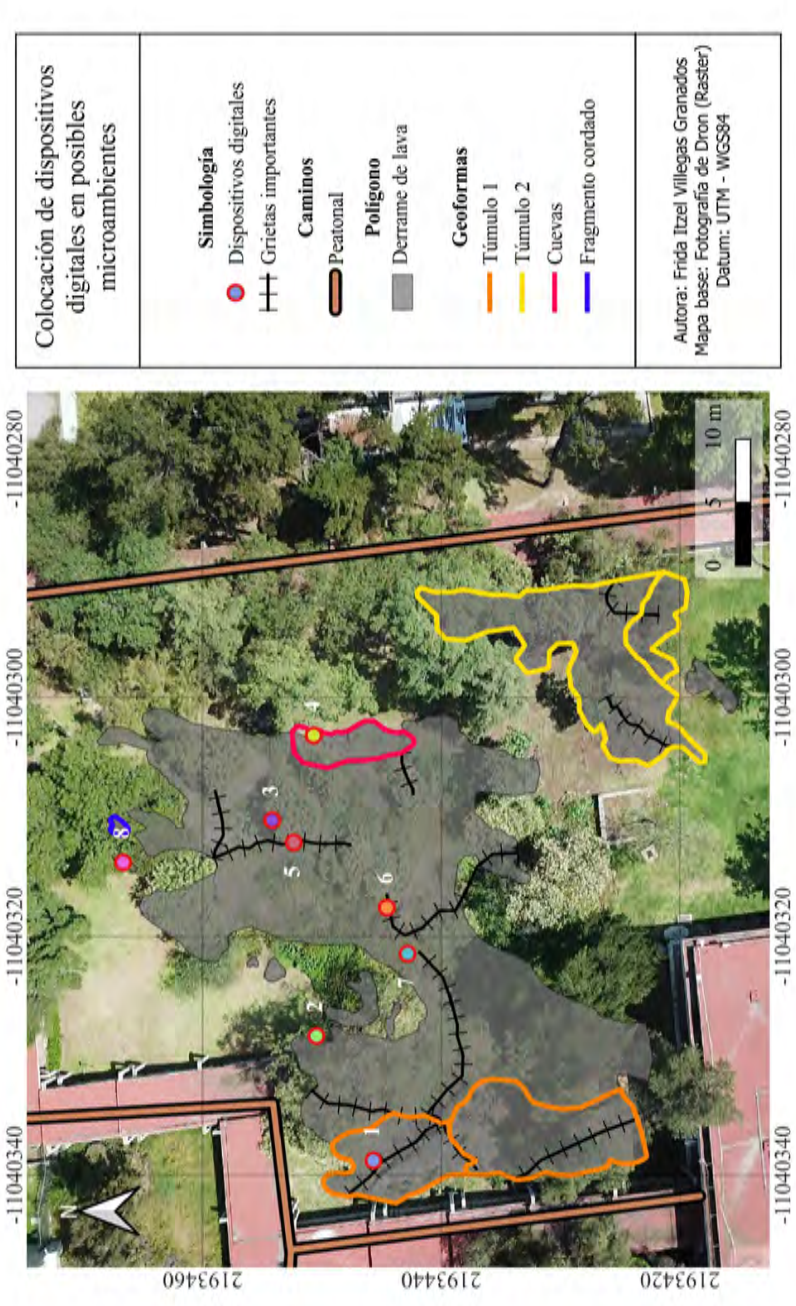
La colocación de los sensores (Figura 6.23) fue determinada considerando su accesibilidad en el sitio, ya que, al ser colocados en un pedregal con tránsito de personas y fauna, los sensores eran vulnerables a ser sustraídos del sitio de estudio (figura 6.24).

Las características de cada microambiente identificado fueron las siguientes:

1. **Promontorios (túmulos).** Se caracterizaron por ser sitios donde la roca se encuentra elevada y expuesta. En ellos la incidencia de luz solar y la temperatura son elevadas, siendo el sitio junto a la grieta no.2 la zona con el registro más elevado de temperatura (55.9°C), mayor incidencia de luz y menor índice de humedad. En ellos se ubican la mayor cantidad de especies herbáceas (Figura 6.25 (a)).

2. **Grietas.** Se ubicaron aquellas rupturas de mayor longitud y/o profundidad dentro del derrame de lava. En ellas se depositó sustrato, por lo que dio pie al crecimiento de especies como los pastos y zacates, helechos, así como algunos tepozanes, higuerillas y leonotis. Su temperatura máxima fue de 35°C (Figura 6.25 (a)).

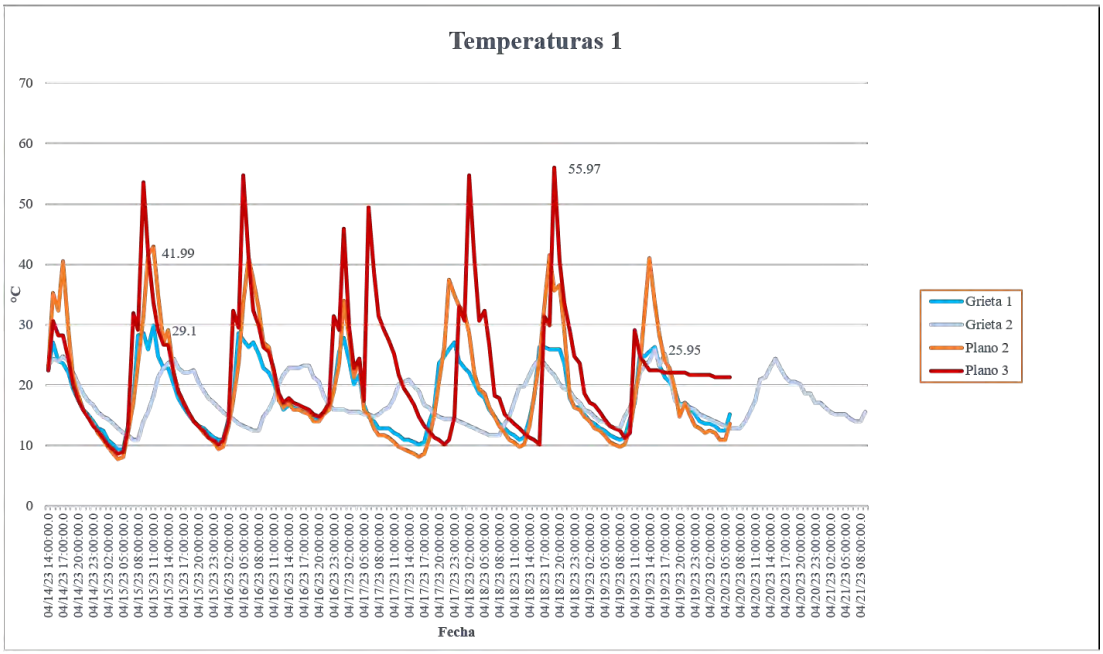
3. **Cuevas pequeñas.** Las paredes de las pequeñas cuevas por levantamiento que se encuentran en el sitio de estudio se caracterizaron por tener una temperatura máxima de 21.8°C (Figura 6.25 (b)), poca incidencia de luz solar y un índice de humedad alto (figura 6.25 (c)), lo cual es favorable para el crecimiento de helechos y musgo.



