



**Proyecto PAPIME
PE100422**



GUÍA DE CAMPO SOBRE LA DIVERSIDAD GEOLÓGICA, BIOLÓGICA Y EDAFOLÓGICA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

**Dra. Rosario Vázquez Morales
Dr. Alberto Prado Farías
Mtra. Mariana De la Teja Peñaloza
Dra. Berlaine Ortega Flores
M.C. Abel Ibáñez Huerta**



Guía de campo sobre la diversidad geológica, biológica y edafológica del Estado de Querétaro

Proyecto PE100422



Dra. Rosario Vázquez Morales

Escuela Nacional de Estudios Superiores, UNAM, Unidad Juriquilla, Qro.

Dr. Alberto Prado Farías

Escuela Nacional de Estudios Superiores, UNAM, Unidad Juriquilla, Qro.

Mtra. Mariana De la Teja Peñaloza

Escuela Nacional de Estudios Superiores, UNAM, Unidad Juriquilla, Qro.

Dra. Berlaine Ortega Flores

Instituto de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla, Qro.

M.C. Abel Ibáñez Huerta

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias Juriquilla, UNAM, Campus Juriquilla, Qro.

“Guía de campo sobre la diversidad geológica, biológica y edafológica del Estado de Querétaro”, Vázquez y col., D. R., ©, 2024, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución, No comercial Código Legal: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.es>, (CC-BY-NC-SA).

Guía de campo sobre la diversidad geológica, biológica y edafológica del Estado de Querétaro

Vázquez, R., Prado, A., De la Teja, M., Ortega, B., Ibáñez, A.

Publicación financiada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico en el marco del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME), bajo el Proyecto PE100422.

Segunda edición: Marzo, 2025

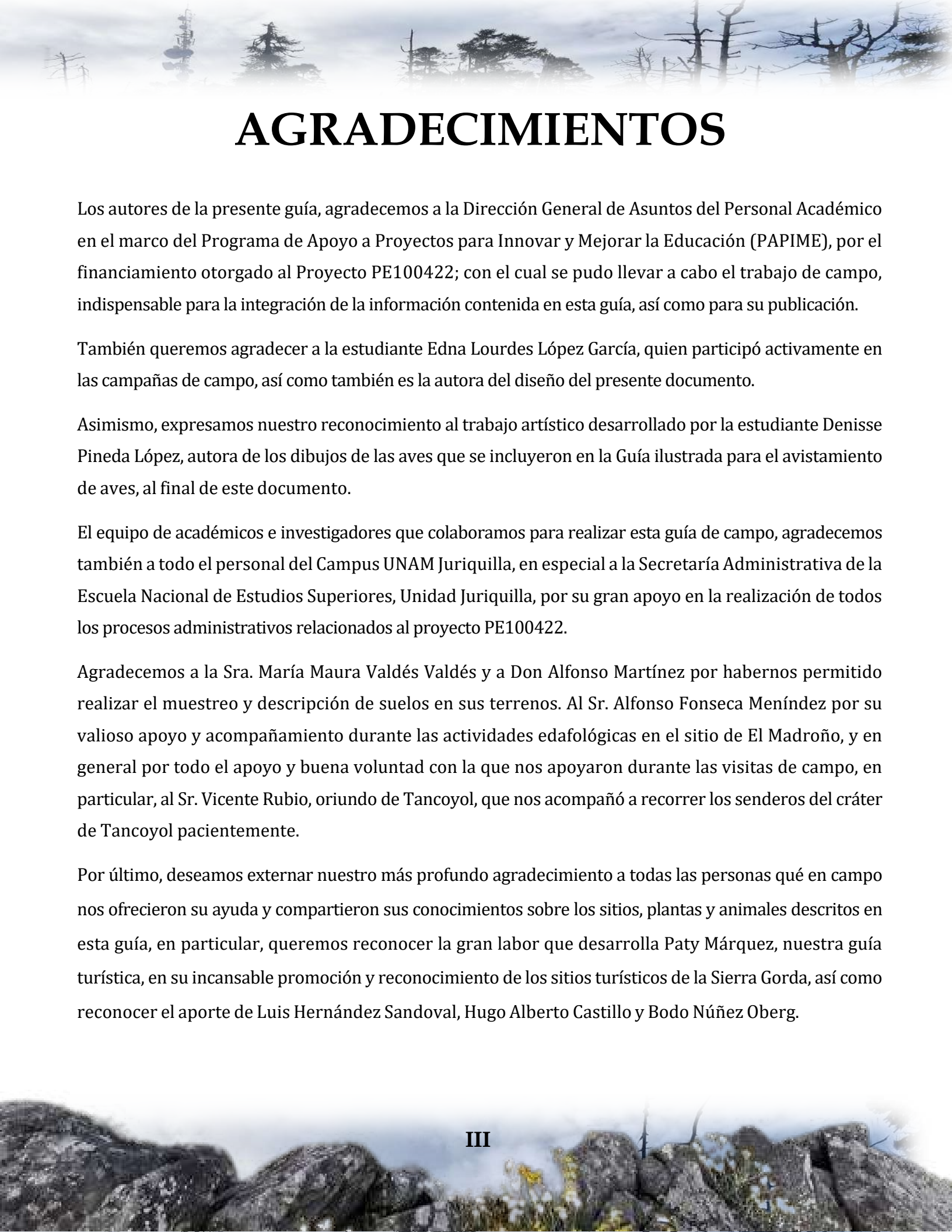
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD JURIQUILLA

Juriquilla, Querétaro

C.P. 76230, México, Querétaro

www.enesjuriquilla.unam.mx

Foto de portada: Vista del interior del Cañón El Paraíso, Peñamiller, Qro., tomada por Alberto Prado Farías en enero de 2023.



AGRADECIMIENTOS

Los autores de la presente guía, agradecemos a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico en el marco del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME), por el financiamiento otorgado al Proyecto PE100422; con el cual se pudo llevar a cabo el trabajo de campo, indispensable para la integración de la información contenida en esta guía, así como para su publicación.

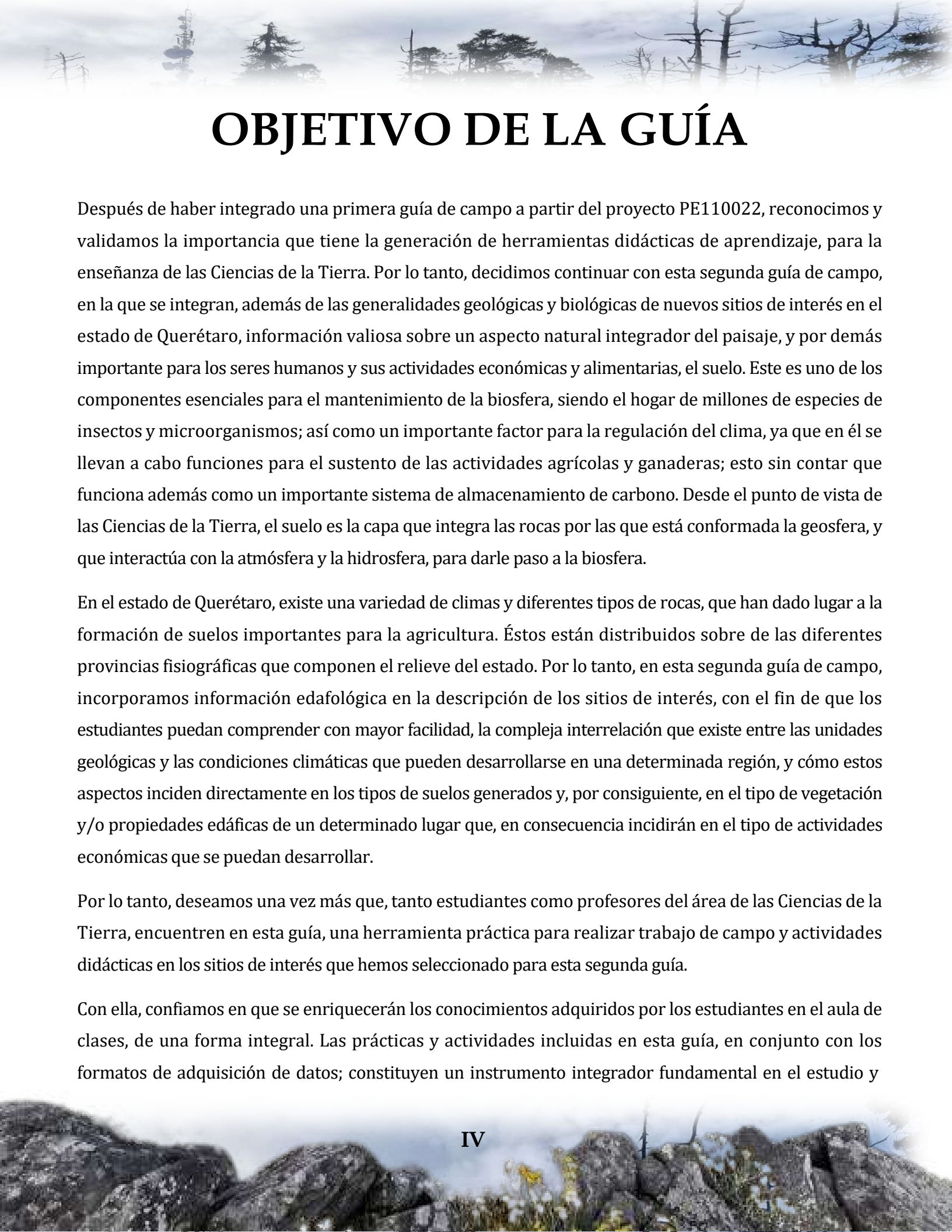
También queremos agradecer a la estudiante Edna Lourdes López García, quien participó activamente en las campañas de campo, así como también es la autora del diseño del presente documento.

Asimismo, expresamos nuestro reconocimiento al trabajo artístico desarrollado por la estudiante Denisse Pineda López, autora de los dibujos de las aves que se incluyeron en la Guía ilustrada para el avistamiento de aves, al final de este documento.

El equipo de académicos e investigadores que colaboramos para realizar esta guía de campo, agradecemos también a todo el personal del Campus UNAM Juriquilla, en especial a la Secretaría Administrativa de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Juriquilla, por su gran apoyo en la realización de todos los procesos administrativos relacionados al proyecto PE100422.

Agradecemos a la Sra. María Maura Valdés Valdés y a Don Alfonso Martínez por habernos permitido realizar el muestreo y descripción de suelos en sus terrenos. Al Sr. Alfonso Fonseca Menéndez por su valioso apoyo y acompañamiento durante las actividades edafológicas en el sitio de El Madroño, y en general por todo el apoyo y buena voluntad con la que nos apoyaron durante las visitas de campo, en particular, al Sr. Vicente Rubio, oriundo de Tancoyol, que nos acompañó a recorrer los senderos del cráter de Tancoyol pacientemente.

Por último, deseamos externar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas que en campo nos ofrecieron su ayuda y compartieron sus conocimientos sobre los sitios, plantas y animales descritos en esta guía, en particular, queremos reconocer la gran labor que desarrolla Paty Márquez, nuestra guía turística, en su incansable promoción y reconocimiento de los sitios turísticos de la Sierra Gorda, así como reconocer el aporte de Luis Hernández Sandoval, Hugo Alberto Castillo y Bodo Núñez Oberg.



OBJETIVO DE LA GUÍA

Después de haber integrado una primera guía de campo a partir del proyecto PE110022, reconocimos y validamos la importancia que tiene la generación de herramientas didácticas de aprendizaje, para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Por lo tanto, decidimos continuar con esta segunda guía de campo, en la que se integran, además de las generalidades geológicas y biológicas de nuevos sitios de interés en el estado de Querétaro, información valiosa sobre un aspecto natural integrador del paisaje, y por demás importante para los seres humanos y sus actividades económicas y alimentarias, el suelo. Este es uno de los componentes esenciales para el mantenimiento de la biosfera, siendo el hogar de millones de especies de insectos y microorganismos; así como un importante factor para la regulación del clima, ya que en él se llevan a cabo funciones para el sustento de las actividades agrícolas y ganaderas; esto sin contar que funciona además como un importante sistema de almacenamiento de carbono. Desde el punto de vista de las Ciencias de la Tierra, el suelo es la capa que integra las rocas por las que está conformada la geosfera, y que interactúa con la atmósfera y la hidrosfera, para darle paso a la biosfera.

En el estado de Querétaro, existe una variedad de climas y diferentes tipos de rocas, que han dado lugar a la formación de suelos importantes para la agricultura. Éstos están distribuidos sobre de las diferentes provincias fisiográficas que componen el relieve del estado. Por lo tanto, en esta segunda guía de campo, incorporamos información edafológica en la descripción de los sitios de interés, con el fin de que los estudiantes puedan comprender con mayor facilidad, la compleja interrelación que existe entre las unidades geológicas y las condiciones climáticas que pueden desarrollarse en una determinada región, y cómo estos aspectos inciden directamente en los tipos de suelos generados y, por consiguiente, en el tipo de vegetación y/o propiedades edáficas de un determinado lugar que, en consecuencia incidirán en el tipo de actividades económicas que se puedan desarrollar.

Por lo tanto, deseamos una vez más que, tanto estudiantes como profesores del área de las Ciencias de la Tierra, encuentren en esta guía, una herramienta práctica para realizar trabajo de campo y actividades didácticas en los sitios de interés que hemos seleccionado para esta segunda guía.

Con ella, confiamos en que se enriquecerán los conocimientos adquiridos por los estudiantes en el aula de clases, de una forma integral. Las prácticas y actividades incluidas en esta guía, en conjunto con los formatos de adquisición de datos; constituyen un instrumento integrador fundamental en el estudio y

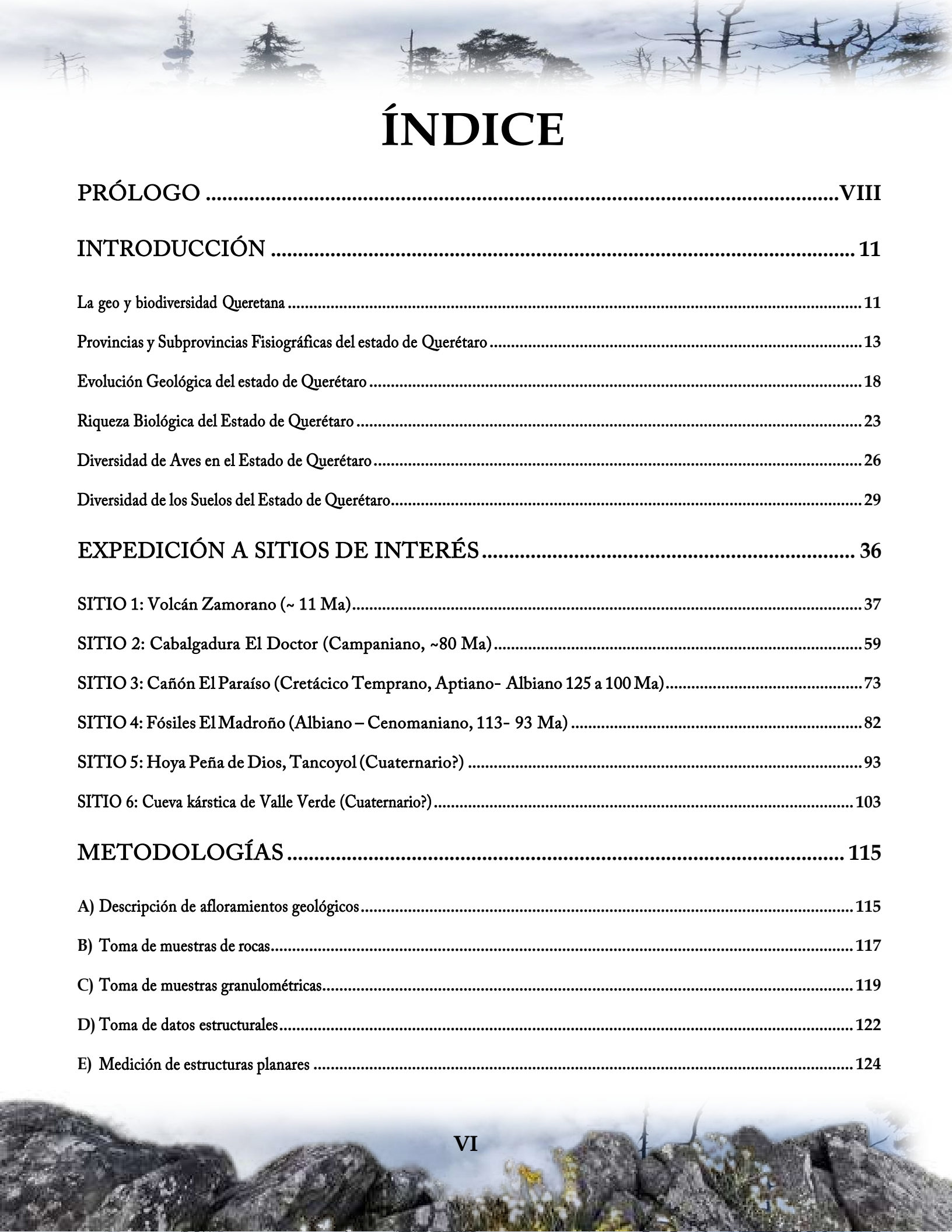


aprendizaje de las Ciencias de la Tierra, aportando un vínculo de interacción entre el conocimiento teórico y las habilidades prácticas. Dicha interacción, alcanza su máxima expresión cuando el alumno se enfrenta al discernimiento de fenómenos y problemas reales en el medio natural. Las actividades propuestas, fomentan en las y los estudiantes un enfoque analítico y crítico de su entorno, además de que, en conjunto se busca que las y los estudiantes desarrollen una forma de interpretar el medio en el que viven y desarrollan, de un modo integral y no de forma aislada. Estos conocimientos les servirán en su desempeño profesional, para interpretar la historia y evolución del sistema Tierra, y en particular del estado actual del territorio Queretano, en términos de su bio y geodiversidad, a partir de la experiencia didáctica y dinámica que ofrece la naturaleza durante el trabajo de campo.

La información presentada en esta guía describe la riqueza geológica, biológica y edafológica aportada por el territorio Queretano en la historia evolutiva de nuestro país, a partir de la descripción de 6 nuevos sitios de interés, distribuidos entre las distintas provincias fisiográficas enmarcadas en el estado de Querétaro (Mapa 1), además de que retomamos uno de los sitios incluidos en la primera guía de campo (Cabalgadura El Doctor), a fin de incluir la descripción edafológica de las dos formaciones geológicas que afloran en ese sitio, y la relevancia que estas tienen en la formación de los distintos suelos que se hallan en el lugar.

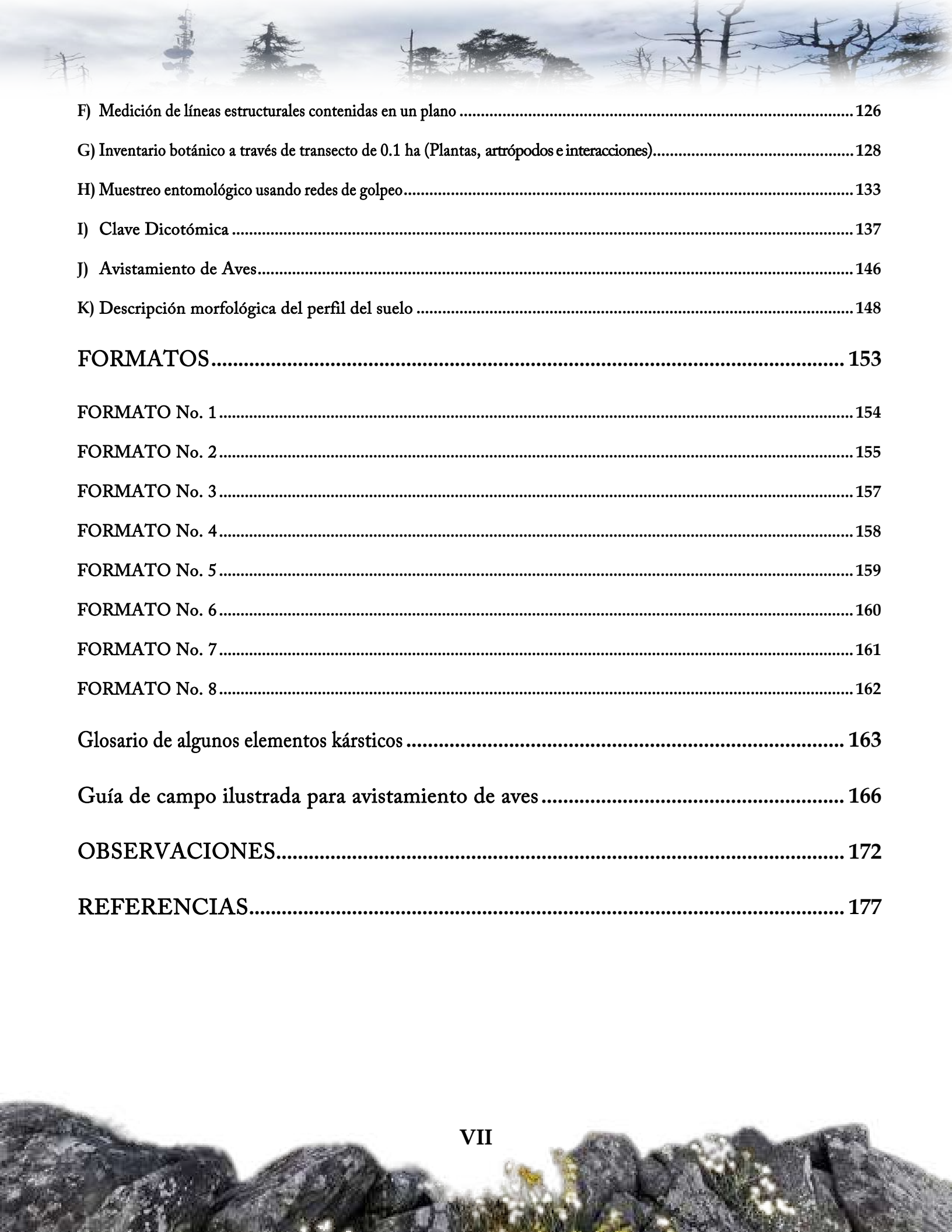
Finalmente, los autores de este documento, deseamos que esta guía se pueda seguir enriqueciendo con las experiencias aportadas tanto por los profesores, como por los estudiantes que la utilicen. De la misma manera, esperamos seguir integrando nuevos documentos que incluyan más información y nuevos sitios de interés, hasta poder cubrir en su totalidad, los rincones especiales del estado de Querétaro.





ÍNDICE

PRÓLOGO	VIII
INTRODUCCIÓN	11
La geo y biodiversidad Queretana	11
Provincias y Subprovincias Fisiográficas del estado de Querétaro	13
Evolución Geológica del estado de Querétaro	18
Riqueza Biológica del Estado de Querétaro	23
Diversidad de Aves en el Estado de Querétaro	26
Diversidad de los Suelos del Estado de Querétaro.....	29
EXPEDICIÓN A SITIOS DE INTERÉS.....	36
SITIO 1: Volcán Zamorano (~ 11 Ma).....	37
SITIO 2: Cabalgadura El Doctor (Campaniano, ~80 Ma).....	59
SITIO 3: Cañón El Paraíso (Cretácico Temprano, Aptiano- Albiano 125 a 100 Ma).....	73
SITIO 4: Fósiles El Madroño (Albiano – Cenomaniano, 113- 93 Ma)	82
SITIO 5: Hoya Peña de Dios, Tancoyol (Cuaternario?)	93
SITIO 6: Cueva kárstica de Valle Verde (Cuaternario?)	103
METODOLOGÍAS	115
A) Descripción de afloramientos geológicos.....	115
B) Toma de muestras de rocas.....	117
C) Toma de muestras granulométricas.....	119
D) Toma de datos estructurales.....	122
E) Medición de estructuras planares	124



F) Medición de líneas estructurales contenidas en un plano	126
G) Inventario botánico a través de transecto de 0.1 ha (Plantas, artrópodos e interacciones).....	128
H) Muestreo entomológico usando redes de golpeo.....	133
I) Clave Dicotómica	137
J) Avistamiento de Aves.....	146
K) Descripción morfológica del perfil del suelo	148

FORMATOS..... 153

FORMATO No. 1	154
---------------------	-----

FORMATO No. 2	155
---------------------	-----

FORMATO No. 3	157
---------------------	-----

FORMATO No. 4	158
---------------------	-----

FORMATO No. 5	159
---------------------	-----

FORMATO No. 6	160
---------------------	-----

FORMATO No. 7	161
---------------------	-----

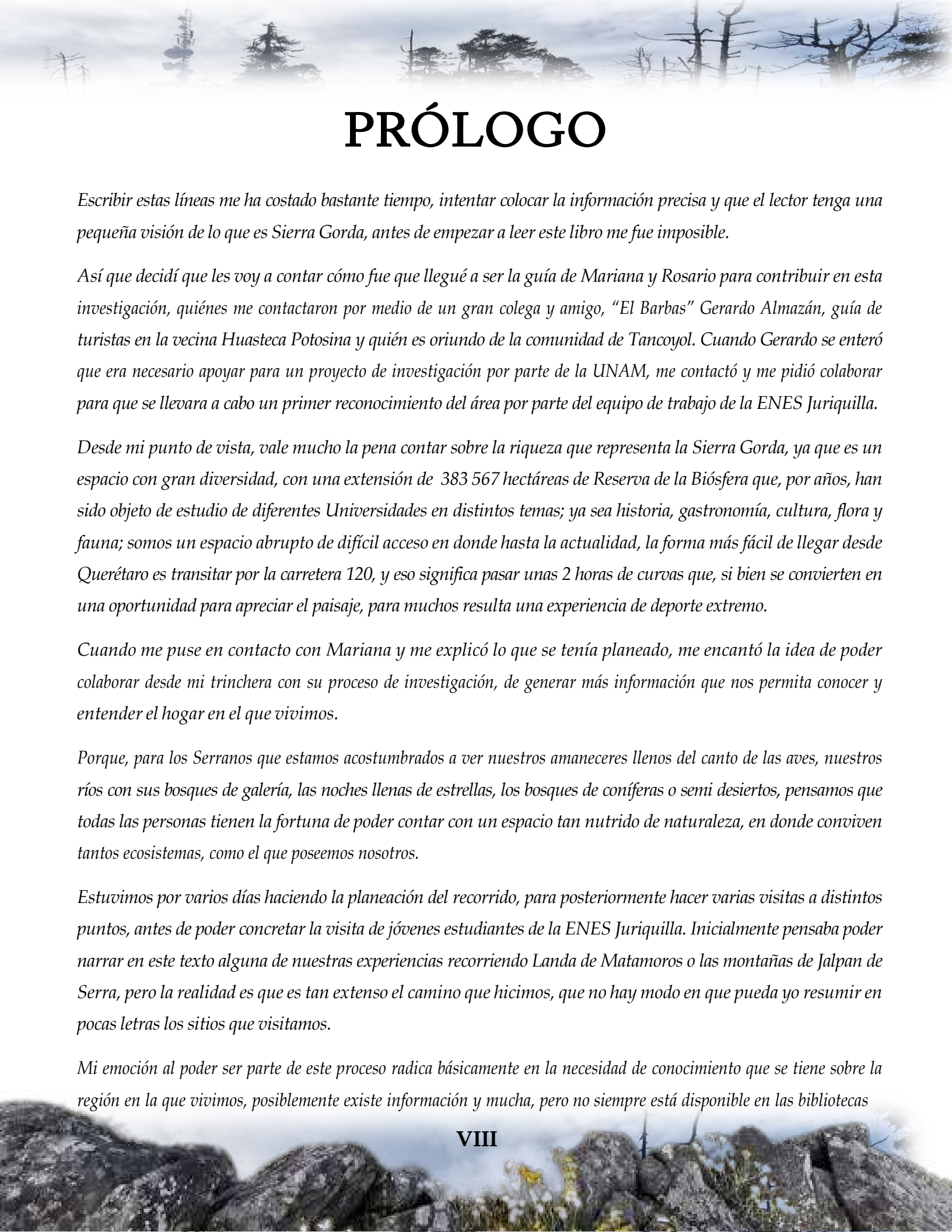
FORMATO No. 8	162
---------------------	-----

Glosario de algunos elementos kársticos	163
---	-----

Guía de campo ilustrada para avistamiento de aves	166
---	-----

OBSERVACIONES..... 172

REFERENCIAS..... 177



PRÓLOGO

Escribir estas líneas me ha costado bastante tiempo, intentar colocar la información precisa y que el lector tenga una pequeña visión de lo que es Sierra Gorda, antes de empezar a leer este libro me fue imposible.

Así que decidí que les voy a contar cómo fue que llegué a ser la guía de Mariana y Rosario para contribuir en esta investigación, quiénes me contactaron por medio de un gran colega y amigo, “El Barbas” Gerardo Almazán, guía de turistas en la vecina Huasteca Potosina y quién es oriundo de la comunidad de Tancoyol. Cuando Gerardo se enteró que era necesario apoyar para un proyecto de investigación por parte de la UNAM, me contactó y me pidió colaborar para que se llevara a cabo un primer reconocimiento del área por parte del equipo de trabajo de la ENES Juriquilla.

Desde mi punto de vista, vale mucho la pena contar sobre la riqueza que representa la Sierra Gorda, ya que es un espacio con gran diversidad, con una extensión de 383 567 hectáreas de Reserva de la Biósfera que, por años, han sido objeto de estudio de diferentes Universidades en distintos temas; ya sea historia, gastronomía, cultura, flora y fauna; somos un espacio abrupto de difícil acceso en donde hasta la actualidad, la forma más fácil de llegar desde Querétaro es transitar por la carretera 120, y eso significa pasar unas 2 horas de curvas que, si bien se convierten en una oportunidad para apreciar el paisaje, para muchos resulta una experiencia de deporte extremo.

Cuando me puse en contacto con Mariana y me explicó lo que se tenía planeado, me encantó la idea de poder colaborar desde mi trinchera con su proceso de investigación, de generar más información que nos permita conocer y entender el hogar en el que vivimos.

Porque, para los Serranos que estamos acostumbrados a ver nuestros amaneceres llenos del canto de las aves, nuestros ríos con sus bosques de galería, las noches llenas de estrellas, los bosques de coníferas o semi desiertos, pensamos que todas las personas tienen la fortuna de poder contar con un espacio tan nutrido de naturaleza, en donde conviven tantos ecosistemas, como el que poseemos nosotros.

Estuvimos por varios días haciendo la planeación del recorrido, para posteriormente hacer varias visitas a distintos puntos, antes de poder concretar la visita de jóvenes estudiantes de la ENES Juriquilla. Inicialmente pensaba poder narrar en este texto alguna de nuestras experiencias recorriendo Landa de Matamoros o las montañas de Jalpan de Serra, pero la realidad es que es tan extenso el camino que hicimos, que no hay modo en que pueda yo resumir en pocas letras los sitios que visitamos.

Mi emoción al poder ser parte de este proceso radica básicamente en la necesidad de conocimiento que se tiene sobre la región en la que vivimos, posiblemente existe información y mucha, pero no siempre está disponible en las bibliotecas



públicas o al alcance de las personas que no estudiamos precisamente la materia, sino más bien que vamos por la vida intentando entender y transmitir un poco de conocimiento a los visitantes, como lo hacemos los guías de turistas.

Formar parte de este proceso de investigación y sumar al trabajo, siendo un enlace entre los investigadores y las comunidades, recorriendo los hermosos y enigmáticos rincones que tienen las montañas de la Sierra Gorda, fue sumamente enriquecedor, así que aprovecharé este espacio para agradecer el tiempo, la dedicación, el esfuerzo y los recursos invertidos, para que el día de hoy esta guía esté en manos del lector, siendo estas líneas una invitación a visitar la Sierra Gorda.

La guía que tienen en sus manos les dará información previa para que posteriormente se pongan en marcha y decidan conocer aquello que más les llame la atención.

L.N.T. Reyna Patricia Márquez Chávez

Guía de Turistas de la Sierra Gorda en la NOM09

INTRODUCCIÓN

La geo y biodiversidad Queretana

De acuerdo con la clasificación propuesta por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, s.f.), el estado de Querétaro está comprendido entre 3 provincias fisiográficas principales (Mapa 1): la Sierra Madre Oriental (V), la Mesa del Centro (IX) y el Eje Neovolcánico (X).



Mapa 1 - Mapa de las Provincias Fisiográficas de México en el que se resalta la ubicación del estado de Querétaro. (Mapa elaborado por Edna López, enero de 2023, a partir del conjunto de datos vectoriales fisiográficos escala 1:1,000,000 de Instituto Nacional de Estadística y Geografía, [INEGI], 2001).

Las características físicas de estas provincias son el resultado de procesos tectónicos de gran magnitud, los cuales han tenido lugar desde hace cientos de millones de años en esta parte del territorio nacional, y que, por consecuente son los responsables de la presencia y exposición de ciertos tipos de roca a lo largo y ancho del territorio Queretano. Estos afloramientos rocosos son moldeados y/o erosionados por procesos exógenos o superficiales a lo largo del tiempo geológico, dando lugar también a una diversidad de suelos, así como a una flora y fauna endémica.

Al respecto, el estado de Querétaro cuenta con rocas mayormente sedimentarias y volcánicas. De éstas, las rocas más antiguas consisten en una sucesión sedimentaria siliciclástica (Figura 1), dispuesta en una alternancia de areniscas y lutitas, incluidas en el Complejo El Chilar, de edad Triásica (~240 Ma; Ortega-Flores et al., 2014). Estas rocas se encuentran expuestas en el municipio de Tolimán, en la provincia de la Mesa Central (IX).



Figura 1. Alternancia de estratos de arenisca y lutitas siliciclásticas del Complejo El Chilar (Fotografía tomada por Berlaine Ortega en el camino San Juan de la Rosa-Carricillo, Cadereyta, Qro., julio 2006).

En el estado también se pueden encontrar rocas carbonatadas de edad Cretácica (135-92 Ma; Ortega-Flores et al., 2014; Juárez-Arriaga et al., 2016) en la provincia de la Sierra Madre Oriental (V) en los municipios de Cadereyta, San Joaquín, Peñamiller, Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Landa de Matamoros y Pinal de Amoles (Figura 2).



Figura 2. Afloramiento de rocas carbonatadas del Cretácico (Fotografía tomada por Berlaine Ortega, camino al Cañón del Paraíso, Peñamiller, Qro., noviembre 2020).

Las rocas más jóvenes consisten principalmente de unidades volcánicas neógenas (30-4 Ma; Aguirre-Díaz, 2008), expuestas en el suroeste del estado, en la provincia del Eje Neovolcánico (X) (Figura 3), en los municipios de Colón, Ezequiel Montes, Tequisquiapan, San Juan del Río, Corregidora, Querétaro, Amealco, El Marqués, Pedro Escobedo y Huimilpan.



Figura 3. Alternancia de depósitos piroclásticos que afloran sobre la meseta de basalto que cubre parcialmente en el sur, a los depósitos del Volcán La Joya (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, camino Llano de la Rochera – Comunidad Casa Blanca, Qro., junio 2020).



Provincias y Subprovincias Fisiográficas del estado de Querétaro

El estado de Querétaro tiene una extensión de $\sim 11,700 \text{ km}^2$ y se encuentra colindado por los estados de San Luis Potosí (norte), Hidalgo (este), Guanajuato (oeste), Michoacán y Estado de México (al sur). La provincia fisiográfica de mayor superficie es la del Eje Neovolcánico (X), actualmente conocida como el Cinturón Transmexicano o Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), representada por una franja meridional relativamente angosta hacia el SW, ocupando casi la mitad del estado; le sigue la Sierra Madre Oriental (V) con poco más de un tercio del territorio estatal hacia el NE (Mapa 2); y, por último, se tiene la Mesa del Centro o Altiplanicie Mexicana (IX), que constituye la porción intermedia superior del estado, y ocupa menos de un quinto del territorio (Mapa 2).

Sierra Madre Oriental – Provincia V

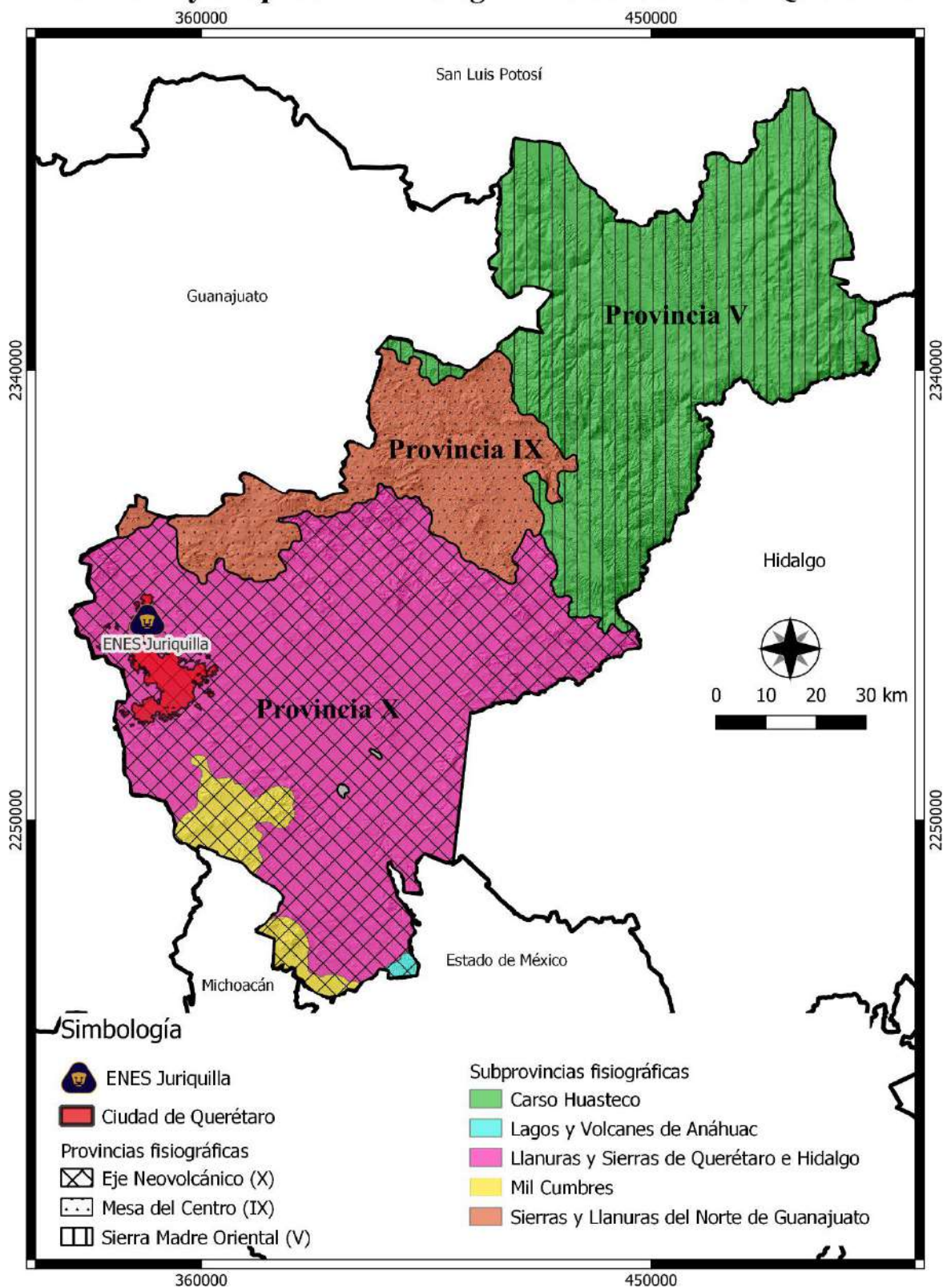
Se trata de una franja serrana angosta y alargada ($\sim 1350 \text{ km}$ de longitud y entre 80 y 100 km de anchura), con orientación NW-SE y abarca parte de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Querétaro, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla y Veracruz (Mapa 1). A esta provincia pertenecen 8 subprovincias (INEGI, s.f.): las Sierras y Llanuras

Coahuilenses, la Serranía del Burro, Sierra de la Paila, Pliegues Saltillo-Parras, Sierras Transversales, la Gran Sierra Plegada, Sierras y Llanuras Occidentales y el Carso Huasteco. De todas estas subprovincias, el estado de Querétaro abarca solamente ésta última del Carso Huasteco ($\sim 36.8\%$ de la superficie del estado), cuyas montañas están constituidas por rocas sedimentarias de origen marino (calizas y lutitas principalmente) que datan del Mesozoico. Los estratos de estas rocas están plegados y forman una sucesión de anticlinales y sinclinales regionales con aproximadamente la misma orientación a lo largo de toda la sierra, a excepción de la zona ubicada en Nuevo León, donde tiene lugar una flexura que cambia la orientación de los pliegues hacia el W-E. Las elevaciones en esta provincia varían de los 2000 a los 3700 m sobre el nivel del mar “m s. n. m.” (INEGI, s.f.).

Mesa del Centro – Provincia IX

Está ubicada en el centro del territorio mexicano, entre la Sierra Madre Occidental (Provincia III), la Oriental (Provincia V) y el Eje Neovolcánico (Provincia X).

Provincias y subprovincias fisiográficas del estado de Querétaro



Mapa 2 - Mapa de las provincias y subprovincias fisiográficas presentes en el estado de Querétaro, resaltado la Ciudad de Querétaro en rojo (Elaborado por Edna López, enero de 2023, a partir del conjunto de datos vectoriales fisiográficos escala 1:1,000,000 de INEGI, 2001).



De acuerdo con la descripción de INEGI (s.f.), esta provincia presenta en su mayor parte un relieve plano, caracterizado por amplias llanuras interrumpidas por algunas sierras dispersas, la mayoría de naturaleza volcánica. Por su morfología, en las regiones llanas predominan los depósitos aluviales, aunque se pueden ubicar dos discontinuidades fisiográficas claras, la Sierra de Guanajuato y Cuatralba, ambas conformadas por rocas que no son típicas de esta provincia.

La Mesa del Centro abarca parte de los estados de San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Querétaro y Zacatecas. Su altitud promedio es de 1700 a 2300 m s. n. m., mientras que las mayores elevaciones llegan hasta 2500 m s. n. m., en la Sierra de Guanajuato. Esta provincia comprende, a su vez, 7 subprovincias (INEGI, 2001): las Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande, las Sierras y Llanuras del Norte, las Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecanas, las Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes, las Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato, la Sierra Cuatralba y la Sierra de Guanajuato. De todas estas subprovincias, el territorio Queretano, sólo incluye Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato (Mapa 2), abarcando una superficie muy pequeña del estado de Querétaro (~13.8%).

Eje Neovolcánico - Provincia X

Actualmente referida como FVTM, junto con la Sierra Madre del Sur (Provincia XII), es una de las provincias con mayor variación de relieve y tipos de rocas. Se extiende desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México (~1000 km) en una franja de ~130 km de ancho (INEGI, s.f.), abarcando los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México, Morelos, Guanajuato, Querétaro, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Veracruz y la Ciudad de México. La provincia de la FVTM está conformada, a su vez, de otras 15 subprovincias (INEGI, 2001): las Sierras Neovolcánicas Nayaritas, los Altos de Jalisco, las Sierras de Jalisco, la subprovincia de Guadalajara, el Bajío Guanajuatense, las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, Chapala, las Sierras y Bajíos Michoacanos, Mil Cumbres, Chiconquiaco, los Lagos y Volcanes de Anáhuac, la Neovolcánica Tarasca, los Volcanes de Colima, el Escarpe Limítrofe del Sur y las Sierras del Sur de Puebla. En el estado de Querétaro, están comprendidas dos de estas subprovincias; la de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, y la de Mil Cumbres, abarcando una superficie de ~ 49.4 % del territorio Queretano (Mapa 2). Esta región está caracterizada por acumular la mayor parte del volcanismo en nuestro país, así como grandes estratovolcanes activos (p. ej. los volcanes de



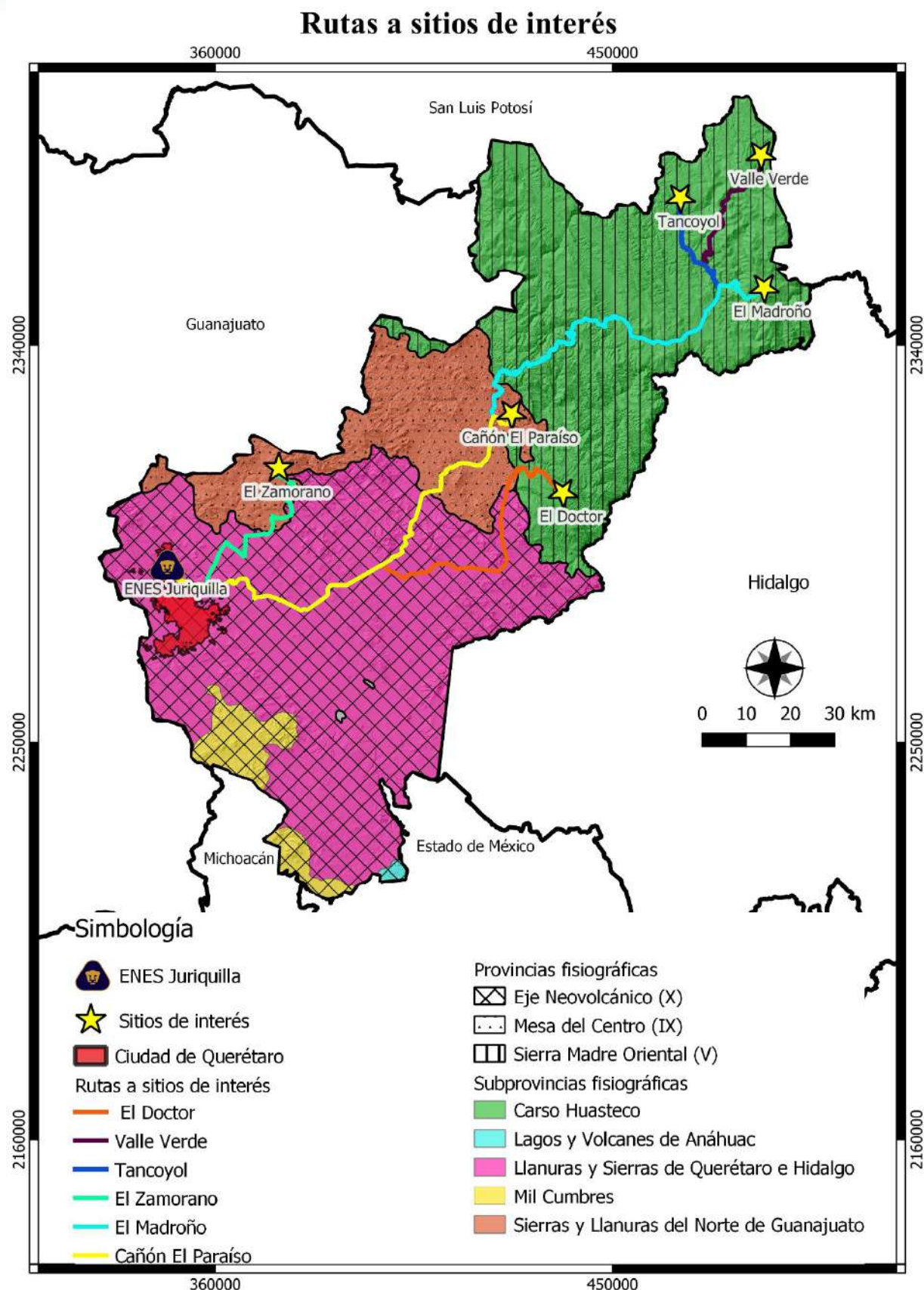
Fuego de Colima y el Popocatepetl). La edad promedio del volcanismo dentro de la FVTM, data del Cenozoico y está representado por rocas volcánicas en forma de flujos de lava, campos volcánicos monogenéticos, calderas, estratovolcanes, volcanes escudo, maares y domos, entre otras manifestaciones. En esta provincia se encuentran las elevaciones más grandes del país, representadas por los grandes estratovolcanes de México, tales como el Pico de Orizaba (~5600 m s. n. m.), el Popocatepetl (~5400 m s. n. m.), el Iztaccíhuatl (~5200 m s. n. m.) y el Nevado de Toluca (~4600 m s. n. m.).