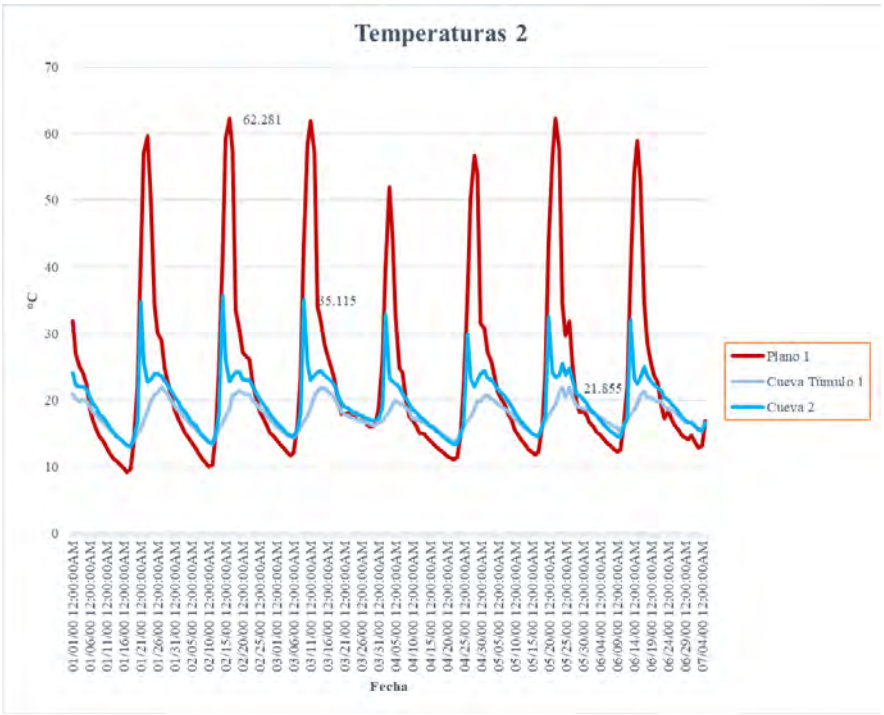
(a)

Figura 6.23: Puntos del derrame de lava en los que se presentan distintas morfologías del relieve, que sirvieron para identificar los posibles microambientes y la posterior colocación de sensores.

Figura 6.24: Sitios entre la vegetación en los que se colocaron los sensores.

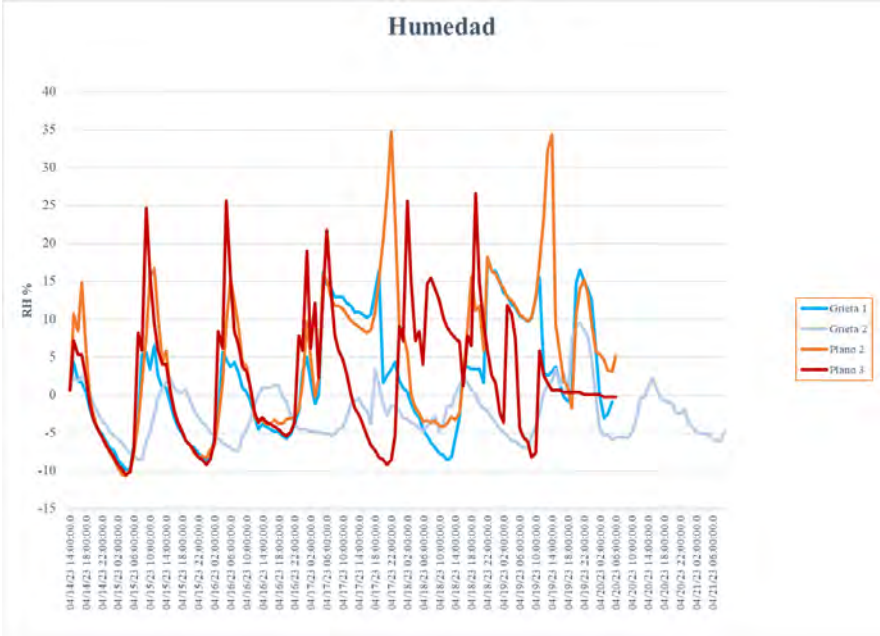


(a)



(b)

Figura 6.25: Temperaturas correspondientes a estructuras principales (a)(b)



(a)

Plano Túmulo 1 (Sensor 1)			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura	23.42	62.28	9.27
Luminosidad	2225.09	20480	0

Cueva Túmulo 1 (Sensor 2)			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura	17.8	21.95	13.07
Luminosidad	29.88	256	0

Plano junto a grieta (Sensor 3)			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura	19.74	49.76	7.88
Luminosidad	833.16	13824	0

Cueva por levantamiento (Sensor 4)			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura	20	36.29	12.98
Luminosidad			

Grieta (Sensor 5)			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura	17.91	29.9	9.42
Humedad	2.05	17.9	-9.79

Plano junto a grieta 2 (Sensor 6)			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura	19.46	42.94	7.83
Humedad	4.99	34.73	-10.6

Plano junto a grieta 3 (Sensor 7)			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura	22.34	55.97	8.63
Humedad	2.16	26.56	-10.43

Grieta 2 (Sensor 8)			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura	17.65	25.95	10.99
Humedad	-2.19	9.6	-8.52

(b)

Figura 6.26: Datos del porcentaje de humedad registrado en los sitios de muestreo (a). **Tabla de sensores.** Mínimos y máximos registrados de las temperaturas, la luminosidad y la humedad (b).

6.3. Amenazas y vulnerabilidades identificadas en el pedregal “Yoltic”

Se acudió al pedregal a partir del día 02 de septiembre del 2022 hasta el 28 de mayo del 2023, en un total de 16 visitas destinadas a registrar los factores, sobre todo antropogénicos, que significasen una amenaza para el ecositema presente en este perdregal remanente, y los cuales son los siguientes:

1. **Límites de zonas aledañas.** Corresponden esencialmente a aquellos con la Coordinación de la Investigación Científica. A pesar de que esta dependencia se encuentra separada del pedregal mediante uno de los pasillos, esta área cuenta con otro pedregal remanente, el número 176 (Figura 2.11). Éste está delimitado por barreras metálicas tubulares (Figura 2.30), lo que lleva a la fragmentación del ecosistema, pues impide el tránsito de fauna y la reproducción de especies vegetales.

Figura 6.27: Delimitación de la Coordinación de la Investigación Científica.

2. **Caminos.** La presencia de caminos asfaltados simboliza que, al estar constituidos de este material, son impermeables (no hay infiltración de agua como naturalmente lo permitiría la roca basáltica), sin embargo, esta agua puede llegar a la porción de pedregales aledaños. Además el asfalto significa un incremento de temperatura en los límites del polígono en comparación del interior de éste (Figura 6.25).

3. **Presencia sistemática de personas.**

   a) **Punto de encuentro de personas.** En el pasillo que colinda con el túmulo 1, se ha observado que un grupo de jóvenes se reúne durante las tardes a fumar marihuana y a consumir alcohol y otras sustancias estupefacientes. Esta actividad supone otro riesgo en temporada seca, pues las colillas de

cigarros mal apagadas, pueden ocasionar incendios; además los desechos son dispuestos en el pedregal, contaminando y afectando la estética del paisaje.

Figura 6.28: Persona consumiendo sustancia estupefaciente.

b) **Sitio de descanso y esparcimiento.** El sitio es visitado en su mayoría por estudiantes y trabajadores de los institutos aledaños, esto durante el periodo de actividades académicas, mas no en vacaciones (cuando suelen haber personas de vigilancia únicamente). Las actividades que se realizan son de descanso, recreación, paseo de mascotas, estudio, deporte y meditación.

Figura 6.29: Grupo de estudiantes descansando y conviviendo en el área de jardinería del pedregal no.178

4. **Zona de interés para construcciones.** En el sitio se localizaron varillas clavadas en diferentes puntos del polígono, sobre todo en las rocas, y algunas están acompañadas de un señalamiento con pintura; esto podría indicar que se planeaba intervenir el sitio o bien, que se realizó un levantamiento topográfico. A pesar de que actualmente no se ha destinado para realizar ninguna construcción, cabe recalcar que, al no ser zona de reserva, el sitio fue considerado para construir la Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, según comenta el personal de los institutos aledaños.

5. **Acumulación de residuos y basura.**

   a) **Producción de basura.** En el pasillo que conecta a la Biblioteca Conjunta y al Servicio Sismológico Nacional, se depositan bolsas de basura que llegan a contener residuos de papelería, desechos orgánicos de podas, latas y botellas de alcohol, colillas de cigarros, cajas de medicamento, etc. Algunas de ellas han sido removidas a lo largo de este estudio, posiblemente por personal de jardinería.

Figura 6.30: Residuos diversos en pasillos y cuevas del pedregal no.178

   b) **Residuos de jardinería.** En el mes de septiembre del 2022, se talaron algunos árboles. Durante una semana se mantuvieron los residuos en el pedregal, pero después se trituraron los troncos en el sitio y se retiró la gran mayoría de desechos (Figura 6.31). Sin embargo, una porción de la materia orgánica remanente, tuvo un proceso de descomposición y se integró al suelo presente entre las rocas del pedregal.

En los meses de noviembre del año 2022 y el de febrero del 2023 se realizaron podas alrededor del derrame de lava; los residuos se dispusieron en las zonas de hondonadas que lo conforman. No fue hasta la poda realizada en el periodo vacacional de julio a agosto del 2023 que se retiraron las dos especies invasoras que predominaban en el pedregal (higuerilla y bola del rey africana), el pastó se recortó, mas no fue retirado de las rocas; en esta ocasión no se dejaron los residuos orgánicos.

c) **Residuos de obras y construcciones.** En las pequeñas cavidades que forma la roca basáltica, se depositaron restos de material de construcción, como lo son pedazos de concreto y adoquines. Además, se encontraron los que probablemente sean los residuos del alambrado de algunos de los institutos, colocados en una de las geoformas más expuestas del pedregal, que es el túmulo 1 (Figura 6.13 , ejemplar de *Sicyos deppei*).

(a)

(b)

Figura 6.31: Tala de un árbol realizada el mes de septiembre del 2022 (a). Hondonada de la cara Norte del pedregal, rellena de residuos de podas de jardinería (b).

6. **Extracción y afectación de flora nativa.** Se observó que, es durante la temporada lluviosa, cuando la mayor parte de las especies vegetales del pedregal florecen, algunas personas recurren al pedregal no. 178 “Yoltic” a cortar flores, tanto de las plantas exóticas que se encuentran en los límites de las coladas de lava, como de las dalias (*Dahlia coccinea*) y oceloxóchitl (*Tigridia pavonia*) que se encuentran en zonas más adentradas a las lavas.

   Cabe resaltar que, en una visita esporádica al pedregal el día 06 de diciembre del 2023, algunos meses después del periodo de floración de los ejemplares de *Tigridia pavonia*, existe evidencia de que estos fueron extraídos completamente (desde el bulbo de la planta) de entre las rocas, dejando únicamente dos ejemplares.