La distribución de las provincias fisiográficas a lo largo del territorio Queretano ha sido el fruto de una diversidad de procesos geológicos que han dado lugar a su vez a una variedad de climas, topografía compleja, diversidad de suelos, así como a una heterogeneidad de especies y vegetación, lo que ha propiciado que en el estado se tengan 6 Áreas Naturales Protegidas de tipo estatal y 3 de tipo municipal

(para mayor información, consultar: <https://conacyt.mx/cibiogem/index.php/anpl/queretaro>).

Por lo tanto, el poder estudiar a lo largo de un territorio relativamente pequeño, las distintas formaciones geológicas, sus ambientes de formación y la compleja historia evolutiva por la que han pasado; así como los múltiples sistemas edáficos y ecosistemas desarrollados a partir de estas condiciones, resulta en una gran oportunidad para que los estudiantes de las Ciencias de la Tierra puedan aprovechar las bondades que ofrece la diversidad presente en el estado de Querétaro.

En el Mapa 3, se presentan las rutas (partiendo desde el campus UNAM Juriquilla) hacia 6 sitios de interés geológico, biológico y edafológico, presentes en el estado de Querétaro. Rutas con las que se pretende complementar los conocimientos adquiridos en el aula por parte de los estudiantes en Ciencias de la Tierra, a partir de la experiencia de campo y de las actividades que se sugieren realizar en cada sitio descrito.



Mapa 3 que muestra las diferentes rutas geológico-biológicas (líneas de colores) sugeridas para realizar trabajo de campo dentro del Estado de Querétaro (elaborado por Edna López, enero 2023, utilizando los datos de las subprovincias fisiográficas de México, escala 1:1,000,000 propuestas por INEGI, 2001).

Evolución Geológica del estado de Querétaro

Las rocas triásicas expuestas en el centro del estado de Querétaro representan depósitos siliciclásticos de abanicos submarinos desarrollados al oeste de Pangea ecuatorial, es decir, el antiguo margen del Pacífico de lo que hoy es México (Silva-Romo et al., 2000; Centeno-García et al., 2005; 2008; Ortega-Flores et al., 2014; 2021, Figura 4). Las rocas madre que se erosionaron para dar origen a estos abanicos submarinos están actualmente distribuidas, tanto en Sudamérica como en el noreste y sureste de México.

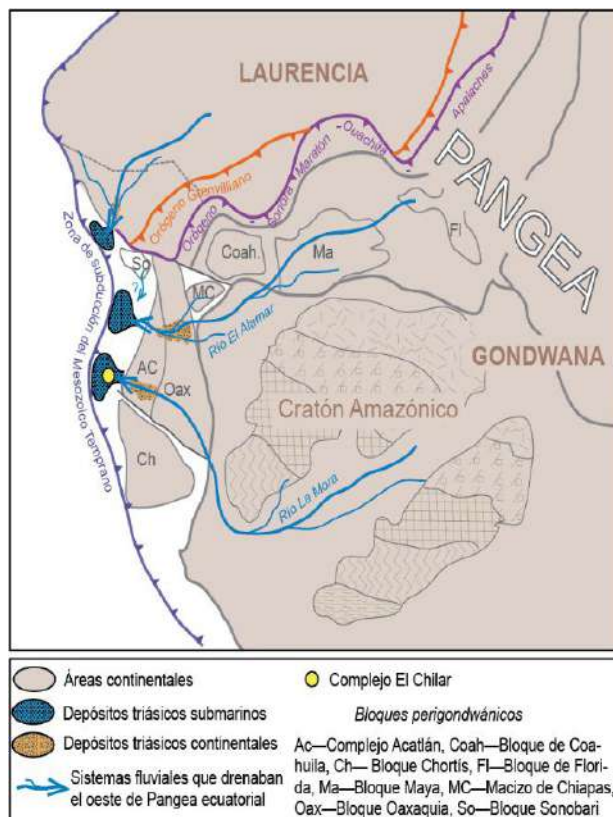


Figura 4. Diagrama esquemático del oeste de Pangea ecuatorial en el que se muestra la distribución paleogeográfica de los depósitos sedimentarios triásicos en abanicos submarinos, dentro de los cuales se encuentra el Complejo El Chilar (modificado de Ortega-Flores et al., 2021).

Para el Jurásico y el Cretácico, hubo períodos de intensa actividad tectónica debido a la fragmentación de Pangea, la apertura del Golfo de México y al reacomodo de bloques continentales (Pindell y Dewey, 1982). Es así como, dentro de este intervalo de tiempo, se desarrolló una zona de subducción y arcos volcánicos, por el lado del margen pacífico. Las rocas triásicas del Complejo El Chilar formaron así parte de este sistema de subducción, las cuales subsecuentemente fueron deformadas, incorporando fragmentos de corteza oceánica dentro de estas unidades (en la localidad Terreros, en Tolimán se pueden observar rocas con estas características).

Posteriormente, en la primera mitad del Cretácico temprano (125 Ma), mientras que el paleo-Pacífico Mexicano continuaba como una zona de subducción, el centro de México experimentaba una dinámica compleja, influenciado por un margen activo al oeste, y uno pasivo hacia el Golfo de México. Esto quedó registrado en sucesiones sedimentarias con componentes volcánicos y carbonatados, tales como las unidades volcanoclásticas de las formaciones San Juan de la Rosa (Tolimán), en la Mesa Central y Las Trancas (San Joaquín y Pinal de Amoles) en la Sierra Madre Oriental (Ortega-Flores et al., 2014, Figura 5).



Figura 5. Formación Las Trancas, constituida por una alternancia de areniscas volcanoclásticas y margas. En el centro de la imagen se observa un flujo de detritos (flecha) que incluye bloques de caliza y fragmentos de roca de origen volcánico (Fotografía tomada por Berlaine Ortega, camino a casa de Máquinas-CFE, carretera San Joaquín, Qro. - Casa de máquinas CFE, Hgo., abril 2016).

Para la segunda mitad del Cretácico temprano (125-100 Ma), el agua marina del Golfo de México cubrió por completo la porción este del país; se desarrollaron plataformas y cuencas profundas (Figura 6a) dominadas básicamente por depósitos sedimentarios carbonatados. Estas plataformas y cuencas marinas cretácicas están distribuidas hacia la porción noreste de Querétaro (Figura 6b), en la provincia de la

SMOr, entre los municipios de Cadereyta, Arroyo Seco, Jalpan de Serra y Landa de Matamoros. Las rocas sedimentarias carbonatadas de aguas someras, en las cuales se incluyen fósiles de organismos de facies lagunares y arrecifales, corresponden con las formaciones El Doctor y El Abra de las plataformas El Doctor y Valles-San Luis Potosí, respectivamente. Por otro lado, las rocas carbonatadas que representan depósitos de aguas profundas corresponden con las formaciones Tamaulipas Inferior y Tamaulipas Superior de la cuenca de Zimapán, y se pueden encontrar afloramientos de éstas en los municipios de Peñamiller, Pinal de Amoles y San Joaquín. En estas formaciones se pueden encontrar fósiles de organismos microscópicos y mesoscópicos, tales como foraminíferos y amonites.

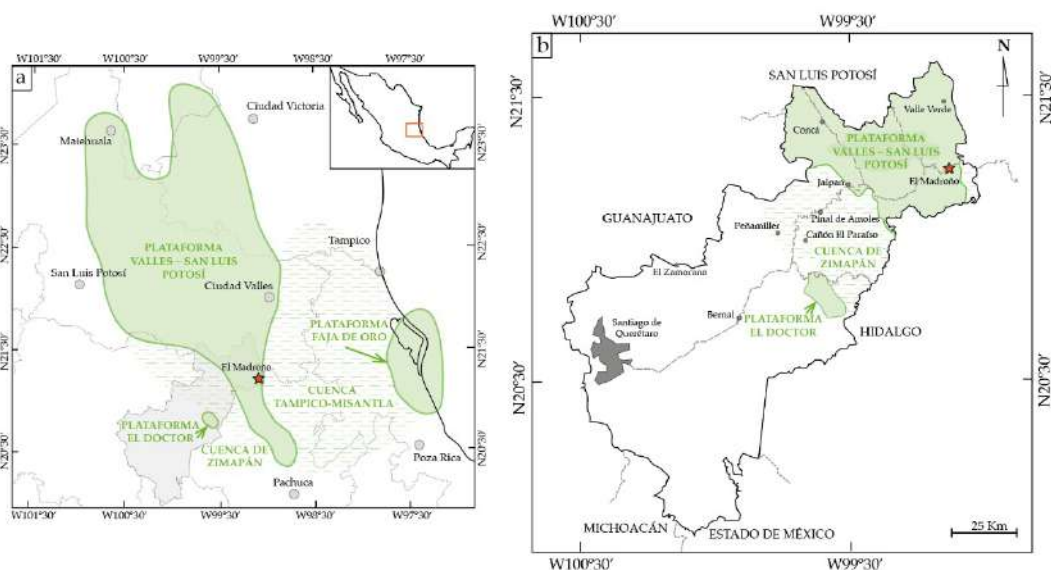


Figura 6. Distribución de plataformas y cuencas carbonatadas cretácicas en: a) el noreste de México y b) en el estado de Querétaro (Mapa elaborado por Berlaine Ortega, febrero 2023, modificado de López-Doncel, 2003).

Para finales del Cretácico temprano y el Cretácico tardío (110-65 Ma), ocurrió uno de los episodios compresivos más sobresalientes en Norteamérica, asociado a la Orogenia Cordillerana, resultado de la colisión/acreción de arcos en el margen de subducción del paleo-Pacífico (Burchfiel y Davies, 1975). En México, este evento orogénico está caracterizado por abundantes pliegues y fallas de cabalgadura constituyendo el Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano (Fitz-Díaz et al., 2012; 2018). Esta orogenia deformó (exhumó, transportó, rotó y desplazó) a las unidades de roca mecánicamente más débiles (principalmente las rocas carbonatadas cretácicas), formando un sistema montañoso conocido fisiográficamente como la SMOr (Figura 7).

Al haber un exceso de relieve, los factores

climáticos permitieron la erosión de las rocas expuestas, al tiempo que el sistema orogénico continuaba desarrollándose. Los detritos, predominantemente carbonatados, derivados de la erosión de este cinturón orogénico fueron depositados en cuencas de antepaís profundas, formadas al frente del orógeno. Parte de esta fase orogénica está registrada por las sucesiones sin-orogénicas de la Formación Soyatal (Figura 8), una sucesión sedimentaria que se depositó en el mismo tiempo en que se llevaba a cabo la deformación, y que está ampliamente expuesta en los municipios de Peñamiller, Cadereyta y San Joaquín. Para el Cenozoico (65-4 Ma), el margen Pacífico de México continúa como un sistema de subducción, en el cual numerosas estructuras volcánicas se desarrollaron desde la margen continental occidental, hasta las zonas del interior del continente, constituyendo a la



Figura 7. Relieve montañoso originado por la compresión de rocas carbonatadas cretácicas, asociado al Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano. En las partes más altas del relieve sobresale la Formación Tamaulipas (indiferenciado) formando escarpes y hacia la base se encuentra la Formación Las Trancas, con un relieve más suave (Fotografía tomada por Berlaine Ortega camino San Joaquín-Bucareli, Qro., mayo 2017).

FVTM (Ferrari, 2000; Gómez-Tuena et al., 2005; Ferrari et al., 2012). Esta zona volcánica posee una geometría atípica oblicua, debido a diferentes ángulos de subducción de las microplacas oceánicas de Cocos y Rivera, bajo la placa continental de Norteamérica (Demant, 1978) (Figura 9). La placa Rivera se encuentra subduciendo actualmente con un ángulo pronunciado a lo largo de la porción oeste del arco volcánico, mientras que la placa de Cocos subduce con un ángulo subhorizontal en las porciones central y oriental de la FVTM (Pardo y Suárez, 1995, para más información consultar: Manea et al., 2013). Esta configuración se originó en respuesta a la fragmentación de la placa de Farallón hace aproximadamente 28 y 23 Ma en las placas de Cocos y Nazca, respectivamente (Wortel y

Cloetingh, 1981). Así como a la apertura del Golfo de California, el cual modificó las orientaciones y tasas de convergencia a lo largo del margen Pacífico (Engebretson et al., 1985).

Hoy en día, numerosos autores (Ferrari, 2000; 2004; Gómez-Tuena et al., 2007; Mori et al., 2007; Ferrari et al., 2012) coinciden en que la evolución geológica de la FVTM, así como la distribución espacial y la variedad en composiciones químicas del volcanismo originado en ella, se puede dividir en 4 episodios principales, descritos por Gómez-Tuena et al. (2007). De estos, el volcanismo presente en el estado de Querétaro está enmarcado entre el segundo y el tercer episodio (Mioceno medio al Plioceno temprano), durante los cuales se emitieron grandes depósitos de ignimbritas,



Figura 8. Rocas sin-orogénicas de ambiente marino profundo de la Formación Soyatal (Cretácico Superior), ampliamente expuestas en los alrededores de Peñamiller (Fotografía de Berlaine Ortega, carretera antigua Peñamiller-Boquillas, Qro., noviembre 2020).

flujos de lava y domos exógenos desde composición andesítica a riolítica, se construyeron grandes estratovolcanes, los cuáles hoy se encuentran bastante erosionados; así como también se desarrollaron volcanes escudo y grandes estructuras caldéricas, cuyos productos son aprovechados actualmente como material para la construcción y piedras ornamentales (Aguirre-Díaz, 2008).

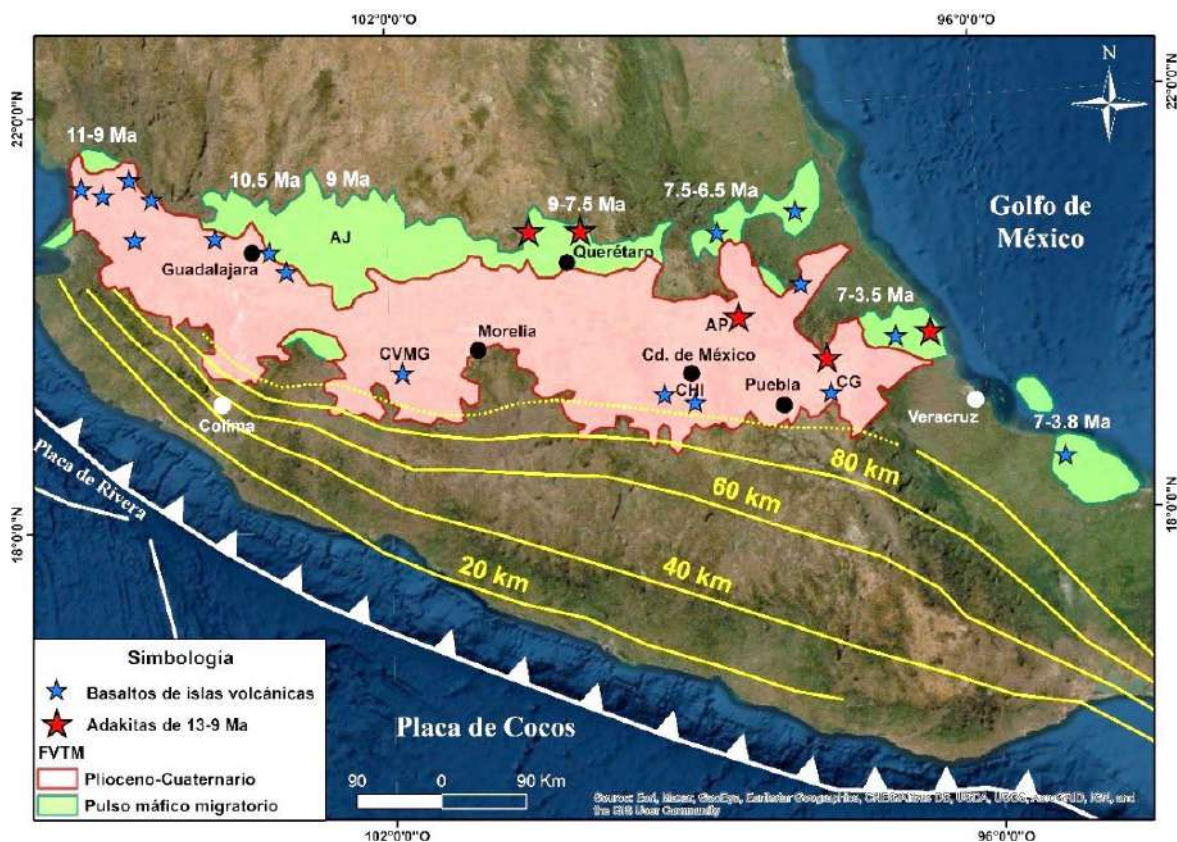


Figura 9. Mapa geológico simplificado del fallamiento y volcanismo Neógeno de la FVTM (adaptado después de Ferrari, 2004), donde se observan los contornos de isoprosfundidad de las placas en subducción (después de Pardo y Suárez, 1995), así como la distribución de rocas asociadas al pulso migratorio de volcanismo máfico (mapa elaborado por Rosario Vázquez, agosto 2022).

Riqueza Biológica del Estado de Querétaro

Aproximadamente un 60% del territorio mexicano está constituido por zonas áridas y semiáridas, donde las lluvias son escasas, y la evapotranspiración supera a la precipitación, dando por resultado una cobertura vegetal pobre y condiciones de suelo que favorecen la erosión (Montaño y Monroy, 2000). Estas zonas albergan gran parte de la biodiversidad de México, cuyas condiciones ambientales han favorecido la especiación como lo demuestra la presencia de especies endémicas.

En el estado de Querétaro, se encuentran dos ecorregiones: Sierras Templadas y las Elevaciones Semiáridas Meridionales (INEGI, s.f.), abarcando esta última, más del 50% del territorio del estado. Las zonas áridas y semiáridas de las Elevaciones Semiáridas Meridionales que compartimos con los estados de Guanajuato e Hidalgo, son consideradas como una unidad geográfica y ecológica de gran importancia para la conservación biológica.

Con solo el 0.6% del territorio nacional, se tiene registrado más de 4000 especies de plantas en el estado de Querétaro, lo cual representa ~16% de la diversidad del país.

La flora catológica del estado consiste en 136 especies (Scheinvar, 2004), algunas endémicas como *Mammillaria microhelia* Werderm (Luna Olvera et al., 2012; Figura 10). La mayoría de

estas especies están distribuidas en la zona meridional del estado, por ejemplo, Cabrera-Luna y Gómez-Sánchez (2005), y Martínez et al. (2008), registraron 24 especies de cactáceas en la zona de La Cañada, en el municipio de El Marqués. Muchas de estas especies se encuentran enlistadas en la normatividad mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 como especies con algún tipo de estatus de protección (i.e., en peligro de extinción, amenazadas o sujetas a protección especial, Chávez et al., 2007), ya que actividades antropogénicas como la destrucción del hábitat por el cambio de uso del suelo, la contaminación de las aguas superficiales, la agricultura, ganadería y la colecta de semillas o ejemplares vivos con fines comerciales, han provocado una disminución considerable de estas poblaciones.



Figura 10. Fotografía de una *Mammillaria microhelia*, especie endémica del Cerro del Zamorano (tomada en el Cerro del Zamorano por Luz Reséndiz en 2022, reproducida en este documento con permiso de la

Como humanidad, dependemos completamente de los servicios de los ecosistemas para limpiar el agua, generar y fertilizar el suelo, polinizar cultivos y producir el oxígeno que respiramos, por lo tanto, proteger la biodiversidad en términos generales, es nuestro interés.

Esta guía es una introducción a los métodos de monitoreo de la diversidad biológica presente en el estado de Querétaro, métodos que permiten evaluar, espacial y temporalmente, el estado de un ecosistema. La palabra monitorear significa advertir, y parte del propósito de monitorear la biodiversidad es poder advertir oportunamente, cuando la actividad humana está deteriorando el ecosistema (Elzinga et al., 2001). El estado de Querétaro, a pesar de ser una de las entidades más pequeñas de la República Mexicana, gracias a su relieve irregular, y a la diversidad de climas y suelos asociado a estas irregularidades topográficas, como ya se mencionó antes, presenta una notable diversidad, dónde se encuentran representados casi todos los tipos de vegetación conocidos para México (Arreguín

et al., 1997). Rzedowski et al. (2012), estiman una flora vascular de poco más de 4000 especies para Querétaro. Las tres provincias fisiográficas que lo conforman; la SMOr, el Eje Neovolcánico y la Mesa del Centro (Figura 11), cuentan con algunos elementos florísticos específicos. Las visitas propuestas en esta guía llevan por objetivo introducir a los alumnos de Ciencias de la Tierra a dicha diversidad biológica.

La topografía del estado de Querétaro incluye llanuras con numerosos cerros y pequeñas sierras de diversos tamaños y elevaciones, profundos cañones y barrancas excavadas por los ríos, así como un sistema montañoso, que incluye a la Sierra Gorda Queretana, cuyo relieve particularmente abrupto se manifiesta sobre todo en la SMOr. Es en esta variada topografía donde se distribuyen 45 especies vegetales endémicas; en particular, hacia los límites del estado, colindando con San Luis Potosí e Hidalgo (Rzedowski et al., 2012). La mayor parte de estos endemismos, se encuentra

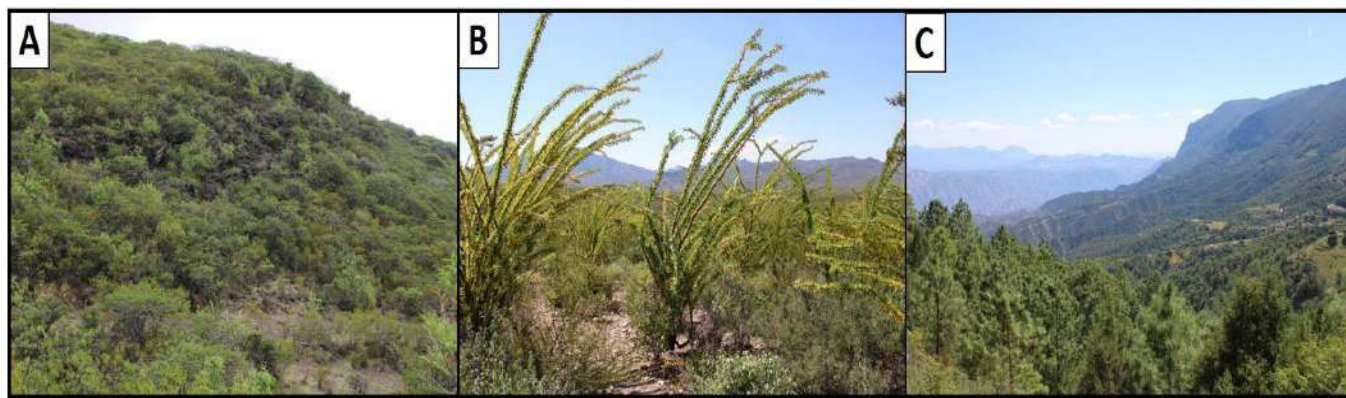


Figura 11. Diversidad biológica del estado de Querétaro. A – Bosque Tropical Caducifolio en el volcán La Joya (Provincia X); B – Matorral Xerófilo en el semidesierto (Provincia IX); C – Bosque de pino-encino en la Sierra Gorda (Provincia V) (Fotografías tomadas por Rosario Vázquez, junio-octubre 2020).

en el sector de la SMOr dominada por afloramientos de calizas (Figura 12).



Figura 12. Fotografía panorámica de una porción de la SMOr. Se observa al fondo la topografía con mayor pendiente que forman las rocas calizas de la Formación El Doctor (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, Mirador Plaza Fray Felipe Galindo, Qro., octubre 2020).

Las condiciones climáticas, fisiográficas y geológicas determinan el tipo de vegetación que vamos a encontrar en un sitio dado. En esta guía se presentan 6 sitios de interés geológico, biológico y edafológico del Estado de Querétaro (Mapa 1) en los cuales se tiene una diversidad litológica y por consecuente, edáfica, de vegetación y obviamente, una gran diversidad de especies animales, en particular en la Reserva de la Biósfera de la Sierra Gorda (RBSG), en donde se encuentran al menos 27 especies de aves endémicas, entre otras especies animales (Pedraza-Ruiz, 2014).

Cabe destacar que las características físicas y bióticas de la Sierra Gorda (provincia fisiográfica V), la hacen un corredor biológico

con una gran cantidad de especies. Las zonas relevantes son (Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, [INE-SEMARNAP], 1999): al oriente de la RBSG, donde se ubican los ríos Moctezuma y Tancuilín, existe una gran cantidad de especies de mariposas, además de contar con animales como el *Cuniculus paca* (tuza real), *Eira barbara* (viejo del monte), *Potos flavus* (martucha) y *Aulacorhynchus prasinus* (tucancillo verde); la zona nuclear de la sierra cuenta con especies en peligro de extinción como *Penelope purpurascens* (pava cojolita) y *Dendrortyx barbatus* (chivizcoyo); en los cañones de los ríos Ayutla y Santa María, así como en el río Extoraz, la fauna silvestre suele presentar movimientos migratorios de norte a sur dentro de la RBSG, como es el caso de *Ara militaris* (guacamaya verde, Figura 13). En la zona de la Cañada de las Avispas, en el trabajo de INE-SEMARNAP (1999), mencionan que se han reconocido, además especies como: *Mazama americana* (temazate), *Puma concolor* (puma) y *Ursus americanus* (oso negro).

Por lo que respecta a la fauna acuática, en el reporte del Programa de Manejo de la RBSG (INE-SEMARNAP, 1999) reportan la identificación de nutrias y langostinos en el río.

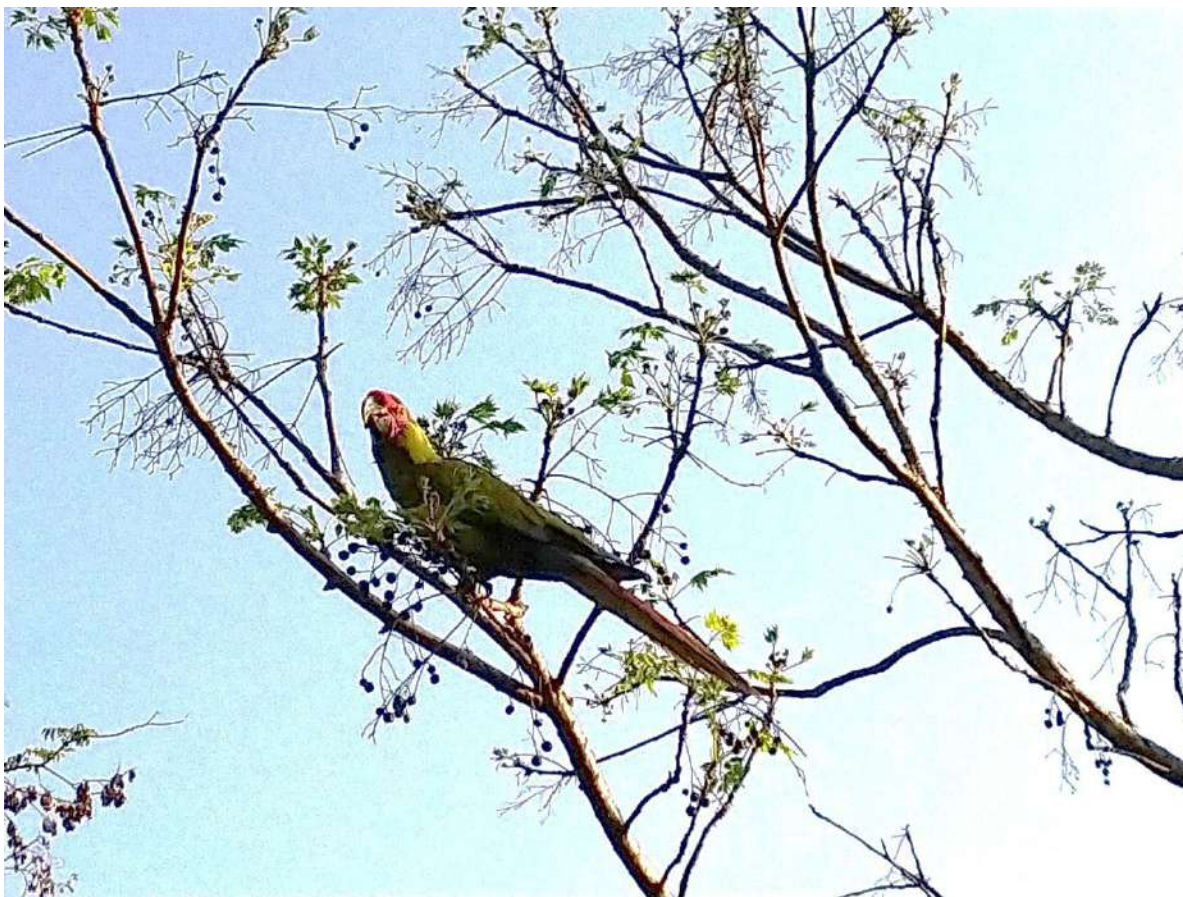


Figura 13. Guacamaya verde (*Ara militaris*) observada en un árbol de la localidad de Valle Verde, Qro. (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, Valle Verde, Qro., marzo 2022).

Diversidad de Aves en el Estado de Querétaro

Las aves son vertebrados de sangre caliente que ponen huevos, cuya característica principal es estar cubiertos de plumas. La mayoría de las aves tienen como medio de locomoción principal la acción de volar, razón por la cual han generado una serie de adaptaciones anatómicas únicas entre los seres vivos. Por ejemplo, la boca no tiene huesos ni dientes, teniendo en cambio una molleja cuya principal función es la de moler. Otra característica es que carecen de vejiga urinaria y, en cambio, eliminan el exceso de agua a través del excremento. Otra peculiaridad es que el esqueleto de las aves es más ligero que el de los mamíferos, debido a huesos neumatizados que se conectan con el sistema respiratorio, lo anterior con el fin de lograr ser más ligeros y conseguir volar (Perrins, 2006).

A lo largo de los años, las aves han tenido un gran impacto en los seres humanos, ya sea a través de mitos, representaciones de poder e inclusive domesticación (Fernández-Rubio, 2016). Esto es resultado de lo atractivo de su plumaje y colores, la capacidad que tienen para volar o lo imponente de las aves rapaces

para cazar a sus presas (Figura 14). Esto ha derivado en que las aves sean de las especies más conocidas, estudiadas y apreciadas por los seres humanos, además de que su gran capacidad de adaptación ha ayudado a la especie a habitar prácticamente en todos los ambientes de nuestro planeta (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, [CONABIO], 2022).



Figura 14. *Geranoaetus albicaudatus* (Fotografía tomada por Ena Buenfil Zamudio, Selva Tenek, S.L.P. en 2022, reproducida con permiso de la autora).

De acuerdo con la última actualización del listado de Clements et al. (2022), existen 10,906 aves registradas alrededor del mundo, teniendo en México un registro de 1,128 especies (Berlanga et al., 2019); es decir un 10.3% de total de las aves del mundo. Para poner en perspectiva la riqueza de aves que tiene México, hay que tomar en cuenta que las 1,128 aves registradas se distribuyen en 1,973 millones km² de territorio mexicano. Comparando estas cifras con Estados Unidos, ahí se pueden contar alrededor de 1186 aves en una extensión de apenas 9,834 km² (Clements et al., 2022).

Respecto a la riqueza y diversidad de aves del estado de Querétaro, se cuenta con un registro de 448 aves; de estos registros, 95 son migratorias, 58 migratorias transitorias, 276 residentes, 19

residentes en época de reproducción y 33 especies que aún no se ha determinado su estatus (Gómez de Silva, 2001); lo que significa un 39% del total de aves en México.

De este porcentaje, la mayor cantidad de registros del estado se ubica en La Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (RBSG), con un total de 339 aves (Salazar y Anderson, 2017). Esto se debe a que la RBSG, ubicada al norte del estado y conformada por los municipios de (Carabias-Lillo et al., 1999): Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles (sólo el 88.03% de su territorio), y Peñamiller (sólo el 69.7% del municipio); presenta una gran complejidad fisiográfica, con alturas que van desde los 300 hasta los 3,100 m s. n. m. Esta región cuenta además con recursos hídricos importantes, distribuidos en tres subcuencas principales: la del río Santa María, el río Extoraz y el río Moctezuma; lo que propicia

cuantiosas variantes climáticas que favorecen la visita de aves migratorias y gran variedad de aves residentes (Figura 15).

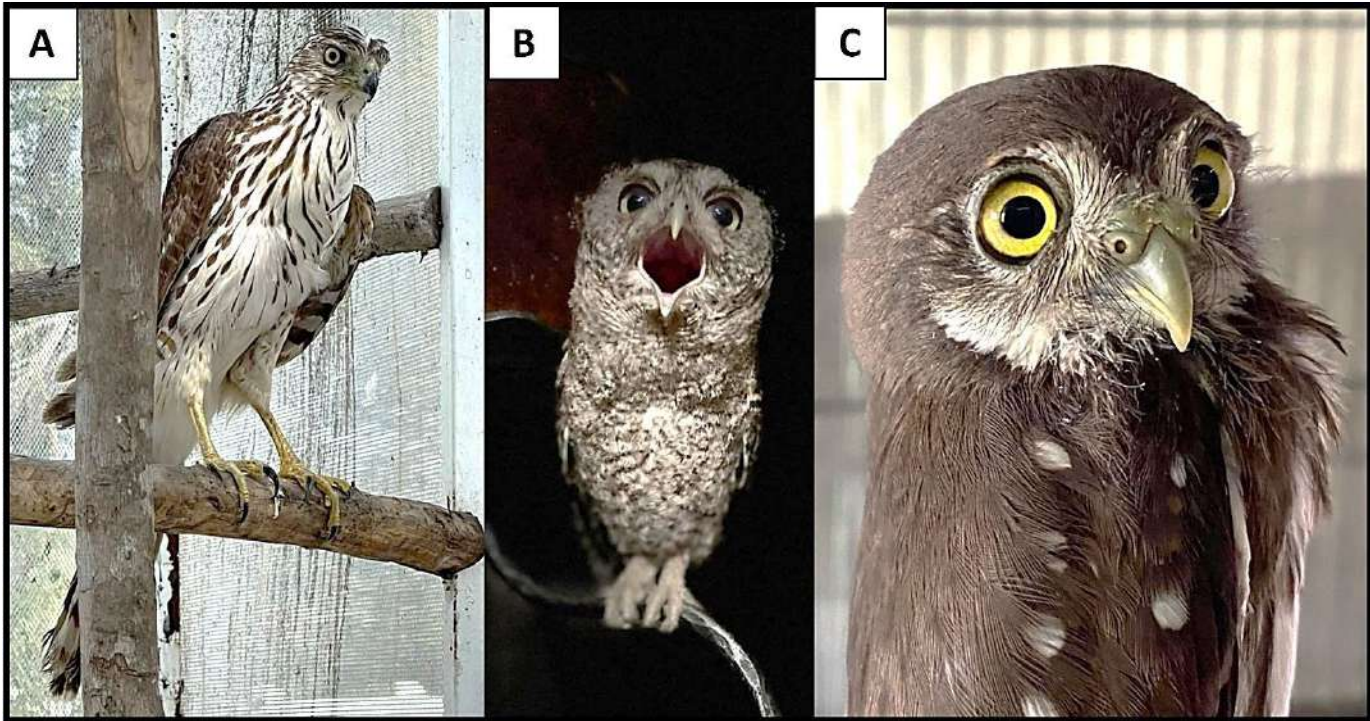


Figura 15. Fotografías de aves en proceso de recuperación en Selva Tenek, San Luis Potosí. A) *Accipiter cooperii* (Fotografía tomada por Ena Buenfil Zamudio, Selva Tenek, S.L.P., en 2022, reproducida con permiso de la autora); B) *Megascops trichopsis*; C) *Glaucidium brasilianum* (Fotografías tomadas por Ena Buenfil Zamudio, Selva Tenek, S.L.P., en 2021, reproducidas con permiso de la autora).

Teniendo esta gran cantidad de aves, su importancia recae en que éstas dispersan semillas, polinizan flores y consumen una gran cantidad de insectos y roedores que podrían convertirse en plaga. Incluso algunas especies de aves también son útiles como indicadoras de la salud del ambiente, ya que responden ante los cambios que ocurren en sus hábitats (Ortega et al., 2012).

A continuación, se muestra la Tabla 1, en donde se listan las aves registradas en Querétaro, mostrando orden, número de especies por orden y un ejemplo de especie.

Tabla 1. Lista de aves registradas en el estado de Querétaro, integrada con base a la lista AVESMX (Berlanga, et al. 2008).

Orden	Especies	Ejemplos de especies
Accipitriformes	19	<i>Pandion haliaetus</i> (Águila Pescadora)
Anseriformes	19	<i>Aix sponsa</i> (Pato arcoíris)
Apodiformes	25	<i>Streptoprocne zonaris</i> (Vencejo de Collar Blanco)
Caprimulgiformes	5	<i>Antrostomus arizonae</i> (Tapacaminos Mexicano)



Charadriiformes		26	<i>Himantopus mexicanus</i> (Monjita Americana)
Columbiformes		10	<i>Columbina inca</i> (Tortolita Cola Larga)
Cathartiformes		2	<i>Cathartes aura</i> (Zopilote Mexicano)
Coraciiformes		5	<i>Megaceryle torquata</i> (Martín Pescador)
Cuculiformes		5	<i>Geococcyx californianus</i> (Correcaminos)
Falconiformes		8	<i>Caracara plancus</i> (Caracara)
Galliformes		9	<i>Ortalis vetula</i> (Chachalaca)
Gruiformes		6	<i>Gallinula galeata</i> (Gallinula Galeata)
Passeriformes		245	<i>Corvus cryptoleucus</i> (Cuervo Llanero)
Pelecaniformes		16	<i>Ardea alba</i> (Garza Blanca)
Phoenicopteriformes		1	<i>Phoenicopus ruber</i> (Flamenco)
Piciformes		13	<i>Melanerpes formicivorus</i> (Carpintero Arlequín)
Podicipediformes		5	<i>Tachybaptus dominicus</i> (Zambullidor Menor)
Psittaciformes		6	<i>Ara militaris</i> (Guacamaya Verde)
Strigiformes		16	<i>Bubo virginianus</i> (Búho Cornudo)
Suliformes		3	<i>Nannopterum brasilianum</i> (Pato Buzo)
Tinamiformes		1	<i>Crypturellus cinnamomeus</i> (Tinamú Canelo)
Trogoniformes		3	<i>Trogon mexicanus</i> (Trogón de Montaña)

Diversidad de los Suelos del Estado de Querétaro

Enfoque de la regionalización de los suelos

En la actualidad, para entender la distribución o regionalización de los suelos del mundo, se han planteado tres enfoques: el enfoque estático, el enfoque dinámico y el enfoque estructural (Krasilnikov, 2018; Krasilnikov y Targulian, 2019). El enfoque estático explica la distribución de los suelos de acuerdo con los factores formadores del suelo (clima, geología, vegetación, relieve y tiempo). En tanto que el enfoque dinámico se basa en el transporte lateral de soluciones y materiales sólidos a lo largo de una pendiente o una catena de suelos. El enfoque estructural se centra en la disposición y medición de sus propiedades en el espacio y el tiempo, con poca o ninguna atención a la génesis. Este enfoque se centra en métodos geoestadísticos (Krasilnikov et al., 2008) y pedométricos (Ibáñez y Bockheim 2013; Krasilnikov, 2018).



Regionalización de suelos de México

En México, el INEGI, se basa principalmente en el concepto estático para mapear la distribución del recurso suelo (Krasilnikov, 2011); aunque cada vez es más necesario tener en cuenta los conceptos de los enfoques dinámico y estructural para una gestión sostenible del este recurso. Desde la perspectiva de la geografía de suelos, Krasilnikov et al. (2009; 2013), propusieron por primera vez una regionalización de los suelos de México, tomando en cuenta la topografía accidentada, la muy marcada variabilidad climática y la litología de la República Mexicana. En este sentido, se ha propuesto relacionar las regiones del suelo con las provincias fisiográficas, porque estas últimas representan áreas con el mismo tipo de relieve y están afectadas por el mismo gradiente de flujo atmosférico. Así, tomando como base las 15 regiones fisiográficas del país (Mapa 1), observamos que la humedad (dada por el clima dominante) y los materiales parentales de algunas regiones (litología), definen patrones de los suelos en México: suelos de zona áridas y semiáridas; suelos de zonas muy húmedas, húmedas y subhúmedas; y, suelos que dependen de su litología, ya sea por su composición predominante de carbonatos o por materiales piroclásticos (Tabla 2). Además, la división general del territorio mexicano está respaldada por los datos sobre la mineralogía de las arcillas del suelo (García-Calderón et al., 2005; Dubroeucq et al., 1992; Ducloux et al., 1995; Dudek et al., 2006).

Tabla 2. Relación de los factores climáticos y litológicos, de acuerdo con las 15 regiones fisiográficas de México (Mapa 1), lo que permite la formación y distribución de los suelos del territorio nacional (modificado de Krasilnikov et al. 2013).

Factores	Regiones climáticas	Regiones fisiográficas
Clima	1.Regiones marcadamente áridas y semiáridas	1.1 Montañas de la península de Baja California 1.2 Llanura sonoreense 1.3 Sierra y llanuras del Norte 1.4 Grandes llanuras de Norteamérica 1.5 Mesa del Centro
	2. Regiones muy húmedas, húmedas y subhúmedas	2.1 Montañas de la Sierra Madre Occidental 2.2 Llanura costera del Pacífico 2.3 Llanura costera del golfo Norte 2.4 Llanura costera del golfo Sur 2.5 Montañas de la Sierra Madre del Sur 2.6. Montañas de las Sierras de Chiapas y Guatemala

		2.7 Montaña de la Cordillera Centroamericana
Litología	3. Regiones dominadas por carbonatos	3.1 Montañas de la Sierra Madre Oriental 3.2 Península de Yucatán
	4. Regiones dominadas por rocas piroclásticas	4.1. Montañas de la Faja Volcánica Transmexicana

La combinación de los factores ambientales antes señalados, han dado lugar a zonas de pedogénesis de ciertos Grupos de Referencia de Suelos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO], 2015) en cada una de las regiones fisiográficas del país. En este orden de ideas, el INEGI, ha reportado seis suelos dominantes en México: Leptosoles>Regosoles>Phaeozems>Calcisoles > Luvisoles> Vertisoles (Figura 16 y Mapa 4).

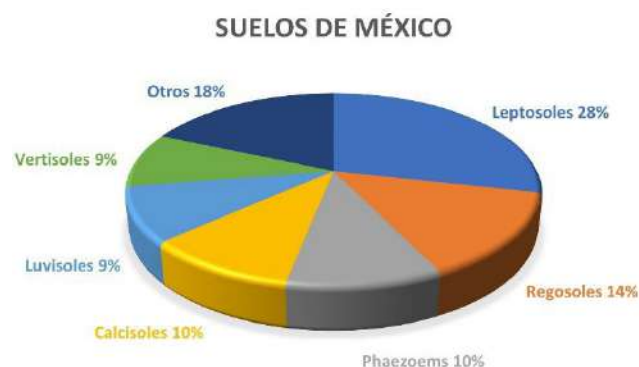


Figura 16. Distribución porcentual de los suelos dominantes de México (elaborado por Abel Ibáñez, febrero 2023, a partir de los datos de INEGI, s.f.).

Regionalización de los suelos del Estado de Querétaro

En México, la regionalización de la distribución del suelo sugerida por Krasilnikov (2011) y Krasilnikov et al. (2013), tomando como factores

dominantes el clima y la litología, son condiciones que también se pueden aplicar a escala estatal. En Querétaro, de forma particular se genera un “efecto de sombra orográfica” debido a la Sierra Gorda (SG) localizada al NO del estado, y a las estribaciones de la FVTM que ocupa el SE del estado de Querétaro. En la SG y la FVTM, el efecto de sombra orográfica genera lluvias en las laderas de las montañas orientadas hacia el Golfo de México y al océano Pacífico, con precipitaciones promedio anual entre 800 a 1200 mm (Secretaría de Desarrollo Sustentable, [SEDESU], 2021; <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>).

A su vez, en las laderas opuestas, hacia el interior del estado de Querétaro, se genera menor humedad, esto debido a que los vientos al cruzar las montañas pierden la humedad y solo arrastran aire seco; generando precipitaciones con promedio anual entre 300 a 500 mm (SEDESU, 2021; <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>).

Este factor de sombra orográfica es determinante en la distribución de los suelos. Por otro lado, al NO en la SG, la litología dominante es de origen sedimentario con rocas de carbonatadas; mientras que hacia el SO el material es de origen ígneo. Estos dos factores dominantes, clima y litología, pueden explicar en gran medida la distribución de los suelos del Estado de Querétaro. Así, de acuerdo con las bases digitales del INEGI, los seis suelos con mayor distribución son: Leptosoles > Phaeozems > Vertisoles > Luvisoles > Regosoles > Calcisoles (Mapa 5). Es importante hacer notar que, tanto a escala de país como del estado de Querétaro, los grupos de suelos dominantes son los mismos, aunque con notables excepciones respecto a la proporción que ocupan esos mismos suelos en el estado de Querétaro (Mapa 5).

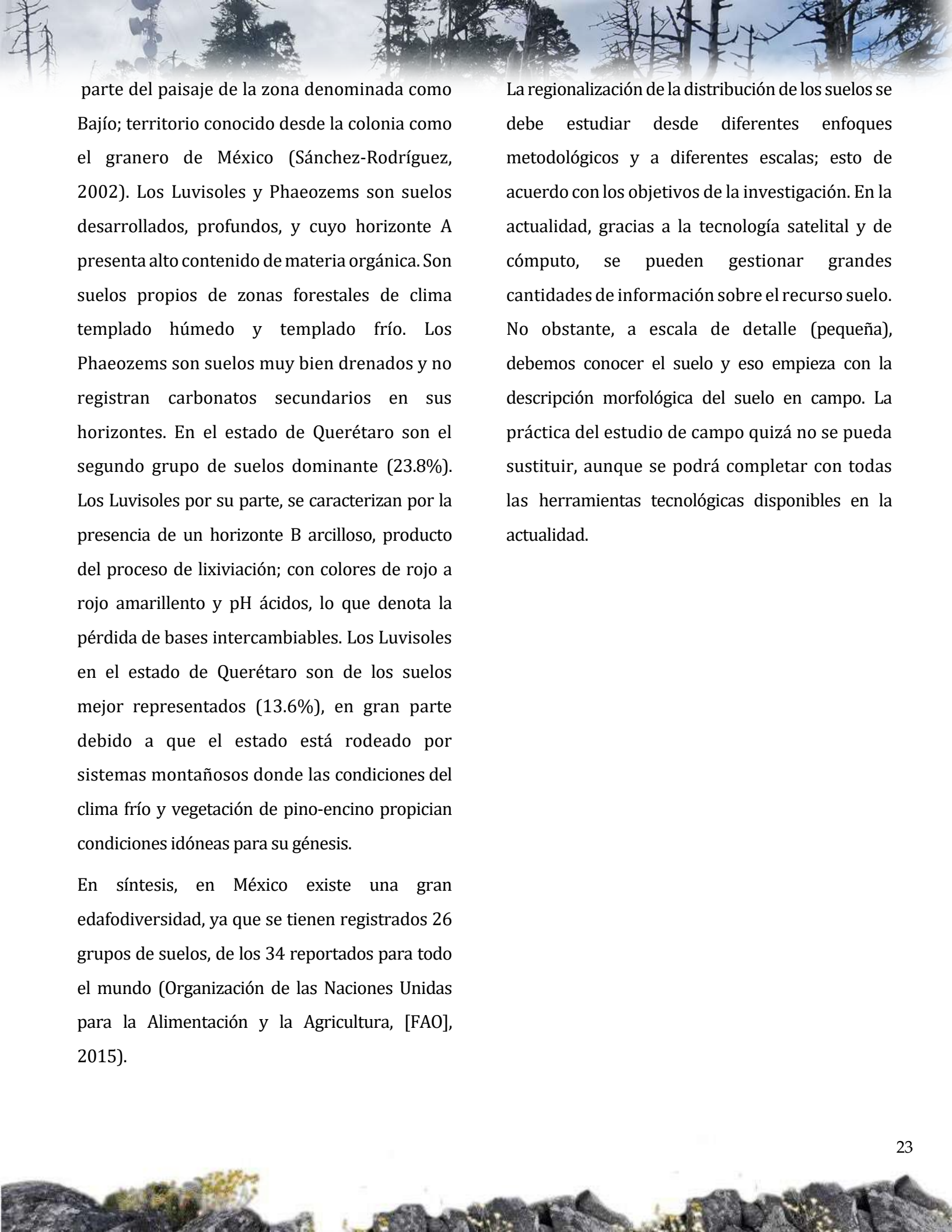
Los suelos poco desarrollados, como son los Leptosoles (LP) se localizan en la zona áridas y semiáridas bajo materiales sedimentarios. En Querétaro, los Leptosoles (Figura 17) representan el grupo dominante de suelos (34.3%). Los Cambisoles son suelos que se caracterizan por la presencia de arcillas derivadas del intemperismo del material parental que le ha dado origen al suelo. Estos suelos en el estado de Querétaro están muy poco representados (0.9%).

Por otro lado, los Vertisoles, también considerados poco desarrollados; son suelos con alta fertilidad química, pero con restricciones para su manejo, debido al alto contenido de arcillas, que los hace muy adhesivos y plásticos. Estos, se desarrollan bajo materiales de origen ígneo en condiciones de relativa baja precipitación (entre 300 a 800 mm).



Figura 17. Fotografía de un perfil de suelo clasificado como Leptosol, Valle Verde, Qro. (fotografía tomada por Rosario Vázquez, marzo 2022).

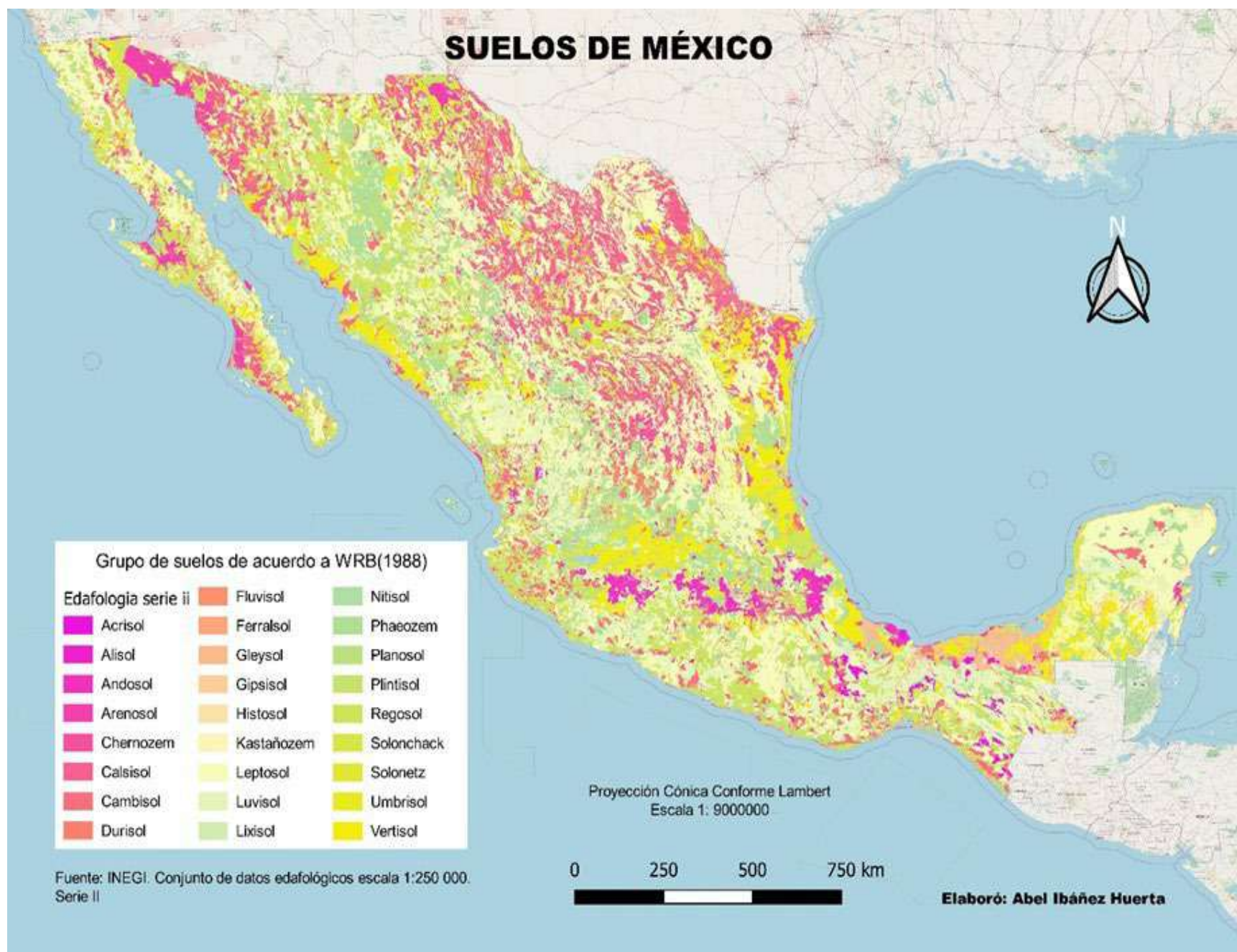
En el estado de Querétaro, los Vertisoles son el tercer grupo (21.7%) de suelos que predomina. Se ubican principalmente en las partes bajas y planas, y han contribuido históricamente al desarrollo económico del estado, ya que forman



parte del paisaje de la zona denominada como Bajío; territorio conocido desde la colonia como el granero de México (Sánchez-Rodríguez, 2002). Los Luvisoles y Phaeozems son suelos desarrollados, profundos, y cuyo horizonte A presenta alto contenido de materia orgánica. Son suelos propios de zonas forestales de clima templado húmedo y templado frío. Los Phaeozems son suelos muy bien drenados y no registran carbonatos secundarios en sus horizontes. En el estado de Querétaro son el segundo grupo de suelos dominante (23.8%). Los Luvisoles por su parte, se caracterizan por la presencia de un horizonte B arcilloso, producto del proceso de lixiviación; con colores de rojo a rojo amarillento y pH ácidos, lo que denota la pérdida de bases intercambiables. Los Luvisoles en el estado de Querétaro son de los suelos mejor representados (13.6%), en gran parte debido a que el estado está rodeado por sistemas montañosos donde las condiciones del clima frío y vegetación de pino-encino propician condiciones idóneas para su génesis.

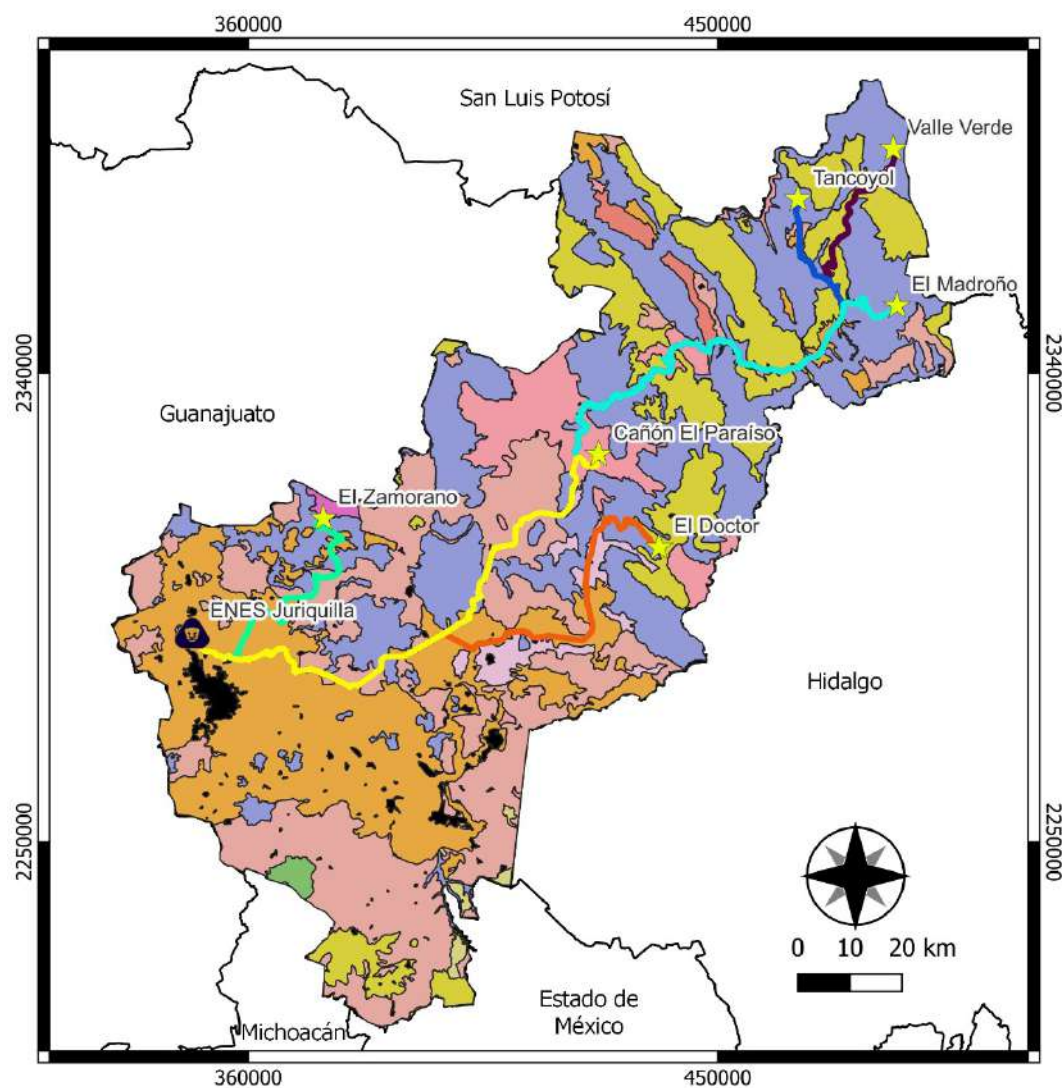
En síntesis, en México existe una gran edafodiversidad, ya que se tienen registrados 26 grupos de suelos, de los 34 reportados para todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO], 2015).

La regionalización de la distribución de los suelos se debe estudiar desde diferentes enfoques metodológicos y a diferentes escalas; esto de acuerdo con los objetivos de la investigación. En la actualidad, gracias a la tecnología satelital y de cómputo, se pueden gestionar grandes cantidades de información sobre el recurso suelo. No obstante, a escala de detalle (pequeña), debemos conocer el suelo y eso empieza con la descripción morfológica del suelo en campo. La práctica del estudio de campo quizá no se pueda sustituir, aunque se podrá completar con todas las herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad.



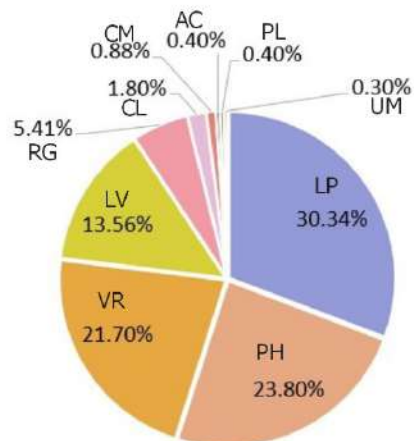
Mapa 4 en el que se presenta la distribución geográfica de los grupos de suelos presentes en México, clasificados a partir de la FAO (1988) (mapa elaborado por Abel Ibáñez, febrero 2023, a partir de los datos edafológicos de INEGI, escala 1:250,000).

Mapa edafológico del estado de Querétaro



Simbolgía

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| ★ Sitios de Interés | Suelos serie II INEGI |
| 👤 ENES Juriquilla | ■ Acrisol (AC) |
| Rutas a sitios de interés | ■ Calcisol (CL) |
| — El Zamorano | ■ Cambisol (CM) |
| — Cañón El Paraíso | ■ Leptosol (LP) |
| — El Doctor | ■ Luvisol (LV) |
| — Valle Verde | ■ Phaeozem (PH) |
| — Tancoyol | ■ Planosol (PL) |
| — El Madroño | ■ Regosol (RG) |
| | ■ Umbrisol (UM) |
| | ■ Vertisol (VR) |



Porcentaje de grupos de suelo

Mapa 5 – Mapa edafológico del estado de Querétaro, en el que se muestran además las rutas hacia los sitios de interés para la realización de prácticas de campo (mapa elaborado por Edna López, enero 2023, utilizando los datos de suelos de INEGI, escala 1:250,000).



EXPEDICIÓN A SITIOS DE INTERÉS



SITIO 1: Volcán Zamorano (~ 11 Ma)



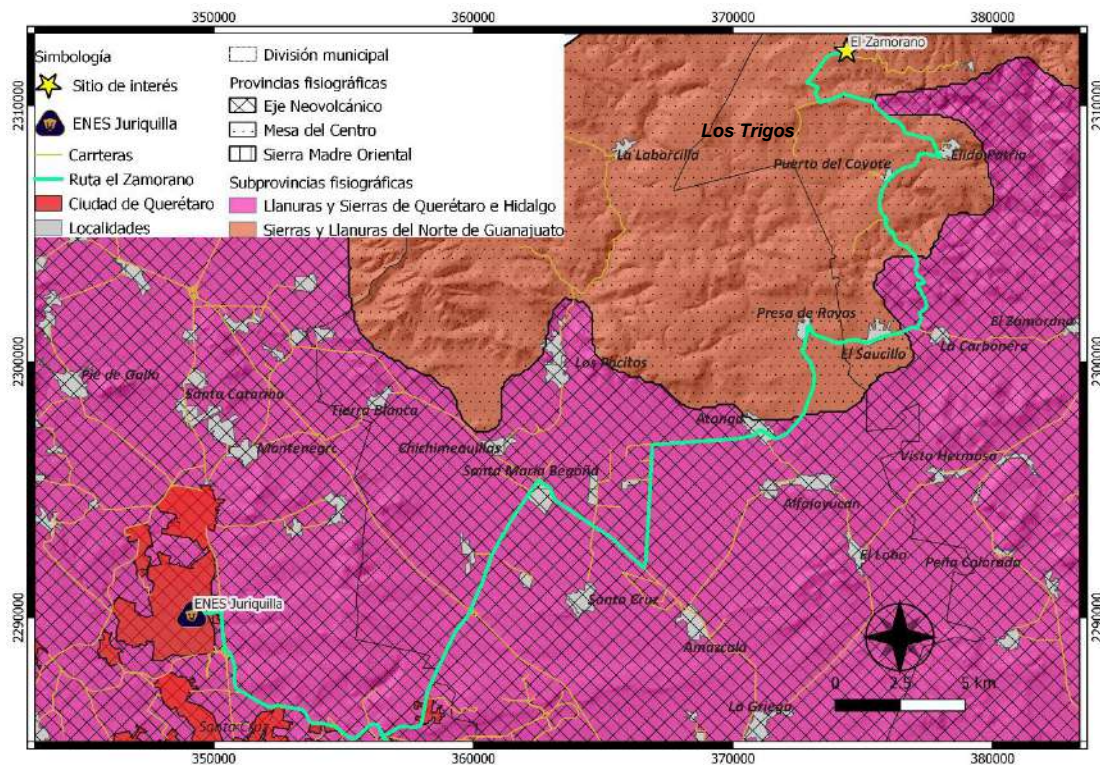
Tiempo estimado de recorrido:
1 hr 30 min. (Anillo Vial Fray Junípero Serra - carretera federal 540 – 500 -510)

Localidades cercanas: Los Trigos, El Coyote, El Saucillo, El Zamorano, Atongo, Colón.

Importancia del sitio: Se encuentra en la intersección de dos provincias fisiográficas (IX y X), así como de dos provincias magmáticas: el volcanismo Oligocénico de la Sierra Madre Occidental y del Neógeno de la FVTM. En él se encuentra la Reserva El Pinal del Zamorano, perteneciente al estado de Guanajuato, debido a la gran diversidad de especies, algunas de ellas endémicas de este volcán.

Paisaje en el Volcán Zamorano (fotografía tomada por Rosario Vázquez, noviembre 2022)

Se trata de uno de los 3 estratovolcanes Miocénicos construidos de manera contemporánea en los límites entre los estados de Querétaro y Guanajuato (Mapa 6). Este volcán, al igual que muchas otras estructuras volcánicas en la región, ha sido poco estudiado. De hecho, los únicos trabajos que describen a semi-detalle la geología del volcán y del basamento son los de Carrasco-Núñez (1988), Carrasco-Núñez et al. (1989) y el de Verma y Carrasco-Núñez (2003), que incluyó la descripción geoquímica de las rocas que conforman al edificio y sus alrededores, y obtuvieron fechamientos por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ que arrojaron edades de entre 10.5 y 9.4 Ma.



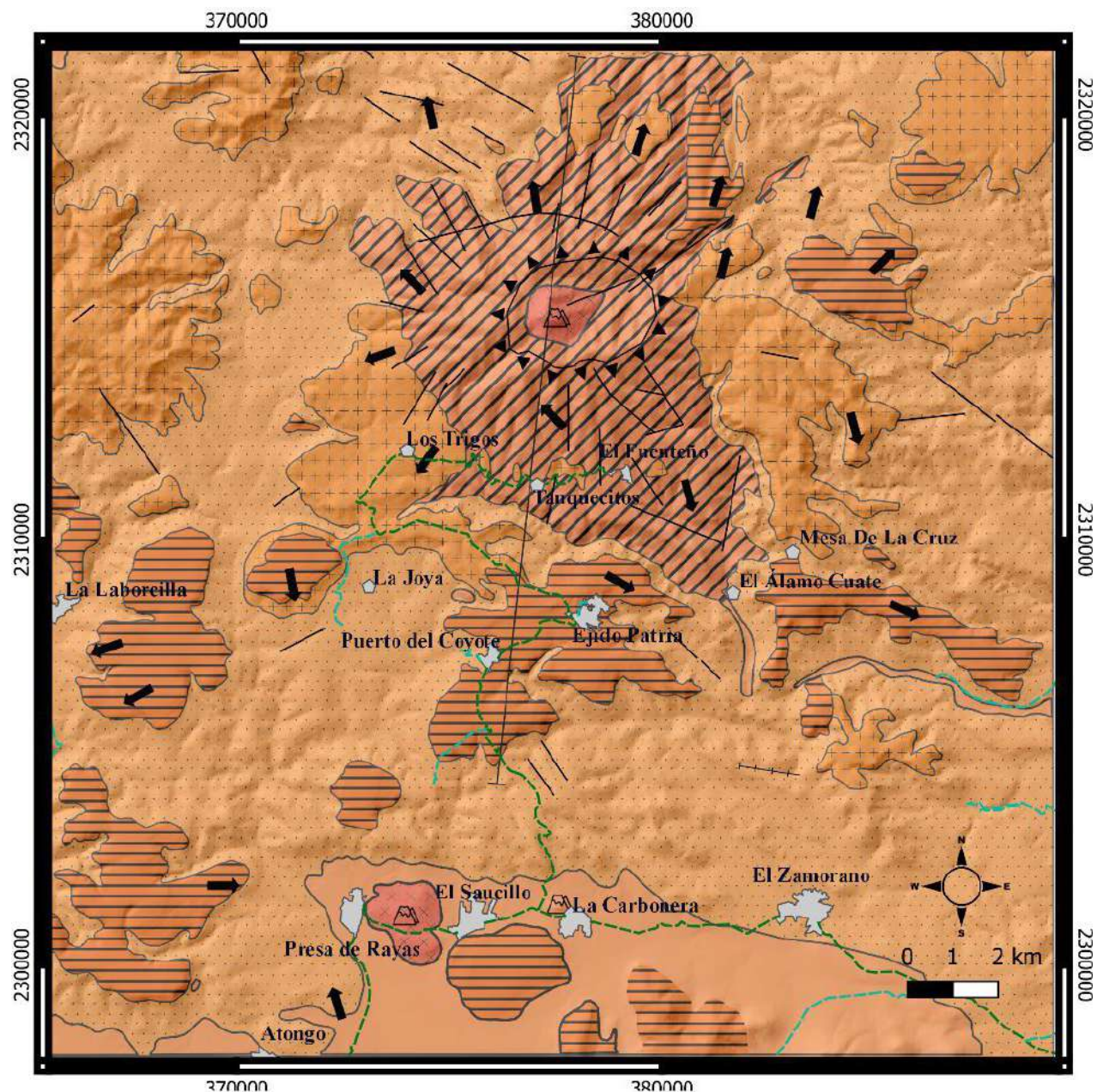
Mapa 6 mostrando la ruta del Volcán Zamorano, ubicado en la provincia fisiográfica IX (Mesa del Centro), en la porción centro-norte del estado (elaborado por Edna López, enero 2023, utilizando los datos de las subprovincias fisiográficas de México, escala 1:1,000,000 propuestas por INEGI, 2001).

El Zamorano es la estructura montañosa de mayor elevación del estado de Querétaro (Figura 18), con poco más de 3300 m s. n. m. y una base de aproximadamente 12 km de diámetro. Se construyó sobre una topografía irregular, dentro de un amplio campo volcánico poligenético (Mapa 7), integrado por derrames andesíticos centrales y en forma de meseta, depósitos de ignimbritas, y domos dacíticos pequeños

(Carrasco-Núñez, 1988); justo donde se intersectan dos provincias magmáticas (Figura 19): la del volcanismo del Paleógeno de la Sierra Madre Occidental (SMOcc), y la del Neógeno de la FVTM (Verma y Carrasco-Núñez, 2003). También es importante resaltar que el Zamorano yace en la intersección de las provincias fisiográficas IX y X (Mesa del Centro y Eje Neovolcánico, respectivamente, ver Mapa 6).



Figura 18. Vista panorámica del Volcán Zamorano (al fondo) y las Ignimbritas Oligocénicas de la SMOcc (primer plano). Fotografía tomada desde el mirador “Barranca Los Pilones”. (Foto tomada por Ricardo Contreras, enero de 2023 carretera El Saucillo-Los Trigos, Qro., reproducida en este documento con permiso del autor).



Simbología

Geología

- Aluvión
- Andesita Mesa Redonda
- Dacita del domo central
- Unidad superior
- Unidad inferior
- Andesita Arroyo Hondo

Estructuras

- Falla normal
- Fractura
- Sección Geológica
- Cráter
- Flujo
- domo

Localidades

- Localidades
- Carreteras
- Pavimentada
- Terracería

Mapa 7 - Mapa geológico del Volcán Zamorano y sus alrededores (elaborado por Edna López, enero de 2023, a partir de los trabajos de Carrasco-Núñez et al. (1989) y, Verma y Carrasco-Núñez (2003)).



El edificio volcánico se caracteriza por tener un cono altamente disectado (una larga fractura con orientación ENE corta el cono en 2 partes, Mapa 7) con un cráter truncado en su cima (Verma y Carrasco-Núñez, 2003). La evolución de este volcán fue interpretado y descrito a detalle por primera vez por Carrasco-Núñez et al. (1989), quienes inicialmente habían interpretado a los depósitos de ignimbrita que rodean al edificio volcánico como parte de la historia eruptiva del Zamorano. Sin embargo, tiempo después Verma y Carrasco-Núñez (2003) reinterpretaron estos depósitos, diferenciándolos como un evento más antiguo (entre 29.9 ± 0.3 y 28.1 ± 0.3 Ma) previo a la formación del volcán. Después, agruparon la evolución del Zamorano en 4 etapas volcánicas principales (Mapa 7): 1) Un cono central construido por actividad efusiva hace ~ 10.5 Ma, con lavas viscosas de composición dacítica; 2) Un incremento en la tasa de efusión, produjo lavas de composición andesítica, fechadas en 9.6 Ma (Unidad Andesita Arroyo Hondo) y flujos piroclásticos que forman capas de entre 5 y 10 m de espesor (que incluyen líticos andesíticos y escorias); 3) Volcanismo subsecuente, emplazado a través de diferentes respiraderos o fisuras que formaron pequeños domos de composición dacítica, ubicados a ~ 14 km al sur del cráter del Zamorano; y 4) pequeñas estructuras en forma

de mesetas (de hace ~ 8 Ma) que rodean al edificio volcánico principal, de composición basáltico-andesítica, emitidas probablemente por fisuras. El contacto entre las rocas de la etapa (1) y las lavas andesíticas de la etapa (2), se encuentra oculto por depósitos de talud, de acuerdo con Verma y Carrasco-Núñez (2003), quienes infirieron que las lavas dacíticas subyacen a las andesíticas basados en su posición relativa y en los fechamientos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ que realizaron en la zona.

Geología regional

De acuerdo con Verma y Carrasco-Núñez (2003), el basamento regional en el área del Zamorano (Figura 19) incluye rocas del Mesozoico, comprendiendo tanto las rocas volcano-sedimentarias de la Sierra de Guanajuato, y las sucesiones de sedimentos marinos de la SMOr. Las unidades volcano-sedimentarias incluyen depósitos turbidíticos intercalados con lavas almohadilladas deformadas y con metamorfismo de bajo grado, interpretadas como un ensamble de arco de isla volcánica (Centeno-García et al., 1993). La porción de la SMOr en esta área consiste en limolitas cretácicas altamente deformadas y falladas, debido a la orogenia cordillerana. En esta región, también encontramos rocas de la SMOcc, las

cuales fueron separadas informalmente por Verma y Carrasco-Núñez (2003), en tres grupos diferentes en términos de sus edades y litología dominante: a) el grupo volcánico del Eoceno, que incluye ignimbritas y domos de composición riolítica, así como flujos de lava andesíticos; b) el

grupo Oligocénico, que a su vez se subdivide en el subgrupo de domos riolíticos y el subgrupo de ignimbritas (Figura 20), con una menor proporción de flujos de lava de composición andesítica.

Geología regional de la parte centro-norte de la FVTM

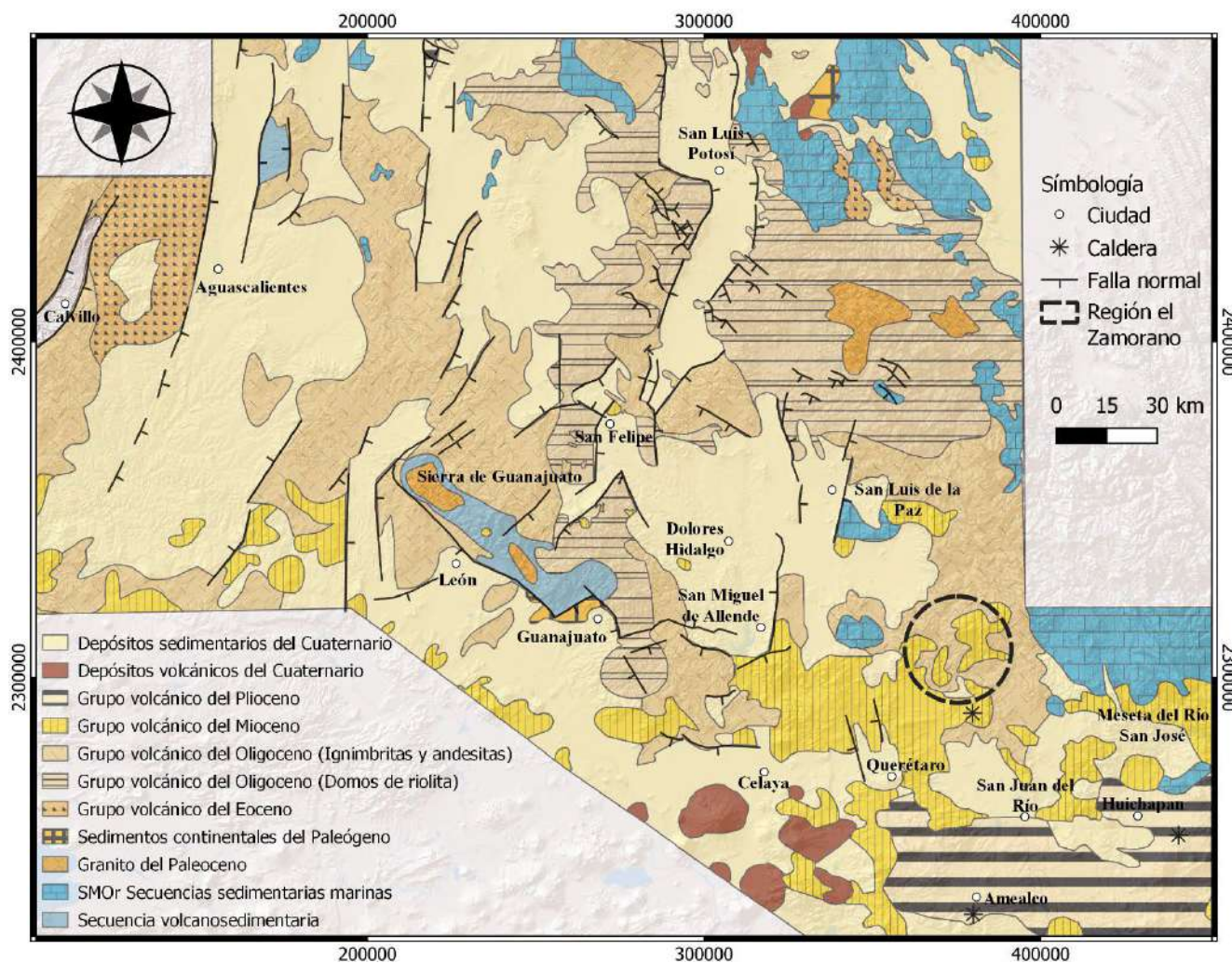


Figura 19. Mapa de la geología regional de la porción centro-norte de la FVTM, simplificado después de Nieto-Samaniego et al. (1999) (elaborado por Edna López, enero 2023, a partir de Verma y Carrasco-Núñez, 2003).

Por su parte, las rocas asociadas a la FVTM están representadas por dos grupos principales de depósitos: del Mioceno y del Plioceno, con una escasa manifestación durante el Cuaternario. De éstos, el grupo más antiguo está enmarcado por las andesitas y dacitas emitidas por el volcán Zamorano, así como otros

volcanes andesíticos alrededor de la caldera Huichapan y rocas asociadas a la caldera de Amazcala (Aguirre-Díaz y López-Martínez, 2001). El grupo del volcanismo Pliocénico está representado principalmente por rocas derivadas de las calderas de Amealco y Huichapan (Aguirre-Díaz y López-Martínez, 2009). Después de estas erupciones, no se tienen volcanes más jóvenes en el entorno del volcán Zamorano o incluso en los alrededores del Valle de Querétaro (Aguirre-Díaz, 2008).

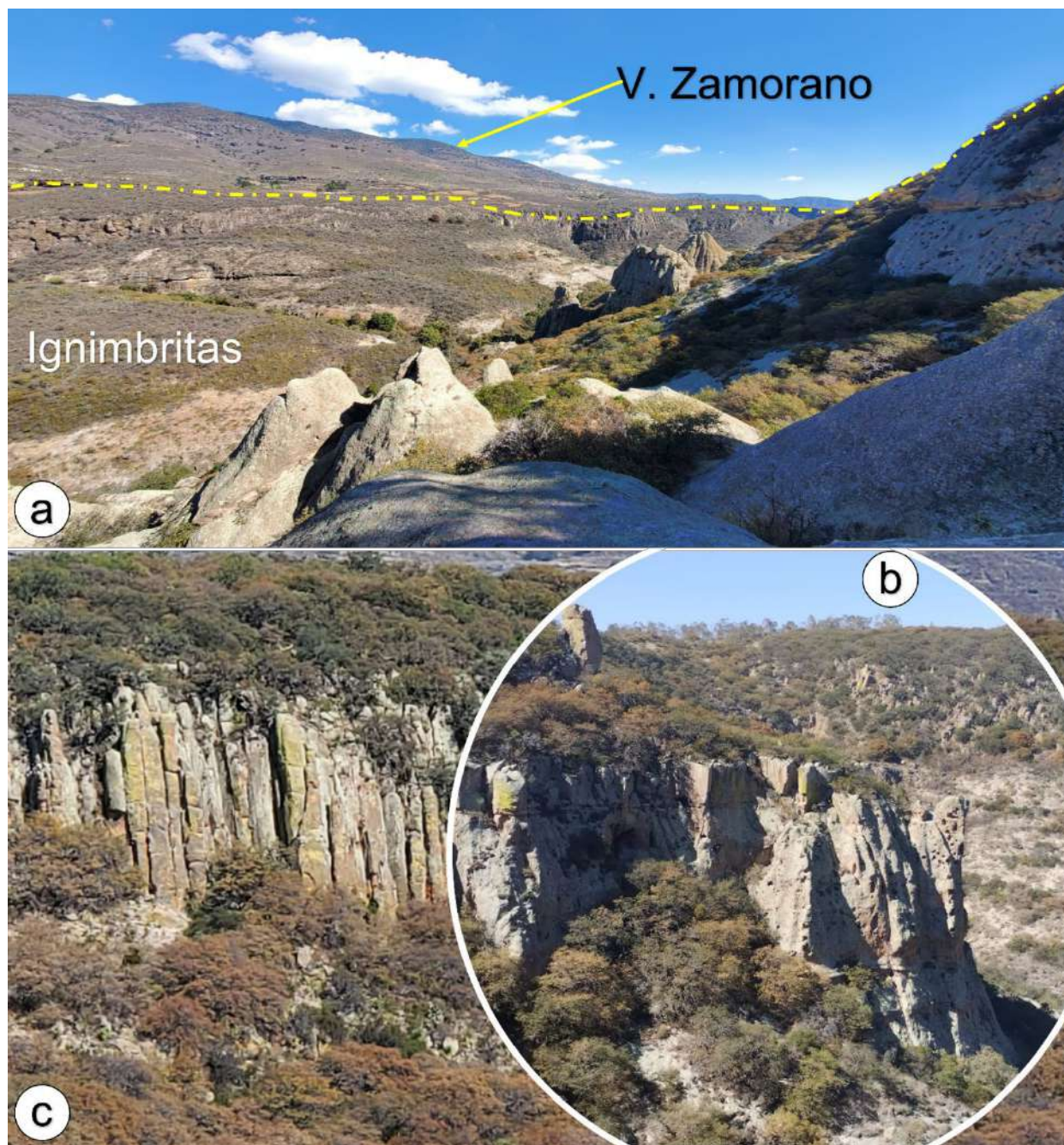


Figura 20. Fotografías de la secuencia de Ignimbritas Oligocénicas de la SMOcc. a) Foto panorámica que muestra el edificio del volcán Zamorano y la porción basal representada por las Ignimbritas Oligocénicas. b) Acercamiento a la secuencia inferior del afloramiento de Ignimbritas, compuesta principalmente por depósitos de caída de pómez, en la que se observa la textura porosa y fácilmente erosionable. c) Vista de las juntas columnares de la secuencia superior de las Ignimbritas, que se encuentran un poco más soldadas que las inferiores. (Fotografías tomadas por Ricardo Contreras, enero de 2023, carretera El Saucillo-Los Trigos, Qro., reproducidas en este documento con permiso del autor).

Ignimbritas de la Sierra Madre Occidental (Verma y Carrasco-Núñez, 2003)

Esta unidad es de particular importancia, ya que forma la porción basal del Volcán Zamorano (Figuras 18 y 20a). Están compuestas por una gruesa (~150 m de espesor en promedio) secuencia estratificada de ignimbritas endurecidas que muestran un soldamiento incipiente en algunas áreas. La base de la secuencia, de carácter masivo (Figura 20b), está formada por capas delgadas estratificadas de pómez de caída del tamaño de lapilli, bien clasificadas. Por otro lado, las ignimbritas de la parte superior están estratificadas en capas que van de los 10 a los 15 m de espesor, y muestran juntas columnares (Figura 20c). Ambos miembros contienen cristales de cuarzo, sanidino, oligoclasa, biotita, y minerales opacos (magnetita principalmente), además de líticos de riolita y andesita en una matriz de vidrio, que muestra una típica textura de flujo. Verma y Carrasco-Núñez (2003), estimaron un volumen mínimo de 75 km³ para estas ignimbritas, en un área de ~500 km².

Interés biológico del Cerro del Zamorano

El Volcán Zamorano, mejor conocido por los locales como Cerro del Zamorano, está rodeado por todos sus costados por una vegetación xerófila. En este sentido, los bosques de encino, pino y oyamel, representan una isla de vegetación templada entre los matorrales. El aislamiento prolongado de la vegetación templada de esta montaña ha generado una serie de elementos florísticos endémicos de la zona. Este es el caso de *Valeriana zamoranensis* Rzed. y Calderón, *Portulaca guanajuatensis* G. Ocampo, *Mammillaria microhelix* Werderm., *Salvia zamoranensis* Zamudio et Bedolla, *Baccharis zamoranensis* Rzed., *Cirsium zamoranense* Rzed. y *Rubus macvaughianus* Rzed. y Calderón una especie microendémica de frambuesa cuyo fruto es comestible y de muy buen sabor (Figura 21; Rzedowski, 1972; Rzedowski, 1994; Rzedowski y Calderón, 1989; Rzedowski y Calderón 2003).

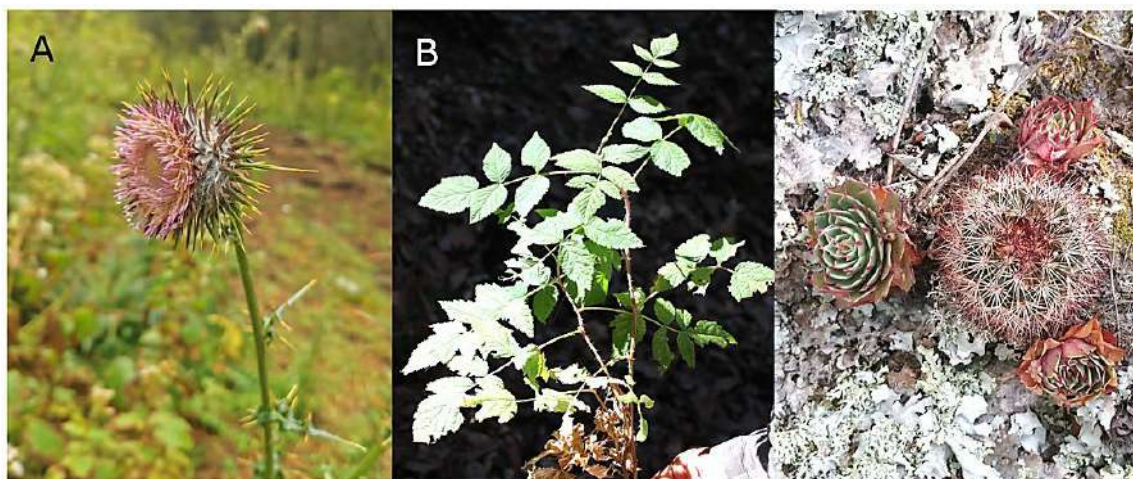


Figura 21. Microendemismos del Cerro del Zamorano A) *Cirsium zamoranense* Familia Asteraceae y B) *Rubus mcvaughianus* Familia Rosaceae (Fotografías tomadas por Alberto Prado y Mariana De la Teja, enero 2023), y C) *Mammillaria microhelix* Familia Cactaceae (Fotografía tomada en el Cerro del Zamorano por Luz Reséndiz en 2022, reproducida en este documento con permiso de la autora).

En las partes más altas y abruptas del Cerro el Zamorano, por arriba de los 3000 m s. n. m., encontramos el bosque de oyamel (*Abies religiosa*, Figura 22). Por debajo de los 3000 m s. n. m. encontramos bosques de encino (*Quercus rugosa*, *Q. laurina*, *Q. acutifolia*, *Q. depressipes*) y también se pueden observar algunos otros árboles como el afle (*Alnus jorullensis*), el madroño rojo (*Arbutus bicolor*) y varias especies de pino (*Pinus ayacahuite*, *P. cembroides*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, Gómez-Sánchez, 1999).



Figura 22. Ramas con hojas de A) *Abies religiosa* Kunth Schldl. et Cham. y B) *Pinus montezumae* Lamb. con cono femenino (fotografías tomadas por Alberto Prado, en 2022).

Arbutus bicolor S. González, M. González et P. D. Sørensen (Figura 23A), es una especie arbórea de la familia Ericaceae, está estrechamente relacionada con *A. xalapensis* H.B.K., y por mucho tiempo se identificó erróneamente como *A. glandulosa* o *A. xalapensis* (González-Elizondo, et al., 2012). *A. bicolor* se puede diferenciar de *A. xalapensis* por tener las ramas jóvenes y los pecíolos densamente

glandular pubescentes, las hojas marcadamente bicolors con envés blanquecino a ocre pálido gracias a la presencia de pubescencia densa, uniforme y crespa, así como las hojas senescentes de color rojo intenso (Figura 23B). *A. bicolor* está ampliamente distribuida en la Sierra Madre Occidental y en el Eje Neovolcánico, alcanzando la vertiente occidental de la Sierra Madre Oriental en Querétaro e Hidalgo (González-Elizondo et al., 2012).

De acuerdo con Gómez-Sánchez (1997), el Cerro del Zamorano es una de las áreas más húmedas del estado de Querétaro, y con una importante función en la recarga de acuíferos. Las diversas cañadas y vertientes que bajan por todos sus costados generan distintos microhábitats que mantienen condiciones especiales de temperatura, humedad y de suelo, que favorecen a una diversidad de plantas. Varias de las plantas que encontramos en el sotobosque del Zamorano tiene usos medicinales. A continuación, se presentan algunas especies con uso medicinal.

El género Salvia

El género *Salvia* L. (Familia Lamiaceae), bien conocido por los horticultores, es un componente importante de flora mexicana con más de 300 especies citadas para México (Bedolla-García y

Zamudio, 2015). Con sus corolas rosas, rojas, azules, moradas y ocasionalmente blancas, son elementos conspicuos de las zonas altas del país (Ramamoorthy, 1984).

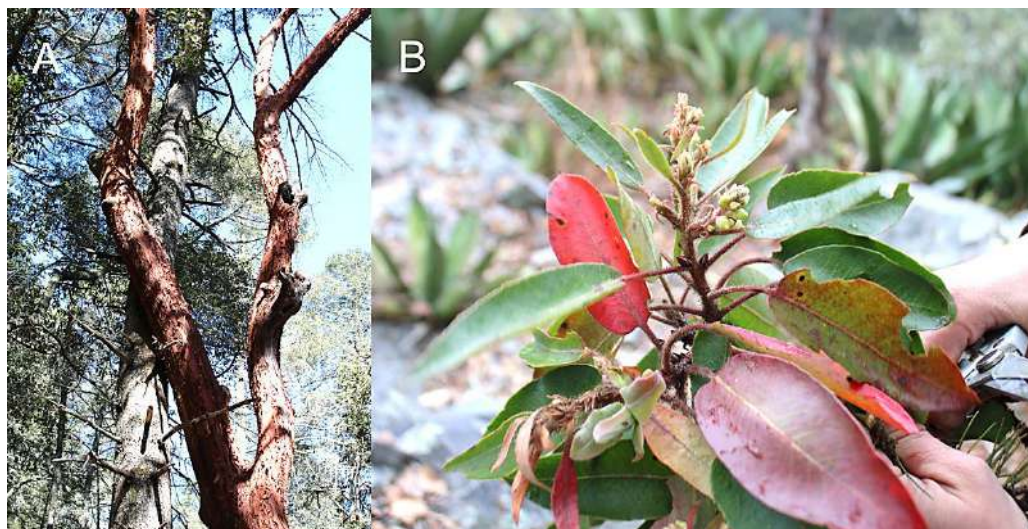


Figura 23. *Arbutus bicolor*, A) tronco y B) rama joven con los peciolos densamente glandular pubescentes (fotografías tomadas por Mariana De la Teja, enero 2023).



Varias especies de *Salvia* son usadas medicinalmente para condiciones del sistema nervioso o problemas gastrointestinales. *Salvia microphylla* Kunth se usa para tratar dolores de estómago, diarrea, cólicos, indigestión, disentería y vómito (Jenks y Kim, 2013). El Cerro del Zamorano alberga una diversidad de salvias entre las que destacan *S. mexicana*, *S. microphylla*, *S. patens*, *S. polystachya*, *S. elegans* y *S. zamoranensis* (Figura 24).

Figura 24. Diversidad de la Familia Lamiaceae en el Cerro del Zamorano. A) *Salvia polystachya*, B) *Salvia mexicana*, C) *Salvia patens*, D) *Salvia microphylla*, E) *Salvia elegans* F) *Stachys coccinea* (fotografías tomadas por Alberto Prado, noviembre de 2022); G) y H) *Salvia zamoranensis* (G y H fotos tomadas por Erick Vélez Sánchez, reproducidas con permiso del autor).