   Por otro lado, también hubo afectaciones a la flora tras labores de jardinería, en el transcurso del año, todas de diferente origen:

   a) El día 11 de mayo del 2023, después de una poda de jardinería, se registró la tala del ejemplar de *Prunus serotina* además de los ejemplares de *Salvia mexicana* que se encontraban frente al derrame continuo del túmulo 1

   b) Para el 01 de agosto del 2023, se registraron afectaciones a ejemplares de *Manfreda scabra* y de *Manfreda variegata*, ya que contaban con las hojas maltratadas y/o rotas, posiblemente como consecuencia de otra labor de poda.

   c) El día 18 de septiembre del 2023 uno de los *Pinus sp.* quebró su tronco tras una noche con tiempo atmosférico de tormenta y viento.

(a)

(b)

Figura 6.32: Ejemplares de *Manfreda scabra* maltratados (trozados) posiblemente por el uso de máquina podadora (a) y cara noreste del túmulo 1 tras la poda del 01 de agosto del 2023 (b).

7. **Introducción de flora exótica.** Al ser un punto que colinda con los institutos, al sitio se le ha dado manejo de jardinería, colocando plantas ornamentales y exóticas en los límites con los pasillos, considerando también al pasto kikuyo. Estas plantas han sido exitosas en su desarrollo, pues han logrado dispersarse en todo el pedregal.

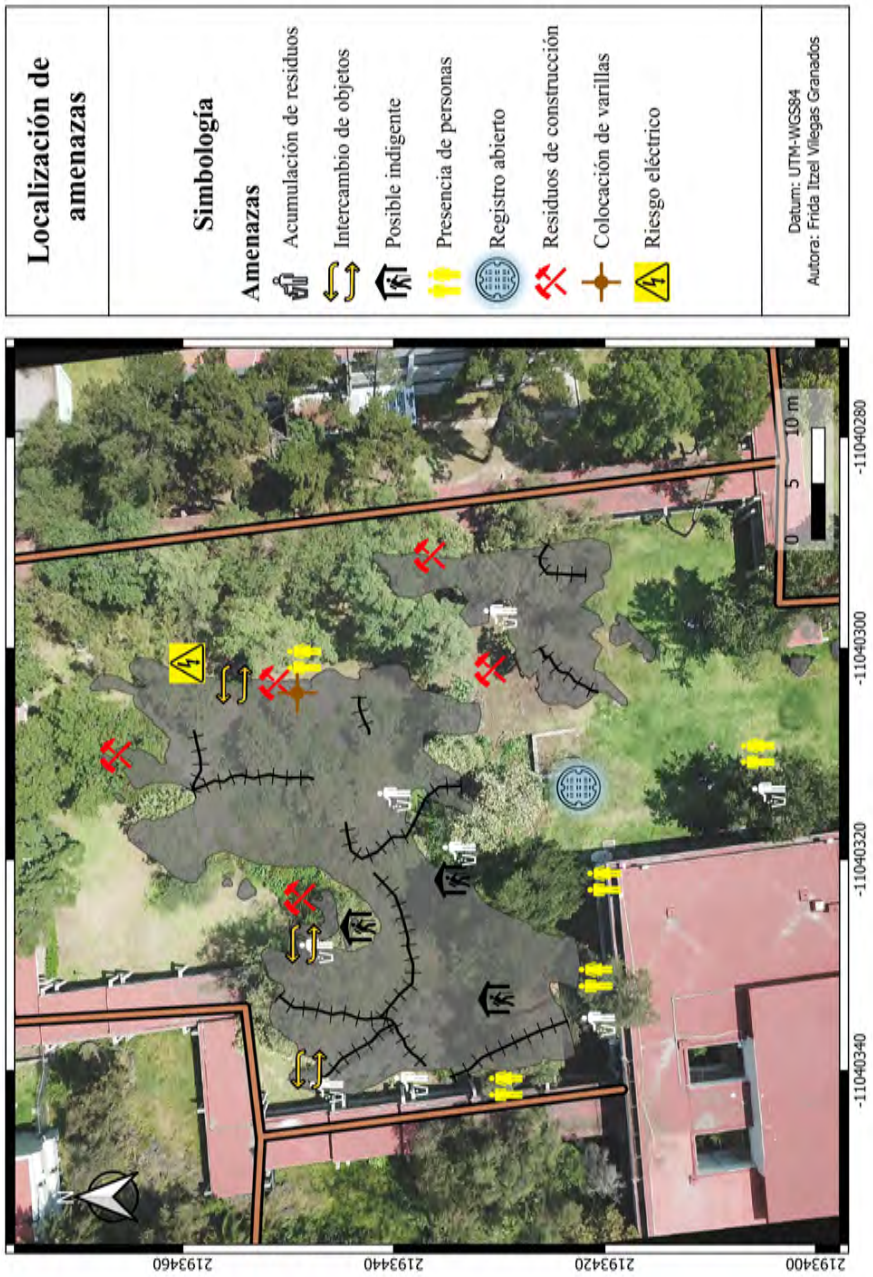
8. **Introducción de fauna nociva.**

   a) Exótica: El pedregal es sitio de tránsito de ardillas *Sciurus aureogaster*, especie introducida en el ecosistema del pedregal de San Ángel.

   b) Feral: Es sitio de tránsito de gatos.

Figura 6.33: Ardilla comiendo sobre un tepozán del pedregal no.178

Asimismo, se realizó un mapa que facilitara ubicar cada una de estas amenazas dentro del polígono del pedregal.



(a)

Figura 6.34: Ubicación de las amenazas de origen antropogénico.

6.4. Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos que se han logrado identificar son los siguientes:

1. **Provisión.** Cuenta con numerosas especies vegetales, en una proporción de 70 % nativas y 30 % exóticas. Actualmente, ambos tipos de vegetación son importantes para la subsistencia de especies animales. Las especies exóticas suelen encontrarse alrededor del polígono, sin embargo, especies como el pasto kikuyo, el árbol pirul y las Leonotis han logrado adentrarse a las rocas que conforman el pedregal. Las especies nativas se concentran en las rocas del pedregal y están en menor cantidad alrededor de él.

2. **Regulación Cualitativamente.** Se ha identificado que hay infiltración en las rocas del pedregal, pues se ha observado escurrimiento en las vesículas de las mismas. De igual forma, la vegetación presente en el sitio aporta sombra y permite que exista una temperatura baja con respecto a la que es perceptible en las áreas de los caminos de concreto.