***Loeselia mexicana* (Lam.) Brand**

Loeselia mexicana es un arbusto perenne de la familia Polemoniaceae (Figura 25). Conocida con el nombre común “espinosilla”, esta especie es utilizada para tratar sustos, ansiedad, fiebre postparto, diarrea y enfermedades cutáneas (Aguirre-Alberto y Martínez-Cárdenas, 2018). Para tratar la fiebre se recomienda exprimir el jugo de las hojas y tomar medio vaso; con una o dos tomas se baja la temperatura.



Figura 25. *Loeselia mexicana*, “espinosilla” (fotografía tomada por Alberto Prado, en el Cerro del Zamorano, noviembre de 2022).

***Clematis dioica* L.**

Clematis dioica (Figura 26) es una especie trepadora con el sexo femenino ocurriendo diferentes individuos que el masculino, de ahí su epíteto *dioica*. Se usan inhalaciones de un machacado de la planta con alcohol para desechar la mucosidad de catarro constipado.



Figura 26. *Clematis dioica* con flores masculinas (fotografía tomada por Alberto Prado en el Cerro del Zamorano, noviembre 2022).

⚡. ACTIVIDADES DE ÍNDOLE GEOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 1

La relevancia de estudiar el Volcán Zamorano, radica en que es uno de los tres estratovolcanes Miocénicos presentes en el estado de Querétaro (además de los volcanes La Joya y Palo Huérfano); además de que es la estructura montañosa más alta, y la que mantiene el edificio volcánico principal mejor preservado, en comparación a los otros dos estratovolcanes. En este sitio, se tiene la particular oportunidad de observar las características tanto del Volcán Zamorano, construido principalmente por actividad efusiva; como los remanentes de los gruesos depósitos de ignimbrita provenientes de la SMOcc, derivados de una actividad predominantemente explosiva. Es por esta razón que las actividades sugeridas tanto para profesores como para estudiantes se dividen en actividades del grupo A, orientadas al análisis de los depósitos de las

ignimbritas Oligocénicas, que afloran principalmente en la “Barranca Los Pilones”; y el grupo B*, relacionadas con el estudio y observación de los depósitos asociados al Volcán Zamorano.

∞ ACTIVIDADES DE GRUPO A



Para Profesores

- ✓ Aproximadamente a la mitad del camino hacia el Volcán Zamorano, se comenzará a observar la morfología característica de las unidades de Ignimbrita Oligocénica de esta zona, en comparación con el abrupto paisaje definido por el edificio volcánico del Zamorano, por lo que se recomienda hacer notar el relieve al alumnado y sugerirles que tomen fotografías de ser posible.
- ✓ La primera parada se hará en el mirador de la “Barranca Los Pilones”, con coordenadas (UTM Zona 14): 375896 W, 2309691 N; y desde ahí se sugiere describir la historia geológica de la zona, comenzando por describir la formación de las Ignimbritas Oligocénicas sobre las que está el mirador, y siguiendo con la construcción del Volcán Zamorano. Hacer especial énfasis en la diferencia morfológica que presenta el relieve de las Ignimbritas, con respecto a la del edificio volcánico (Fig. 18).
- ✓ Posteriormente, se sugiere realizar una actividad dinámica en la que, por grupos, el estudiantado deberá de encontrar la entrada hacia el sendero que lleva al lugar en donde se pueden observar a detalle las características de la secuencia superior e inferior de las Ignimbritas (Figura 20). Para ello, se hará uso del mapa topográfico proporcionado en clase, así como de la brújula tipo Silva. Las coordenadas a las que deberán de llegar son (UTM Zona 14): 375710 W, 2310180 N. Hacer especial énfasis al alumnado, en la importancia del reconocimiento de las geoformas del paisaje, de forma visual y en el mapa topográfico, para facilidad de orientación. Es importante que, para esta actividad, haya varios profesores/as supervisando el avance del estudiantado a fin de evitar que se pierdan. La actividad no debe de llevar más de 1 hora en realizarse.

*** NOTA:** Es importante hacer notar al profesorado que para poder llevar a cabo las actividades del grupo B, es indispensable que el transporte que utilicen tenga doble tracción, ya que el camino para subir hasta el estacionamiento de las antenas de Televisa, desde donde se llevan a cabo estas actividades, es un camino empedrado que tiene algunos transectos difíciles de recorrer en transporte normal. Se sugiere organizar el transporte necesario, con los locatarios de la localidad Los Trigos, que es donde se ubica la entrada al camino a las antenas, y en dónde se tiene que pagar la cuota de ingreso a la Reserva del Zamorano. También es importante hacer notar que, para subir hasta la cima del domo central del volcán, es necesario subir escaleras empinadas y que, debido a la elevación, mayor a los 3000 m s. n. m., se debe subir de forma paulatina, a fin de evitar dolores de cabeza. **IMPORTANTE:** Estas actividades **NO SON APTAS PARA PERSONAS CON VÉRTIGO o que padecen de presión arterial.**

- ✓ Una vez que los estudiantes de los diferentes grupos lleguen al punto de encuentro, que es la entrada del sendero (se reconocerá porque hay una puerta de madera), se procederá a seguir con cuidado el recorrido del sendero, recordándole al estudiantado que deben de marcar el camino con sus GPS (track, Figura 27).
- ✓ Al final del sendero, se encontrará con una saliente de roca en la que se podrá observar el contacto entre la cima de la secuencia inferior de las Ignimbritas (Figura 28), y la base de la unidad superior representada por Ignimbritas soldadas (Figura 18). En este punto, se recomienda dar una explicación al estudiantado sobre el proceso de formación de las ignimbritas y la causa por la cual se pueden distinguir estos dos miembros de una misma secuencia, con características tan diferentes.

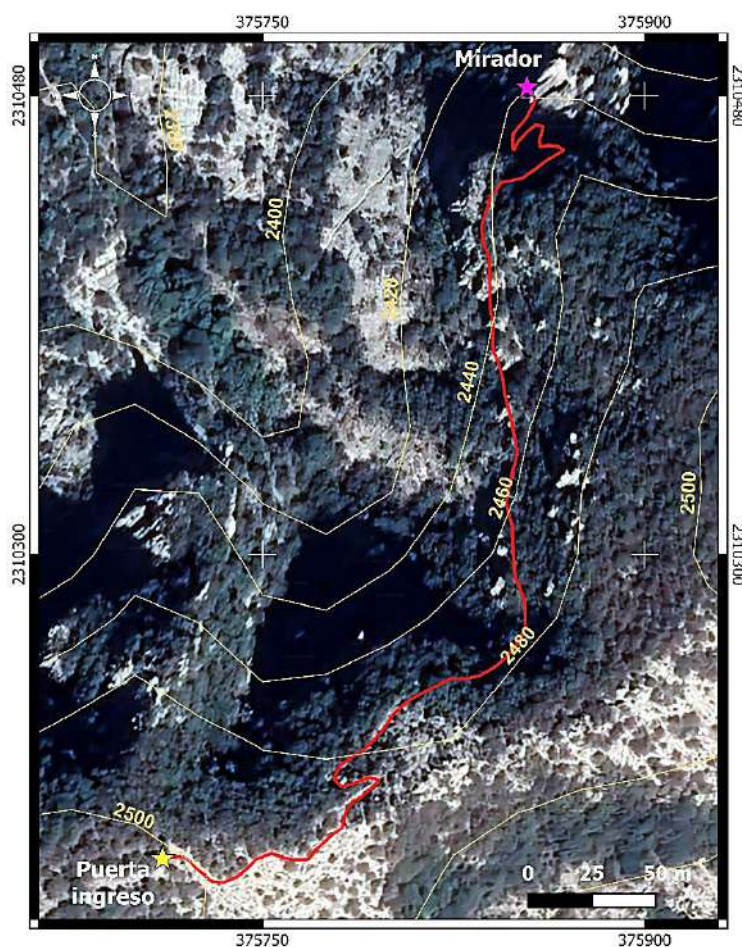


Figura 27. Vista en planta de la ruta del sendero (línea roja) que lleva al contacto entre los miembros de la secuencia de las Ignimbritas Oligocénicas. Las líneas anaranjadas son curvas de nivel a 20 m (elaborado por Rosario Vázquez, enero 2023, utilizando como base imágenes de satélite de Google Earth).



Figura 28. Fotografía panorámica desde el interior de la Barranca Los Pilonos, en el que se observa la morfología característica suave de las Ignimbritas Oligocénicas de la SMOcc que forman la parte basal del Volcán Zamorano (hacia la porción derecha e izquierda de la fotografía), y al fondo en el centro, la imponente estructura del edificio volcánico del Zamorano (fotografía tomada por Ricardo Contreras, enero 2023, reproducida en este documento con permiso del autor).

- ✓ Recordar en este punto al alumnado que deben de describir el afloramiento de acuerdo con la [metodología “A”](#) y los [formatos 1](#) y [2](#) de la Guía; así como también se recomienda seguir los pasos de las [metodologías “B”](#) y [“C”](#), en caso de que sea adecuado el muestreo de los depósitos.



Para Estudiantes

- ✓ Durante el camino, notarás las diferentes morfologías de las distintas unidades de rocas que afloran en esta zona. Se sugiere que, de ser posible, tomes fotografías de estas variaciones geomorfológicas; y que discutas en conjunto con tu profesor/a y tus compañeros/as estas diferencias.
- ✓ En el mirador de la “Barranca Los Pilonos”, tu profesor/a describirá la historia geológica de la zona. Al concluir con esta explicación, se te darán instrucciones para que realices una actividad en grupos. La actividad consiste en utilizar el mapa topográfico que se te proporcionó en clase (de la zona de estudio), así como un GPS y una brújula tipo Silva, con el fin de que te orientes y busques las coordenadas que te proporcionará tu profesor/a. Una vez que tú y tus compañeros/as de grupo identifiquen en el mapa las coordenadas, deberán de dirigirse hacia ese punto, el cual indica la entrada hacia un sendero (verás una puerta de madera cuando llegues). Toma en cuenta que es importante que observes las geoformas del relieve y trates de identificarlas en tu mapa para que puedas orientarte mejor.
- ✓ Una vez que todos los participantes de la práctica llegaron al punto de reunión, deberás de marcar la ruta que seguirán del sendero con tu GPS (track), guardando la ruta una vez que lleguen al final del sendero.
- ✓ En este sitio, se encuentra una saliente de roca en forma de “cueva”, excavada al interior del contacto entre la secuencia inferior (Figura 29), y superior de las Ignimbritas Oligocénicas de la SMOcc (Figura 20). Deberás de describir el sitio, siguiendo la [metodología “A”](#) y los [formatos 1](#) y [2](#) de tu Guía. Recuerda que debes tener mucho cuidado en este punto para evitar caídas o golpes.



Figura 29. Fotografía del depósito de la secuencia inferior de las Ignimbritas Oligocénicas de la SMOcc que afloran en la porción basal del Volcán Zamorano, en la “Barranca Los Pilonos” (fotografía tomada por Rosario Vázquez, enero 2023).

∞ ACTIVIDADES DE GRUPO B



Para Profesores:

- ✓ Durante el trayecto hacia el estacionamiento de las antenas de Televisa, instaladas en la cima del Volcán Zamorano, se podrá observar el relieve abrupto del edificio volcánico, el cual, al estar conformado principalmente por volcanismo efusivo, ha sido más resistente al intemperismo. Por lo que se sugiere explicar al estudiantado las diferencias entre el volcanismo efusivo y explosivo (este tipo de vulcanismo se observará en el mirador de la “Barranca Los Pilones”, Figura 18), así como invitar a las alumnas y los alumnos, a que discutan las diferencias entre las morfologías volcánicas observadas en el camino. Recordar en todo momento al estudiantado, la toma de datos GPS y el llenado de los [Formatos 1](#) y [2](#) de la Guía.
- ✓ Se sugiere describir al estudiantado, la historia eruptiva del Volcán Zamorano durante el ascenso.
- ✓ Desde el estacionamiento de las antenas, hasta la cima del domo central del volcán, se requiere de subir escaleras y realizar una caminata de aproximadamente 20 minutos. Sin embargo, durante el ascenso hacia la cima del domo, se sugiere mostrar al estudiantado las evidencias del proceso de extrusión del domo dacítico, que consisten en estructuras de pliegue o bandas de dilatación formadas por cizallamiento (Figura 30); e incluso la toma de muestras, siguiendo la [metodología “B”](#).

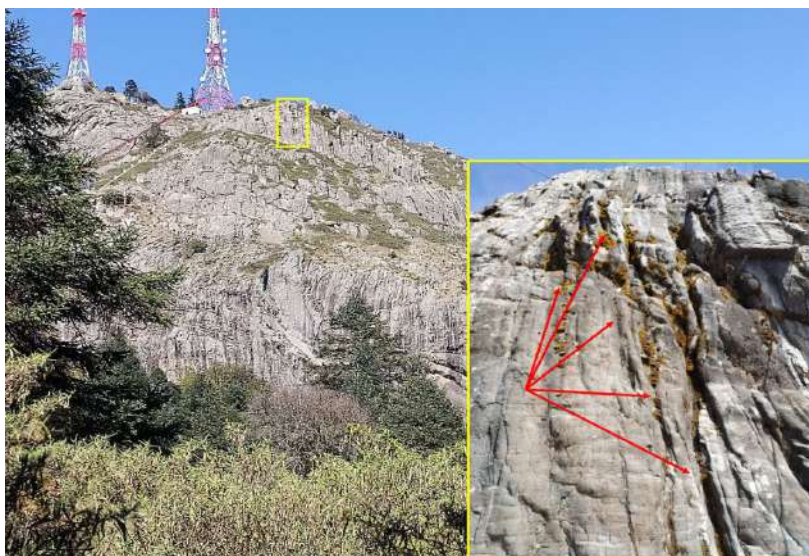


Figura 30. Fotografías que muestran las bandas de dilatación por cizallamiento en la porción más externa del domo central dacítico del Volcán Zamorano. En la fotografía, se observan las antenas de Televisa dispuestas en la cima del domo. En el recuadro inferior derecho se muestra un acercamiento a las estructuras de cizalla (fotografías tomadas por Rosario Vázquez, enero 2023, en uno de los flancos del interior del Volcán Zamorano).

- ✓ En este punto, se sugiere pedir al alumnado que hagan un dibujo o esquema de cómo creen que tuvo lugar la extrusión de esta estructura volcánica ([Formato 1](#)), considerando los tipos de domos volcánicos estudiados en clase (endógenos, exógenos y criptodomos). Es importante explicar lo que significan las estrías o fracturas que se observan en las paredes verticales del domo central, con relación a la forma en la que éste se originó. Indicar al alumnado que deben tomar fotografías de los rasgos principales de esta estructura, para su posterior explicación en los reportes de campo.

- ✓ Antes de llegar a la porción somital del domo, se sugiere mostrar al estudiantado, algunas estructuras de intermperismo en forma concéntrica “en caparazón”, que aparecen en las rocas que conforman las paredes de la ladera del domo central, a la altura de las oficinas de control de Televisa (Figura 31). Coordenadas (UTM Zona 14): 377238 W, 2315137 N.

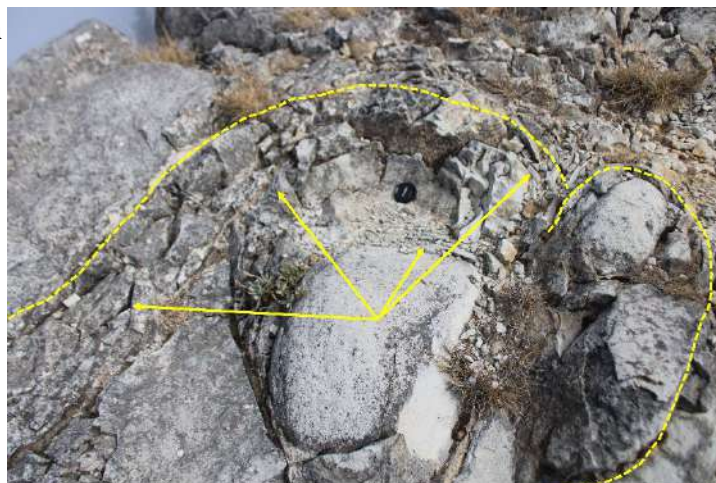
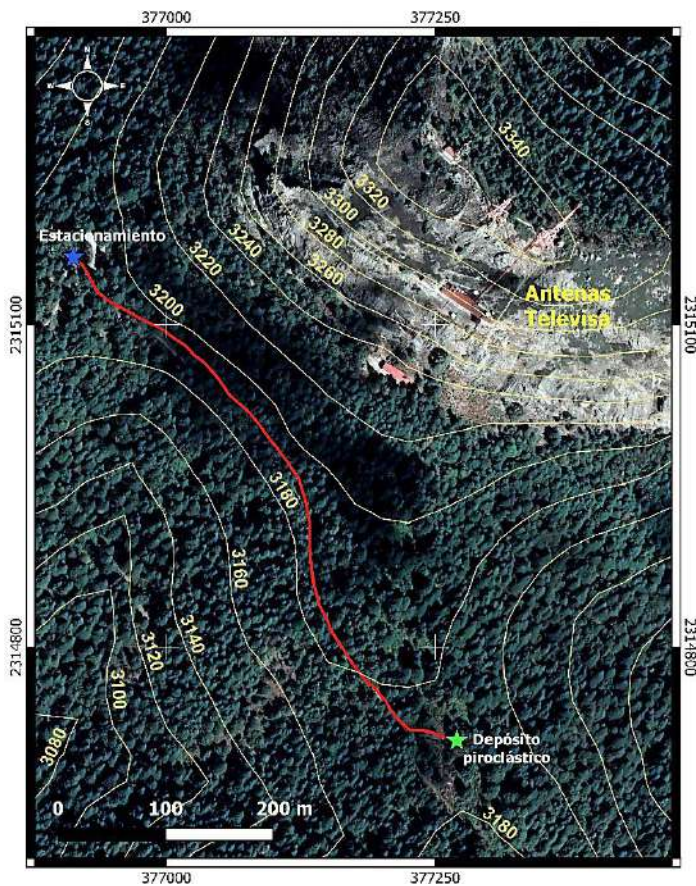


Figura 31. Fotografía de una porción del afloramiento del domo central del Volcán Zamorano, en el que se observa fracturamiento esferoidal, en forma de capas concéntricas y radiales de roca (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, enero 2023).

- ✓ Una vez que se llegue a la cima del domo central, se tendrá una vista excepcional de la morfología regional, ya que este sitio representa el punto con mayor elevación de todo el estado de Querétaro, por lo que se pueden apreciar las estructuras volcánicas y sedimentarias de los alrededores. Al respecto, es deseable pedirle al alumnado que identifiquen las geoformas del relieve y que las comparen con los datos vertidos en el Mapa 7 y la Fig. 19. Se sugiere iniciar una discusión de retroalimentación sobre este tema.
- ✓ Una vez terminada la visita a la cima del domo central, se propone seguir por un sendero (Figura 32), el cual permite apreciar desde otro ángulo, las características del domo central; además de que, durante el trayecto, se puede observar un afloramiento de un depósito piroclástico (probables oleadas, Figura 33), el cual no está reportado en los trabajos de Carrasco-Núñez et al., 1989 y Verma y Carrasco-Núñez. 2003, pero los depósitos se encuentran in situ, sin estar removidos. En este punto, se recomienda poner a describir al alumnado las características del depósito (textura,



espesores, color, etc.), siguiendo la [metodología "A"](#) y utilizando el [Formato 2](#) de la Guía, recordarles además de que deben de tomar el punto con el GPS y sacar una fotografía del depósito (con escala). En este caso, también se sugiere la obtención de una muestra granulométrica, siguiendo la [metodología "C"](#).

Figura 32. Vista en planta de la ruta del sendero (línea roja) que lleva al afloramiento del depósito piroclástico. Las líneas anaranjadas son curvas de nivel a 20 m (elaborado por Rosario Vázquez, enero 2023, utilizando como base imágenes de satélite de Google Earth).



Figura 33. Fotografía del afloramiento de un depósito piroclástico hallado en la ladera este del cráter del Volcán Zamorano (tomada por Rosario Vázquez, enero 2023).



Para Estudiantes:

- ✓ Con el GPS, trazar la ruta desde el lugar de salida (Campus UNAM Juriquilla, Qro.), hasta el estacionamiento de las antenas de Televisa (guardar el track en este punto), cerca de la cima del Volcán Zamorano, en donde se tomará además un waypoint, también con el GPS.
- ✓ Durante el camino hacia el Volcán Zamorano, deberás observar los afloramientos de roca y su morfología, la coloración de los depósitos, espesores, tipo de vegetación, estructuras, etc.
- ✓ Desde la base de las instalaciones de control de las antenas de Televisa, se puede observar el relieve abrupto que representa el domo central dacítico del Volcán Zamorano, así como algunas estructuras propias del origen y emplazamiento del domo. Deberás realizar un dibujo o esquema ([Formato 1](#)) en el que representes la forma en la que crees que emergió este domo, de acuerdo con lo que puedes observar en las paredes verticales que lo conforman y a los tipos de estructuras dómicas vistas en clase. Tu profesor/a te indicará en qué parte, tomar una muestra de roca del afloramiento, siguiendo la [metodología "B"](#). También puedes tomar fotografías con su respectiva escala vertical.
- ✓ Durante el ascenso hacia la cima del domo, observarán algunas estructuras de intemperismo en las rocas que afloran en este sitio, se sugiere que tomes fotografías (con escala) de éstas, el punto GPS de la localización del afloramiento, y que indiques el nombre del tipo de intemperismo ([Formato 1](#)).
- ✓ Al llegar a la cima del domo central, se discutirán aspectos sobre las geoformas que se observan desde ese punto, en los alrededores del Volcán Zamorano. Con ayuda del Mapa 7, identifica las estructuras que se observan y discute junto con tu profesor/a y tus compañeros/as al respecto.
- ✓ Una vez terminada la visita al domo central, se podrá seguir un sendero hasta un depósito asociado a la actividad explosiva del volcán (Fig. 33). Deberás describir este afloramiento con ayuda del [Formato 2](#) de la Guía, siguiendo la [metodología "A"](#); así como también deberás tomar una muestra del depósito, siguiendo la [metodología "C"](#).



ACTIVIDADES DE ÍNDOLE BIOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 1



Para Profesores:

- En este sitio se recomienda dar una breve explicación al alumnado sobre la diversidad de árboles que se observan en los bosques del Cerro del Zamorano.

- Se sugiere que el alumnado mida la biomasa aérea de las especies leñosas a partir de la [metodología “G”](#), trazando primero un transecto de 100 x 2 m.
- Se recomienda también que el alumnado mida la altura y el diámetro a la altura del pecho (DBH) de los árboles mapeados.



Para Estudiantes:

- Deberás trazar un transecto de 100 x 2 m, siguiendo la [metodología “G”](#) incluida en esta Guía, a fin de medir la biomasa aérea de las especies leñosas presentes en este sitio de campo.
- También deberás de medir la altura de los árboles, con ayuda de un telémetro; y el diámetro de los árboles a la altura del pecho (DBH), usando una cinta métrica.
- Podrás utilizar las fotografías proporcionadas en esta guía para determinar el género al que pertenece cada árbol del transecto (*Abies*, *Arbutus*, *Pinus* o *Quercus*).
- Los valores de altura y DBH junto con la densidad de la madera (usar la Tabla S1.1 de densidades), te permitirán conocer de manera precisa la cantidad de biomasa aérea. Esta información es muy importante para entender el ciclo de carbono. Las mediciones de la parte baja (menos de 3000 m s. n. m.), las podrás comparar con las mediciones de la parte alta (más de 3000 m s. n. m.).

Tabla S1.1. Resumen de las densidades promedio de maderas, de acuerdo con el tipo de árbol (valores obtenidos de Sotomayor et al., 2003).

Género	Densidad promedio de la madera (g/cm ³)
Abies	380
Alnus	430
Arbutus	800
Pinus	420
Quercus	630

➤ ACTIVIDADES PARA EL AVISTAMIENTO DE AVES

Cuando se observa un ave, es necesario fijarse y anotar la mayor cantidad de características que se puedan, para así poder determinar que especie fue la que se observó. Es indispensable observar las particularidades del ave, es decir: forma de pico, color del ave en general, color de patas, tamaño, cola, etc. Esto nos proporcionará información esencial para su identificación. Al observar un ave por el

mayor tiempo posible, se podrá recordar y anotar lo visto, y de ser posible, realizar un dibujo con las principales características del ave en la libreta de campo, a partir del [Formato 6](#) (ver sección de formatos al final de la Guía).



Para Profesores

- ☞ Explicar al alumnado la relevancia de las aves en México y, en el contexto del estado de Querétaro.
- ☞ Describirle al alumnado las especies más comunes de aves que encontrarán en este sitio, de acuerdo con el tipo de vegetación del lugar.
- ☞ Para el avistamiento de aves, se sugiere que el alumnado siga la [metodología "I"](#) y llene el [Formato 6](#) (final de la Guía), siempre siguiendo las recomendaciones descritas al final de la descripción de actividades.



Para Estudiantes:

- ☞ De acuerdo con la explicación dada por tu profesor/a, siguiendo la [metodología "I"](#), deberás buscar por lo menos 10 aves diferentes y reportarlas en tu bitácora ([Formato 6](#), incluido al final de la Guía).
- ☞ Una vez realizada la actividad anterior, deberás determinar de acuerdo con tus observaciones en la bitácora y con ayuda de la "[Guía para la identificación de aves](#)" (incluida al final de este documento): el orden, familia y especie a la que pertenecen las 10 aves observadas.
- ☞ Discute junto con tu profesor/a y tus compañeros/as, las observaciones a las que llegaste.

****Nota:** La "[Guía para la identificación de aves](#)", te servirá como una herramienta esencial para poder identificar aves de manera más eficiente. La mayoría de las aves que pueden observar en la naturaleza, en los sitios de campo incluidos en este documento, tienen ilustraciones o fotografías; además de que se describe su nombre común, nombre científico y algunas características del ave.*

Recomendaciones: La mejor hora para ver aves es cuándo sale el sol y hasta 4 horas después de que amaneció. Durante el tiempo que dediques a la observación de aves, deberás de utilizar ropa de color opaco, guardar silencio y ser paciente. Si no identificas el ave, aún con la ayuda de la "[Guía de identificación de aves](#)", es normal, por eso es importante anotar todo lo que veas y después comparar tus observaciones con las de tus compañeros/as y buscar el apoyo de tu profesor/a.



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DE SUELO DEL SITIO 1

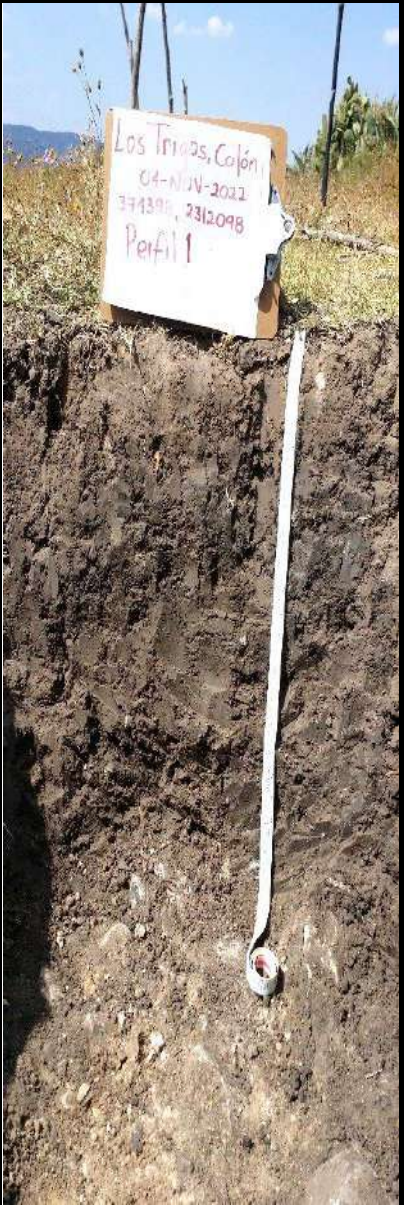
A mitad del camino entre el mirador de la “Barranca Los Pilones” y la brecha para llegar al estacionamiento de las antenas de Televisa, rumbo a la cima del Cerro del Zamorano, se encuentra la localidad de Los Trigos, en el municipio de Colón, Qro. En esta localidad, ubicada a 2,560 m s. n. m., se pueden encontrar Vertisoles, que son el tercer grupo de suelos más abundantes dentro del estado de Querétaro (ver Mapa 5). A continuación, se presenta la descripción pormenorizada de un perfil de suelo (Perfil 4[1]) llevado a cabo en el terreno de la Sra. María Maura Valdés, habitante de Los Trigos. Por lo que, si el/la profesor/a que lleve de práctica de campo al alumnado a este lugar y desee realizar el levantamiento de un perfil de suelo de forma similar al descrito en esta sección, se sugiere pedir permiso a esta persona. Así como también seguir la [metodología “K”](#) y utilizar los [Formatos 7](#) y [8](#), incluidos al final de esta Guía, para hacer la descripción correspondiente.

Descripción del perfil del Suelo Perfil 4(1). Los Trigos (Volcán Zamorano) Descripción de las condiciones ambientales

Fecha:	04-11-2022
Descriptor:	Abel Ibáñez Huerta
Localidad:	Los Trigos, Municipio de Colón, Querétaro
Localización geográfica:	X= 374398 Y= 2312098
EPE:	3 m
Altitud:	2560 m s. n. m.
Clima	Templado frío
Estado del tiempo:	Parcialmente nublado, sin precipitación en los últimos 30 días
Uso de suelo y vegetación:	Agricultura temporal, compactado. Cultivo de maíz de temporal en la parcela aledaña
Geoforma:	Zona escarpada
Pendiente:	Parte alta del volcán Zamorano con pendiente muy ligeramente inclinado (1 al 2%).
Erosión:	Ligera de tipo hídrica laminar
Material parental:	Rocas ígneas; andesitas
Drenaje Superficial:	Deficiente
Pedregosidad:	Rocas y canto rodados, cobertura 2 - 5 %

Encostramiento:	Ninguno
Grietas superficiales:	< de 1 cm y con una profundidad menor a 2 %
Presencia de sales:	Sin evidencia
Comentarios:	La zona se ubica aprox. 500 m de las casas. Es una zona muy alterada por el factor antrópico; este es proceso antiguo.

Clasificación: Vertisoles

Imagen del perfil de suelo (fotografía tomada por Edna López, noviembre 2022)	Horiz+ Prof (cm)	Descripción
	Ah 0-15/23	Color pardo grisáceo (10 YR 5/2), no hay reacción a carbonatos ; pH muy ligeramente ácido (6.9); textura arcillo-arenosa; estructura bloques subangulares de tamaño grueso con fuerte desarrollo; estabilidad de agregados muy alta, humedad actual muy seco; consistencia extremadamente dura; muy adherente ; plástico ; pocos poros intersticiales y canales finos; pedregosidad ninguna, muchas raíces medias y gruesas; límite claro y ondulado, muy fuerte reacción a la MO .
	A1 15/23-33	Color oscuro (10YR 2/1), no hay reacción a carbonatos , pH moderadamente alcalino (7.6), textura arcillosa, estructura bloques subangulares de tamaño muy grueso con muy fuerte desarrollo, estabilidad de agregados muy alta, humedad actual seco, consistencia extremadamente duro, muy adherente , plástico , comunes poros intersticiales y vesiculares finos, pedregosidad pocos cantos medianos subredondeados intemperizados, raíces medias comunes; límite difuso ondulado, Rasgos pedológicos superficies de deslizamiento; muy fuerte reacción a la MO .
	A2 33-49	Color pardo muy oscuro (10YR 2/2), no hay reacción a carbonatos , pH muy ligeramente alcalino (7.1), textura arcillosa, estructura en bloques subangulares tamaño muy grueso con muy fuerte desarrollo, estabilidad de agregados muy

		alta, humedad actual seco, consistencia extremadamente duro, muy adherente, plástico , pocos poros vesiculares y canales finos, pedregosidad pocos cantos grandes subredondeados intemperizados, pocas raíces finas; límite difuso y fracturado, Rasgos pedológicos superficies de deslizamiento; leve reacción a la MO .
	A3 49-64	Color pardo oscuro (7.5 YR 3/2), fuerte reacción a carbonatos , pH muy ligeramente alcalino (7.2), textura arcillo-arenosa, estructura en bloques subangulares tamaño grueso con fuerte desarrollo, estabilidad de agregados muy alta, humedad actual levemente húmedo, consistencia extremadamente duro, muy adherente, plástico , muy pocos poros intersticiales finos, pedregosidad abundantes cantos grandes subredondeados intemperizados, pocas raíces finas; Rasgos pedológicos superficies de deslizamiento, Moteados pocos y finos, color blanco (10YR 8/2), con fuerte reacción a carbonatos; leve reacción a la MO .
	R>64	Roca ígnea: Andesita

SITIO 2: Cabalgadura El Doctor (Campaniano, ~80 Ma)



Vista panorámica de la Cabalgadura El Doctor, Cadereyta de Montes, Qro. (fotografía tomada por Berlaine Ortega, noviembre 2020)

Tiempo estimado de recorrido:

2 hr 30 min. (Carretera Federal 45 – 100 – 120).

Localidades cercanas: El Doctor, El Suspiro, San Joaquín.

Importancia del sitio: Es un lugar único para poder observar una estructura de tipo falla de cabalgadura. En este sitio se observa a la Formación El Doctor cabalgando estructuralmente a la Formación Soyatal, que es estratigráficamente más joven. Estos cambios estratigráficos han traído consigo una marcada diversidad de vegetación y tipos de suelo a ambos lados de la cabalgadura.

Este sitio se encuentra localizado en la porción centro-este del estado de Querétaro (Mapa 8), es una estructura compresiva, asociada al desarrollo del Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano del Cretácico Tardío (Fitz-Díaz et al., 2012). Sobrepone a rocas de ambiente de plataforma de la Formación El Doctor de edad Albiano-Cenomaniano (Carrillo-Martínez, 1997), sobre rocas de ambiente marino profundo de la Formación Soyatal de edad Turoniano-Campaniano (Juárez-Arriaga et al., 2016) (Figura 34). La edad de esta estructura ha sido asignada al Campaniano (Fitz-Díaz et al., 2014; Garduño-Martínez et al., 2015).

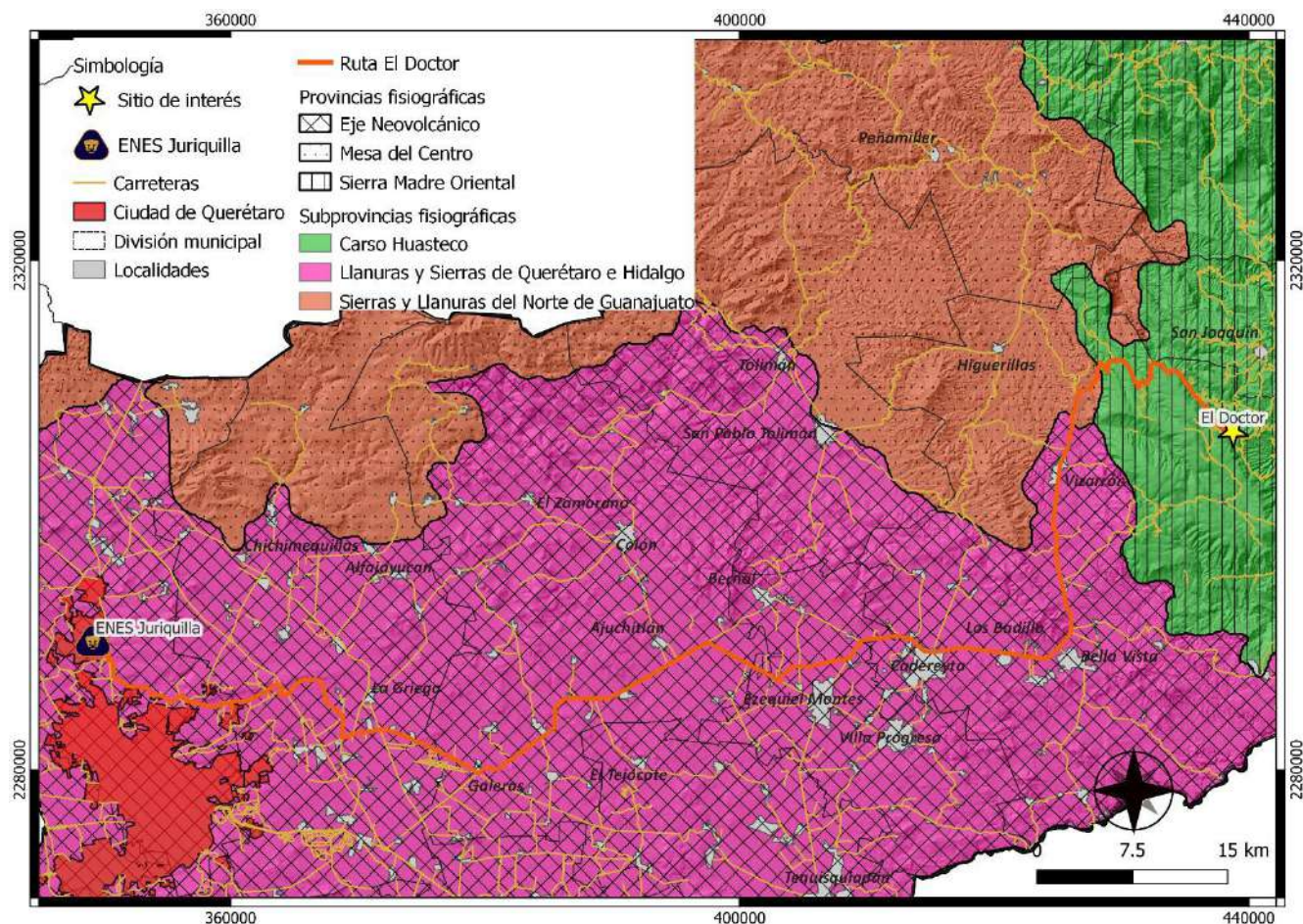


Figura 34. Formación El Doctor, del Cretácico Inferior sobre las rocas de cuenca profunda de la Formación Soyatal, del Cretácico Superior (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, camino hacia la localidad El Suspiro, Cadereyta, Qro., octubre 2020).

En este sitio se muestra a nivel de afloramiento, una de las estructuras regionales más espectaculares del oeste del Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano: la cabalgadura el Doctor (Mapa 9). Es un sitio accesible para ver directamente el plano de falla que pone en contacto a dos unidades sedimentarias carbonatadas de competencia mecánica distinta. Los estratos gruesos de la Formación El Doctor destacan en el relieve, mientras que los estratos delgados de la Formación Soyatal desarrollan un intenso clivaje por presión-solución, paralelo a la traza de la cabalgadura (Figura 35).



Figura 35. Pliegues cerrados y recostados desarrollados en la Formación Soyatal, en el bloque de piso de la Cabalgadura El Doctor (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, camino de terracería Vizarrón – El Suspiro, Qro., noviembre 2020).



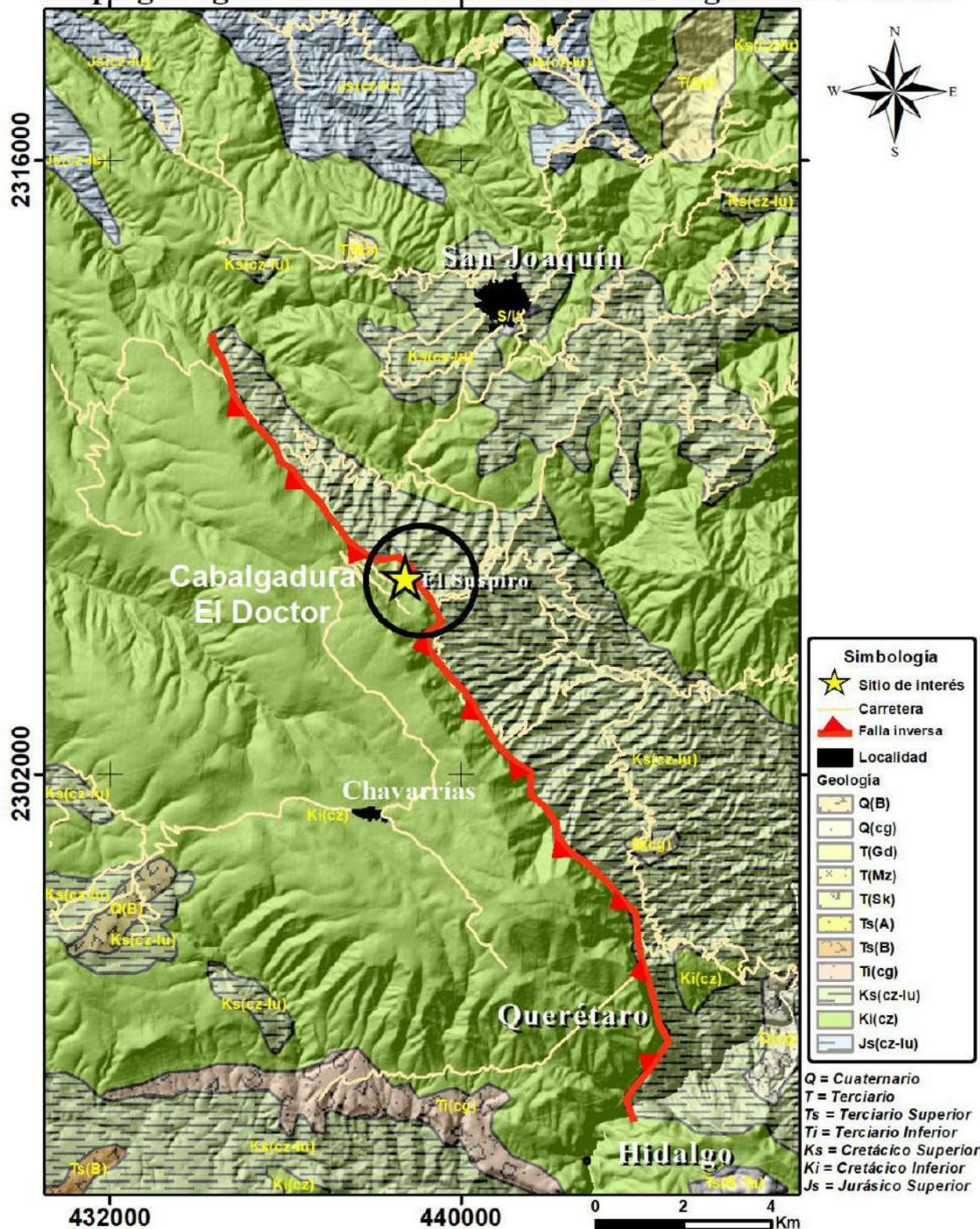
Mapa 8 mostrando la ruta de la Cabalgadura El Doctor, sitio ubicado en la provincia fisiográfica V (Sierra Madre Oriental), en la porción noreste del Estado de Querétaro (elaborado por Edna López en 2023, utilizando los datos de las subprovincias fisiográficas de México, escala 1:1,000,000 propuestas por INEGI, 2001).

Por debajo del plano de falla, en el bloque de piso, la Formación Soyatal, además del clivaje, también desarrolla pliegues cerrados y recostados, con plano axial burdamente paralelos al plano de cabalgadura. Los estratos que forman estos pliegues varían en composición y tamaño de grano, por lo que su espesor puede variar a lo largo del pliegue, entre los flancos y la charnela (Figura 36).



Figura 36. Afloramiento de la Formación Soyatal en donde se ve la variación del espesor de los pliegues, así como las diferentes texturas composicionales (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, camino a la localidad El Suspiro, octubre 2020).

Mapa geológico de la zona aledaña a la Cabalgadura El Doctor



Mapa 9 - Mapa geológico de la Cabalgadura El Doctor y sus alrededores (mapa elaborado por Rosario Vázquez, octubre 2020, adaptado de la información geológica 1:250,000 de INEGI).

La Sierra del Doctor es una zona que presenta una notable variedad de ecosistemas que van desde el bosque de coníferas hasta el bosque tropical caducifolio en los que podemos encontrar un gran número de endemismos (Rzedowski et al., 2012). Los bosques templados que encontramos en las partes altas de la sierra están dominados por especies *Quercus*, *Pinus* y *Juniperus* (Figura 37). El clima de esta zona es templado subhúmedo (Cw2) con una temperatura anual de 14°C y una precipitación de 874.6 mm (Caiceros-Galles, et al., 2017).

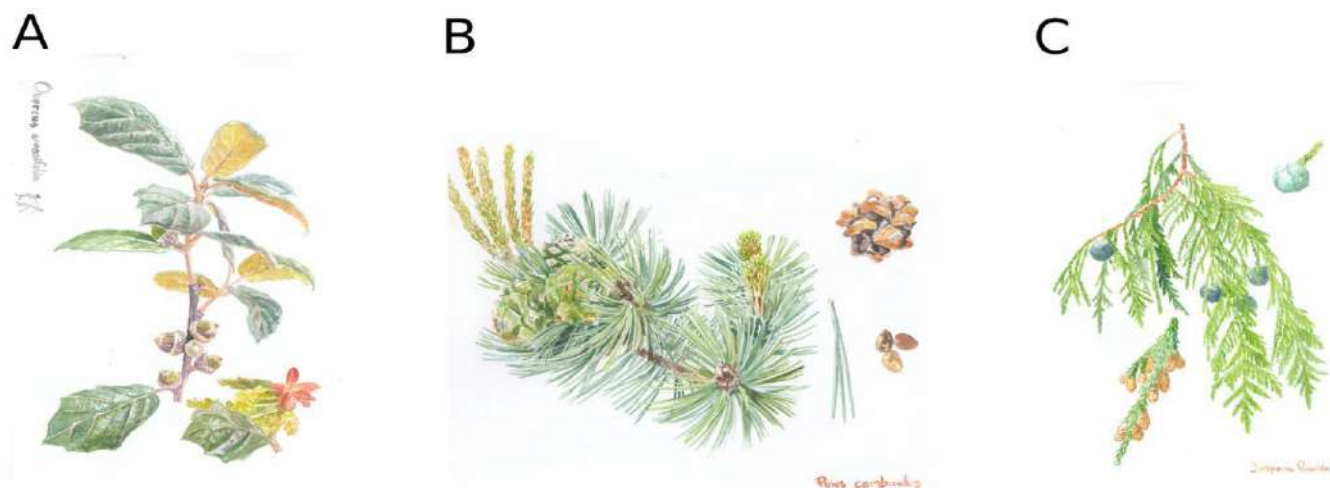


Figura 37. Algunos árboles de la Sierra del Doctor. A) *Quercus crassifolia*, B) *Pinus cembroides*, C) *Juniperus flaccida*. (Acuarelas de Aslam Narváz Parra, elaboradas para esta guía, enero 2021).