3. **Soporte.** El suelo presente en las rocas, puede tratarse de un Leptosol hiperesquelético, semejante a otros sitios del Pedregal de San Ángel, por lo que permite el desarrollo de las especies vegetales nativas. Las rocas permiten refugio para animales e insectos. El sustrato de los límites del polígono puede identificarse como un tecnosol, puesto que ha sido acarreado por personas y es rica en abonos y materia orgánica, por lo que el pasto kikuyo es exitoso en él.

4. **Cultural y educativo.** El sitio es adecuado para ejercer diferentes actividades al aire libre como lo es la meditación, el estudio, dibujo, etc. Como un factor psicológico, si bien no se ha realizado un estudio formal de la percepción de las personas que transitan el sitio, se han observado a personas durmiendo en las áreas de pasto y sombra, así como a quienes contemplan el paisaje que ofrece el pedregal.

6.5. Líneas de acción para la conservación y restauración.

Este sitio aún es vulnerable a amenazas que es posible amortiguar con un plan de conservación y divulgación a la comunidad que interactúa con él. Como primera instancia, es necesario definir las actividades a realizar en el sitio a corto y mediano plazo.

1. Continuar el estudio sobre los elementos del ecosistema del pedregal de una forma más específica, es decir, contemplar los nichos ecológicos de cada especie que habita en él, para lograr darle a cada una un respectivo manejo de conservación.

2. Extender la viabilidad para recuperar el sitio, integrando el programa de manejo a la COUS, a la Comisión de Pedregales de la Facultad de Ciencias, al programa de

Coolaboradorus REPSA, y demás instancias que deseen involucrarse en el manejo y en la conservación de los pedregales de Ciudad Universitaria.

3. La eliminación de basura y residuos deberá atenderse a partir de la realización organizada de jornadas de limpieza, practicando la correcta disposición de cada tipo de residuos, además de integrar un plan de colocación de contenedores de basura en el lugar o en otras partes del área de institutos.

4. La prevención de incendios se aborda a partir de erradicar la mala disposición de residuos, sobre todo aquellos que ocasionan combustión, es decir, colillas de cigarro y desechos que reflejan o refractan los rayos del Sol (empaques de aluminio y vidrio).

5. Crear un plan de jornadas de retiro de especies exóticas, con principal enfoque a las áreas de *Leonotis nepetifolia* y *Ricinus communis*, contemplando el plan del manejo adecuado de los residuos orgánicos e inorgánicos que pudieran surgir con apoyo de el equipo de jardinería de la UNAM. Dentro de las labores de jardinería y de retiro de especies exóticas, crear una barrera del pasto kikuyo *Cenchrus clandestinus* y el derrame de lava para visibilizar mejor el patrimonio geológico y evitar el desplazamiento y desaparición de las especies vegetales nativas del pedregal.

6. El control sobre la depredación de especies nativas del pedregal se aborda a partir de crear una estrategia de divulgación en el sitio acerca del correcto cuidado de las mascotas que suelen transitar por el sitio.

7. Trabajo de divulgación de los puntos anteriores además de la importancia del pedregal y del potencial de actividades recreativas, ya sea mediante un solo letrero informativo o a través de redes sociales (colocación de códigos QR en lugares que no perturben el paisaje del sitio).

8. Para evitar la acumulación de residuos de construcción, así como para propiciar el salvamento de especies, es posible proponer la colocación de una delimitación del polígono, el cual deberá cumplir con regulaciones para el libre tránsito de fauna (espacio intermedio de la delimitación con el suelo), como lo puede ser una barrera a base de especies arbustivas del pedregal.

9. Como parte de la apropiación cultural sobre este pedregal remanente, se identifica al mismo con el nombre de "Yoltic", nombre en náhuatl que significa "el que vive", con el fin de mantener la esencia del esfuerzo que ha invertido cada ser viviente del ecosistema frente a la urbanización, lo cual, a su vez, puede significar una motivación para las personas que lleven acabo esta propuesta.

Capítulo 7

Análisis

Las especies vegetales identificadas corresponden a las que se desarrollan durante ambas temporalidades del año (lluviosa en 2022 y seca en 2023), las cuales fueron un total de 80 especies, siendo 48 nativas y 23 introducidas al ecosistema del pedregal. Cada una de estas especies se alberga en las diferentes geoformas que presenta el pedregal "Yoltic", que fueron túmulos, lavas cordadas, planos, cuevas y grietas, así como en las vesículas de las mismas (dependiendo el requerimiento de cada especie vegetal); creando así los microclimas correspondientes. Esto permite el desarrollo de otros seres vivos, como la fauna (en su mayoría nativa) que transita y vive en el sitio. La geo-biodiversidad del sitio resalta al tratarse de un parche del ecosistema remanente del pedregal.

Las amenazas a las que está expuesto el pedregal no. 178 “Yoltic” existen mayormente gracias a la incorrecta disposición de residuos tanto urbanos como de jardinería, por lo que es necesario formar una propuesta del manejo de estos para que pueda conservarse el ecosistema del sitio. En este sentido es necesario destacar que el pedregal no. 178 “Yoltic” se percibe como una zona en la que no se tiene interés por conservar y por ello se convierte en un foco de los problemas mencionados en los resultados.

La visualización de los atributos con los que cuenta el pedregal, es decir, de los servicios ecosistémicos, cobra importancia al momento de realizar las actividades de divulgación y participación en un futuro programa de restauración del sitio, dada la necesidad de realizarlo.

Amenaza	**Riesgo**	**Atributos**
Sitio de interés para la construcción de instalaciones o prácticas que dañen la roca.	Intervención a la roca. Contaminación (falta de limpieza) por material de construcción en el sitio o proveniente de institutos aledaños.	Estética del paisaje conformado por el ecosistema asentado en la roca volcánica y el espacio asignado para jardinería.
Límites de zonas aledañas: enrejado y caminos de concreto.	No permite el libre tránsito de fauna, ni la dispersión de las especies vegetales.	Reproducción de especies nativas del ecosistema del pedregal de San Ángel.
Caminos: tránsito de personas.	Impacto al tránsito de fauna, mala disposición de desechos en los límites del polígono.	El espacio designado a jardinería ofrece un sitio de esparcimiento para la población académica y estudiantil.
Presencia sistemática de personas: consumo de drogas y estupefacientes.	Desarrollo de zonas vulnerables a actos ilícitos, disposición de desechos peligrosos (botellas de vidrio y colillas de cigarro).	Existencia de microclimas, que propician la diversificación de especies vegetales y el resguardo de diferentes especies animales.
Acumulación de residuos orgánicos e inorgánicos en diferentes puntos del derrame, sobre todo oquedades, grietas y cuevas.	Contaminación del sustrato, puntos de infección, deterioro de la imagen del pedregal.	Diversidad en geoformas: túmulos, grietas, oquedades, lavas cordadas y cuevas por levantamiento.
Extracción e introducción de flora y/o fauna.	Impacto a la reproducción de especies vegetales nativas. Posible reproducción de especies exóticas en el pedregal.	Diversos servicios ecosistémicos.

Tabla 7.1: Amenazas, riesgos y atributos del sitio de estudio.

Capítulo 8

Conclusiones

El pedregal no. 178 representa un sitio de importancia para la permanencia de especies nativas, tanto animales como vegetales, y cuenta con un valor geomorfológico significativo del ecosistema original del Pedregal de San Ángel.

Todos estos factores en conjunto brindan servicios a la población humana que interactúa directa e indirectamente con él, la cual está conformada principalmente por estudiantes, académicos, investigadores, personas de intendencia, jardineros y administrativos de la UNAM.

El pedregal representa un sitio de esparcimiento para la comunidad académica y estudiantil, por lo que es posible realizar actividades que integren este aspecto con la respectiva conservación del sitio, siendo el servicio ecosistémico que corresponde a la cultura el que es más tangible para la población y que presta una visualización inmediata de los beneficios que aporta el pedregal.

Este sitio aún es vulnerable a amenazas que es posible amortiguar con un plan de conservación y divulgación, ya que éste lograría hacer partícipe a la comunidad universitaria en la restauración del bio-geopatrimonio de Ciudad Universitaria. Además, con la integración de esta propuesta a la Red de Geosenderos del geositio Geopedregal es posible rehabilitar a corto, mediano y largo plazo el ecosistema remanente del pedregal de San Ángel.

Capítulo 9

Anexo

9.1. Glosario

1. **Amenaza.** Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un lapso dado. El potencial de peligro se mide con su intensidad y periodo de retorno [rie].

2. **Especie exótica o introducida.** Especie introducida fuera de su área de distribución original.[8]

3. **Especie invasora.** Las especies exóticas se consideran invasoras cuando que se establecen, reproducen y dispersan sin control, causando daños al ecosistema, a las especies nativas, a la salud o a la economía.[8]

4. **Especie nativa.** Especie que se encuentra dentro de su área de distribución natural u original (histórica o actual) de acuerdo con su potencial de dispersión natural. La especie forma parte de las comunidades bióticas naturales del área. [8]

5. **Feral o cimarrón.** Que ha pasado del estado doméstico al salvaje y sus camadas asilvestradas.

6. **Fragmentación.** Proceso de división de un hábitat continuo en secciones. Los fragmentos resultantes difieren del hábitat original en ser de menor tamaño, en estar aislados en mayor o menor grado, y en tener efectos de borde[7].

7. **Geoparques mundiales de la UNESCO.** Son las áreas geográficas unificadas, en las que se gestionan sitios y paisajes de importancia geológica internacional. Estos están protegidos por las leyes locales, regionales y/o nacionales. En ellos se busca estimular la creación de empresas locales, de trabajos y cursos de formación, a medida que se generan nuevas fuentes de ingresos a través del geoturismo. A su vez aúnan el patrimonio geológico con el legado natural y cultural del área, con el fin de concienciar a la sociedad de los principales desafíos a los que se enfrenta,

como el uso sostenible de los recursos. En la actualidad ya existen 213 Geoparques Mundiales de la UNESCO en 48 países. [2][27]

8. **Geopatrimonio.** Se trata de la geodiversidad que cuenta con un valor científico, un potencial educativo y que mantiene una relación estrecha con aspectos biológicos y culturales del sitio que se describe. Un sitio considerado como geopatrimonio está destinado a ser protegido y conservado [23].

9. **Geositio.** Son aquellos sitios en los que se identifican aspectos relevantes de la geología de una región [29].

10. **Microambiente.** Entorno inmediato de una célula, tejido u organismo que desempeña un papel crucial en la determinación de su comportamiento y función. Incluye factores físicos, químicos y biológicos que interactúan con la entidad en cuestión e influyen en su desarrollo, crecimiento y supervivencia.[4]

11. **Pedregal remanente.** Fragmento del territorio y ecosistema del Pedregal de San Ángel (derrame del Xitle).

12. **Restauración.** Reparar, renovar o volver a poner algo en el estado o estimación que antes tenía.

13. **Riesgo.** Probabilidad de que un peligro se convierta en un desastre. Combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que la componen son la amenaza y la vulnerabilidad.[rie]

14. **Vulnerabilidad.** Propensión de los sistemas expuestos (asentamientos humanos, infraestructura) a ser dañados por el efecto de un fenómeno perturbador.[rie]

9.2. Contexto socio-ecológico del pedral remanente no.178

(a) **(b)**

Figura 9.1: Vegetación del túmulo 1 para el mes de septiembre del 2022 (a) y remoción de árboles durante la pandemia del 2019-2021 (b).

(a) **(b)**

(c) **(d)**

(e) **(f)**

Figura 9.2: Pasto kikuyo *(Pennisetum clandestinum)* sobre las rocas (a) e higuerilla *(Ricinus communis)* en hondonada (b) del flanco NE-SW del pedregal. Pasto kikuyo predominante en la hondonada del flanco W-E (c). Trabajadores almorzando en el pasillo (d) correspondiente a la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra y registro abierto en el flanco W-E (e). Plantas aplanadas en hondonada debido al acceso de personas (f). Meses de noviembre del 2022.