En el camino hacia la localidad El Suspiro, podemos observar diferentes tipos de vegetación asociados a las dos formaciones geológicas presentes (Figura 38). Sobre las rocas calcáreas de la Formación El Doctor podemos encontrar bosques dominado por *Quercus* y *Juniperus*. Estos bosques se caracterizan por tener un dosel bajo (1-3 m), pendientes abruptas y una diversidad de plantas suculentas que se benefician de un suelo bien drenado como *Agave mitis*, *Echeveria secunda*, *Sedum praelatum* y *Valladie juergensenii* (Figuras 38 y 39).



Figura 38. *Agave mitis* en bosque de *Quercus* y *Juniperus* (Fotografía tomada por Berlaine Ortega, camino a la localidad El Suspiro, Qro., noviembre 2020)

Bajando la ladera, podemos observar una transición a un bosque *Pinus*, donde se encuentra un suelo más profundo y un bosque caracterizado por una menor densidad de plantas.



Figura 39. Diversidad de la familia Crassulaceae sobre las laderas de la Formación El Doctor. A) *Sedum praelatum*, B) *Echeveria secunda* y C) *Valladia juerguensisii* (Fotografías tomadas por Berlaine Ortega, camino a la localidad El Suspiro, Qro., noviembre 2020).

ACTIVIDADES DE ÍNDOLE GEOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 2

A lo largo del plano de falla presente el afloramiento de este sitio, se pueden encontrar lineaciones minerales o estrías que nos indican la dirección del desplazamiento entre las dos unidades de roca antes mencionadas. Este plano de falla también presenta pequeñas variaciones de rumbo y buzamiento a lo largo de su traza, por lo que hay que tomar cada medición del plano donde estén contenidas las estrías y así obtener un promedio del comportamiento espacial de esta estructura geológica. Con estos datos podremos saber la dirección y el sentido hacia la cual se desplazó el bloque de techo de la cabalgadura. Por lo tanto, se sugiere llevar a cabo las siguientes actividades:



Para Profesores

- ✓ Se sugiere llevar a cabo una inspección visual panorámica del afloramiento de la cabalgadura El Doctor, y comentar con los estudiantes el origen de esta estructura.
- ✓ Relatar a los estudiantes, la historia evolutiva de esta porción de la Sierra Madre Oriental.
- ✓ Incentivar a los estudiantes a que realicen una descripción general del afloramiento, a partir de la [metodología "A"](#), utilizando el [Formato 1](#) (incluido al final de la Guía).
- ✓ Mostrar a los estudiantes, cómo se realiza la medición de datos estructurales del afloramiento con ayuda de las brújulas estructurales, rumbera y libreta de campo ([metodología "D"](#), [Formato 3](#)).

- ✓ Mostrarles a los estudiantes los pliegues cerrados y recostados desarrollados en la Formación Soyatal (bloque de piso del afloramiento) e indicarles cómo se realiza la medición de estos pliegues ([metodología “E”, Formato 4](#)).



Para Estudiantes

- ✓ Tomar las coordenadas del sitio con el GPS y describir los detalles relevantes del punto visitado utilizando el [Formato 1](#) de la Guía.
- ✓ Discutir con tu profesor/a y compañeros/as sobre el origen y evolución de este afloramiento de rocas.
- ✓ Describir el afloramiento de la cabalgadura El Doctor (vista panorámica) a partir del [Formato 5](#), haciendo énfasis en el espesor de los estratos y la competencia mecánica de cada unidad de roca.
- ✓ Identificar el piso y techo de la falla de cabalgadura ([Formato 5](#)).
- ✓ Medir algunos de los estratos de ambas unidades (Fm. El Doctor – Fm. Soyatal).
- ✓ Hacer varias mediciones del rumbo y buzamiento del plano de falla y del pitch de las estrías contenidas en el plano de falla (Figura 40), a lo largo de la traza de cabalgadura expuesta en este sitio ([metodologías “D” a “F”, Formatos 4-5](#)).



Figura 40. Pasos para medir el rumbo y buzamiento del plano de falla y el pitch de las estrías contenidas en el plano de falla (Fotografías tomadas por Rosario Vázquez, camino hacia El Suspiro, Qro., noviembre 2020).

- ✓ Realizar la medición de los planos del clivaje (Figura 41) en el bloque de piso del afloramiento ([metodología "F", Formato 5](#)).



Figura 41. Medición de plano del clivaje en el bloque de piso del afloramiento (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, camino de terracería hacia El Suspiro, Qro., noviembre 2020).

- ✓ Describir y medir los pliegues (Figura 42) presentes en el bloque de piso del afloramiento ([metodología "E", Formato 4](#)).



Figura 42. Detalle de uno de los pliegues de la Formación Soyatal (Fotografía tomada por Berlaine Ortega, camino de terracería El Doctor-El Suspiro, Qro., noviembre 2020).

- ✓ Tomar fotografías (con escala), donde se aprecien las características físicas de ambas unidades presentes en la cabalgadura (siguiendo [metodología "A"](#)).



ACTIVIDADES DE ÍNDOLE BIOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 2



Para Profesores

- Mostrar a los estudiantes las diferencias anatómicas de las hojas de *Quercus*, *Pinus* y *Juniperus*.
- Utilizar la posición taxonómica de estos géneros para explicar las diferencias en el modo de reproducción de las Gimnospermas y las Angiospermas.



Para Estudiantes

- Realizar un inventario botánico a través de un transecto de 0.1 ha ([metodología "G"](#)).

➤ ACTIVIDADES PARA EL AVISTAMIENTO DE AVES

Cuando se observa un ave, es necesario fijarse y anotar la mayor cantidad de características que se puedan, para así poder determinar que especie fue la que se observó. Es indispensable observar las particularidades del ave, es decir: forma de pico, color del ave en general, color de patas, tamaño, cola, etc. Esto nos proporcionará información esencial para su identificación. Al observar un ave por el mayor tiempo posible, se podrá recordar y anotar lo visto, y de ser posible, realizar un dibujo con las principales características del ave en la libreta de campo, a partir del [Formato 6](#) (ver sección de formatos al final de la Guía).



Para Profesores

- ☞ Explicar al alumnado la relevancia de las aves en México y, en el contexto del estado de Querétaro.
- ☞ Describirle al alumnado las especies más comunes de aves que encontrarán en este sitio, de acuerdo con el tipo de vegetación del lugar.
- ☞ Para el avistamiento de aves, se sugiere que el alumnado siga la [metodología "J"](#) y llene el [Formato 6](#) (final de la Guía), siempre siguiendo las recomendaciones descritas al final de la descripción de actividades.



Para Estudiantes:

- ☞ De acuerdo con la explicación dada por tu profesor/a, siguiendo la [metodología "J"](#), deberás buscar por lo menos 10 aves diferentes y reportarlas en tu bitácora ([Formato 6](#), incluido al final de la Guía).

- 
- ☞ Una vez realizada la actividad anterior, deberás determinar de acuerdo con tus observaciones en la bitácora y con ayuda de la “[Guía para la identificación de aves](#)” (incluida al final de este documento): el orden, familia y especie a la que pertenecen las 10 aves observadas.
 - ☞ Discute junto con tu profesor/a y tus compañeros/as las observaciones a las que llegaste.

****Nota:** La “[Guía para la identificación de aves](#)”, te servirá como una herramienta esencial para poder identificar aves de manera más eficiente. La mayoría de las aves que pueden observarse en la naturaleza, en los sitios de campo incluidos en este documento, tienen ilustraciones o fotografías; además de que se describe su nombre común, nombre científico y algunas características del ave.*

Recomendaciones: La mejor hora para ver aves es cuando sale el sol y hasta 4 horas después de que amaneció. Durante el tiempo que dediques a la observación de aves, deberás de utilizar ropa de color opaco, guardar silencio y ser paciente. Si no identificas el ave, aún con la ayuda de la “[Guía de identificación de aves](#)”, es normal, por eso es importante anotar todo lo que veas y después comparar tus observaciones con las de tus compañeros/as y buscar el apoyo de tu profesor/a.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DE SUELO DEL SITIO 2

Una de las ventajas que presenta este sitio, es el hecho de poder observar dos tipos de suelos, cada uno asociado a una formación geológica y a un tipo de intemperismo. El primer tipo de suelo que se caracterizó en el Sitio 2, son los suelos Cambisoles, que se desarrollan en esta área sobre las lutitas de la Formación Soyatal (Perfil 5[1]), y son un grupo de suelos poco representado a lo largo del estado de Querétaro (ver Mapa 5). Por otro lado, se pueden observar suelos Phaezoem (Perfil 6[2]), que, como se mencionó al inicio de esta Guía, son el segundo grupo de suelos dominante en el territorio Queretano, y se encuentran desarrollándose en este sitio a partir de las rocas calizas de la Formación El Doctor (ver Mapa 5). Ambos perfiles se desarrollaron en la ladera derecha del camino de terracería que va de la Curva de la Doctorcilla hacia la localidad El Suspiro, Cadereyta de Montes, Qro.

Si el/la profesor/a que lleve de práctica de campo al alumnado a este lugar y desee realizar el levantamiento de un perfil de suelo de forma similar al descrito, se sugiere comunicarse con los habitantes de la localidad El Suspiro, que es la más cercana, a fin de que otorguen el permiso correspondiente. También se sugiere seguir la [metodología “K”](#) y utilizar los [Formatos 7](#) y [8](#), incluidos al final de esta Guía, para hacer la descripción general del suelo.

Descripción del perfil del Suelo Perfil 5 (1). El Suspiro (Cabalgadura El Doctor 1) Descripción de las condiciones ambientales

Fecha:	09-12-2022
Descriptor:	Abel Ibáñez Huerta/Rosario Vázquez Morales
Localidad:	El Suspiro, Municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro
Localización Geográfica:	X=0438722 Y=2306570
EPE:	3 m
Altitud:	2598 m s. n. m.
Clima:	Templado húmedo con lluvias en verano
Estado del tiempo:	Soleado/despejado, sin precipitación en la última semana
Uso de suelo y vegetación:	Bosque de Pino-encino

Geoforma:	Montaña, pendiente media
Pendiente:	Fuertemente inclinado (10-15 %)
Erosión:	Sin erosión
Material parental:	Roca sedimentaria (lutitas de la Fm. Soyatal)
Drenaje Superficial:	Bueno
Pedregosidad:	Piedras 5 al 15%
Encostramiento:	Sin evidencia
Grietas superficiales:	Sin evidencia
Presencia de sales:	Sin evidencia
Comentarios:	Perfil localizado en la ladera derecha, sobre la formación geológica Soyatal (antes de llegar al afloramiento de la Cabalgadura El Doctor), con bosque de pino encino moderadamente conservado.

Clasificación: **Cambisol**

Imagen del perfil de suelo <i>(fotografía tomada por Edna López, noviembre 2022)</i>	Horiz+ Prof (cm)	Descripción
	+0-4 cm	0-2 Litter; 2-4 Oh
	Ah 0-8	Color pardo oscuro (7.5 YR 3/3), sin reacción a carbonatos , pH ligeramente ácido (6.3), textura franco-arenosa, estructura migajón fino con fuerte desarrollo, estabilidad de los agregados muy alta, levemente húmedo , consistencia firme, ligeramente adherente , ligeramente plástico , poros vesiculares finos y medianos comunes, pedregosidad pocos cantos rodados subredondeados intemperizados, raíces finas comunes y medias pocas; límite gradual y suave, muy fuerte reacción a la MO .
	AB 8-19	Color rojo amarillento (5YR 4/6), sin reacción a carbonatos , pH moderadamente ácido (5.2), textura limosa, estructura bloques subangulares

		fino y fuerte desarrollo, estabilidad de los agregados mediana, levemente húmedo, consistencia firme, adherente, ligeramente plástico, poros vesiculares medios muy pocos, pedregosidad gravas medias y finas comunes angulares intemperizados, raíces medias comunes, límite abrupto e irregular, moderada reacción a la MO.
	Bw1 19-57	Color rojo (2.5 YR 4/8), sin reacción ligera a carbonatos, pH moderadamente ácido (5.7), textura limosa, estructura en bloques subangulares gruesos con fuerte desarrollo, estabilidad de los agregados alta, levemente húmedo, consistencia firme, ligeramente adherente, ligeramente plástico, poros vesiculares e intersticiales finos y medianos comunes, pedregosidad abundantes piedras intemperizados, raíces finas comunes, media y gruesas pocas, límite difuso y suave, leve reacción a la MO.
	C 57-72	Color rojo amarillento (5YR 5/6). sin reacción ligera a carbonatos, pH ligeramente ácido (6.1), textura limosa, estructura en bloques subangulares gruesos con fuerte desarrollo, estabilidad de los agregados alta, levemente húmedo, consistencia firme, ligeramente adherente, ligeramente plástico, poros vesiculares e intersticiales finos y medianos comunes, pedregosidad abundantes piedras intemperizados, raíces finas comunes, media y gruesas pocas, límite difuso y suave, leve reacción a la MO. Lutita altamente intemperizada.

Descripción del perfil del Suelo
Perfil 6(2). El suspiro (Cabalgadura El Doctor 2)
Descripción de las condiciones ambientales

Fecha:	09-12-2022
Descriptor:	Abel Ibáñez Huerta/Rosario Vázquez Morales
Localidad	El Suspiro, Municipio Cadereyta de Montes, Querétaro
Localización geográfica:	X=0438753 Y=2306250
EPE:	3 m
Altitud:	2607 m s. n. m.
Clima:	Templado húmedo con lluvias en verano
Estado del tiempo:	Soleado/despejado, sin precipitación en los últimos 30 días
Uso de suelo y vegetación:	Bosque de encino-juníperos
Geoforma:	Montaña
Pendiente:	Escarpado (30-60%)
Erosión:	Sin evidencia
Material parental:	Rocas sedimentarias (calizas)
Drenaje superficial:	Bueno
Pedregosidad:	Piedras (15-40 %)
Encostramiento	Sin evidencia
Grietas superficiales:	Sin evidencia
Presencia de sales	Sin evidencia
Comentarios	Perfil localizado en la ladera alta de una barranca que parte en dos la formación geológica El Doctor.

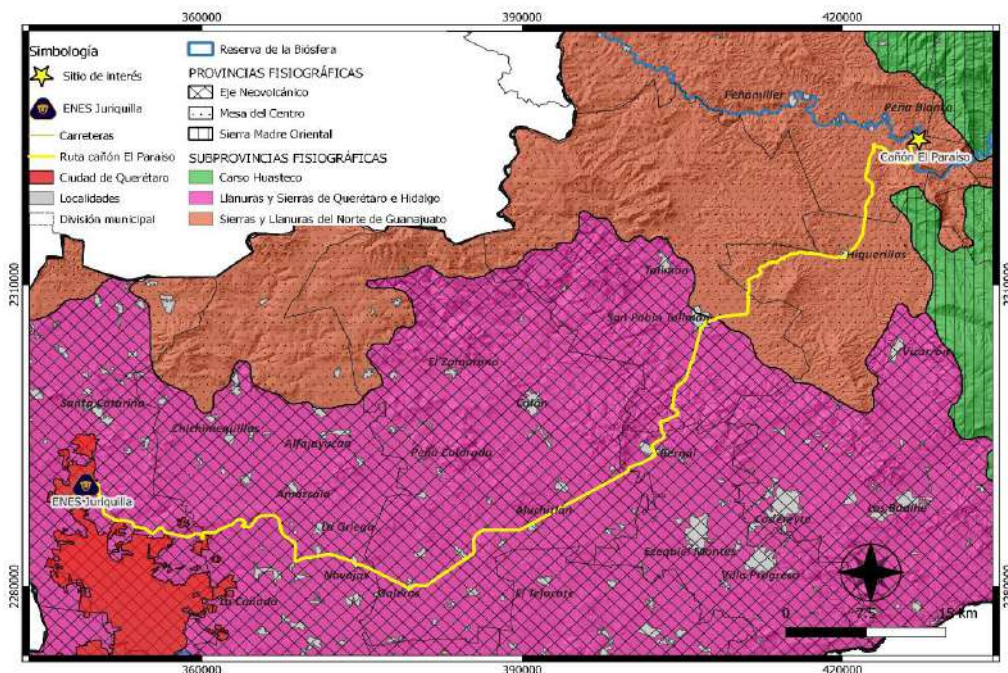
Clasificación: **Phaeozem**

Imagen del perfil de suelo <i>(fotografía tomada por Edna López, noviembre 2022)</i>	Horiz+ Prof (cm)	Descripción (Full)
 Perfil 6 (2) El Doctor (El Suspiro)	L 0-4+	Hoja de encino, materia orgánica fragmentada.
	Ah 0-16	Color pardo grisáceo (5YR 5/2, sin reacción a carbonatos , pH muy ligeramente ácido (6.9), textura franco-arenosa, pedregosidad pocas piedras angulares frescos, estructura granular y migajosa fina con fuerte desarrollo, estabilidad de los agregados alta, levemente húmedo , consistencia ligeramente duro, ligeramente adherente , ligeramente plástico , muchos pocos poros vesiculares finos, raíces finas pocas y medias comunes, límite gradual y suave, muy fuerte reacción a la MO .
	AB 16-33	Color pardo rojizo oscuro (5YR 3/3), sin reacción a carbonatos , pH muy ligeramente alcalino (7.4), textura franco-arcillosa, pocas piedras angulares frescas, estructura bloques subangulares medianos y gruesos con moderado desarrollo, estabilidad de los agregados alta, levemente húmedo , consistencia ligeramente duro, adherente, ligeramente plástico, muy pocos poros vesiculares finos, raíces finas, medias y gruesas muy pocas, límite gradual y suave, moderada reacción a la MO .
	Bw 33-86	Color pardo oscuro (7.5YR 4/6), no hay reacción a carbonatos , pH ligeramente alcalino (7.6), textura franco-limosa, pedregosidad común, gravas, angulares, intemperizados; estructura bloques subangulares muy gruesos, moderado desarrollo, estabilidad de los agregados moderado, levemente húmedo , consistencia suave, ligeramente adherente, ligeramente plástico; comunes poros vesiculares finos y medios, raíces finas, medias y gruesas pocas, límite difuso y suave, moderado reacción a la MO .
	C 86-114	Color Pardo amarillento oscuro (10YR 7/6), no hay reacción a carbonatos , pH ligeramente alcalino (7.7), textura franco-limosa, pedregosidad muchas, gruesas, angulares, intemperizadas; estructura bloques subangulares medianos débil desarrollo, estabilidad de los agregados mediana y moderada, ligeramente húmedo , consistencia suelto, ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy pocos poros vesiculares finos, raíces finas y medias pocas, rasgos pedológicos óxido-reducción, ligera reacción a la MO .

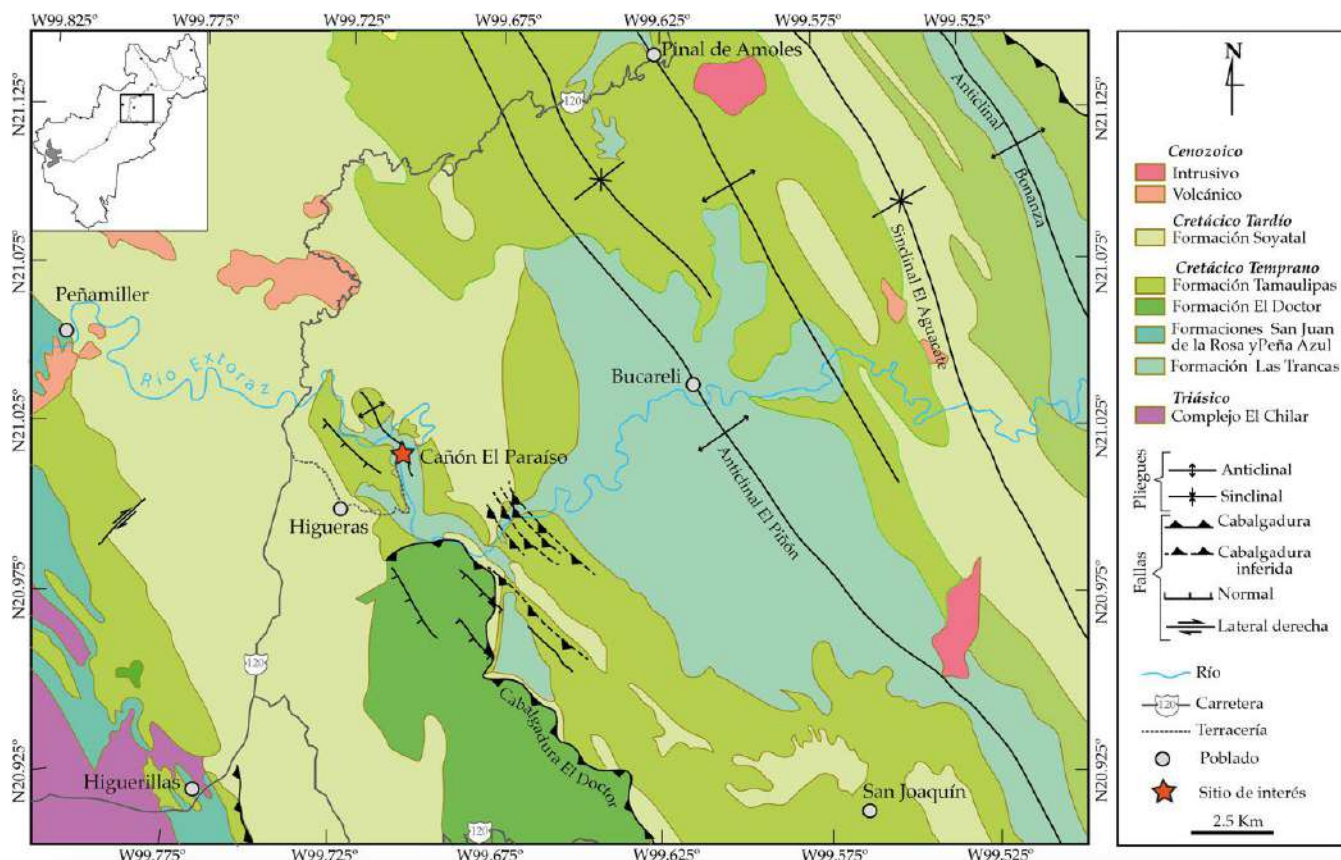
SITIO 3: Cañón El Paraíso (Cretácico Temprano, Aptiano- Albiano 125 a 100 Ma)



Este lugar está localizado sobre el tramo del Río Extoraz que fluye en el semi-desierto Queretano, en el municipio de Peñamiller (Mapa 10), en la provincia fisiográfica de la Mesa del Centro (IX) y justo en el límite del Área Natural Protegida de la Sierra Gorda (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, [SEMARNAT-CONANP], 2024). En este tramo, el Río Extoraz ha erosionado una pequeña estructura anticlinal, conformado por rocas de las formaciones Las Trancas y Tamaulipas (Carrillo-Martínez 1990; Mapa 11), ambas del Cretácico Temprano.



Mapa 10 mostrando la ruta del Cañón El Paraíso, ubicado en la provincia fisiográfica IX (Mesa del Centro), en la porción centro-norte del estado (elaborado por Edna López, enero 2023, utilizando los datos de las subprovincias fisiográficas de México, escala 1:1,000,000 propuestas por INEGI, 2001).



Mapa 11 – Mapa geológico del área central del Estado de Querétaro en el cual se ubica el Cañón El Paraíso (elaborado por Berlaine Ortega, diciembre 2022, modificado de Carillo-Martínez, 1990).

La Formación Las Trancas se puede ver en la base del Cañón El Paraíso, en el núcleo de la estructura anticlinal. Está constituida por margas, caliza mudstone, lutitas calcáreas y areniscas volcanoclásticas (Figura 43). Se le ha asignado una edad máxima de depósito entre 124-127 Ma (Ortega-Flores et al., 2014; 2020). En esta zona, la Formación Las Trancas muestra desarrollo de pliegues cerrados con charnelas engrosadas y uno de sus flancos atenuados (Figura 44a). También es evidente el desarrollo de clivaje paralelo al plano axial de los pliegues, muy característico en esta formación, dada su competencia mecánica. Adicionalmente, sobre

las paredes de este cañón, es posible observar geoformas kársticas (huellas de corriente o vieiras) hechas por la corriente del río (Figura 44b).



Figura 43. Afloramiento de la Fm. Las Trancas, en donde se observa la secuencia estratigráfica en posición horizontal original (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, enero 2023, base del Cañón El Paraíso, Peñamiller, Qro.)

La Formación Tamaulipas sobreyace a la Formación Las Trancas y sobresale en las partes altas del cañón El Paraíso, constituyendo los flancos de la estructura anticlinal (Carrillo-Martínez, 1990). Está compuesta por estratos de calizas y ocasional pedernal, lo cual le atribuye una mayor resistencia mecánica a la erosión, por lo que es común observarla formando escarpes a lo largo de este tramo del río Extoraz.

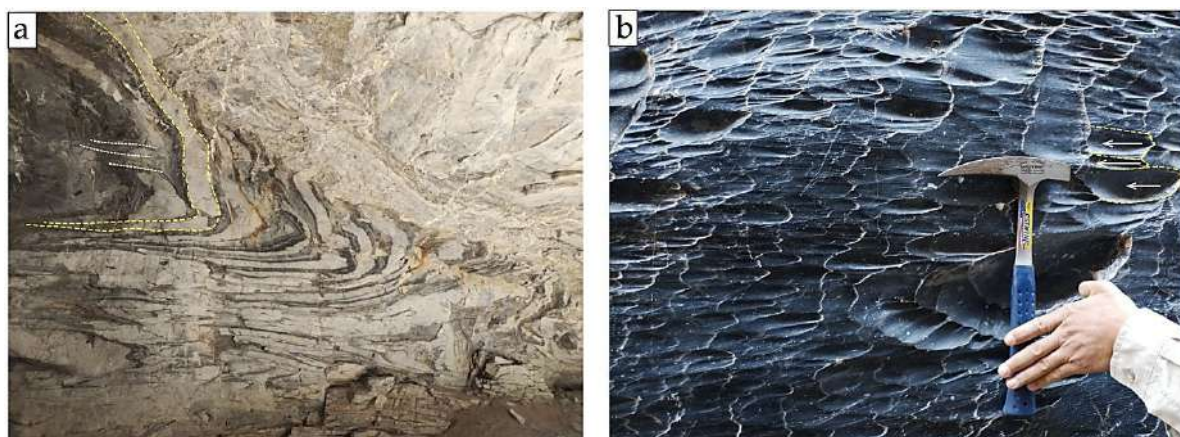


Figura 44. Estructuras tectónica y kárstica, presentes en la Formación Las Trancas sobre las paredes del Cañón El Paraíso. a) Pliegue con charnela engrosada y flanco atenuado mostrando clivaje de plano axial. b) Huellas de corriente o vieiras indicando la dirección del flujo (fotografías tomadas por Rosario Vázquez, enero 2023, base del Cañón El Paraíso, Peñamiller, Qro.).

El tipo de vegetación que predomina las áreas adyacentes al Cañón del Paraíso es matorral micrófilo. Este tipo de matorral ocurre en los climas más secos del estado con precipitaciones entre los 380 a 470 mm de lluvia al año (Scheinvar, 2004). Todas las plantas que ocurren en este tipo de vegetación tienen adaptaciones para resistir la época seca, algunos ejemplos de estas adaptaciones son hojas reducidas, ausentes o coriáceas, caducas en épocas de secas, tallos globosos con costillas o tubérculos para el almacenamiento de agua, estomas cerradas durante el día y abiertos por la noche (metabolismo CAM).

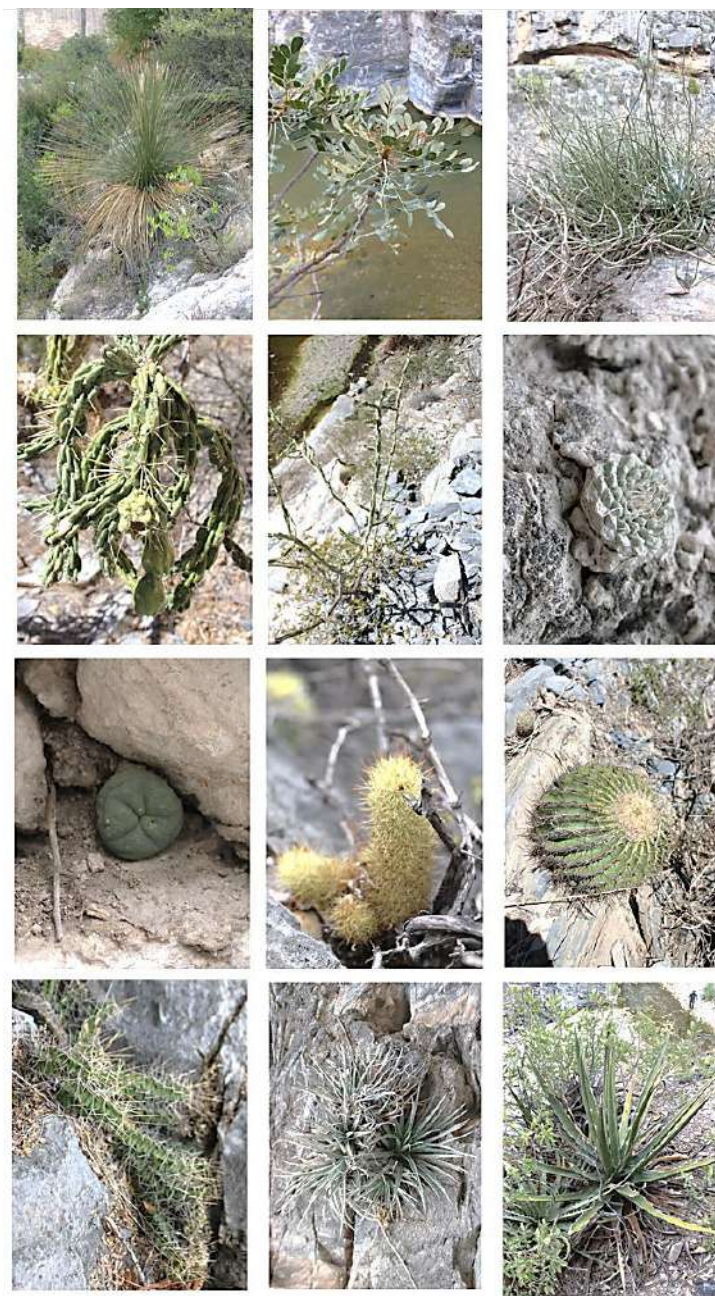
Los elementos florísticos que caracterizan este ambiente son típicos de la región florística del Semidesierto Queretano-Hidalguense como *Fouquieria splendens*, *Hechtia podantha*, *Dasyllirion longissimum*, *Cylindropuntia imbricata*, *Cylindropuntia leptocaulis*, *Opuntia microdasys*, *Echinocactus platyacanthus*, *Echinocereus pentalophus*, *Strombocatus disciformis*, *Lophophora diffusa*, *Pseudosmodium virletti*, *Echeveria tolimanensis*



Figura 45. *Echeveria tolimanensis* (fotografía tomada por Alberto Prado, enero 2023, interior del Cañón El Paraíso).

(Figura 45) y *Agave albomarginata* (Figura 46).

A las orillas del Río Extoraz podemos encontrar algunos otros elementos florísticos que requieren de ambientes un poco más húmedos como *Acacia reniformis*, *Acacia berlandieri*, *Ficus cotinifolia* y *Krameria cystoides*.



En este sitio podemos observar algunas especies vegetales que son interesantes de mencionar por el uso que le dan las personas (valor económico). Tenemos el caso de dos especies: una con uso culinario y otra con uso medicinal, que son recolectadas y vendidas en los mercados locales. Este es el caso del orégano (*Lippia graveolens*) que se usa como condimento y la damiana (*Turnera diffusa*) que se usa como infusión en caso de debilidad muscular o nerviosa (Figura 47). Algunas otras especies ya previamente mencionadas, *Acacia berlandieri* (Figura 48) y *Pseudosmodingium virletti*, cuentan con metabolitos secundarios altamente tóxicos. *A. berlandieri* contiene diversas aminas fenólicas de las cuales las más abundantes son N-metilfenetilamina, tiramina, y fenetilamina. Estos compuestos generan problemas de locomoción en el ganado que consumen las hojas. *P. virletti* contiene grandes cantidades de urushiol un aceite urticante que caracteriza a la familia del mango

Figura 46. Algunos elementos florísticos característicos del semidesierto Queretano-Hidalguense. De arriba abajo y de derecha a izquierda: *Dasyliion longissimum*, *Pseudosmodingium virletti*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Cylindropuntia imbricata*, *Cylindropuntia leptocaulis*, *Strombocactus disciformis*, *Lophophora diffusa*, *Mammillaria elongata*, *Echinocactus platyacanthus*, *Echinocereus pentalophus*, *Hechtia podantha* y *Agave albomarginata* (fotografías tomadas por Alberto Prado, enero de 2023, Cañón El Paraíso, Qro.).

(Anacardiaceae). El urushiol genera reacciones cutáneas (dermatitis) en las zonas con las que se tuvo el contacto.

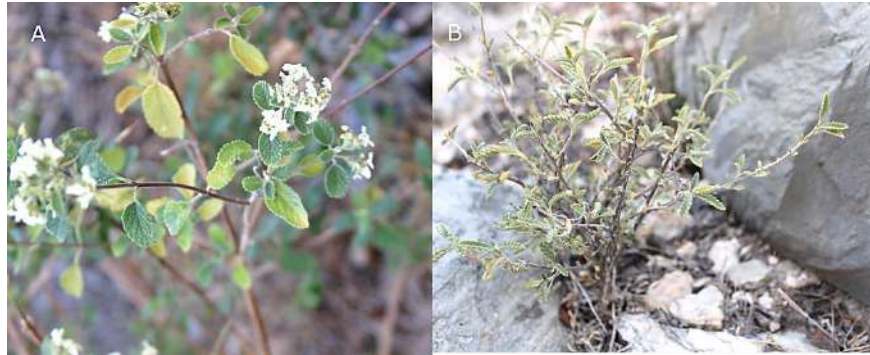


Figura 47. A) *Lippia graveolens* (orégano) y B) *Turnera diffusa* (damiana) (fotografías tomadas por Alberto Prado, enero 2023, tomadas al interior del Cañón El Paraíso).



Figura 48. Algunos elementos florísticos que se encuentran dentro del Cañón del Paraíso. A) *Acacia berlandieri*, B) *Acacia reniformis*, C) *Krameria cystoides* y D) *Ficus cotinifolia* (fotografías tomadas por Alberto Prado, enero 2023, interior del Cañón El Paraíso).

λ. ACTIVIDADES DE ÍNDOLE GEOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 3

En este sitio, antes de bajar al cañón, se pueden ver los escarpes que forman las rocas de la Formación Tamaulipas contrastando con el relieve más suave que desarrollan las rocas de la Formación Las Trancas (Figura 49). Estas dos formaciones se comportan de manera distinta ante los agentes de intemperismo, ya que, por su naturaleza litológica, la Formación Las Trancas es más fácil de erosionar que las calizas de la

Formación Tamaulipas. Ya dentro del cañón, a lo largo de las paredes y en la Formación Las Trancas, se pueden encontrar pliegues mesoscópicos asociados al Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano (Fitz-Díaz et al., 2018). También se pueden encontrar estructuras kársticas que indican el paso del flujo erosivo del río Extoraz durante la temporada de agua alta.



Figura 49. Fotografía panorámica de una de las paredes al interior del Cañón El Paraíso, en donde se observa la morfología abrupta y casi vertical de las rocas de la Fm. Tamaulipas (porción superior), en comparación con la morfología más suave de las rocas de la Fm. Las Trancas (porción inferior) (tomada por Rosario Vázquez, enero 2023, mirador Adjuntas las Higueras, Gro.)



Para Profesores

- ✓ Se sugiere hacer una parada en el mirador del camino que va hacia la localidad de Adjuntas las Higueras, a fin de observar la panorámica de la zona y comentar los contrastes del relieve y el tipo de roca que constituye a cada formación geológica con el alumnado.
- ✓ Comentar con los estudiantes (con la ayuda del mapa proporcionado en clase), la orientación de la estructura anticlinal y cómo es atravesada (Mapa 11), en sus flancos y núcleo, por la incisión del río Extoraz.
- ✓ Se recomienda iniciar una discusión con los estudiantes sobre la geometría de los pliegues desarrollados en la formación Las Trancas, y cómo caracterizarlos a partir de la medición de sus elementos (flancos, charnela, plano axial, eje, espesores de los estratos).

- ✓ Por último, se sugiere observar y discutir con los estudiantes las estructuras kársticas (huellas de corriente) y cómo se desarrollan al interior del Cañón El Paraíso, durante el recorrido que se hace en la base del Río Extoraz.



Para Estudiantes

- ✓ Desde el mirador del Cañón (camino las Adjuntas de Higueras), discutirás junto con tu profesor/a y tus compañeros/as, las características del relieve y texturas que forman las unidades geológicas que se observan desde este mirador.
- ✓ Deberás tomar las coordenadas del sitio con el GPS y describir los detalles relevantes del punto visitado en las hojas del [Formato 1](#) (incluido al final de la guía).
- ✓ Discutirás junto con tu profesor/a y compañeros/as, el origen y evolución de la estructura anticlinal del Mapa 11 y las formaciones involucradas en su desarrollo.
- ✓ Deberás medir los distintos elementos de los pliegues que encuentren a lo largo de la base del Cañón El Paraíso (durante el trayecto por el Río Extoraz), a fin de caracterizarlos utilizando el [Formato 4](#) (incluido al final de la Guía).
- ✓ En la base del Cañón, observarás las estructuras kársticas (huellas de corriente) que se han desarrollado en las rocas de la Formación Las Trancas. Es importante que intentes inferir la velocidad, e identificar la dirección y sentido del flujo que las originó.
- ✓ Se recomienda hacer varias mediciones de líneas de flujo para determinar la dirección y sentido de la corriente principal (Río Extoraz).

ACTIVIDADES DE ÍNDOLE BIOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 3

El relieve de este sitio presenta pocas oportunidades para hacer muestreos de vegetación usando cuadrantes o transectos de forma segura para los alumnos. Por lo que, en su lugar, se sugiere llevar a cabo las siguientes actividades:



Para Profesores

- Se sugiere hacer una recolección de ramas con hojas a las orillas del río para trabajar con el alumnado, la disposición y tipo de hojas de las ramas recolectadas. Este tipo de observaciones

iniciarán al alumnado en la identificación botánica del material colectado y les permitirá reconocer algunas especies comunes.



Para Estudiantes

- Analizarás con ayuda de tu profesor/a y de tus compañeros/as, la disposición y tipo de hojas del conjunto de ramas recolectadas en este sitio, siguiendo estos pasos:
 - 1) Determinar la disposición de las hojas
 - a. Hojas opuestas u hojas alternas
 - 2) Determinar tipo de hoja
 - a. Hojas simples o hojas compuestas
 - b. Si son compuestas son:
 - i. Pinadas
 - ii. Bipinnadas
 - iii. Palmeadas
 - 3) Determinar tipo de margen
 - a. Margen entero
 - b. Margen aserrado
 - c. Margen dentado
 - d. Margen crenado
 - e. Margen lobulado

→ ACTIVIDADES PARA EL AVISTAMIENTO DE AVES

Cuando se observa un ave, es necesario fijarse y anotar la mayor cantidad de características que se puedan, para así poder determinar qué especie fue la que se observó. Es indispensable observar las particularidades del ave, es decir: forma de pico, color del ave en general, color de patas, tamaño, cola, etc. Esto nos proporcionará información esencial para su identificación. Al observar un ave por el mayor tiempo posible, se podrá recordar y anotar lo visto, y de ser posible, realizar un dibujo con las principales características del ave en la libreta de campo, a partir del [Formato 6](#) (ver sección de formatos al final de la Guía).



Para Profesores

- ☞ Explicar al alumnado la relevancia de las aves en México y, en el contexto del estado de Querétaro.
- ☞ Describirle al alumnado las especies más comunes de aves que encontrarán en este sitio, de acuerdo con el tipo de vegetación del lugar.
- ☞ Para el avistamiento de aves, se sugiere que el alumnado siga la [metodología "I"](#) y llene el [Formato 6](#) (final de la Guía), siempre siguiendo las recomendaciones descritas al final de la descripción de actividades.



Para Estudiantes:

- ☞ De acuerdo con la explicación dada por tu profesor/a, siguiendo la [metodología "I"](#), deberás buscar por lo menos 10 aves diferentes y reportarlas en tu bitácora ([Formato 6](#), incluido al final de la Guía).
- ☞ Una vez realizada la actividad anterior, deberás determinar de acuerdo con tus observaciones en la bitácora y con ayuda de la "[Guía para la identificación de aves](#)" (incluida al final de este documento): el orden, familia y especie a la que pertenecen las 10 aves observadas.
- ☞ Discute junto con tu profesor/a y tus compañeros/as las observaciones a las que llegaste.

****Nota:** La "[Guía para la identificación de aves](#)", te servirá como una herramienta esencial para poder identificar aves de manera más eficiente. La mayoría de las aves que pueden observar en la naturaleza, en los sitios de campo incluidos en este documento, tienen ilustraciones o fotografías; además de que se describe su nombre común, nombre científico y algunas características del ave.*

Recomendaciones: La mejor hora para ver aves es cuándo sale el sol y hasta 4 horas después de que amaneció. Durante el tiempo que dediques a la observación de aves, deberás de utilizar ropa de color opaco, guardar silencio y ser paciente. Si no identificas el ave, aún con la ayuda de la "[Guía de identificación de aves](#)", es normal, por eso es importante anotar todo lo que veas y después comparar tus observaciones con las de tus compañeros/as y buscar el apoyo de tu profesor/a.

SITIO 4: Fósiles El Madroño (Albiano – Cenomaniano, 113- 93 Ma)

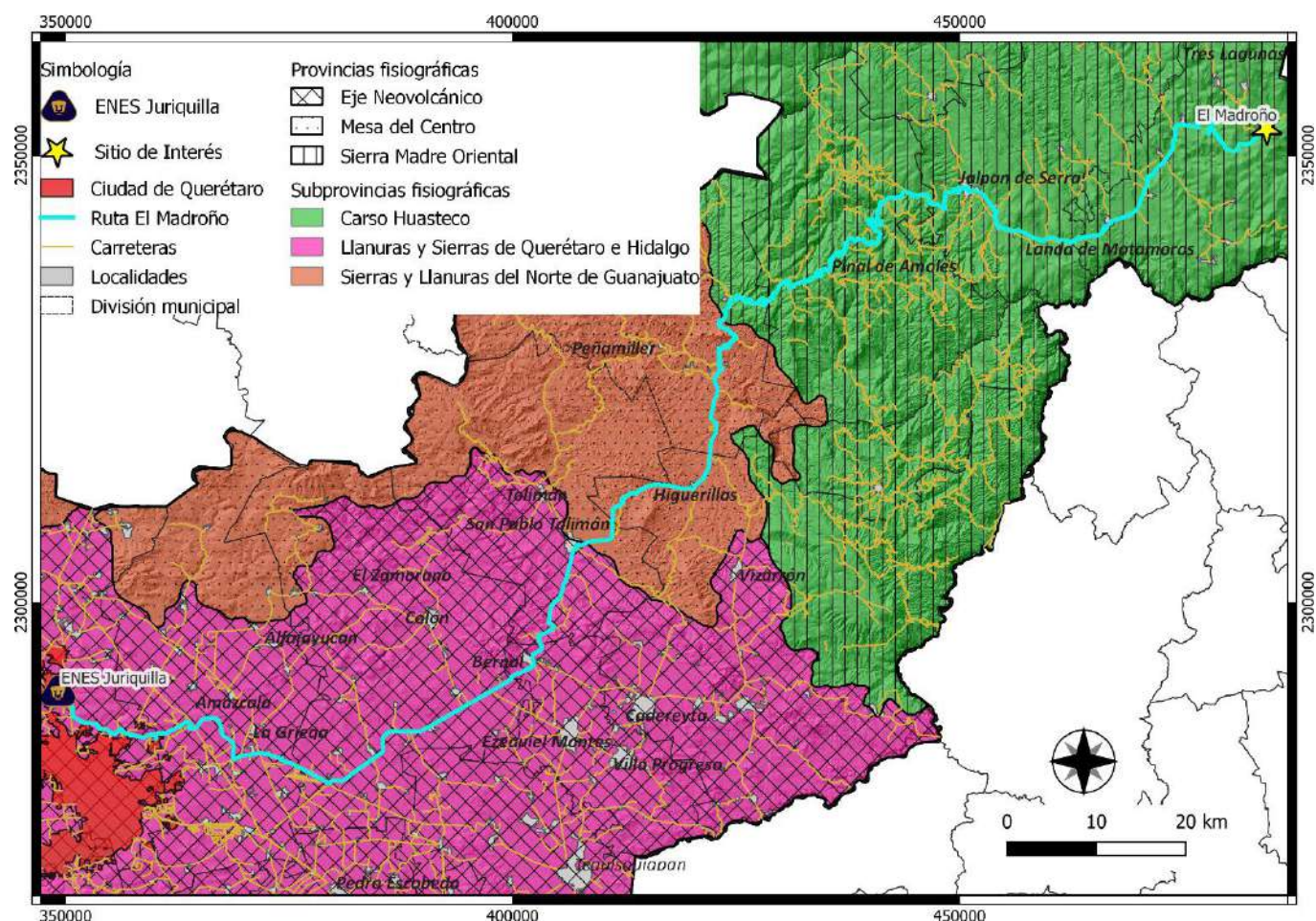


La localidad El Madroño se encuentra ubicada en la porción nororiental del estado (Mapa 12), en lo que fue el borde oriental del extremo sur de la plataforma Valles-San Luis Potosí (ver Fig. 6). La plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP) es un elemento paleogeográfico del Cretácico (Albiano-Cenomaniano) que bordeaba el lado oeste del antiguo Golfo de México (Carrillo-Bravo, 1971). En esta plataforma se depositaron carbonatos de aguas marinas someras de la Formación El Abra (Carrillo-Bravo, 1971; Wilson, 1975), que incluye plataforma interna (facies lagunar: El Abra), borde de plataforma (facies arrecifal: Taninul) y talud (facies de talud: Tamabra) (Mapa 13; Suter, 1990).

La localidad El Madroño conforma el borde de plataforma (Fig. 6, Mapa 13), equivalente con la

facies arrecifal (facies Taninul) de la PVSLP. La facies Taninul consiste en calizas de color gris claro que incluyen biohermas tabulares de rudistas y estratos lenticulares de calizas bioclásticas con una asociación de fósiles compuesta de foraminíferos, algas, rudistas, gasterópodos, corales, esponjas y equinoideos (Suter, 1990; Omaña et al., 2016). Uno de los principales constituyentes de esta facies arrecifal del Albiano-Cenomaniano son los rudistas (e.g., *Requieniidae*, *Radiolitidae*, *Caprinidae*, *Monopleuridae*, *Immanitas*, *Planocaprina* e *Ichtyosacrolites*), un grupo de bivalvos que evolucionaron en el Cretácico a formas muy particulares (Figura 50, Aguilar Pérez et al., 2017), debido a las condiciones de hacinamiento, alta competitividad y rápido crecimiento (Wilson, 1975). Una de las valvas (la más

pequeña) de estos rudistas los mantenía adheridos al sustrato, mientras que la otra valva, que servía como tapa o capuchón, podía crecer hasta 1.5 metros y era porosa y robusta para soportar las aguas agitadas.



Mapa 12 mostrando la ruta al Madroño, sitio de interés ubicado en la provincia fisiográfica V (Sierra Madre Oriental), en la porción nororiental del estado (elaborado por Edna López, enero 2023, utilizando los datos de las subprovincias fisiográficas de México, escala 1:1,000,000 propuestas por INEGI, 2001).

En la facies Taninul, es raro encontrar rudistas en su posición de crecimiento, la mayoría se encuentran como bioclastos desorientados, poco clasificados y no redondeados y están soportados por grainstone-packstone bioclástico (Wilson, 1975; Suter, 1990). La localidad fosilífera de El Madroño (Mapa 13), también es conocida como Laguna Colorada o lugar de *terra rossa* (tierra roja del italiano), por la presencia de suelo rojo (Figura 51).

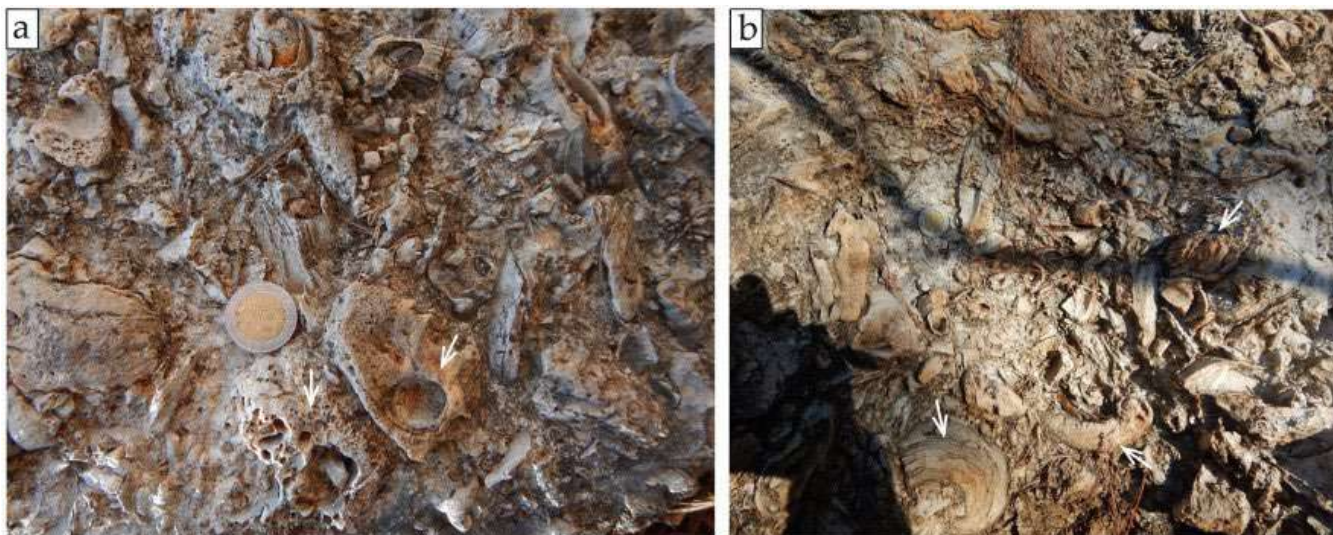


Figura 50. Fósiles del Albiano-Cenomaniano de la localidad El Madroño. a) Bivalvos rudistas mostrando la porosidad en su valva alargada (flechas blancas). b) Rudistas en forma de tronco o cuerno, algunos mostrando capas de crecimiento (flechas blancas, fotografías tomadas por Berlaine Ortega, marzo 2022, El Madroño, Qro.).

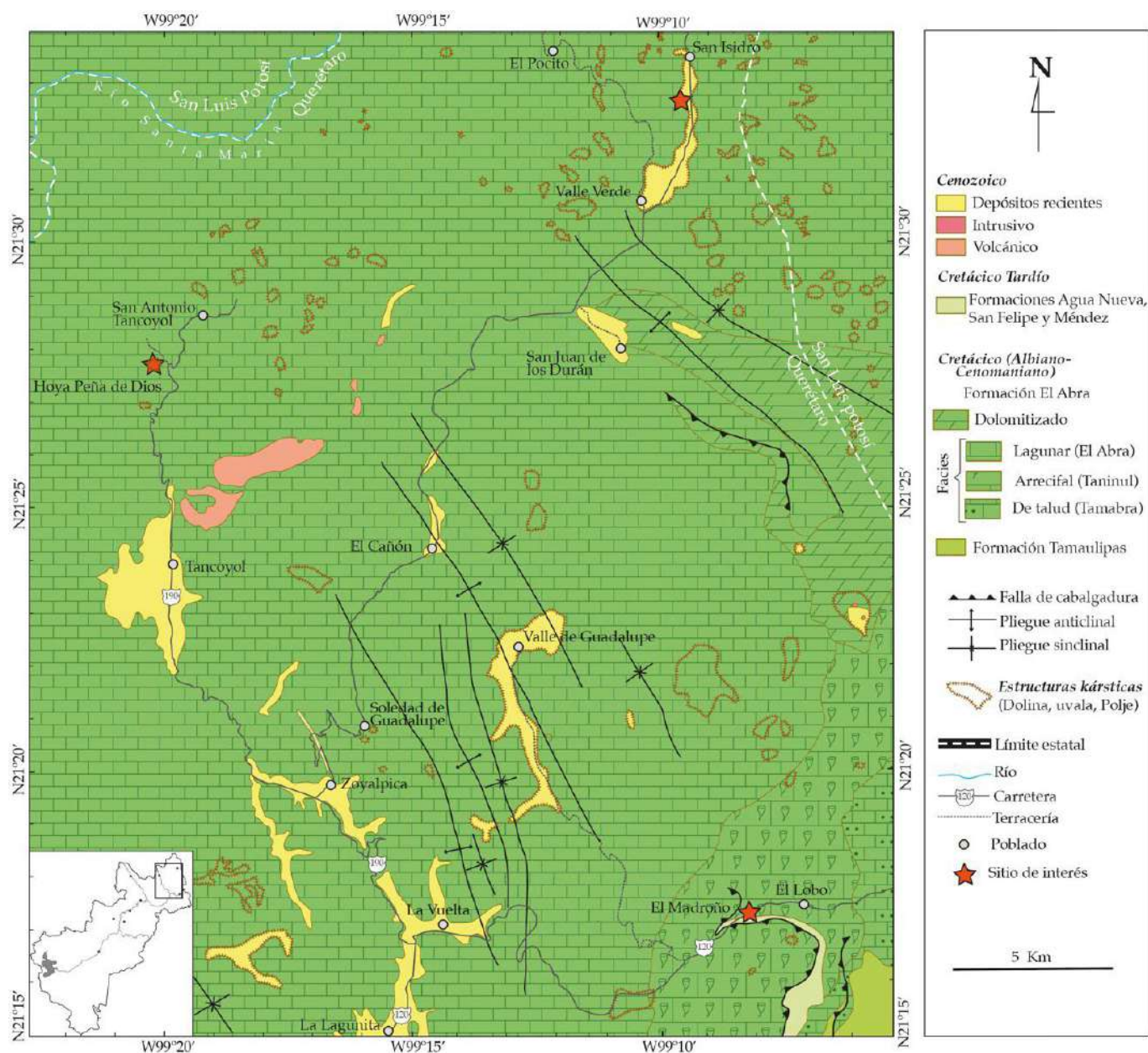
El suelo rojo es característico de zonas carbonatadas kársticas, y es el resultado de la meteorización y lixiviación de los carbonatos, dejando solo material residual arcilloso e insoluble (caolinita y óxidos de hierro; Berner et al., 2003). Oviedo-García (2001) sugiere que la presencia de *terra-rossa* es importante



Figura 51. Afloramiento de roca expuesta con fósiles del Albiano-Cenomaniano en la localidad El Madroño, en la que se puede observar el material residual arcilloso (caolinita y óxidos de hierro), conocido como *terra rosa* (fotografía tomada por Rosario Vázquez, marzo 2022, El Madroño, Qro.).

para la conservación y liberación del material fosilizado, ya que este tipo de suelo propicia la disolución de la matriz carbonatada, permitiendo la liberación de los fósiles con lo que se obtiene el molde fósil tridimensional, lo que a su vez ayuda a realizar estudios taxonómicos más precisos (Alencáster, 1991).

La importancia paleoecológica de la localidad El Madroño se vio reflejada en 1996, cuando fue incluido dentro de la Reserva de la Biósfera de la Sierra Gorda. Cabe mencionar que en esta zona hay una evidente lixiviación y fracturamiento de las rocas, lo que ha permitido que se desarrolle un complejo sistema de grietas y cavernas a lo largo y ancho de la Sierra Gorda, conocidas como sótanos, mismas que han sido detalladamente descritas y estudiadas por Lazcano (1986).



Mapa 13 - Mapa geológico del norte del Estado de Querétaro en el cual se muestra la distribución de las facies de plataforma de la Formación El Abra (Plataforma Valles-San Luis potosí; PVS LP), incluyendo a la facies arrecifal Taninul de la localidad El Madroño, y las calizas de cuenca de la Formación Tamaulipas. La distribución de estructuras kársticas de esta área de la PVS LP también se muestra en el mapa (elaborado por Berlaine Ortega, diciembre 2022, modificado de Suter, 1990).

La vegetación (Figura 52) alrededor del área de El Madroño está conformada principalmente de bosque de pino (*Pinus greggii*), bosque de pino-encino (*Pinus greggii*, *Quercus germana*, *Quercus rugosa*, *Quercus rysophylla*), y bosque de enebro (*Juniperus flaccida*). También se puede observar el cedro blanco (*Cupressus* sp.).



Figura 52. Vista panorámica de la vegetación característica de bosque de pino (*Pinus greggii*), presente en el sitio El Madroño (fotografía tomada por Abel Ibáñez, marzo 2022, El Madroño, Qro.).

ACTIVIDADES DE ÍNDOLE GEOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 4

El Madroño es una localidad fosilífera incluida en rocas carbonatadas cretácicas. El intemperismo y la erosión han dado lugar al desarrollo de un paisaje suave, de lomas bajas, cubiertas por un bosque de pinos y con la presencia de suelo rojo. Los lomeríos y montículos están conformados por rocas calizas duras y masivas de las que no se pueden extraer los fósiles. Sin embargo, esta localidad tiene la particularidad de estar afectada por un proceso laterítico, lo cual deriva en la formación de suelos rojos (*terra-rossa*, Fig. 51). El proceso de meteorización y alteración de las rocas calcáreas convierte a la caliza en un polvo blanco de calcita pura, dejando a los fósiles libres de la matriz masiva y permitiendo obtener ejemplares completos para observar su ornamentación y estructura (Alencáster, 1987; Alencáster y Aguilar, 1995; Alencáster y Oviedo, 1998; Longi-Pérez, 2012). Utilizando la información proporcionada por el/la profesor/a en clase, se recomienda llevar a cabo las siguientes actividades:



Para profesores

- ✓ Se sugiere dar una explicación general de la formación y origen de esta localidad fosilífera en un contexto geológico, con ayuda del Mapa 13.
- ✓ Se recomienda discutir con los estudiantes acerca del paisaje y geomorfología del área, en términos de los procesos de intemperismo y erosión, característicos de este tipo de rocas.
- ✓ Es de especial interés, mostrar a los estudiantes los tipos de fósiles que se han preservado en las rocas y explicar la asociación entre ellos.



Para estudiantes:

- ✓ Tomar las coordenadas del sitio con el GPS y describir los detalles relevantes de este lugar, utilizando la [metodología "A"](#) y el [Formato 1](#), incluido al final de esta Guía.
- ✓ En el espacio correspondiente del [Formato 1](#), deberás elaborar un esquema o dibujo en el cual indiques en qué parte de la PVSLP se encuentra este sitio de campo.
- ✓ Debes escribir también los rasgos texturales y estructurales de las rocas en las cuales se encuentran incrustados los fósiles que se observan en este sitio.
- ✓ Trata de identificar los diferentes tipos de fósiles (apoyándote en la información contenida en el documento proporcionado por tu profesor/a).
- ✓ Se recomienda que en conjunto con tu profesor/a y tus compañeros/as, discutan la importancia de preservar este tipo de afloramientos y paisaje, en el contexto científico, social y de recursos naturales.

ACTIVIDADES DE ÍNDOLE BIOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 4

La habilidad de dibujar, etiquetar y anotar especímenes observados en campo es muy importante para los estudiosos de las Ciencias de la Tierra. Al respecto, el sitio El Madroño presenta una oportunidad donde los estudiantes pueden hacer observaciones de los yacimientos fosilíferos, hacer dibujos, etiquetarlos y hacer descripciones detalladas de los organismos fosilizados que se observan a simple vista. Por lo tanto, para este sitio se recomienda:



Para Profesores

- Se solicitará al alumnado que identifiquen por lo menos 3 fósiles diferentes y los dibujen de forma detallada en el espacio de “[Observaciones](#)”, ubicado al final de la Guía. Para este ejercicio, es indispensable explicarle al alumnado cómo identificar la orientación que tiene el espécimen dentro de la roca, y que respeten las proporciones de las estructuras de los ejemplares.



Para Estudiantes

- Deberás dibujar de forma detallada al menos 3 fósiles diferentes, en alguno de los afloramientos de roca presentes en el sitio. Para ello, podrás utilizar el espacio en blanco de la sección “[Observaciones](#)”, ubicada al final de la Guía.
- Para cada dibujo, deberás de identificar la orientación que tiene el espécimen dibujado dentro de la roca que estás observando, de acuerdo con las indicaciones y la explicación proporcionada por tu profesor/a.

➤ ACTIVIDADES PARA EL AVISTAMIENTO DE AVES

Cuando se observa un ave, es necesario fijarse y anotar la mayor cantidad de características que se puedan, para así poder determinar qué especie fue la que se observó. Es indispensable observar las particularidades del ave, es decir: forma de pico, color del ave en general, color de patas, tamaño, cola, etc. Esto nos proporcionará información esencial para su identificación. Al observar un ave por el mayor tiempo posible, se podrá recordar y anotar lo visto, y de ser posible, realizar un dibujo con las principales características del ave en la libreta de campo, a partir del [Formato 6](#) (ver sección de formatos al final de la Guía).



Para Profesores

- ☞ Explicar al alumnado la relevancia de las aves en México y, en el contexto del estado de Querétaro.
- ☞ Describirle al alumnado las especies más comunes de aves que encontrarán en este sitio, de acuerdo con el tipo de vegetación del lugar.
- ☞ Para el avistamiento de aves, se sugiere que el alumnado siga la [metodología “J”](#) y llene el [Formato 6](#) (final de la Guía), siempre siguiendo las recomendaciones descritas al final de la descripción de actividades.



Para Estudiantes:

- ☞ De acuerdo con la explicación dada por tu profesor/a, siguiendo la [metodología "I"](#), deberás buscar por lo menos 10 aves diferentes y reportarlas en tu bitácora ([Formato 6](#), incluido al final de la Guía).
- ☞ Una vez realizada la actividad anterior, deberás determinar de acuerdo con tus observaciones en la bitácora y con ayuda de la "[Guía para la identificación de aves](#)" (incluida al final de este documento): el orden, familia y especie a la que pertenecen las 10 aves observadas.
- ☞ Discute junto con tu profesor/a y tus compañeros/as las observaciones a las que llegaste.

**Nota: La "[Guía para la identificación de aves](#)", te servirá como una herramienta esencial para poder identificar aves de manera más eficiente. La mayoría de las aves que pueden observar en la naturaleza, en los sitios de campo incluidos en este documento, tienen ilustraciones o fotografías; además de que se describe su nombre común, nombre científico y algunas características del ave.*

Recomendaciones: La mejor hora para ver aves es cuándo sale el sol y hasta 4 horas después de que amaneció. Durante el tiempo que dediques a la observación de aves, deberás de utilizar ropa de color opaco, guardar silencio y ser paciente. Si no identificas el ave, aún con la ayuda de la "[Guía de identificación de aves](#)", es normal, por eso es importante anotar todo lo que veas y después comparar tus observaciones con las de tus compañeros/as y buscar el apoyo de tu profesor/a.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DE SUELO DEL SITIO 4

En este lugar encontramos el grupo de suelos Luvisoles (Perfil 3), que son el cuarto grupo de suelos mejor representados en el estado de Querétaro (ver Mapa 5). Esto debido principalmente a que esta zona está en el corazón del sistema montañoso que conforma la Sierra Gorda, donde las condiciones del clima frío y vegetación de pino-encino, propician las condiciones ideales para su génesis. A continuación, se describe a detalle el perfil del suelo y, debido a que esta zona está resguardada por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), se recomienda que, en lugar de trazar perfiles de suelo a futuro, el/la profesor/a encargado/a de la práctica de campo, se comuniquen con el Sr. Antonio Fonseca Menéndez, representante del Ayuntamiento de Landa de Matamoros, a fin de que se apoye para poder entrar en la Reserva de fósiles El Madroño.

Descripción del perfil del Suelo

Perfil 3. El Madroño

Descripción de las condiciones ambientales

Fecha:	27-03-2022
Descriptor:	Abel Ibáñez Huerta/Rosario Vázquez Morales
Localidad:	El Madroño, Landa de Matamoros, Querétaro
Localización geográfica:	X= 484270 Y= 2353080
EPE:	3 m
Altitud:	1662 m s. n. m.
Clima:	Templado subhúmedo con lluvias en verano
Estado del tiempo:	Soleado/despejado, sin precipitación en los últimos 30 días
Uso de suelo y vegetación:	Bosque alterado bajo manejo forestal
Geoforma:	Colina
Pendiente:	Inclinado (5-10%)
Erosión:	Hídrica severa, cárcavas
Material parental:	Calizas
Drenaje superficial:	Moderado/deficiente
Pedregosidad:	Sin pedregosidad (0-2%)
Encostramiento:	Ninguno
Grietas superficiales:	Sin evidencia
Presencia de sales:	Sin evidencia
Comentarios	El perfil se realizó a la sombra del bosque de pino a la cabecera de una cárcava. Presencia de reforestación. Hojarasca 10 cm (L); Horizonte de fragmentación de la MO 5

	cm (Oh)
--	---------

Clasificación: **Luvisol**

Imagen del perfil de suelo (fotografía tomada por Rosario Vázquez, marzo 2022)	Horiz+ Prof (cm)	Descripción
	L 0-10+	Acículas de pinos
	Oh 10-15	Materia orgánica fragmentada
	A1 0-10	Color pardo rojizo oscuro (2.5YR 3/3), ligera reacción a carbonatos , pH muy ligeramente ácido (6.8), textura arcillosa, pedregosidad ninguna, estructura granular y bloques subangulares medianos y gruesos, fuerte desarrollo, estabilidad de los agregados muy alta, seco , consistencia muy duro, adherente, plástico, muchos poros vesiculares finos, raíces finas muchas y medias pocas, límite gradual y suave, muy fuerte reacción a la MO .
	A2 10-26	Color Rojo (2.5YR 4/6), ligera reacción a carbonatos , pH ligeramente ácido (6.4), textura arcillosa, pedregosidad ninguna, estructura bloques subangulares medianos y gruesos, moderado desarrollo, estabilidad de los agregados alta, levemente húmedo , consistencia duro, muy adherente, plástico, muchos poros vesiculares finos, raíces medias y gruesas pocas, límite gradual y suave, fuerte reacción a la MO .
	B1 26-54	Color Rojo (2.5YR 4/6), no hay reacción a carbonatos , pH moderadamente ácido (5.8), textura arcillo-limosa, pedregosidad ninguna, estructura bloques subangulares medianos y gruesos, moderado desarrollo, estabilidad de los agregados mediana, levemente húmedo , consistencia duro, adherente, ligeramente plástico, muchos poros intersticiales y vesiculares finos y medios, raíces finas y medias pocas, revestimiento (cutanes), límite gradual y suave, moderado reacción a la MO .

	B2 120-145	Color Rojo (2.5YR 4/8), no hay reacción a carbonatos , pH ligeramente ácido (6.2), textura arcillo-limosa, pedregosidad ninguna, estructura bloques subangulares finos y medianos, moderado desarrollo, estabilidad de los agregados moderada, húmedo , consistencia ligeramente duro, adherente, ligeramente plástico, muchos poros intersticiales y vesiculares finos y gruesos, raíces finas y medias pocas, revestimiento (cutanes), límite gradual y suave, nula reacción a la MO .
	B3 84-135	Color Rojo oscuro (2.5YR 3/6), no hay reacción a carbonatos , pH moderadamente (5.7), textura arcillo-limosa, pedregosidad ninguna, estructura bloques subangulares medianos, moderado desarrollo, estabilidad de los agregados baja, húmedo (> que B2) , consistencia suave, adherente, ligeramente plástico, muchos poros intersticiales y vesiculares finos y gruesos, raíces finas y medias pocas, revestimiento (cutanes), límite gradual y suave, moderada reacción a la MO .

SITIO 5: Hoya Peña de Dios, Tancoyol (Cuaternario?)



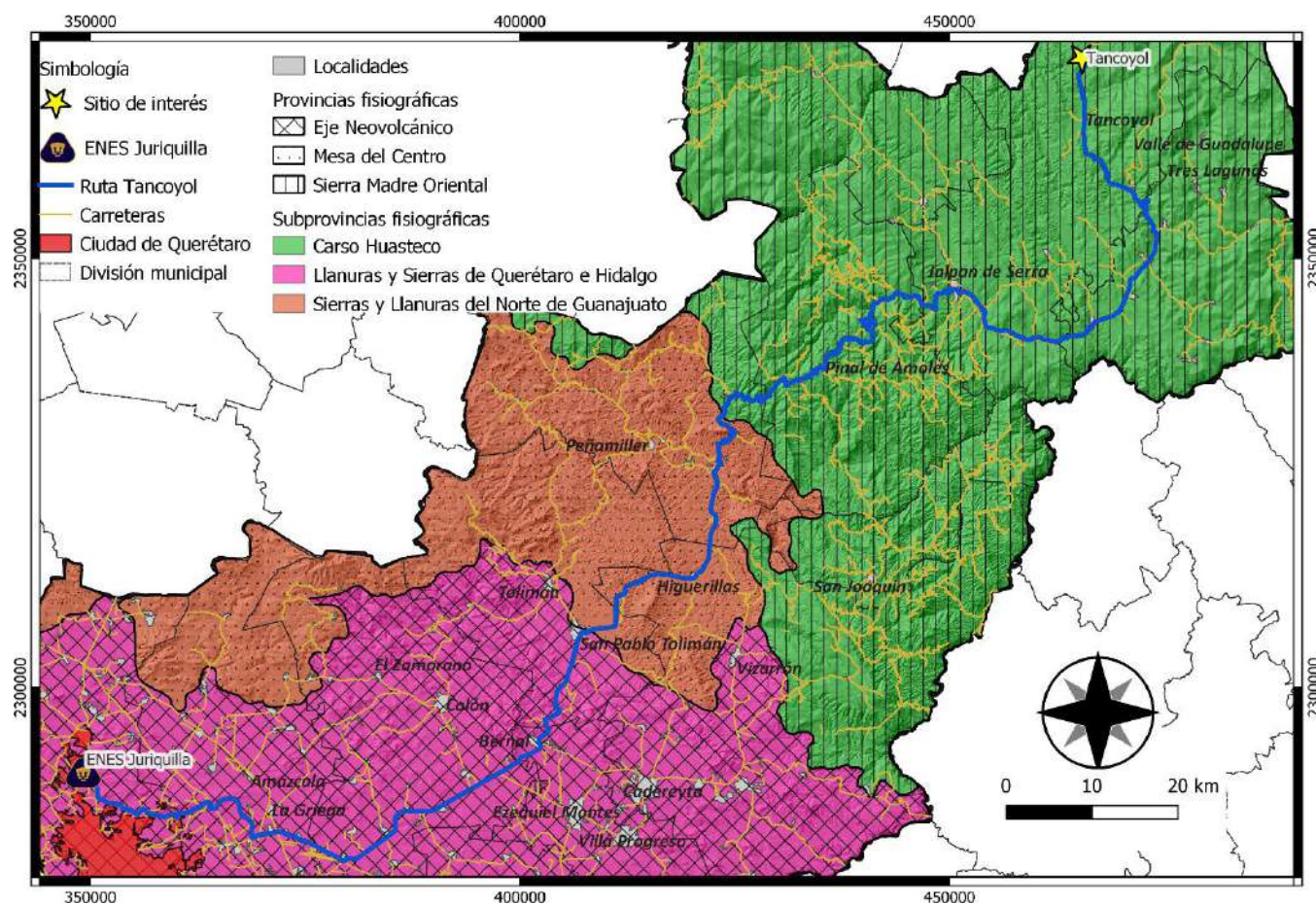
Tiempo estimado de recorrido:
5 hr (Anillo Vial Fray Junípero Serra – carretera federal 200 – 100 – 120 – 190 – camino a San Antonio Tancoyol).

Localidades cercanas: San Antonio Tancoyol, Tancoyol, Zoyapilca, La Vuelta, La Lagunita, Landa de Matamoros.

Importancia del sitio: Las rocas por las que está constituida esta zona, son propensas a sufrir karstificación, que es un proceso de disolución y que se caracteriza por la formación de depresiones o socavones, como la imponente dolina que se aprecia en este sitio.

Vista panorámica hacia el interior de la Hoya Peña de Dios, Jalpan de Serra, Qro. (fotografía tomada por Rosario Vázquez, marzo 2022)

Este lugar, ubicado en la porción más oriental del estado de Querétaro (Mapa 14), y en la región sur de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Fig. 6), está representado por rocas carbonatadas que han desarrollado un paisaje kárstico con diferentes estructuras de variadas dimensiones, debido a que se encuentran expuestas a condiciones ambientales de latitudes medias con climas tropicales.



Mapa 14 mostrando la ruta Hoya Peña de Dios en Tancoyol, sitio ubicado en la provincia fisiográfica V (Sierra Madre Oriental), en la porción nororiental del estado (elaborado por Edna López, enero 2023, utilizando los datos de las subprovincias fisiográficas de México, escala 1:1,000,000 propuestas por INEGI, 2001).

La palabra “karst” es de origen alemán, y deriva de los términos “karra” (Indo-Europeo), “kras” (Eslovenia) y “carso” (Italia), refiriéndose a “roca o sustrato pedregoso” (Huggett, 2011). El término se usó para describir a la región comprendida entre Trieste, Italia y Liubliana, Eslovenia, donde las rocas carbonatadas muestran rasgos geomorfológicos e hidrológicos muy singulares, debidos a procesos de disolución y donde las investigaciones pioneras se llevaron a cabo (De Waele, 2017; Pulido-Bosch, 2019; De Waele y Gutiérrez, 2022). En este sentido, se define como “karst” (s.str.) a un tipo de paisaje distintivo, resultado del intemperismo químico donde domina el proceso de disolución de rocas carbonatadas (i.e., calizas, dolomías, mármol) debida a la circulación de agua superficial y subterránea (Huggett, 2011; Pulido-Bosch, 2019; White, 2022; De Waele y Gutiérrez, 2022).

La disolución es el proceso de intemperismo químico dominante en paisajes kársticos

carbonatados (Figura 53), y se desarrolla mejor en climas húmedos de regiones tropicales y latitudes medias (De Waele, 2017). El proceso de disolución se origina al interactuar el dióxido de carbono (CO_2), disuelto en el agua natural ácida, con rocas carbonatadas a lo largo de fallas, fracturas, grietas y planos de estratificación presentes en la roca (Shanov y Kostov, 2015).

La disolución de las rocas carbonatadas depende de varios factores, tales como las condiciones del ambiente (tectónica-clima-relieve), composición de la roca, características fisicoquímicas de los fluidos que circulan a través de ellas, temperatura y presión. Así, aunque el aragonito (abundante en calizas jóvenes) y la calcita (presente en calizas antiguas o metamorfizadas) tienen la misma composición (CaCO_3), el aragonito es más soluble en condiciones superficiales (Figura 53). La dolomita (principalmente diagenética o secundaria) tiene una tasa de solubilidad más lenta que el de la calcita, pero en ambas la

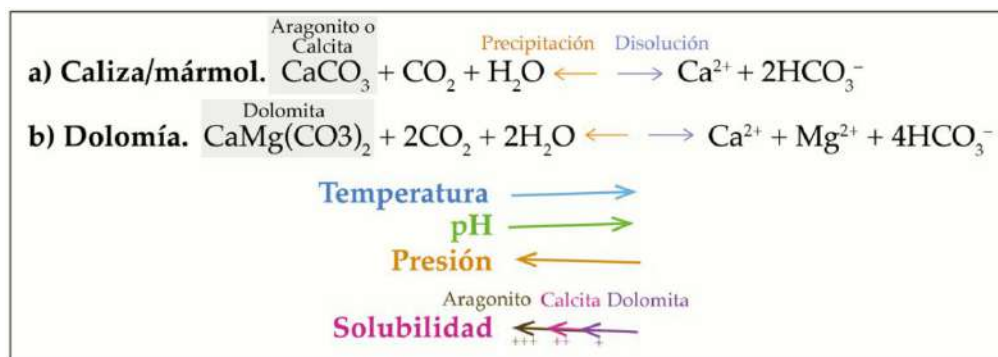


Figura 53. Reacciones químicas para la disolución de rocas carbonatadas interactuando con agua natural. Se muestran esquemáticamente los parámetros (temperatura, pH, presión) involucrados en la solubilidad de los minerales (aragonito, calcita y dolomita) que constituyen a estas rocas (diagrama elaborado por Berlaine Ortega, diciembre 2022, modificado de Fratesi, 2013; White, 2022).

solubilidad se incrementa si el agua tiene un pH bajo. La solubilidad en estos minerales disminuye cuando se incrementa la temperatura, y aumenta ligeramente cuando se incrementa la presión (Myroie, 2013; White, 2022).

La karstificación por disolución es un proceso lento (de cientos de miles a millones de años), sus efectos y evolución son evidentes con la formación de una variedad de rasgos, tales como depresiones u hoquedades (exokarst) que varían en tamaño desde milímetros hasta varios centenares de metros e incluso kilómetros de extensión (lapiaz, tinajita, dolina, uvala, polje), así como con el desarrollo de rasgos subterráneos (endokarst), incluyendo cavidades, grutas, drenaje subterráneo (Figura 54; Huggett, 2011; De Waele y Gutiérrez, 2022). No solo la disolución tiene lugar en los paisajes kársticos,

sino también el proceso inverso, la precipitación (e.g., depósitos químicos secundarios). Esto ocurre cuando se tienen las condiciones adecuadas de temperatura, presión, pH y saturación (White, 2022).

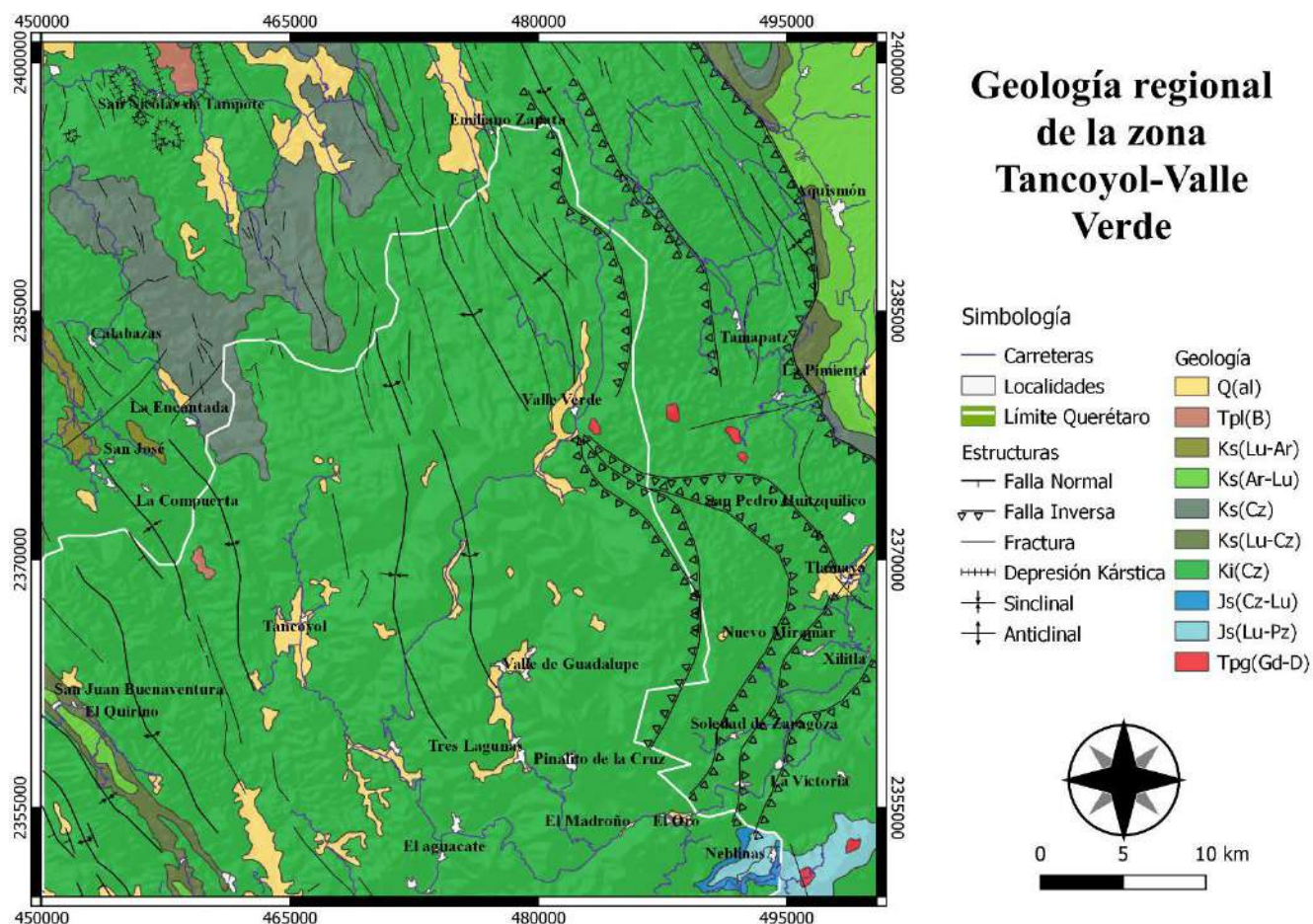
La Hoya Peña de Dios corresponde con una dolina (forma exokárstica; Figura 55a) formada en las rocas carbonatadas cretácicas de la Formación El Abra (facies El Abra; Fig. 6 y Mapa 13). Su diámetro en la cima es de ~580 metros y éste se reduce hacia la base o fondo hasta los ~200 metros, y tiene posiblemente más de 100 metros de profundidad (Lazcano, 1986). Su origen pudo estar asociada con procesos variados, como disolución en planos de falla o fracturas, colapso de cuevas, sufusión y subsidencia (Huggett, 2011).



Figura 54. Diagrama esquemático donde se muestran algunas formas de karst superficial (exokarst) y subterráneo (endokarst) (elaborado por Berlaïne Ortega, diciembre 2022, modificado de Huggett, 2011).



Otras geoformas kársticas de menores dimensiones desarrolladas en estas calizas de la Formación El Abra (Mapa 15), en el área de Tancoyol, incluyen lapiaz y tinajitas. El lapiaz consiste en surcos comúnmente semi o paralelos, con crestas muy agudas o redondeadas y valles suaves (Figura 55b). Su formación está controlada por varios factores (e.g., topografía, biota, composición y textura de la roca, geología estructural, hidrodinámica; De Waele y Gutiérrez, 2022; White, 2022). Las tinajitas son pequeñas depresiones circulares cerradas, de no más de 15 centímetros, con fondo plano (Figura 55c). Su formación puede estar asociada a la presencia de parches de bacterias, algas o líquenes que acidifican el sustrato, promoviendo la disolución y erosión (biokasrtificación).



Mapa 15 – Mapa geológico regional de la zona de Tancoyol y sitios aledaños (elaborado por Edna López, febrero 2023, a partir de los datos de la carta geológica F14-8 escala 1:250,000 del Servicio Geológico Mexicano).





Figura 55. Diversas formas exokársticas desarrolladas en las rocas de la Formación El Abra de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, área de Tancoyol, Querétaro. a) Dolina, b) Lapiaz y c) Tinajita (Fotografías tomadas por Berlaine Ortega, carretera Tancoyol-San Antonio Tancoyol, Qro., marzo 2022).

Por su parte, desde el punto de vista biológico, en las laderas de la Hoya Peña de Dios podemos observar algunos elementos florísticos de interés como es el caso de *Pilosocereus leucocephalus* (Figura 56A), *Senna atomaria* (Figura 56B) y *Ficus cotinifolia*. Otra especie de gran importancia es la cícada *Dioon edule* de la Familia Zamiaceae conocida localmente como *chamal* (Figura 57). Las cícadas representan un linaje antiguo de gimnospermas que alcanzó su cúspide de riqueza y abundancia durante el periodo Jurásico (Yáñez-Espinosa 2006). México ocupa el segundo lugar mundial en riqueza de cícadas con 12 especies del género *Dioon*, 15 especies de *Zamia* y 21 especies de *Ceratozamia* (Yáñez-Espinosa, 2006). Son un linaje interesante ya que, siendo gimnospermas, como los pinos y abetos, son principalmente polinizadas por insectos y además cuentan con raíces especializadas llamadas coraloides donde albergan cianobacterias que fijan nitrógeno para la planta.

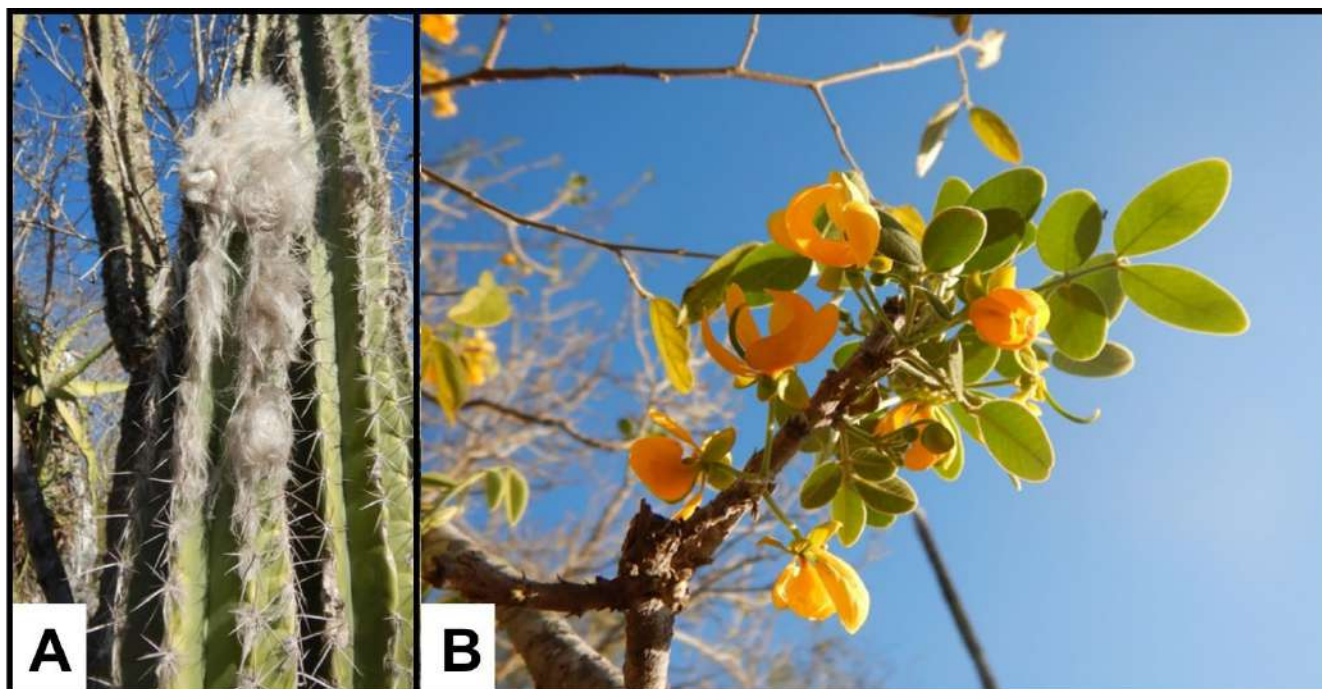


Figura 56. Fotografías de elementos florísticos ubicados en la Hoya Peña de Dios, Tancoyol, Jalpan de Serra, Qro. A) *Pilosocereus leucocephalus*. B) Flores de *Senna atomaria* (fotografías tomadas por Alberto Prado, marzo 2022).

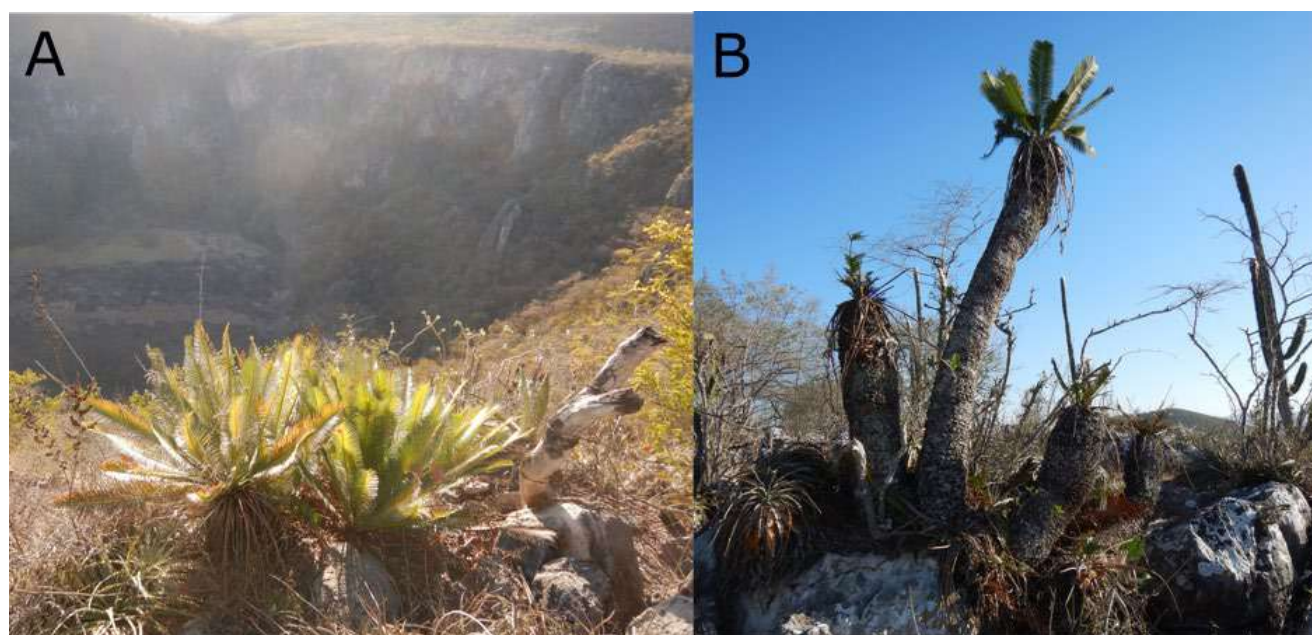


Figura 57. *Dioon edule* observado en las laderas de la Hoya Peña de Dios, Tancoyol, Jalpan de Serra, Qro. (fotografías tomadas por Alberto Prado, marzo 2022).

Además de su importancia biológica, *Dioon edule* es una especie con un valor cultural importante dentro de un área geográfica designada como La Pamería (sureste del estado de San Luis Potosí y noreste de

Querétaro), donde las comunidades Xi'iuy usan el chamal para preparar una masa que se cocina y consume como tamal (Tristán-Martínez et al., 2020). Podemos observar representaciones del chamal en la fachada de la misión del siglo XVIII Nuestra Señora de la Luz de Tancoyol (Figura 58).



Figura 57. Fachada de la misión Nuestra Señora de la Luz de Tancoyol. Los círculos azules muestran representaciones Xi'iuy de Dioon edule.

ACTIVIDADES DE ÍNDOLE GEOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 5

El área de Tancoyol, como toda la zona norte de Querétaro, tiene un paisaje kárstico distintivo. Los rasgos morfológicos de esta región nos permiten reconocer que el principal proceso de intemperismo químico al que están sujetas las rocas carbonatadas es la disolución. La disolución les confiere a estas rocas un aumento en la porosidad secundaria, resultando no solo en excelentes superficies de captación de agua meteórica, sino también en acuíferos subterráneos. Con ayuda del [glosario](#) de términos de formas kársticas anexo al final de la guía se sugiere:



Para Profesores:

- ✓ Mediante los mapas geológicos de la zona incluidos para éste y otros sitios de interés de la Sierra Gorda (Mapas 13 y 15), discutir con el alumnado, si la distribución de las formas exokársticas, obedecen a estructuras geológicas mayores (fallas, fracturas) o a otros factores.
- ✓ Explicar al alumnado el concepto de exokarst y sus geoformas resultantes.
- ✓ Discutir con el alumnado sobre qué procesos físicos y químicos son necesarios para que se desarrolle este tipo de paisaje kárstico.



Para Estudiantes:

- ✓ Tomar las coordenadas del sitio con el GPS y describir los detalles relevantes del punto visitado en las hojas del [Formato 1](#) (incluido al final de la Guía), con ayuda de la [metodología "A"](#).
- ✓ Llevar a cabo una discusión con tu profesor/a y tus compañeros/as, acerca del origen y edad de la formación de las estructuras exokársticas que se observan en el sitio.
- ✓ Deberás reconocer cada una de las estructuras exokárticas del área de Tancoyol con base en sus características descritas en el [glosario](#), junto con la ayuda de los Mapas 13 y 15, incluidos en ésta y otras secciones de la Guía.



ACTIVIDADES DE ÍNDOLE BIOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 5



Para Profesores:

- Se sugiere poner al alumnado buscar al pie de las plantas de *Dioon edule* raíces en forma de coral llamadas raíces coraloides. Estas raíces están cerca de la superficie y se pueden encontrar a un lado del tronco de la planta sin necesidad de excavar muy profundamente (Figura 58A). Dicha actividad tiene la finalidad de que los estudiantes recolecten pedazos de las raíces para que puedan examinarlas.
- Solicitar al alumnado coleccionar pedazos de las raíces encontradas con el fin de examinarlas bajo el estereoscopio y el microscopio en el laboratorio (trabajo de gabinete).



Para Estudiantes:

- Después de haber recibido la explicación por parte de tu profesor/a sobre las características de las plantas *Dioon edule*, deberás buscar algunos especímenes de ésta en las laderas del sitio.
- Una vez que las encuentres, deberás identificar al pie de estas plantas, las raíces en forma de coral llamadas raíces coraloides. Estas raíces están cerca de la superficie, normalmente se pueden encontrar a un lado del tronco de la planta sin necesidad de que excaves demasiado profundo para poder obtenerlas (Figura 58A).
- Después de la recolección de estas raíces, ,deberás examinarlas en gabinete (es decir, de vuelta en la escuela) bajo el estereoscopio y el microscopio en el Laboratorio (Figura 58B y C).