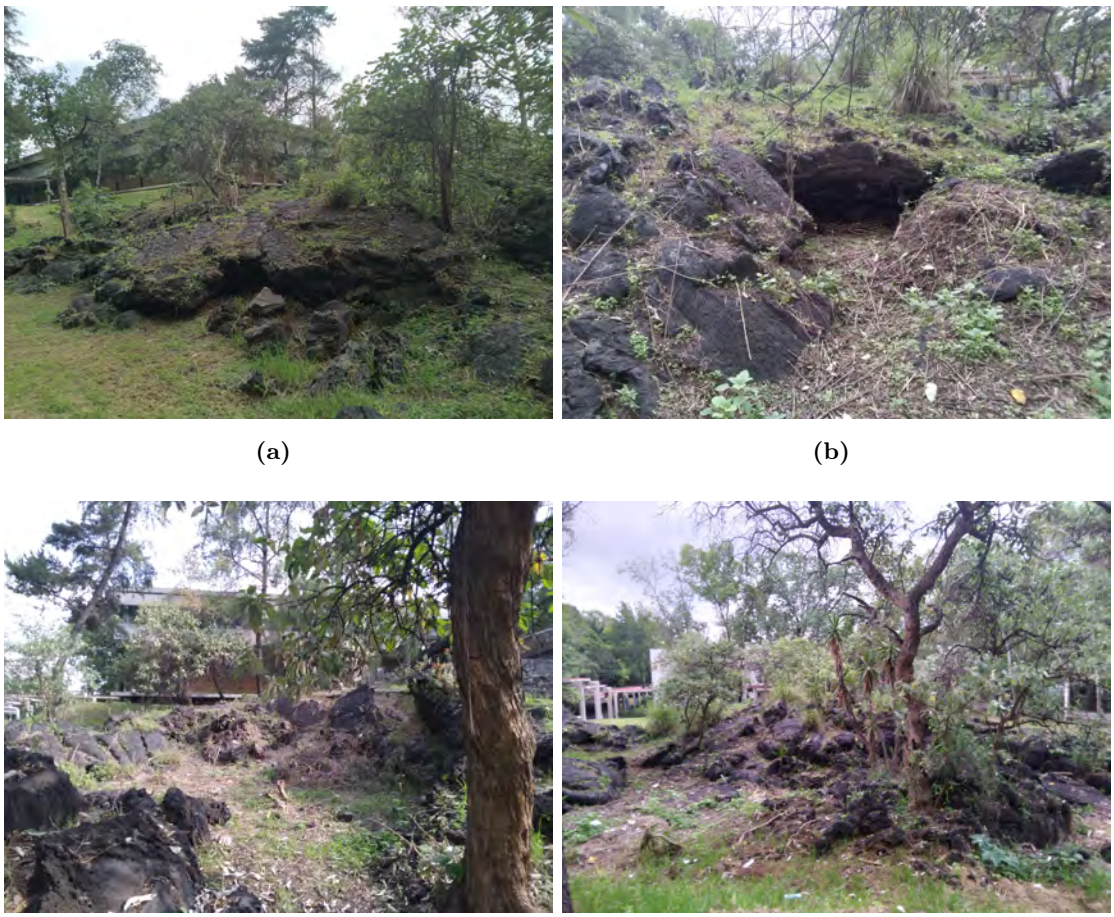
Figura 9.3: *Spot* de *Leonotis nepetifolia*. Mes de enero del 2023

(a)

(b)

(c)

Figura 9.4: *Spot* de *Leonotis nepetifolia* (a), pasto kikuyo y herbáceas del flanco W-E durante temporada seca (b). Caja con basura frente a la Biblioteca Conjunta (c). Vegetación del túmulo 1 durante temporada seca(d). Mes de enero del 2023



(a) **(b)**

(c) **(d)**

Figura 9.5: Colada de lava vista desde el flanco SE-NW (a), cueva por levantamiento descubierta tras poda (b). Hondonada del flanco NE-SW descubierta tras labores de jardinería (c). Retiro de la vegetación seca del flanco W-E (d). Mes de agosto del 2023

9.3. Especies animales

(a)

(b)

(c)

Figura 9.6: Chapulín y catarina sin manchas (a). Orugas de *Lepidoptera* (b)(c).

(a)

(b)

(c)

Figura 9.7: Hongos agaricales (a)(b). Arañas (c).

(a)

(b)

Figura 9.8: Excreta de cacomixtle norteño (a), refugio de carpintero (b) y organismo de culebra terrestre hallada sin cabeza (c).

(a)

(b)

Figura 9.9: Mariposas alimentándose de dalias (a). Lagartijas del pedregal (b).

(a) **(b)**

(c) **(d)**

Figura 9.10: Ciclo de vida de *Nathalis iole*. Huevecillo (a) y crisálida (b) sobre planta *Plumbago pulchella*. Organismo adulto (c)(d).

(a)

(b)

(c)

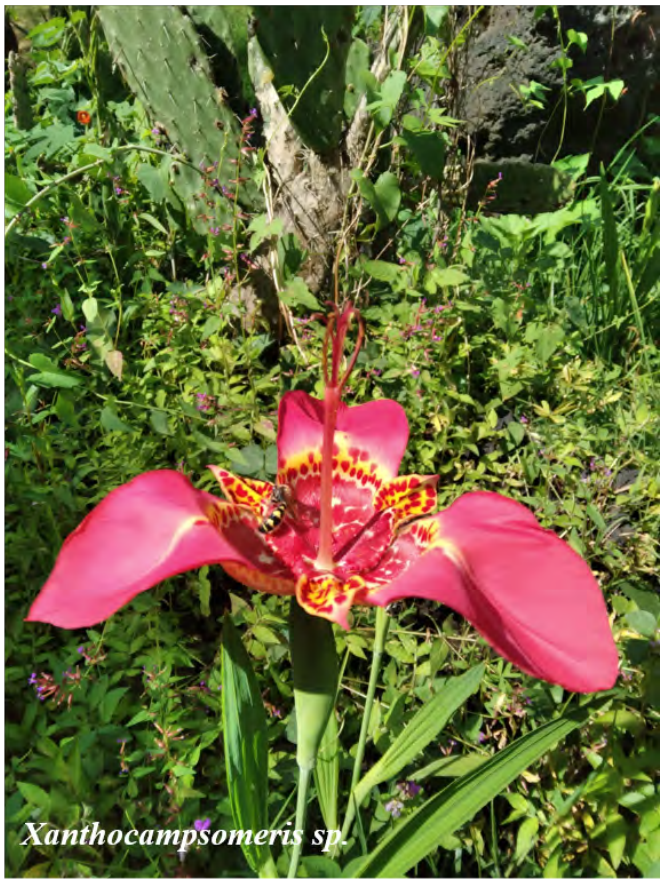
Figura 9.11: Sírfido y abejorro carpintero azteca (a). Ácaro y grana cochinilla (b). Mosquero pecho canela y carpintero mexicano hembra (c).