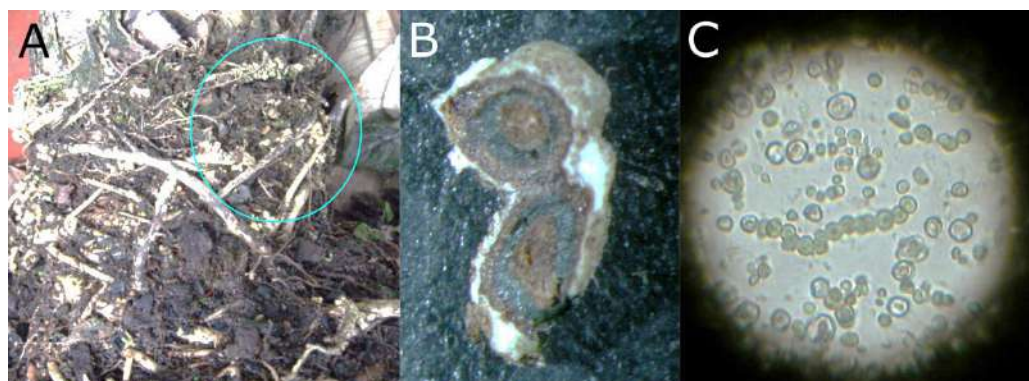


Figura 58. Fotografías de las raíces coraloides de *Dionopanax*. A) Las raíces con forma de coral se pueden observar creciendo pegado al tallo de la planta (círculo azul). B) Al hacer un corte transversal se observa una zona verde dentro de la raíz, esta es la zona de las cianobacterias. C) Si se coloca un poco de tejido sobre un portaobjetos y luego se macera usando otro portaobjetos se pueden observar las cianobacterias simbiotes (fotografías tomadas por Alberto Prado, marzo 2022, raíces obtenidas de la Hoya Peña de Dios, Tancoyol, Qro.).

➤ ACTIVIDADES PARA EL AVISTAMIENTO DE AVES

Cuando se observa un ave, es necesario fijarse y anotar la mayor cantidad de características que se puedan, para así poder determinar qué especie fue la que se observó. Es indispensable observar las particularidades del ave, es decir: forma de pico, color del ave en general, color de patas, tamaño, cola, etc. Esto nos proporcionará información esencial para su identificación. Al observar un ave por el mayor tiempo posible, se podrá recordar y anotar lo visto, y de ser posible, realizar un dibujo con las principales características del ave en la libreta de campo, a partir del [Formato 6](#) (ver sección de formatos al final de la Guía).



Para Profesores

- ☞ Explicar al alumnado la relevancia de las aves en México y, en el contexto del estado de Querétaro.
- ☞ Describirle al alumnado las especies más comunes de aves que encontrarán en este sitio, de acuerdo con el tipo de vegetación del lugar.
- ☞ Para el avistamiento de aves, se sugiere que el alumnado siga la [metodología "I"](#) y llene el [Formato 6](#) (final de la Guía), siempre siguiendo las recomendaciones descritas al final de la descripción de actividades.



Para Estudiantes:

- ☞ De acuerdo con la explicación dada por tu profesor/a, siguiendo la [metodología "I"](#), deberás buscar por lo menos 10 aves diferentes y reportarlas en tu bitácora ([Formato 6](#), incluido al final de la Guía).
- ☞ Una vez realizada la actividad anterior, deberás determinar de acuerdo con tus observaciones en la bitácora y con ayuda de la "[Guía para la identificación de aves](#)" (incluida al final de este documento): el orden, familia y especie a la que pertenecen las 10 aves observadas.
- ☞ Discute junto con tu profesor/a y tus compañeros/as las observaciones a las que llegaste.

**Nota: La "[Guía para la identificación de aves](#)", te servirá como una herramienta esencial para poder identificar aves de manera más eficiente. La mayoría de las aves que pueden observar en la naturaleza, en los sitios de campo incluidos en este documento, tienen ilustraciones o fotografías; además de que se describe su nombre común, nombre científico y algunas características del ave.*

Recomendaciones: La mejor hora para ver aves es cuándo sale el sol y hasta 4 horas después de que amaneció. Durante el tiempo que dediques a la observación de aves, deberás de utilizar ropa de color opaco, guardar silencio y ser paciente. Si no identificas el ave, aún con la ayuda de la "[Guía de identificación de aves](#)", es normal, por eso es importante anotar todo lo que veas y después comparar tus observaciones con las de tus compañeros/as y buscar el apoyo de tu profesor/a.

SITIO 6: Cueva kárstica de Valle Verde (Cuaternario?)



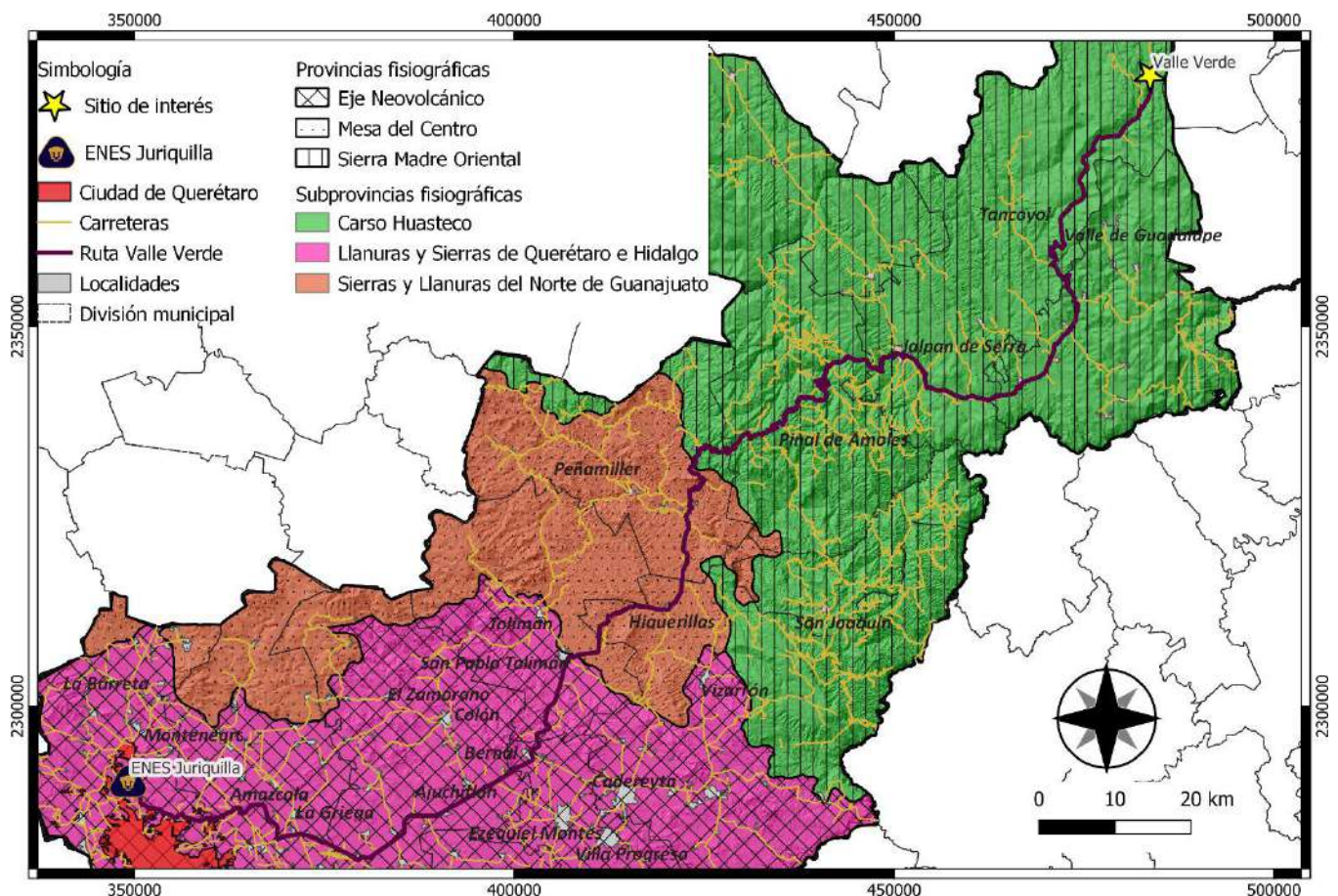
Tiempo estimado de recorrido:
5 hr 10 min. (Anillo Vial Fray Junípero Serra – carretera federal 200 – 100 – 120 – 190 – camino Zoyapilca – Valle Verde).

Localidades cercanas: Valle Verde, Zoyapilca, San Isidro, San Juan de los Durán, La Esperanza.

Importancia del sitio: Se puede observar al interior de una caverna, los procesos de disolución y posterior precipitación de carbonatos en forma de estalactitas y estalagmitas de los minerales calcita y aragonito.

Vista del interior de la cueva kárstica, Valle Verde, Jalpan de Serra, Qro. (fotografía tomada por Rosario Vázquez, marzo 2022)

Al igual que en el sitio 5 de Tancoyol, la localidad de Valle Verde se encuentra ubicada en la porción más nororiental del estado de Querétaro (Mapa 16), además de que, en este sitio, también encontramos rocas carbonatadas de la Formación El Abra (facies El Abra; Mapa 13), pertenecientes a la Plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP).



Mapa 16 mostrando la ruta Valle Verde, sitio ubicado en la provincia fisiográfica V (Sierra Madre Oriental), en la porción nororiental del estado (elaborado por Edna López, enero 2023, utilizando los datos de las subprovincias fisiográficas de México, escala 1:1,000,000 propuestas por INEGI, 2001).



En este sitio, las rocas muestran una mayor tasa de disolución, originando diversas estructuras exokársticas y endokársticas. El exokarst incluye lapiaz, tinajitas, dolinas, uvalas y poljes distribuidos en los alrededores de la localidad Valle Verde, con mayor densidad hacia el este de la localidad (Mapa 13). El endokarst incluye cuevas kársticas (con depósitos de carbonatos) y pasajes subterráneos. Una cueva kárstica es una abertura natural subterránea, agrandada por la disolución de la roca carbonatada, con una amplitud lo suficientemente grande (1-1.5 centímetros) para que se origine un flujo turbulento (Ford y Williams, 2007; De Waele, 2017). Sin embargo, aunque la disolución química es un proceso esencial, generalmente es acompañada por intemperismo mecánico, corrosión y biocorrosión (Slabe y Prelovšek, 2013; De Waele y Gutiérrez, 2022). Una cueva en rocas carbonatadas le tomará algunos miles de años en desarrollarse (De Waele, 2017). La forma y tamaño de la cueva son rasgos influenciados por las características intrínsecas de la roca, por la velocidad del flujo, el índice de saturación y la concentración de sedimentos (Lauritzen y Lundberg, 2000).

Una de las cuevas kársticas más sobresalientes y turísticas del área, es la llamada “Cueva del Agua” o “El Pocito”, ubicada en la localidad El

Pocito, a unos 6.5 km al noroeste de Valle Verde, cuyo principal atractivo es la observación de estalactitas y estalagmitas de ~25 m de altura, así como un nacimiento de agua. De la misma manera, aunque de menor tamaño, a unos 5 km al nor-noreste de Valle Verde, se ha formado una cueva kárstica (Figura 59), cuya entrada está en el límite oeste del valle con la zona escarpada de los afloramientos carbonatados. Dentro de la cueva, los procesos de disolución-precipitación han dado lugar a diversas estructuras, tales como estalactitas, estalagmitas y columnas (Figura 60).

Las estalactitas son depósitos químicos de mineral secundario (aragonito o calcita), con tamaños y formas variadas, incluyendo formas cónicas y cilíndricas. Su diámetro mayor está adherido al techo de la cueva (Figura 60a) y éste disminuye gradualmente hacia abajo. Se forma por cristalización a partir de un goteo lento a través de un canal, tubo o popote alimentador de agua desgasificada y/o por escurrimiento en las paredes externas de la estructura (Figuras 60b y 60c; Ford y Williams, 2007; Huggett, 2011). Sus variaciones en textura, fábrica y mineralogía le dan una apariencia laminada (Figura 60c). Cada lámina representa una etapa de su crecimiento y las condiciones físico-químicas en las cuales cristalizó (De Waele y Gutiérrez, 2022).



Figura 59. Vista de la entrada a la cueva kárstica (desde el interior), ubicada en la propiedad de Don Alfonso Martínez, en Valle Verde, Qro. (fotografía tomada por Rosario Vázquez, marzo 2022).

Las estalagmitas son depósitos químicos de mineral secundario (calcita o aragonito) que crecen desde el piso de la cueva hacia arriba (Figuras 60d y 60e). Tiene formas variadas, incluyendo cónica, cilíndrica o de terraza, y pueden tener dimensiones variables (Ford y Williams, 2007; De Waele y Gutiérrez, 2022). Se forman, ya sea por el goteo de un tubo alimentador de una estalactita, o bien por el goteo desde el techo de la cueva. Cuando el agua se impacta contra el piso y salpica, ésta pierde CO₂ o se evapora, dejando una película fina de

carbonato de calcio que empieza a crecer desde el piso, con cima redondeada. La forma y tamaño de una estalagmita dependerán de la constancia del flujo (tasa de goteo), de la disponibilidad del soluto y de la altura de caída de la gota (Ford y Williams, 2007). Su estructura interna también es laminada, pero, a diferencia de una estalactita, no tiene tubo o popote alimentador (De Waele y Gutiérrez, 2022).

Las columnas son depósitos químicos de mineral secundario que se forman cuando una estalactita y una estalagmita se encuentran (Figura 60e).

Pueden tener dimensiones variables (Huggett, 2011; De Waele y Gutiérrez, 2022).

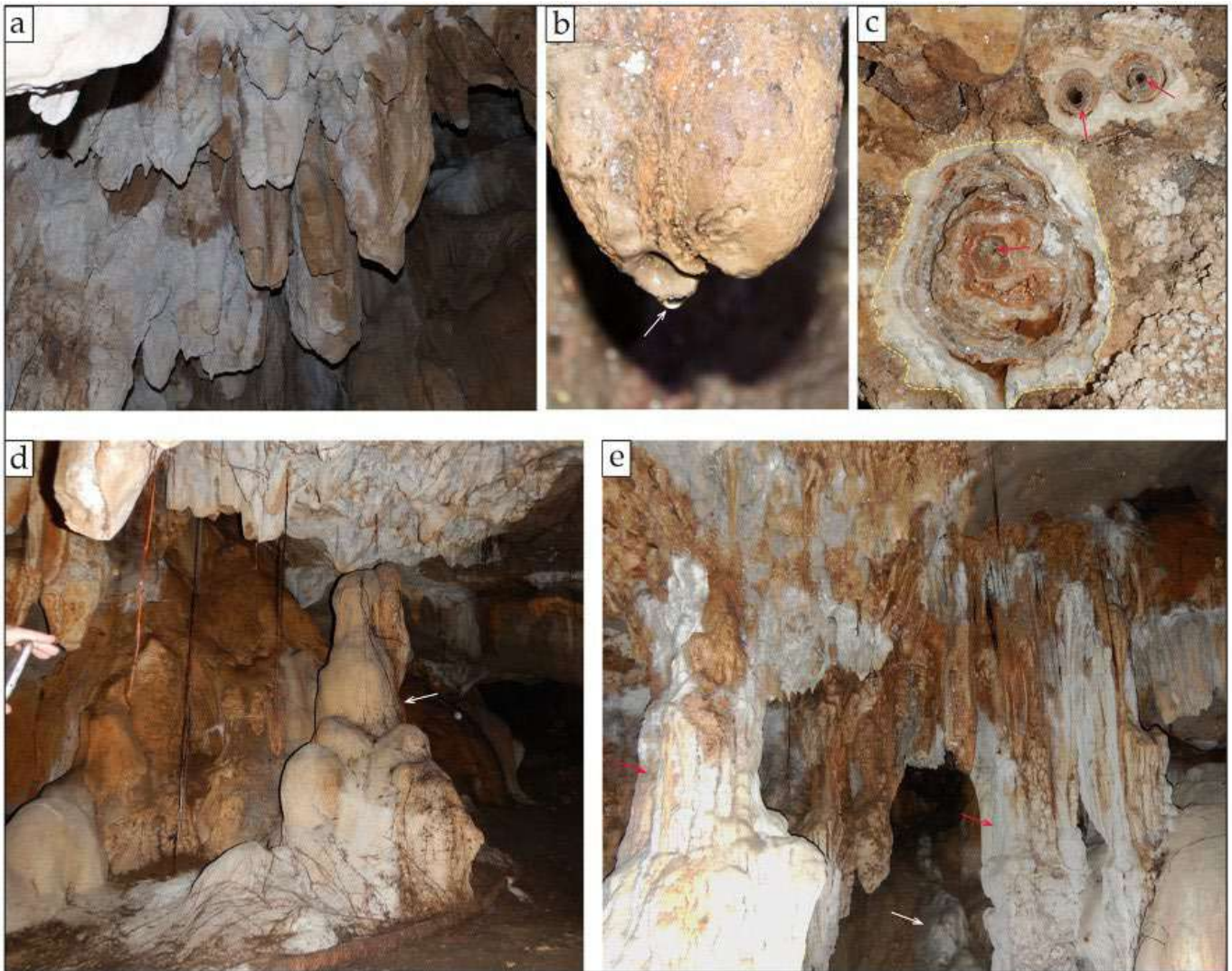


Figura 60. Depósitos químicos carbonatados dentro de la cueva kárstica de Valle Verde. a) Estalactitas adheridas al techo la cueva. b) Estalactita con goteo (flecha blanca). c) Corte transversal de tres estalactitas mostrando un tubo alimentador o popote (flechas rojas), además de la laminación concéntrica por crecimiento. d) Estalagmita (flecha blanca). e) Columnas (flechas rojas) y estalagmitas cónicas (flecha blanca) (fotografías tomadas por Berlaine Ortega, marzo 2022, cueva kárstica en Valle Verde, Qro.).

Gracias a la orografía del paisaje, desde el punto de vista biológico, la zona de Valle Verde presenta un rico mosaico de tipos de vegetación en un área relativamente pequeña. Los cerros de esta zona generan gradientes de elevación de los 1000-2900 m s. n. m. y sus laderas crean cañadas que generan gradientes de humedad. Los tipos

de vegetación que se pueden observar en las laderas con mayor exposición a la radiación solar son: bosque de pino (*Pinus greggii*), bosque de pino-encino y bosque de enebro (*Juniperus flaccida*). Mientras que la selva mediana subcaducifolia y bosque mesófilo de montaña ocurren en laderas más protegidas.

Los bosques mesófilos de montaña representan menos del 1% de la superficie mexicana, pero albergan una alta diversidad florística. Rzedowski (1996) estima que aproximadamente 10% de la riqueza de plantas vasculares (2500 especies), habitan de manera exclusiva en los bosques mesófilos de montaña de México, y que la forma biológica mayor representada son las epífitas (Figura 61).



Figura 61. Planta epífita creciendo en el bosque mesófilo de montaña (*Peperomia* sp.) (fotografía tomada por Alberto Prado, marzo 2022, localidad de Valle Verde, Qro.).

Los bosques mesófilos de montaña de la zona noreste del estado de Querétaro (municipios de Jalpan de Serra y Landa de Matamoros) comparten muchos elementos florísticos con los bosques mesófilos de la Reserva del Cielo en Tamaulipas (Ruiz-Jiménez et al., 2012). Algunos elementos florísticos característicos de los Bosques Mesófilos de Montaña de Querétaro son: *Carpinus caroliniana*, *Liquidambar styraciflua*, *Xylosma flexuosa*, *Magnolia dealbata*, *Magnolia schiedeana*, *Litsea glaucescens*, *Ostrya virginiana*, *Taxus globosa*, *Ilex servinii*, *Rhamnus capraeifolia* (Carranza-González, 2004). El bosque mesófilo de montaña ocurre en Querétaro en áreas con una elevación de 600 a 2650 m s. n. m., con temperatura promedio anual de 20.7° C y una precipitación anual de 1048 mm (Ruiz-Jiménez et al., 2012). En la Selva Mediana subcaducifolia podemos observar elementos florísticos tropicales como: *Pseudobombax ellipticum* (Figura 62a y b), *Ficus goldamanii*, *Piper amalago*, *Annona globiflora*,



Figura 62. Flor (A) y tronco (B) de *Pseudobombax ellipticum* y C) hoja con foliolos de *Ceratozamia hildae* (fotografías tomadas por Alberto Prado, marzo 2022, Valle Verde, Qro.).

Ceratozamia hildae (Figura 62c), *Decatropis bicolor*, *Trichilia havanensis*, *Trema micrantha*, *Nectandra salicifolia*, *Brahea edulis*.

λ. ACTIVIDADES DE ÍNDOLE GEOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 6

El área de Valle Verde ofrece un panorama interesante para distinguir las geoformas que han moldeado el paisaje kárstico. La localidad de Valle Verde está construida sobre un valle alargado con orientación N-S, cerrado aguas abajo y flanqueado por altos topográficos conformados por las rocas de la Formación El Abra. Sobre la zona del valle, además de asentamientos humanos, también hay zonas de cultivo, lo cual indica que hay desarrollo de suelo. Así mismo, al noroeste del valle, en el límite con los afloramientos rocosos, se ha formado una cueva que muestra diversos depósitos químicos de carbonatos. Con la ayuda del [glosario](#) de términos de formas kársticas incluido al final de la Guía se sugiere:



Para profesores:

- ✓ Haciendo uso de una imagen de satélite, y con apoyo de un mapa topográfico, se sugiere poner a interpretar al alumnado la topografía y el drenaje del sitio de campo, con el fin de delimitar el área del valle y observar su geometría.
- ✓ Con ayuda del [glosario](#), se recomienda iniciar una discusión con los estudiantes sobre el tipo de geoforma exokárstica que se observa en el valle (dolina, uvala o polje) y cómo pudo ser originada.
- ✓ Para complementar esta actividad, es deseable que se explique al alumnado, cómo se puede iniciar la formación de una cueva y qué representan los depósitos químicos carbonatados secundarios.



Para estudiantes:

- ✓ Deberás de tomar las coordenadas del sitio con el GPS y describir los detalles relevantes del punto visitado en las hojas del [Formato 1](#) (incluidas al final de la guía).
- ✓ Lleva a cabo una discusión con tu profesor/a y tus compañeros/as, acerca del origen y edad de la formación de las estructuras exokársticas y endokársticas observadas en el sitio.
- ✓ Con ayuda de la imagen de satélite y el mapa topográfico proporcionado por tu profesor/a, deberás de reconocer la geoforma exokárstica sobre la que se encuentra la localidad de Valle Verde (ver Fig. 54).

- ✓ Además de reconocer la geoforma principal del sitio, deberás reconocer y caracterizar las estructuras endokársticas de la cueva de Valle Verde, y discutir con tu profesor/a y tus compañeros/as sus procesos de formación (ver Fig. 54).

ACTIVIDADES DE ÍNDOLE BIOLÓGICO, SUGERIDAS PARA EL SITIO 6



Para Profesores:

- La diversidad de tipos de vegetación que se observan en los alrededores de la localidad de Valle Verde permite al alumnado familiarizarse con algunos de los elementos florísticos que caracterizan estos ambientes. Por lo tanto, se sugiere escoger dos laderas con diferencias en su exposición a la radiación solar (ejemplo: ladera Norte vs. ladera Sur).
- En cada ladera se instruirá al alumnado para que establezcan 3 cuadrantes de 5 x 5m usando las cintas métricas.
- Dentro de cada cuadrante, el alumnado determinará la densidad, cobertura y frecuencia vegetal, poniendo particular atención a las lianas (características de la selva mediana) y las epífitas (características del bosque mesófilo de montaña).
- Posterior al trabajo de campo, se sugiere que el alumnado realice en gabinete, la estimación de los valores promedio de densidad, cobertura, frecuencia vegetal; además de la densidad y frecuencia de epífitas y lianas. El objetivo de este ejercicio es que con estos datos los alumnos identifiquen en qué tipo de vegetación se hicieron cada uno de los cuadrantes de campo.

**Nota: dependiendo del número de alumnos se pueden realizar más o menos cuadrantes.*



Para Estudiantes:

- Tu profesor/a, formará grupos y los dispondrá en diferentes laderas de la montaña que se observa en el sitio de campo.
- En la ladera que corresponda, establecerán en equipo, 3 cuadrantes de 5 x 5m usando las cintas métricas.
- Dentro de cada cuadrante, deberán de determinar la densidad, cobertura y frecuencia vegetal, poniendo particular atención a las lianas y las epífitas.
- Una vez recopilada esta información, en gabinete, deberás estimar los valores promedio de densidad, cobertura, frecuencia vegetal; además de la densidad y frecuencia de epífitas y lianas.

➔ ACTIVIDADES PARA EL AVISTAMIENTO DE AVES

Cuando se observa un ave, es necesario fijarse y anotar la mayor cantidad de características que se puedan, para así poder determinar que especie fue la que se observó. Es indispensable observar las particularidades del ave, es decir: forma de pico, color del ave en general, color de patas, tamaño, cola, etc. Esto nos proporcionará información esencial para su identificación. Al observar un ave por el mayor tiempo posible, se podrá recordar y anotar lo visto, y de ser posible, realizar un dibujo con las principales características del ave en la libreta de campo, a partir del [Formato 6](#) (ver sección de formatos al final de la Guía).



Para Profesores

- ☞ Explicar al alumnado la relevancia de las aves en México y, en el contexto del estado de Querétaro.
- ☞ Describirle al alumnado las especies más comunes de aves que encontrarán en este sitio, de acuerdo con el tipo de vegetación del lugar.
- ☞ Para el avistamiento de aves, se sugiere que el alumnado siga la [metodología "I"](#) y llene el [Formato 6](#) (final de la Guía), siempre siguiendo las recomendaciones descritas al final de la descripción de actividades.



Para Estudiantes:

- ☞ De acuerdo con la explicación dada por tu profesor/a, siguiendo la [metodología "I"](#), deberás buscar por lo menos 10 aves diferentes y reportarlas en tu bitácora ([Formato 6](#), incluido al final de la Guía).
- ☞ Una vez realizada la actividad anterior, deberás determinar de acuerdo con tus observaciones en la bitácora y con ayuda de la ["Guía para la identificación de aves"](#) (incluida al final de este documento): el orden, familia y especie a la que pertenecen las 10 aves observadas.
- ☞ Discute junto con tu profesor/a y tus compañeros/as las observaciones a las que llegaste.

***Nota:** La ["Guía para la identificación de aves"](#), te servirá como una herramienta esencial para poder identificar aves de manera más eficiente. La mayoría de las aves que pueden observar en la naturaleza, en los sitios de campo incluidos en este documento, tienen ilustraciones o fotografías; además de que se describe su nombre común, nombre científico y algunas características del ave.

Recomendaciones: La mejor hora para ver aves es cuándo sale el sol y hasta 4 horas después de que amaneció. Durante el tiempo que dediques a la observación de aves, deberás de utilizar ropa de color opaco, guardar silencio y ser paciente. Si no identificas el ave, aún con la ayuda de la ["Guía de identificación de aves"](#), es normal, por eso es importante anotar todo lo que veas y después comparar tus observaciones con las de tus compañeros/as y buscar el apoyo de tu profesor/a.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DE SUELO DEL SITIO 6

En Valle Verde encontramos el grupo de suelos dominante en el estado de Querétaro, los Leptosoles (Mapa 5); además de que también se encontró con un suelo de tipo Luvisol, esto debido a que en esta zona se tienen condiciones de clima templado-húmedo y vegetación forestal, ideales para su génesis. A continuación, se describen a detalle los perfiles de suelo 1 y 2, los cuáles pudieron llevarse a cabo, gracias al apoyo del Sr. Alfonso Martínez, poblador de la localidad de Valle Verde, que nos concedió el permiso necesario tanto para explorar la cueva kárstica descrita en este sitio y para cavar los perfiles para la caracterización de estos suelos. Por lo tanto, en caso de que el/la profesor/a que lleve de práctica de campo al alumnado a este lugar y desee realizar el levantamiento de perfiles de suelo de forma similar a los descritos en esta sección, se sugiere pedir permiso a esta persona. Así como seguir la [metodología “K”](#) y utilizar los [Formatos 7](#) y [8](#), incluidos al final de esta Guía, para hacer la descripción correspondiente.

Descripción del perfil del Suelo Perfil 1. Valle Verde Descripción de las condiciones ambientales

Fecha:	26-03-2022
Descriptor:	Abel Ibáñez Huerta/Berlaine Ortega Flores
Localidad:	Valle Verde, Municipio de Jalpan de Serra, Querétaro
Localización geográfica:	X= 483659 Y= 2383101
EPE:	3 m
Altitud:	1035 m s. n. m.
Clima:	Semicálido subhúmedo con lluvias en verano
Estado del tiempo:	Soleado/despejado, sin precipitación en los últimos 30 días
Uso de suelo y vegetación:	Vegetación primaria
Geoforma:	Zona escarpada
Pendiente:	Casi plano
Erosión:	Hídrica laminar
Material parental:	Calizas
Drenaje superficial:	Bueno
Pedregosidad:	Rocas y fragmentos muy grandes, cobertura 40-80 %
Encostramiento:	Ninguno
Grietas superficiales:	Sin evidencia
Presencia de sales:	Sin evidencia
Comentarios:	Selva media subperenifolia

Clasificación: **Leptosol**

Imagen del perfil de suelo (fotografía tomada por Abel Ibáñez, marzo 2022)	Horiz+ Prof (cm)	Descripción
	L 0-22	Hojarasca de vegetación de selva subperenifolia
	Oh 22-36	Materia orgánica muy fragmentada
	A1 0-9	Color pardo grisáceo (10YR 5/2), no hay reacción a carbonatos , pH ligeramente alcalino (7.6), textura franco-limosa, estructura migajosa de tamaño fino con débil desarrollo, estabilidad de agregados mediana, levemente húmedo, consistencia suelta, no adherente , ligeramente plástico , muchos poros intersticiales y vesiculares finos, muchas raíces finas y medias abundantes; límite claro y suave, muy fuerte reacción a la MO .
	A2 9-18	Color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2), ligera reacción a carbonatos , pH ligeramente alcalino (7.5), textura arcillo-limosa, estructura en bloques subangulares tamaño medio con moderado desarrollo, estabilidad de agregados alta, húmedo, consistencia friable, ligeramente adherente , ligeramente plástico , comunes poros vesiculares e intersticiales finos, raíces medias y gruesas comunes; límite difuso y suave, fuerte reacción a la MO .
	A3 18-50	Color pardo muy oscuro (10YR 2/2), ligera reacción a carbonatos , pH muy ligeramente alcalino (7.3), textura arcillo-limosa, estructura en bloques subangulares tamaño medio con moderado desarrollo, estabilidad de agregados alta, húmedo, consistencia friable, ligeramente adherente , ligeramente plástico , comunes poros vesiculares e intersticiales finos y medios, raíces finas, medias y gruesas comunes; límite claro y suave, muy fuerte reacción a la MO .
	A4 50-70	Color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/3), moderada reacción a carbonatos , pH muy ligeramente alcalino (7.4), textura arcillo-limosa, estructura en bloques subangulares tamaño medio con moderado desarrollo, estabilidad de agregados muy alta, húmedo, consistencia friable, ligeramente adherente , ligeramente plástico , muy pocos poros

		intersticiales finos, raíces finas, medias pocas; presencia de nódulos de manganeso (reacción al agua oxigenada), límite abrupto e irregular, Ligera reacción a la MO .
	R >70	Roca caliza

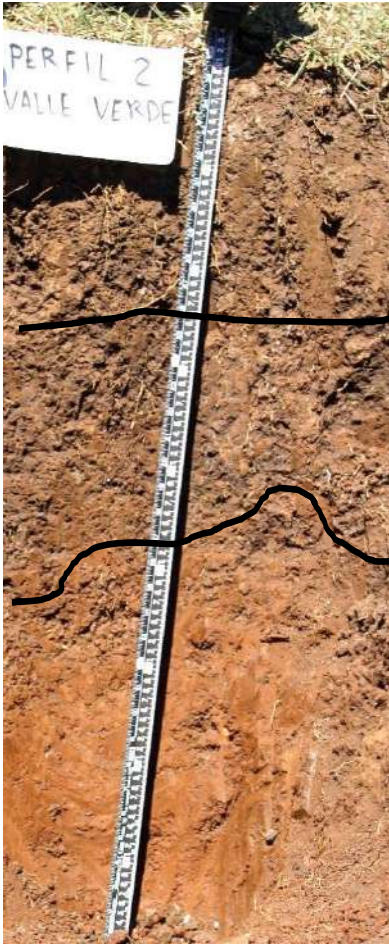
Descripción del perfil del Suelo

Perfil 2. Valle Verde

Descripción de las condiciones ambientales

Fecha:	27-03-2022
Descriptor:	Abel Ibáñez Huerta/Rosario Vázquez Morales
Localidad:	Valle Verde, Municipio de Jalpan de Serra, Querétaro
Localización geográfica:	X=483680.58 Y=2383104.62
EPE:	3 m
Altitud:	1043 m s. n. m.
Clima:	Semicálido subhúmedo con lluvias en verano
Estado del tiempo:	Soleado/despejado, sin precipitación en la última semana
Uso de suelo y vegetación:	Pastizal, agricultura de temporal
Geoforma:	Planicie
Pendiente:	Casi plano (0-0.2%)
Erosión:	Ligera, hídrica laminar
Material parental:	Calizas
Drenaje superficial:	Moderado
Pedregosidad:	Sin piedras
Encostramiento:	Ninguno
Grietas superficiales:	Sin evidencia
Presencia de sales:	Sin evidencia
Comentarios:	Perfil localizado en la base de la ladera; en un valle encajonado (entre dos sierras montañosas). El valle es relativamente estrecho, aprox. de 2 a 5 km de ancho.

Clasificación: **Luvisol**

Imagen del perfil de suelo <i>(fotografía tomada por Rosario Vázquez, marzo 2022)</i>	Horiz+ Prof (cm)	Descripción
	A1 0-25	Color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2), reacción ligera a carbonatos, pH muy ligeramente ácido (6.3), textura franco-arcillosa arenosa, estructura granular y en bloques subangulares finos y medianos, con fuerte desarrollo, estabilidad de los agregados muy alta, levemente húmedo, consistencia muy firme, muy adherente, plástico , poros intersticiales y vesiculares finos comunes , sin facetas de presión, raíces finas y medias abundantes; límite gradual suave, moderada reacción a la MO .
	AB 25-30	Color gris rojizo oscuro (5YR 4/2), moderada reacción a carbonatos, pH muy ligeramente ácido (6.6), textura franco arcillo arenosa, estructura bloques subangulares mediano y grueso con muy fuerte desarrollo, estabilidad de los agregados muy alta, levemente húmedo, consistencia muy duro, muy adherente, muy plástico , poros intersticiales finos y medios comunes , raíces finas comunes, límite gradual suave, muy fuerte reacción a la MO .
	B1 50/66-85	Color pardo rojizo (5YR 3/3), reacción ligera a carbonatos, pH muy ligeramente ácido (6.9), textura arcillo limosa, estructura en bloques subangulares medianos y gruesos, con moderado desarrollo, estabilidad de los agregados media húmedo , consistencia en firme, adherente, plástico , poros vesiculares finos y medianos comunes, raíces finas pocas, límite ondulado suave, muy fuerte reacción a la MO .

METODOLOGÍAS

A) Descripción de afloramientos geológicos

La caracterización de los afloramientos de roca, visitados para cualquier estudio geológico, es una actividad esencial y necesaria para hacer posibles las posteriores interpretaciones. A partir de las observaciones directas de las rocas expuestas se hacen las descripciones de sus rasgos físicos, tales como sus dimensiones, color en superficie fresca y con intemperismo, estructuras geológicas (primarias y secundarias) presentes en cada unidad de roca y la naturaleza y tipo de contacto entre ellas (Figura 63).

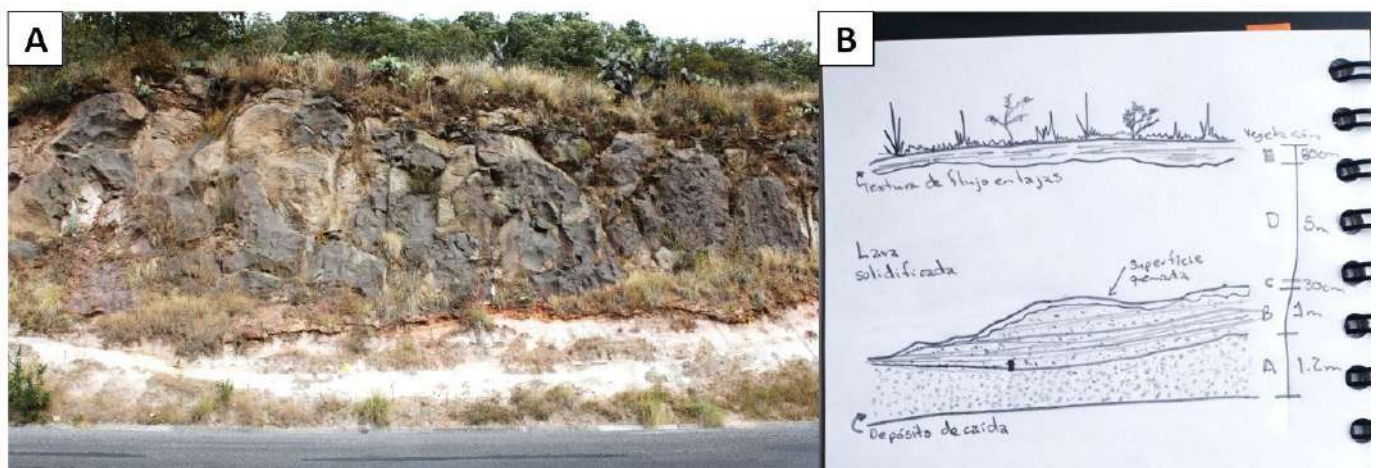


Figura 63. Ejemplo de un afloramiento (A), representado mediante un esquema (B) en la libreta de campo. Para hacer una descripción de un afloramiento geológico, es necesario representar lo más fielmente posible, las distintas capas de roca o depósitos, así como medir sus espesores y si es posible, representar sus texturas (masiva, granular, estratificación normal, cruzada, etc.). (Fotografías tomadas por Rosario Vázquez, carretera federal 300, Santiago Mexquititlán – Amealco, Qro., diciembre 2020).

Las estructuras geológicas primarias incluyen a todas aquellas desarrolladas durante la formación de la roca (depósito o cristalización; Argles, 2010a; 2010b; Rothery, 2010; Waldron y Snyder, 2020) y no implican un origen tectónico. Contrariamente, las estructuras secundarias son principalmente el resultado de la deformación en cualquier tipo de roca (e.g., pliegues, fallas, fracturas, cizalla, foliación, lineación, clivaje, superficies de erosión; Argles, 2010a; Lisle, 2020) o aquellas estructuras que se forman por perturbación del sedimento después del depósito, en rocas sedimentarias (Collinson y Mountney, 2019). La identificación de estructuras geológicas primarias aportará información valiosa acerca de la polaridad (cima y base) de los cuerpos de roca, incluso cuando han sido deformadas.

Un afloramiento de rocas se describe inicialmente a una escala métrica o mesoscópica, donde pueden observarse todos los atributos físicos más evidentes. Posteriormente se hacen observaciones a una escala

de centímetros y milímetros en la cual se pueden identificar con más detalle los rasgos de pequeñas estructuras primarias (e.g., fábricas y texturas) y secundarias (e.g., lineación); a esta escala, también podremos discernir que el color o los colores que presente una unidad de roca refleja su composición mineral (Barnes y Lisle, 2004). Las descripciones de especímenes de mano representativas de las unidades de roca son también imprescindibles, sobre todo para caracterizar, con la ayuda de una lupa (Figura 64), los componentes minerales; sus formas, tamaños y arreglo y, si es el caso, el contenido fósil (Spicer, 2010). Toda la información recopilada de un afloramiento servirá para hacer una interpretación preliminar de ese punto específico, por lo que entre más evidencias se tengan, mejor se reforzarán las interpretaciones.



Figura 64. Ejemplo de cómo se observan los minerales en una muestra de mano, de las rocas que constituyen el afloramiento, con la ayuda de una lupa de diferentes aumentos (10x ó 20x). (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, camino a casa de Máquinas-CFE, carretera San Joaquín, Qro. - Casa de máquinas CFE, Hgo., noviembre 2020).

Siempre es recomendable hacer un esquema o dibujo representativo por cada afloramiento. En estos dibujos se deben resaltar y registrar los aspectos más importantes de cada unidad de roca en las distintas escalas de trabajo utilizadas (Freeman, 1999; Stow, 2005; Coe, 2010a; Kruhl, 2017). También es necesario utilizar la simbología geológica estandarizada, con el objetivo de representar la litología y las estructuras geológicas presentes en cada unidad, agregando algunas mediciones para soportar las descripciones de éstas (Barnes y Lisle, 2004; Stow, 2005). En los esquemas y dibujos deben indicarse la ubicación mediante un sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), la escala y la orientación de la vista de cada afloramiento (Coe, 2010a; Kruhl, 2017).

B) Toma de muestras de rocas

La toma de muestras de roca es una actividad que necesaria para diferentes propósitos; análisis químicos, fechamientos macro/micropaleontológicos, radiométricos, petrografía, caracterización de microestructuras, evaluación de porosidad, o simplemente para comparación de rocas de otras localidades de interés cartográfico (Compton, 2016). Las muestras se colectan una vez que el afloramiento ha sido descrito detalladamente y se han caracterizado las estructuras geológicas. Si es posible, se toma una fotografía del afloramiento señalando el sitio de muestreo, con un objeto como escala (Figura 65A).



Figura 65. Ejemplo de cómo se obtiene una muestra de un depósito en campo. (A) Primero se debe hacer un esquema del afloramiento junto con su descripción, así como tomar una fotografía con una escala apropiada del afloramiento. (B) El segundo paso consiste en recolectar una porción del depósito o capa de roca (puede ser granular o una muestra de roca), en una bolsa de plástico rotulada con una clave de control, la cual también se debe anotar junto con la descripción del afloramiento. (Fotografías tomadas por Fabiola Mendiola, calle El Llorón, Peribán de Ramos, Michoacán, marzo 2020).

La cantidad y la forma en que se manipulan las muestras dependerán del tipo o tipos de análisis para los cuales están destinadas, pero todas deben de ser representativas para el propósito asignado. Independientemente del fin para el que sean colectadas, deben cumplir con determinados protocolos de muestreo, por lo que deben de ser almacenadas dentro de una bolsa limpia y etiquetada (Figura 65B); generalmente indicando el lugar, la fecha y el número de la muestra; agregando una letra si son varias muestras del mismo sitio (Coe, 2010b; Spicer, 2010; Compton, 2016). En el caso de que se requiera, también deben orientarse “*in situ*”, antes de extraerla del afloramiento. Adicionalmente, en la libreta de campo, se deberá anotar la etiqueta correspondiente a la muestra, su localización con GPS, la unidad de roca a la que pertenece y una breve descripción de esta, e indicar para qué propósito fue tomada. En el caso de que las muestras sean colectadas en una misma sección estratigráfica, se deberá indicar el nivel estratigráfico al que corresponde (Figura 66).

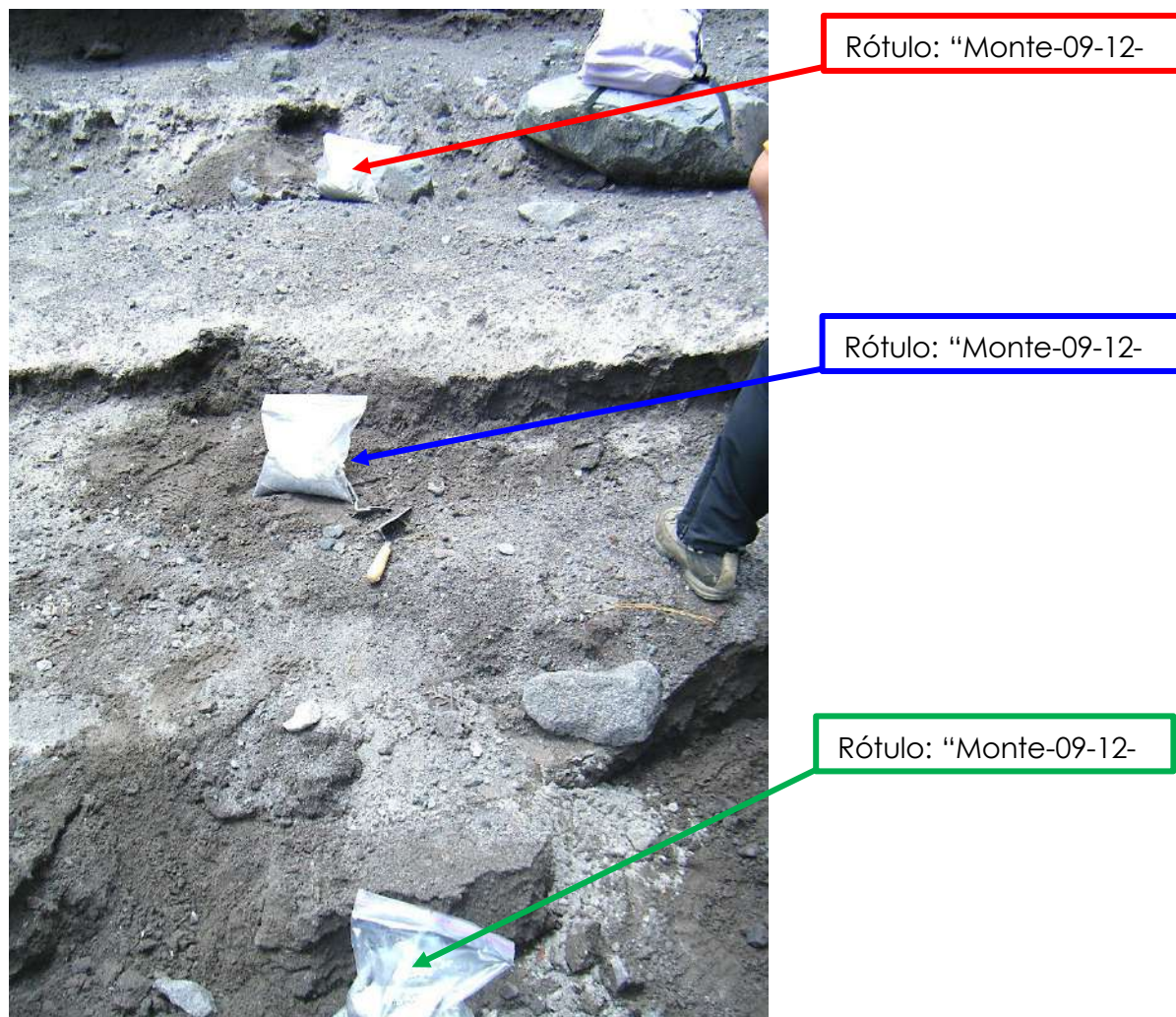


Figura 66. Fotografía que muestra la forma de rotular las bolsas con muestras, cuando se toman varias muestras dentro de un mismo afloramiento. Generalmente, se les pone la clave del sitio en donde se está muestreando, en este caso la Barranca Montegrande, por eso la clave comienza por "Monte"; luego, es deseable indicar la fecha en la que se está tomando la muestra, en este caso "09-12", por tratarse del mes de septiembre de 2012. Finalmente, se puede indicar con una letra, el nivel estratigráfico en el que se está recolectando la muestra, comenzando con la parte inferior del afloramiento, hacia arriba; por eso, en esta imagen, la bolsa que contiene la muestra inferior tiene la etiqueta "A"; luego la que se ubica inmediatamente arriba, la "B", y la bolsa que contiene la muestra del depósito que se encuentra más arriba, está denotada por "C" (Fotografía tomada por Rosario Vázquez, barranca Montegrande en Volcán de Colima, septiembre 2014).