(a)

(b)

Figura 9.12: Chipe corona negra, ave migratoria de invierno (a), Ardillón de rocas (b).

(a)



(b)

Figura 9.13: Polilla camuflada entre vegetación seca (a). Oceloxóchitl polinizada por avispa durante temporada lluviosa del 2022 (b).

Bibliografía

[rie] Peligros y riesgos por fenómenos naturales. 83, 84

[2] (2017). Geoparques mexicanos en la red mundial de la unesco. *Boletín de Geonoticias*, (204):1–3. 3, 84

[3] Avendaño, D., Cedeño, B., and Arroyo, M. (2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*, 2(65):63–90. 30

[4] Bell, A. (2023). The role of the microenvironment in nature andhumans. *International Research Journal of Research in Environmental Science and Toxicology*, 12(2):1–3. 84

[5] Castillo, S. (2007). *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: aspectos florísticos y ecológicos.* México, Distrito Federal. 11, 15, 29

[6] Cervantes, P. and Wallace, P. (2003). Magma degassing and basaltic eruption styles: a case study of −2000 year bp xitle volcano in central mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 120(3–4):249–270. 1, 6

[7] CONABIO (2020). Fragmentación. 83

[8] CONABIO (2022). Biodiversidad mexicana. 83

[9] Delgado, H., Molinero, R., Cervantes, P., Nieto, J., Lozano, R., Macías, H., and Silva, G. (1998). Geology of xitle volcano in southern mexico city -a 2000 year old monogenetic volcano in an urban area. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(2):115–131. 4, 6

[10] Guilbaud, M.-N., Ortega, P., Cram, S., and van Wyk, B. (2021). Xitle volcano geoheritage, mexico city: Raising awareness of natural hazards and environmental sustainability in active volcanic areas. *Geoheritage*, 13(1). 1, 3, 4, 13, 20

[11] Lermo, F. (2020). Actualización de la zonificación sísmica de la ciudad de méxico y áreas aledañas-parte norte. Technical report, Instituto de Ingeniería, UNAM. 15

[12] Lot, A., Santana, Z., and Alvarado, E. (2009). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel: libro conmemorativo del 25 aniversario de la reserva ecológica de ciudad universitaria 1983-2008*. UNAM, Coordinación de la Investigación Científica, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 1, 15, 16, 30

[13] Murillo, E., Huerta, T., Sánchez, I., E., E. S., and Soto, D. (2023). *Reporte Final del Taller de Investigación en Geopatrimonio de Ciudad Universitaria - 2023*. 23

[14] Ortega, P. (2015). El suelo: hábitat de interacciones maravillosas. *Biodiversitas*, (122):10–13. 16

[15] Palacio, J. and Guilbaud, M. (2015). Patrimonio natural de la reserva ecológica del pedregal de san Ángel y áreas cercanas: sitios de interés geológico y geomorfológico al sur de la cuenca de méxico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2):227–244. 13, 14, 15, 16, 28

[16] Palacio, J. and Vázquez, L. (2016). Geodiversidad y geopatrimonio. *Repositorio de Innovación Educativa*, pages 102–114. 3

[17] Rojo, A. (1994). *Reserva Ecológica El Pedregal de San Angel: ecología, historia natural y manejo.* Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal, 1 edition. 7

[18] Rzedowski, J. (1994). *Vegetación del Pedregal de San Ángel.* 504 pp. UNAM, México. 15

[19] Self, S., Keszthelyi, L., and Thordarson, T. (1998). The importance of pahoehoe. *Earth Planet*, (26):81–110. 6, 7, 9, 10

[20] SEREPSA (2007). *Manual de Procedimientos del Programa De Adopción de la Reserva Ecológica del Pedregal.* México, Ciudad de México. 1, 18, 31

[21] SEREPSA (2013). Programa de servicio social. 17

[22] SEREPSA (2022). *Plan de manejo adaptativo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.* Universidad Nacional Autónoma de México. 31

[23] Sharples, C. (2002). Concepts and principles of geoconservation. 84

[24] Siebe, C. (2000). Age and archaeological implications of xitle volcano, southwestern basin of mexico-city. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (104):45–64. 4

[25] Siebe, C. (2009). La erupción del volcán xitle y las lavas del pedregal hace 1670 ± 35 años ap y sus implicaciones. *Bioiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel.*, pages 43–49. 1, 4

[26] Siebe, C., Mendoza, P., Juárez, S., Vázquez, L., and Cram, S. (2016). *Consecuencias de la actividad volcánica del Xitle y el disturbio antrópico sobre las propiedades del suelo y la diversidad vegetal del Parque Ecológico de la Ciudad de México en el Ajusco medio.* SEDEMA, Ciudad de México. 4

[27] UNESCO (2024). Los geoparques mundiales de la unesco. 3, 84

[28] Wilmoth, R. and Walker, G. (1993). P-type and s-type pahoehoe: a study of vesicle distribution patterns in hawaiian lava flows. *Volcanol.Geotherm*, (55):129–142. 7, 8

[29] Wimbledon, W., Ishchenko, A., Gerasimenko, N., Karis, L., Suominen, V., Johansson, C., and Freden, C. (2000). Geosites -an iugs initiative: science supported by conservation. *Geological Heritage: Its Conservation and Management*, pages 69–94. 84

[30] Zambrano, L., Rodríguez, S., Pérez, M., Gil, G., Camarena, P., and Lot, A. (2016). *Atlas de Riesgos de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.* Universidad Nacional Autónoma de México, México, Ciudad de México. 1, 2, 15, 18, 19, 20, 28, 29