C) Toma de muestras granulométricas

Las características texturales más importantes de una roca constituida por clastos consolidados o de un depósito sin consolidar, son: su granulometría, grado de selección y estructuras sedimentarias. Las estructuras reconocibles en el afloramiento (lentes, gradación, estratificación, etc.) permiten establecer la naturaleza del evento que las generó, el tipo de transporte y sedimentación (Sarocchi et al., 2005). No obstante, las características texturales observadas en el campo deben ser confirmadas a través del análisis del tamaño de partícula, también conocido como análisis granulométrico. La granulometría permite conocer la medida de los granos de los sedimentos (ya sean depósitos volcánicos, sedimentarios o incluso de suelos), por lo que con el análisis granulométrico se puede obtener información importante como: su origen, propiedades mecánicas y el cálculo de la abundancia de cada familia de tamaño de grano, dentro de la escala granulométrica (Tabla C.1), la cuál va desde 256 hasta 0.001 mm (partículas del tamaño de bloques hasta arcillas, respectivamente).

Tabla C.1. Escala granulométrica de Udeen (1914) -Wentworth (1922) (elaborada por Rosario Vázquez).

mm	phi	Elemento		Sedimento		Roca Sedimentaria	
		Bloque		Grava	gruesa	Rudita Conglomerado Brecha	
256	-8						
128	-7	Canto			media		
64	-6						
322	-5	Guijarro					
16	-4						
8	-3						
4	-2						
2	-1	Granulo		Gravilla	fin		
1	0	Arena	muy gruesa	Arena	muy gruesa	Arenisca	
0,5	1		gruesa		gruesa		
0,25	2		media		media		
0,125	3		fin		fin		
0,062	4		muy fina		muy fina		
0,031	5		grueso		grueso		
0,016	6	Limo	medio	Limo	medio	Lutita	Limonita
0,008	7		fino		fino		
0,004	8		muy fino		muy fino		
0,002	9		Arcilla		Arcilla		
0,001	10						

El análisis granulométrico a detalle se realiza en el laboratorio, normalmente por medio de la técnica de tamizado de partículas. Sin embargo, antes de poder llevar a cabo este análisis, primero se debe recolectar la muestra que se va a analizar en campo.

Para ello, es conveniente que el afloramiento que se va a muestrear sea lo suficientemente deleznable (que no esté completamente consolidado o litificado), a fin de que se pueda extraer la mayor cantidad posible de muestra con el uso de una pica, o con cincel y martillo (Figura 67), y con la ayuda de una pala, para evitar que se pierda la muestra extraída durante el proceso.



*Figura 67. Ejemplo de cómo se obtiene una muestra para granulometría de un depósito en campo. (A) Primero se debe tomar una fotografía del afloramiento o depósito que se va a muestrear, con una escala adecuada; (B) También se debe hacer una descripción del depósito en la libreta de campo y señalar de qué porción del depósito se va a tomar la muestra. *Dependiendo del tipo de análisis para el cual se vaya a extraer la muestra, dependerá el tamaño de la porción de muestra recolectada, variando desde unos 250 gr hasta 2 kilos. (Fotografías tomadas por Rosario Vázquez, barranca Montegrande en Volcán de Colima, julio de 2015).*

Cabe resaltar que la superficie del afloramiento a partir del cual se va a extraer la muestra granulométrica primero debe ser limpiado de cualquier tipo de vegetación, raíces o material intemperizado, a fin de que la muestra que se recolecte sea una muestra fresca.

El tamaño (volumen) de la muestra a recolectar, dependerá de la finalidad de esta; ya que hay algunos análisis sencillos que solo requieren entre 250 y 500 gramos, mientras que los más detallados, requieren de al menos 2 kg de muestra para ser procesados adecuadamente. En caso de que la muestra recolectada contenga porciones litificadas, será necesario hacer una disgregación de esta en el laboratorio.

En campo, también nos podemos topar con afloramientos que contengan fragmentos de clastos o líticos con diámetros mayores a 264 mm. En este caso, estos fragmentos se deben recolectar en una muestra aparte, mientras que las porciones de fracciones menores de líticos y sedimentos, se mantendrán en una sola muestra. Para el caso del muestreo de depósitos volcánicos, dependiendo del tipo de depósito (e.g., depósitos de caída de tefra, Figura 68), será necesario realizar mediciones del tamaño de los fragmentos de pómez o de líticos más grandes, antes de ser extraídos para la muestra. Así como también, separar los

fragmentos de carbón o madera carbonizada, en caso de estar presente en el depósito, para su análisis aparte.



Figura 68. Fotografía que muestra el afloramiento de un depósito volcánico de caída, asociado a una erupción pliniana del Volcán Jocotitlán (Fotografías tomadas por Rosario Vázquez, a un costado de la carretera Federal 5, Atlacomulco – Villa del Carbón, Estado de México, noviembre de 2012).

D) Toma de datos estructurales

La medición de estructuras geológicas planares y lineares es fundamental para poder caracterizar su geometría, cinemática y comportamiento espacial dentro de las unidades de roca que las contienen y, de esta manera, representarlas en un mapa. Para obtener datos estructurales representativos es necesaria la medición sistemática de estructuras geológicas primarias y secundarias, tanto de carácter local como regional. Para la medición existen básicamente tres tipos de brújulas-clinómetros (Figura 69, A: Tipo Brunton, B: tipo Freiburger o estructural, y C: tipo Silva con clinómetro), cada una teniendo características que les dan ciertas ventajas o desventajas frente a las otras (Freeman, 1999; Coe, 2010c). Sin embargo, el principio de todas ellas es básicamente medir la orientación de planos y líneas respecto al Norte y la inclinación de esos planos respecto a la horizontal.



Figura 69. Tipos de brújulas utilizadas para la medición de estructuras geológicas, A: tipo Brunton, B: tipo Freiburger o estructural y C: tipo Silva (Fotografías de brújulas tomadas por Edna López, septiembre 2022).

Antes de iniciar con la medición de estructuras, es importante saber que la aguja magnética de la brújula siempre apunta hacia el norte magnético de la Tierra, el cual no coincide con el polo norte geográfico o verdadero (rotacional). Para que los datos estructurales medidos en campo sean ajustados al norte geográfico, es necesario hacer el ajuste con la declinación magnética del lugar de trabajo (Freeman, 1999; Barnes y Lisle, 2004; Compton, 2016). La declinación magnética es la diferencia, hacia el este u oeste, que existe entre el norte geográfico y el norte magnético, y ésta varía con el tiempo y de un lugar a otro. Las cartas topográficas del INEGI a escalas 1:20,000 y 1:50,000 traen indicada la declinación magnética en cada una de sus hojas topográficas que cubren la superficie de la República Mexicana. La declinación magnética actual de cualquier punto también se puede calcular en el sitio web de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés). La declinación magnética se puede hacer directamente en la brújula, girando, a través de un tornillo, la escala graduada hacia la izquierda

(Oeste) o hacia la derecha (Este) los grados que sean indicados para el área que se esté trabajando. Si no deseas declinar la brújula puedes aplicar esta corrección a los datos estructurales medidos, sumando la declinación magnética (si es hacia el Este) o restando la declinación magnética (si es hacia el Oeste).

Se deberá establecer la representación de la orientación de las estructuras medidas; ya sea expresadas en cuadrantes (de 0-90°; NE, SE, NW o SW) o en el círculo completo/azimutal (de 0-360°, en sentido horario), como los ejemplos mostrados en la Figura 70. Es recomendable utilizar siempre los tres dígitos (000° a 360°) para las direcciones azimutales y así evitar confundirse con la inclinación (00° a 90°) de líneas o planos.

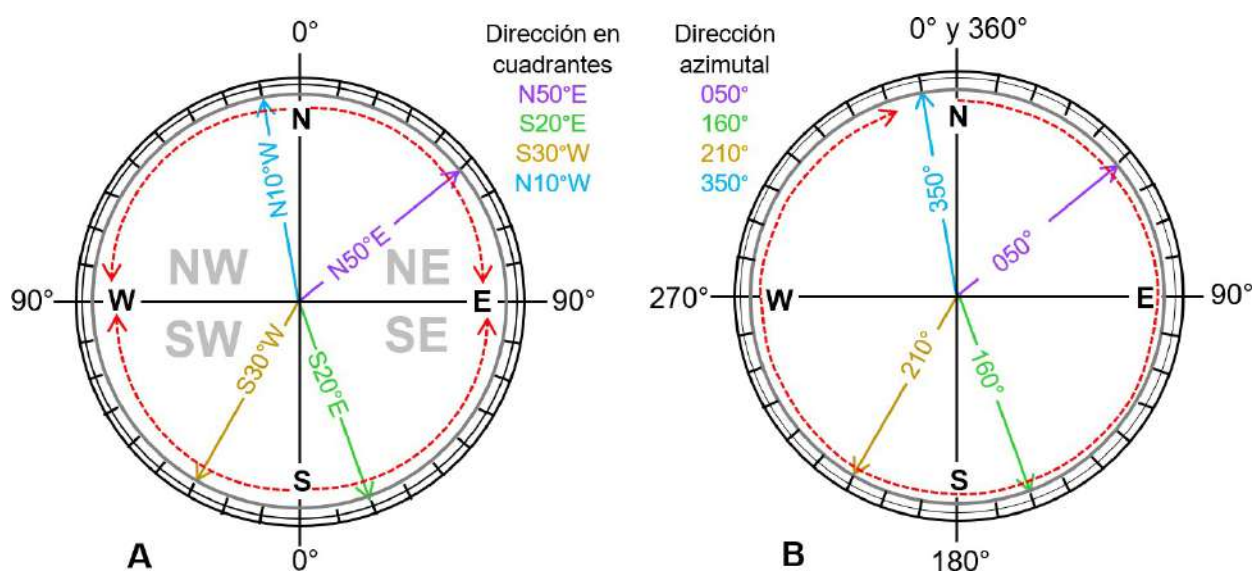


Figura 70. Representación de ejemplos de orientaciones expresadas en: A, cuadrantes y B, azimutal o círculo completo (dibujos elaborados por Berlaine Ortega, diciembre 2020).

E)Medición de estructuras planares

Antes de empezar a medir la actitud de superficies planares (estratificación, fallas, fracturas, clivaje, foliación, superficies de contacto, intrusiones de cuerpos tabulares, vetas, etc) es importante recordar los elementos que representan la actitud de un plano: rumbo, dirección de buzamiento y magnitud del buzamiento (α , Figura 71-A). El rumbo es la dirección (000° - 360° en azimuth) de la línea de intersección del plano de la estructura geológica con un plano horizontal de referencia; la dirección de buzamiento es la dirección (000° - 360° , en azimuth) hacia la cual el plano se inclina; la magnitud de buzamiento es el ángulo de inclinación (entre 00° - 90°) de ese plano con respecto a una superficie horizontal de referencia (Lisle, 2020).

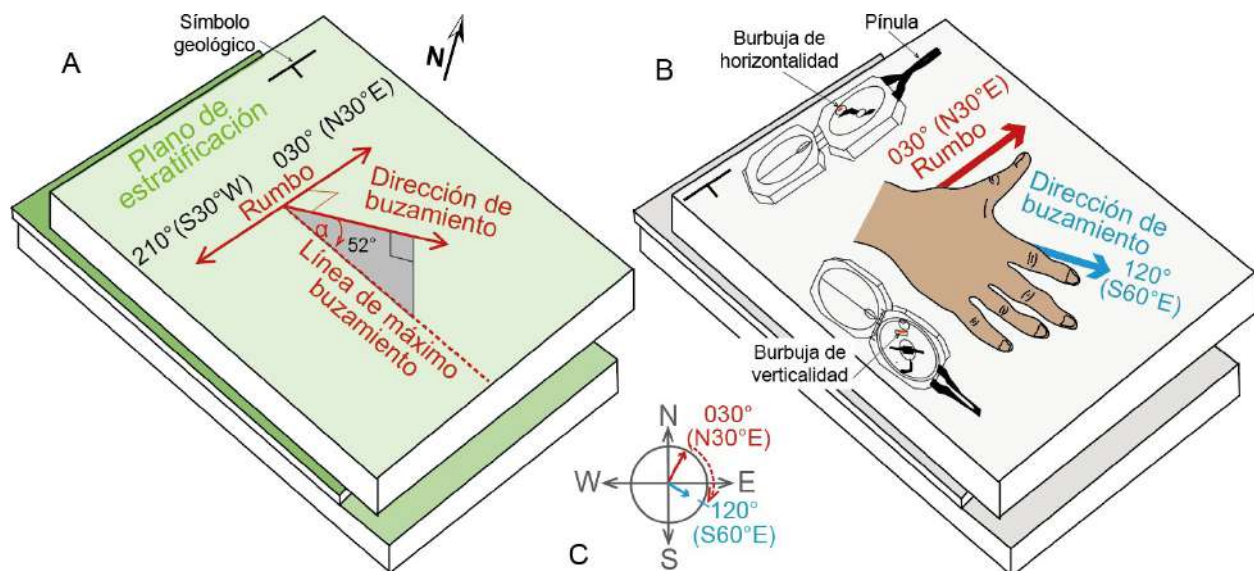


Figura 71. A, Representación esquemática del rumbo, dirección de buzamiento y ángulo (α) de buzamiento (echado) de un plano de estratificación inclinado. Note que la dirección del echado de un plano es perpendicular a su rumbo, mientras que la magnitud de su buzamiento (α) puede variar entre 0 y 90° . B, Representación del rumbo y la dirección del buzamiento de un plano con la regla americana de la mano derecha. C, Relación del rumbo y la dirección del buzamiento siguiendo la regla de la mano derecha, en sentido horario (dibujos elaborados por Berlaine Ortega, diciembre 2020).

El rumbo de un plano siempre será perpendicular a la dirección de su buzamiento, como se muestra en la figura 3. Sin embargo, el rumbo pudiera tener cualquiera de los dos sentidos (Figura 71-A). Para saber cuál es el sentido correcto, convencionalmente se utiliza la regla americana de la mano derecha (Freeman, 1999); colocando la mano derecha en la superficie del plano inclinado de tal forma que los cuatro dedos apunten hacia donde se inclina el plano (dirección de buzamiento o echado), mientras que el dedo pulgar apunte hacia la dirección del rumbo (Figura 71-B). Esto significa que la dirección del buzamiento siempre estará a 90° en el sentido horario, del rumbo. Convencionalmente, se utiliza un símbolo para indicar el rumbo y buzamiento de la estructura planar, donde la línea más larga indica el rumbo y la más corta (ésta

puede variar dependiendo de la estructura geológica en cuestión) indica la dirección de buzamiento (Figuras 71 y 72).

En el ejemplo de la Figura 71-A, el rumbo del plano tiene una dirección azimutal 030° - 210° (o $N30^{\circ}E$ - $S30^{\circ}W$, si se usa la notación en cuadrantes). Si utilizamos la regla de la mano derecha (Figura 71-B) sabremos que el rumbo correcto será 030° ($N30^{\circ}E$) y que, a partir de ahí, a 90° en sentido horario estará la dirección del buzamiento del plano a 120° ($S60^{\circ}E$), como se muestra en las figuras 71-B y 71-C. La medición del rumbo de este plano con una brújula Brunton se hará con la pínula de la brújula a la derecha y ajustando la burbuja de horizontalidad en el centro del círculo (Figura 64-B), mientras que la magnitud de buzamiento (α) del plano se tomará colocando la brújula con la pínula en dirección al máximo buzamiento y ajustando la burbuja de verticalidad en el centro (Figura 72). Para registrar las mediciones que representan la actitud del plano se debe optar por alguna notación (Barnes y Lisle, 2004; Argles, 2010a). Una notación larga incluye el rumbo, el ángulo de buzamiento o echado y la indicación de la dirección hacia la cual se inclina el plano: 030° (o $N30E$)/ $52^{\circ}SE$; la notación corta registra la dirección del buzamiento o echado del plano y el ángulo de buzamiento, sin necesidad de indicar la dirección hacia la cual se inclina el plano, quedando de la siguiente manera: 120° (o $S60^{\circ}E$)/ 52° .

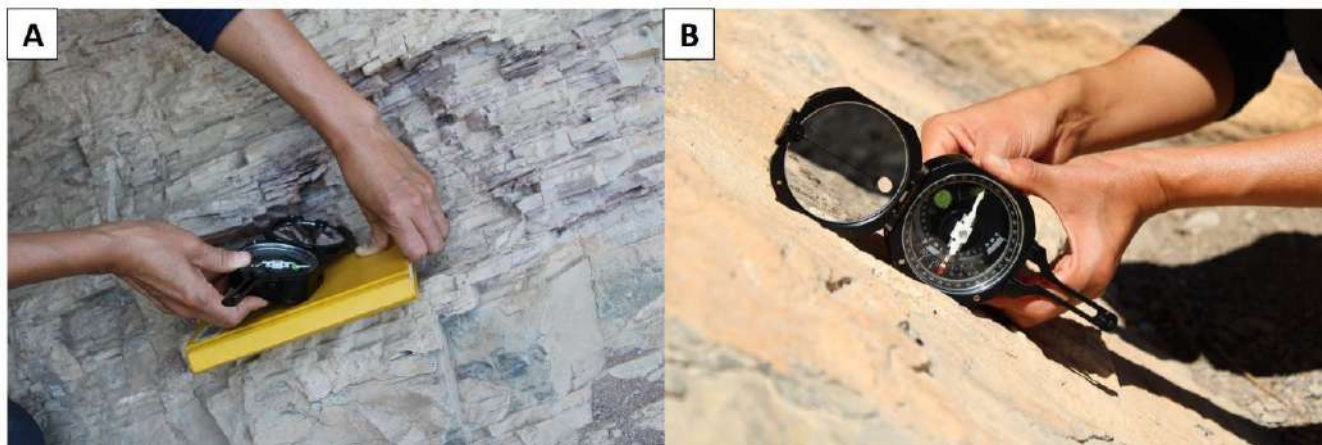


Figura 72. Fotografías que ejemplifican la forma de tomar los datos estructurales con una brújula Brunton. (A) Medición del rumbo de los estratos; (B) Medición del buzamiento de la capa de roca. (Fotografías tomadas por Rosario Vázquez, camino de terracería Vizarrón – El Suspiro, Qro., noviembre 2020).

F) Medición de líneas estructurales contenidas en un plano

Algunas estructuras geológicas planares pueden tener lineaciones de minerales, clastos o fósiles que ayudan a una mejor interpretación del registro geológico. Estas estructuras lineares podrían indicar la dirección del desplazamiento en fallas geológicas, estiramiento debido a la deformación o la dirección del flujo en lavas o de partículas sedimentarias, por ejemplo (Compton, 2016; Waldron y Snyder, 2020).

Para determinar el comportamiento tridimensional de una línea en el espacio se consideran su orientación y su inclinación; el *plunge* (Figura 73-A). La dirección del plunge nos indica hacia donde se inclina la línea, mientras que el ángulo del plunge indica cuánto se inclina en el sentido vertical a partir de una superficie horizontal de referencia (Lisle, 2020). Una línea horizontal tendrá un ángulo de plunge de 0° , mientras que una línea vertical tendrá un ángulo de plunge de 90° . Para medir la dirección y el ángulo del plunge de cualquier línea con una brújula Brunton (Figura 73-A), ésta se coloca horizontal con la pínula apuntando hacia la dirección donde se inclina la línea, con el borde largo de la brújula abierta paralelo a la línea. El ángulo del plunge se puede medir directamente con el clinómetro de la brújula, centrando la burbuja de verticalidad y con el apoyo de un lápiz (sin componentes metálicos), como se indica en la Figura 73-A. Se debe registrar la lectura correctamente, indicando que se trata de una línea o colocando el símbolo que representa a la estructura, seguido por los valores medidos (línea: 185° (o $S05^\circ W$) / 45° , Figura 73-A) para no confundir con las mediciones hechas para un plano inclinado.

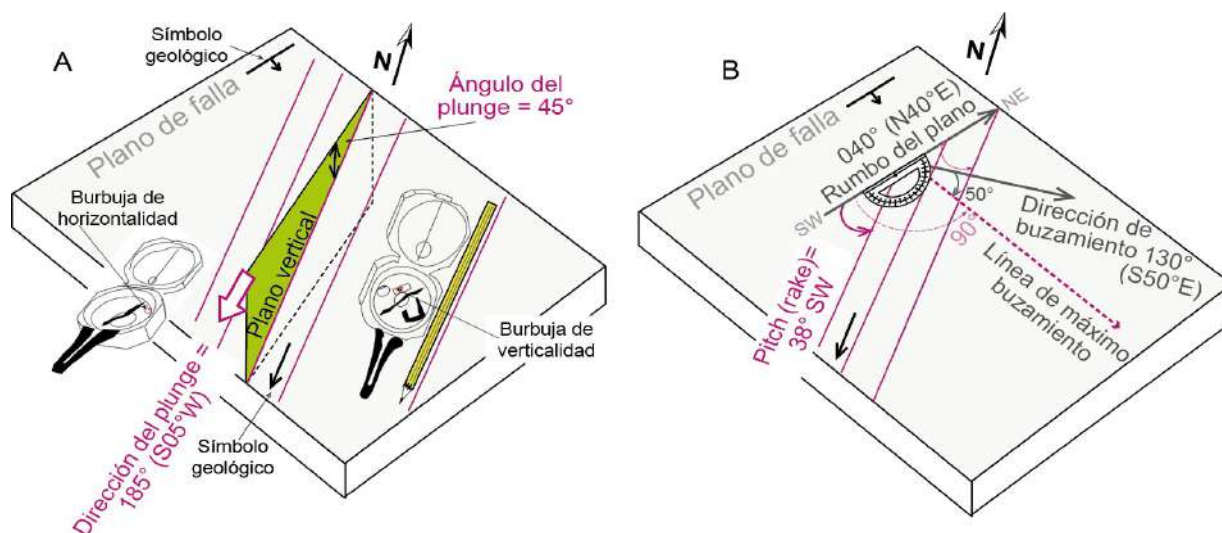


Figura 73. Líneas paralelas contenidas en un plano inclinado. A, Representación esquemática de la dirección del plunge y el ángulo del plunge de una línea, medido con respecto a la horizontal de un plano vertical de referencia. B, representación del pitch o rake de una línea medido a partir del rumbo del plano inclinado que la contiene (dibujos elaborados por Berlaine Ortega, diciembre 2020).

Otra manera de medir líneas y únicamente cuando están contenidas en un plano es mediante el *pitch* o *rake* (Figura 73-B). El pitch o rake es el ángulo medido sobre el plano entre la línea de rumbo y la línea de interés. Es generalmente el ángulo agudo, a menos que la línea de interés esté orientada en la misma dirección que la línea de máximo buzamiento del plano que la contiene (pitch = 90°). Si hemos medido antes el rumbo y el buzamiento del plano, es más conveniente medir el pitch de la línea directamente con un transportador a partir del rumbo del plano (Figura 74), el cual es una línea horizontal (Figura 74-B). La lectura del ejemplo del plano de falla de la Fig. 74-B sería: 040°/50°SE; 38°SW (notación larga) o 130°/50°; 38°SW (notación corta).

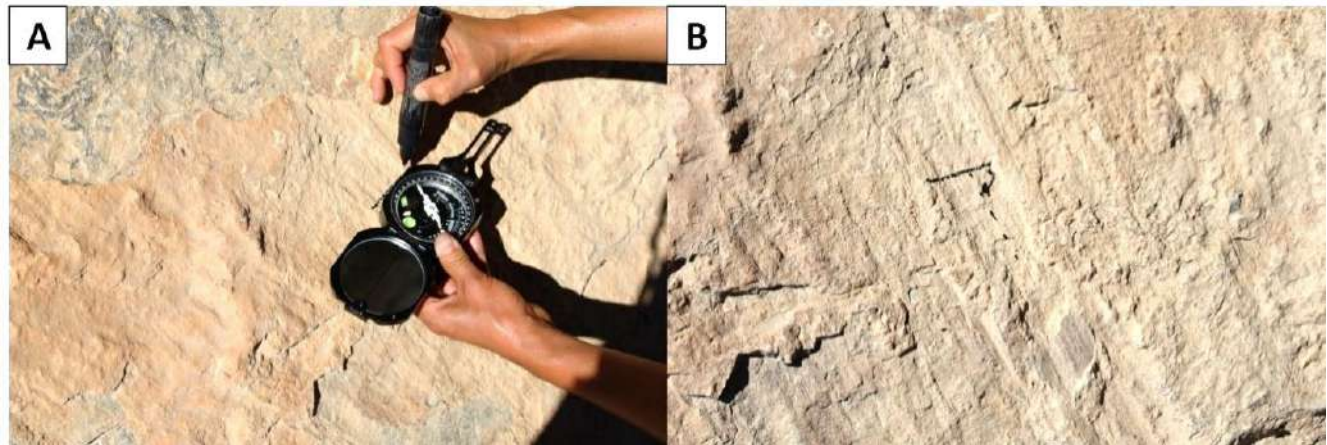


Figura 74. Fotografías que ejemplifican la forma de medir, con brújula Brunton el pitch de estrías contenidas en un plano de falla. (A) Medición del rumbo del plano de falla; (B) Medición del pitch. (Fotografías tomadas por Rosario Vázquez, camino de terracería Vizarrón – El Suspiro, Qro., noviembre 2020).



G)Inventario botánico a través de transecto de 0.1 ha (Plantas, artrópodos e interacciones)

Artrópodos y plantas son dos de los grupos más diversos en el planeta, por lo que es muy importante considerarlos en nuestros estudios para poder entender mejor la riqueza biológica en los ambientes estudiados. Para ello, se propone realizar un inventario botánico a través de un transecto, y al mismo tiempo registrar los artrópodos que se encuentren asociados a tales plantas, así como la evidencia de herbivoría, en un área específica. Realizar un inventario a través de transecto de 0.1ha nos permite conocer la riqueza y abundancia de especies del área, la cantidad de biomasa vegetal, así como identificar gradientes altitudinales y zonas de mayor importancia para conservación, y al asociarlo con los artrópodos, se reconocerán la diversidad de interacciones y su importancia para el mantenimiento de la biodiversidad.

Objetivos:

- 1) Determinar la riqueza de especies vegetales y de artrópodos asociados
- 2) Determinar si el esfuerzo de muestreo fue adecuado
- 3) Calcular índices de diversidad
- 4) Calcular la biomasa aérea de las especies leñosas
- 5) Identificar interacciones entre plantas y artrópodos
- 6) Evaluar tasas de herbivoría

Material:

- 5 cintas métricas de 50 m
- 5 cintas métricas de 3 m
- 5 GPS
- 5 bitácoras de campo
- Lista preliminar de especies vegetales del área
- Prensa botánica con cartón y periódico
- Cámara
- Cuadro de 15 x 15 cm

Metodología:

Siguiendo la metodología de propuesta por Gentry (1988), se realizarán cinco transectos paralelos de 2 m x 100 m, colocados a 20 m de separación, para cubrir un área total de 0.1 ha (Figura 75-A). Cada equipo (2-3 personas) realizará 1 transecto y después juntaremos los datos.

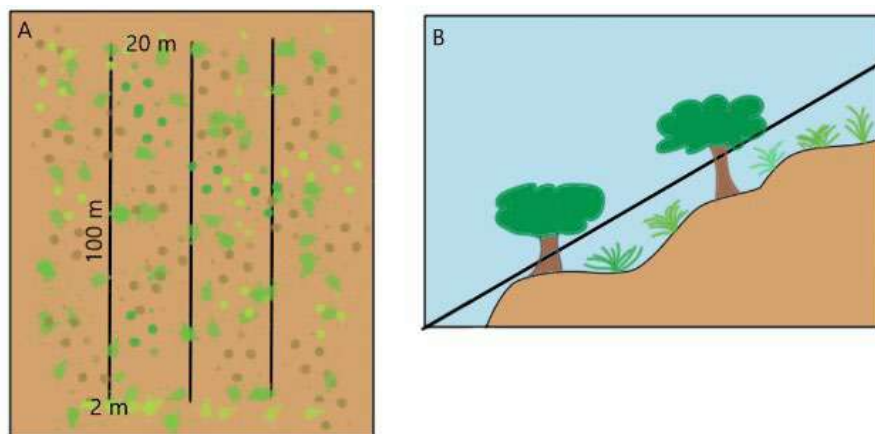


Figura 75. Transectos paralelos de 2 x 100 m de acuerdo con la metodología de Gentry (1988). A) Vista área de tres transectos paralelos con un espacio de 20 m entre cada uno. B) Vista lateral de un transecto perpendicular a la pendiente. (Dibujos elaborados por Edna López, octubre 2022).

Una vez escogido el punto de inicio del transecto (20 m de separación mínimo entre equipos, se registran las coordenadas iniciales utilizando el GPS. Después se despliega la cinta métrica de 50 m de manera perpendicular a la pendiente (Figura 75-B) y se registran las coordenadas del punto medio utilizando el GPS. Un compañero debe quedarse deteniendo la cinta en el punto inicial. Una vez colocada la cinta, el equipo se reúne al inicio del transecto para empezar el levantamiento de datos. Se registrarán todas las plantas cuya base se encuentre a máximo 1 m de la cinta de cada lado. Se anota la identidad del espécimen (nombre del género y especie, o en dado caso que no conozcamos la identidad de la planta, la anotamos como morfoespecie), el metro del transecto dónde ocurre, su altura y su cobertura, al mismo tiempo se registrará la presencia de artrópodos en las plantas, en hojas, tallos o troncos, y se tomará el registro fotográfico de los grupos encontrados. La cobertura de una planta se estima dando dos medidas perpendiculares usando la cinta métrica (Figura 76).

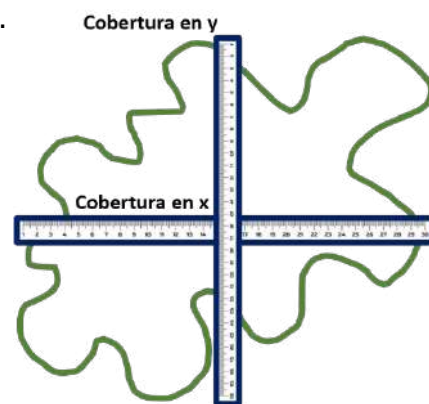


Figura 76. Vista área de medidas de cobertura de dosel (dibujo elaborado por Rosario Vázquez, marzo 2023).

En el caso de las especies leñosas, se mide el diámetro del tronco a la altura del pecho (DBH). Al finalizar los primeros 50 m se repite la operación, primero estableciendo la cinta y registrando las coordenadas finales del transecto.

Se tomarán muestras de las especies no identificadas para ser llevadas al herbario. Para esto se recolectarán hojas, tallos, flores y frutos, usando una prensa botánica. Es muy importante relacionar el espécimen colectado al nombre de la morfoespecie que usamos en nuestro transecto. Para registrar el grado de herbivoría, se usará el cuadro de 15 x 15, para ver el porcentaje de rastros de herbivoría que presenten las plantas leñosas en cada cuadrante. Se coloca el cuadro sobre el follaje y se estima la cantidad de tejido vegetal que ha sido ingerido por los insectos herbívoros (Figura 77). Es conveniente hacer estimaciones en múltiplos de 10 como por ejemplo 10, 20 o 50%.

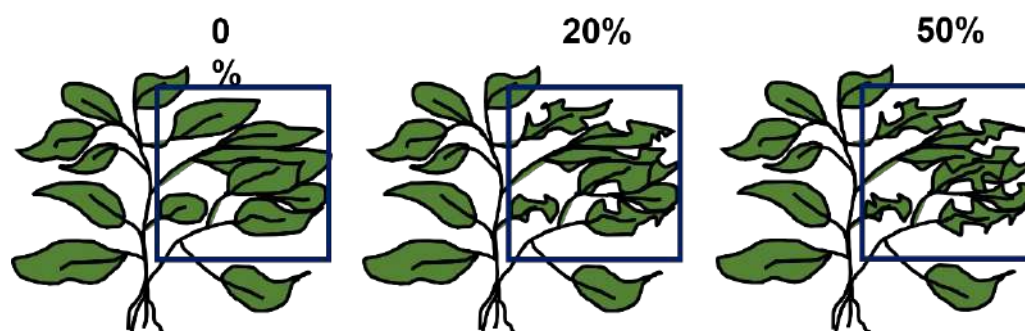


Figura 77. Cuadro de 15 x 15 cm colocado sobre el follaje con diferentes grados de herbivoría (dibujos elaborados por Rosario Vázquez, marzo 2023).

Recuerda tomar notas sobre el tipo de roca y el color del suelo que vas a ir encontrando a lo largo del transecto. Una vez terminados todos los transectos los datos se corroborarán entre los cinco equipos. Es importante verificar que exista coherencia entre los nombres que los diferentes equipos han usado para las morfoespecies.

Trabajo de gabinete

Una vez compilados los datos en la computadora, podemos hacer el análisis de datos.

Curva de acumulación de especies:

El primer dato que vamos a calcular es la riqueza de especies vegetales y animales (S). Sin embargo, debemos tener una medida de qué tan exhaustivo fue nuestro muestreo. Quizás hay muchas más especies en el área que nosotros no logramos incluir en nuestro muestreo. Esto los podemos saber a través de una curva de acumulación de especies. Podemos imaginar nuestros 5 transectos de 100 m como una sola línea

de 500 m. Para crear una curva de acumulación de especies, podemos calcular el número de especies acumuladas en cada metro de esta línea (Figura 78).

Al graficar el número acumulado de especies en función de los metros muestreados podemos saber si alcanzamos una asíntota en el número de especies o si este número continua a incrementar con un mayor esfuerzo de muestreo.

Índices de diversidad

Un índice de diversidad es una medida matemática de la diversidad de especies de una comunidad. Los índices de diversidad nos proporcionan más información que la simple medida de riqueza de especies (S). Los índices

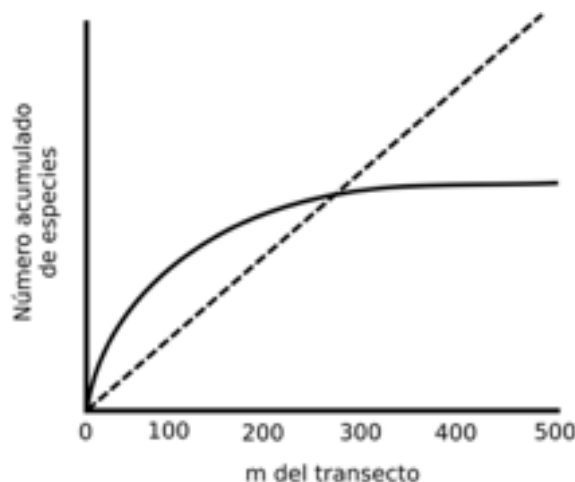


Figura 78. Curva de acumulación de especies. El esfuerzo de muestreo se puede medir con una curva de acumulación de especies. Si la curva alcanza una asíntota el esfuerzo ha sido suficiente (línea negra). Si la curva sigue subiendo, el esfuerzo de muestreo no ha sido suficiente (línea punteada) (gráfico elaborado por Alberto Prado, octubre 2020).

de diversidad también toman en cuenta la abundancia relativa de las diferentes especies. De esta manera un índice de diversidad no solo depende si hay más especies en la comunidad, si no también si están representadas de manera equitativa.

Un índice de diversidad comúnmente utilizado en ecología es el índice de Shannon (H). Para calcularlo primero requerimos saber qué proporción de la riqueza total (S) está compuesta por cada una de las especies. De esta manera podemos computar:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Dónde p_i podemos es la proporción que representa la especie i del total (S) Otro índice de diversidad comúnmente usado es el índice de diversidad de Simpson:

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S (n_i * (n_i - 1))}{N * (N - 1)}$$

Dónde n_i es el número de organismos que se encontraron de la especie i (abundancia especie i) y N es el número de organismos que se encontraron en total. El índice de Simpson va a variar entre 0 y 1. A medida que el valor se aleje del 1, se tiene mayor dominancia.



Biomasa aérea de las especies leñosas

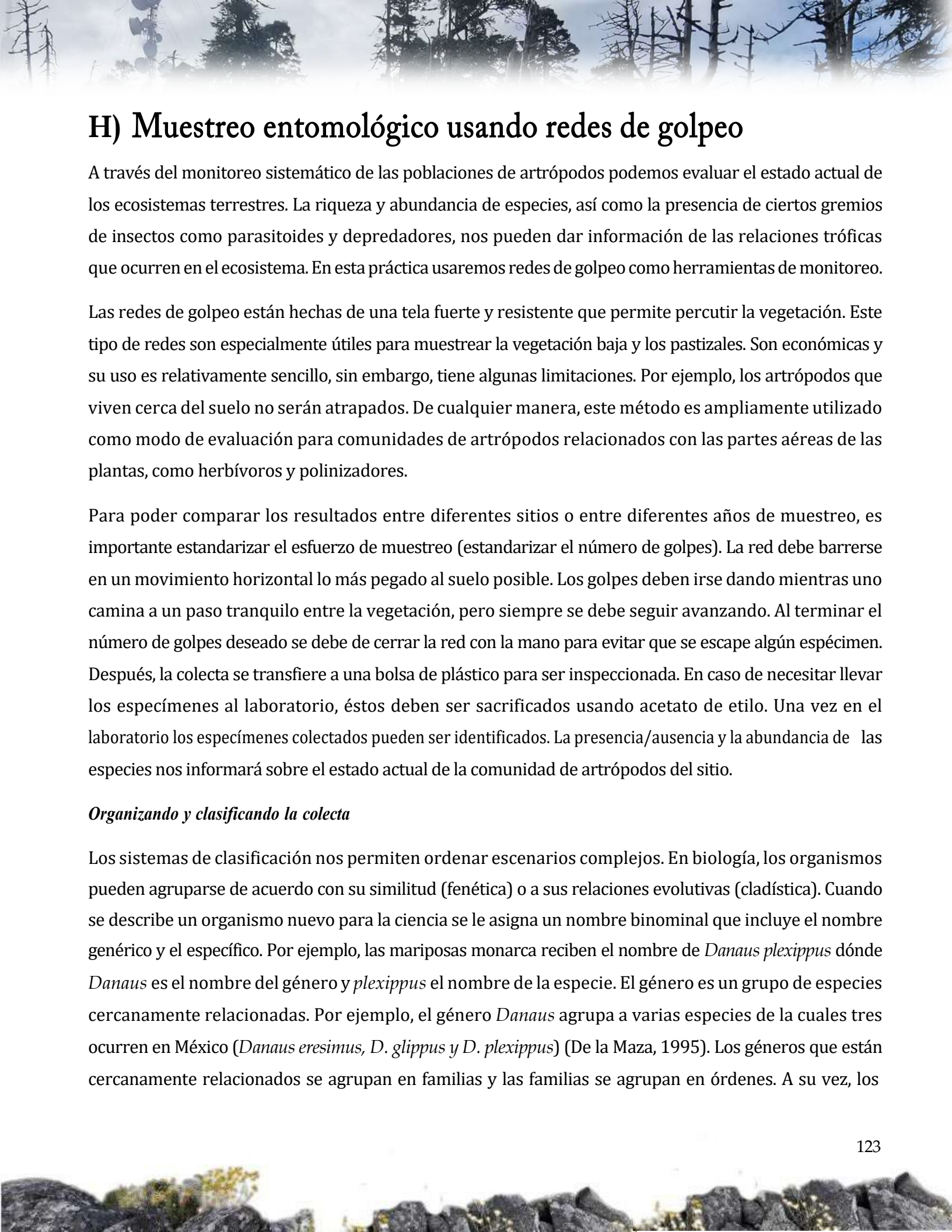
El tamaño de las especies leñosas (altura y DBH) nos permiten conocer la cantidad de biomasa aérea. Esta información es muy importante para entender el ciclo de carbono. Para poder hacer una estimado preciso de la biomasa necesitamos conocer la densidad de la madera de cada una de las especies. Sotomayor et al. (2003) nos proporcionan densidades para 100 especies de maderas mexicanas. Si no conocemos la densidad, por simplicidad podemos imaginarnos que todas las maderas tienen la misma densidad, y usaremos la ecuación propuesta por Martínez-Yrizar et al. (1992) para selvas caducifolias que solo usa el valor de DBH:

$$Y = 10^{-0.535 + \log_{10} (BA)}$$

Dónde Y es la biomasa en kg y BA es el área basal que obtenemos a partir del DBH. Una vez calculadas las biomasa de todos los árboles podemos hacer una estimación de kg/ha.

Tasa de herbivoría

Se calculará el porcentaje de herbivoría de acuerdo con los datos registrados en los cuadros de 15 x 15 cm, y se asociará la presencia de artrópodos, tanto con la diversidad vegetal, como con la productividad (biomasa). Recuerda también relacionar los resultados con el tipo de roca y el tipo de suelo.



H) Muestreo entomológico usando redes de golpeo

A través del monitoreo sistemático de las poblaciones de artrópodos podemos evaluar el estado actual de los ecosistemas terrestres. La riqueza y abundancia de especies, así como la presencia de ciertos gremios de insectos como parasitoides y depredadores, nos pueden dar información de las relaciones tróficas que ocurren en el ecosistema. En esta práctica usaremos redes de golpeo como herramientas de monitoreo.

Las redes de golpeo están hechas de una tela fuerte y resistente que permite percutir la vegetación. Este tipo de redes son especialmente útiles para muestrear la vegetación baja y los pastizales. Son económicas y su uso es relativamente sencillo, sin embargo, tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, los artrópodos que viven cerca del suelo no serán atrapados. De cualquier manera, este método es ampliamente utilizado como modo de evaluación para comunidades de artrópodos relacionados con las partes aéreas de las plantas, como herbívoros y polinizadores.

Para poder comparar los resultados entre diferentes sitios o entre diferentes años de muestreo, es importante estandarizar el esfuerzo de muestreo (estandarizar el número de golpes). La red debe barrerse en un movimiento horizontal lo más pegado al suelo posible. Los golpes deben irse dando mientras uno camina a un paso tranquilo entre la vegetación, pero siempre se debe seguir avanzando. Al terminar el número de golpes deseado se debe de cerrar la red con la mano para evitar que se escape algún espécimen. Después, la colecta se transfiere a una bolsa de plástico para ser inspeccionada. En caso de necesitar llevar los especímenes al laboratorio, éstos deben ser sacrificados usando acetato de etilo. Una vez en el laboratorio los especímenes colectados pueden ser identificados. La presencia/ausencia y la abundancia de las especies nos informará sobre el estado actual de la comunidad de artrópodos del sitio.

Organizando y clasificando la colecta

Los sistemas de clasificación nos permiten ordenar escenarios complejos. En biología, los organismos pueden agruparse de acuerdo con su similitud (fenética) o a sus relaciones evolutivas (cladística). Cuando se describe un organismo nuevo para la ciencia se le asigna un nombre binominal que incluye el nombre genérico y el específico. Por ejemplo, las mariposas monarca reciben el nombre de *Danaus plexippus* donde *Danaus* es el nombre del género y *plexippus* el nombre de la especie. El género es un grupo de especies cercanamente relacionadas. Por ejemplo, el género *Danaus* agrupa a varias especies de las cuales tres ocurren en México (*Danaus eresimus*, *D. glippus* y *D. plexippus*) (De la Maza, 1995). Los géneros que están cercanamente relacionados se agrupan en familias y las familias se agrupan en órdenes. A su vez, los

órdenes se agrupan en clases y las clases en filos, y los filos en reinos. Los dominios son la clasificación más alta de los organismos y existen tres: Bacteria, Archea y Eukarya.

En algunos casos, puede dificultarse la identificación de los niveles taxonómicos más bajos. Una opción para eludir esta limitación es usar el concepto de morfoespecie. Una vez que hemos identificado el Orden al que pertenece el organismo le asignamos un nombre de morfoespecie (Figura 79). Por ejemplo, si colectamos un ejemplar de una mariposa la podemos llamar *Lepidoptera_A*. Cualquier otro individuo que se colecte durante el mismo muestreo que sea similar en morfología a *Lepidoptera_A*, será considerado la misma morfoespecie. El asignarle este nombre temporal nos permite diferenciarla de otras especies de mariposa.

Dominio	Eukarya (8.7 millones)		
Reino	Animalia (7.7 millones)		
Filo	Artrópoda (7 millones)		
Clase	Insecta (6 millones)		
Orden	Lepidoptera (200,000)		
Familia	Nymphalidae (6,000)		
Género	Danaus (12)		
Especie	plexippus (1)		

Figura 79. Sistema de clasificación jerárquico de los organismos vivos. Los números indican el número estimado de especies (esquema elaborado por Alberto Prado, octubre 2020).

Objetivos

- 1) Familiarizarse con el sistema de clasificación de los seres vivos (Figura 79)
- 2) Familiarizarse con los principales órdenes de insectos
- 3) Aprender a usar una clave de identificación
- 4) Aprender a usar el concepto de morfoespecie

Material

- 5 redes de golpeo
- Bolsas ziploc grandes
- Acetato de etilo
- 5 estereoscopios
- Pinzas entomológicas
- Bolas de algodón

Trabajo de campo

Se realizará un muestreo entomológico usando las redes de golpeo. Los alumnos se dividen en cinco equipos. Cada equipo hará 6 muestreos de 50 golpes cada uno percutiendo la vegetación. La red debe barrerse en un movimiento horizontal lo más pegado al suelo posible, mientras se camina a paso lento. Al terminar los 50 golpes, la red se debe cerrar con la mano inmediatamente para evitar que se escape algún espécimen. La colecta es transferida a una bolsa de plástico. A cada bolsa se le agrega una bola de algodón con acetato de etilo para sacrificar a los insectos colectados. Las bolas se pueden reutilizar una vez que los insectos hayan sido sacrificados (aproximadamente 10 min).

Trabajo de gabinete

Una vez en el laboratorio, los especímenes colectados pueden ser identificados a nivel de orden usando la clave de identificación. Cada equipo generará una lista relacionando el número de morfoespecies que se obtuvo para cada orden (ejemplos, Tablas H.1 y H.2). La lista también debe incluir el número de individuos que se obtuvo de cada morfoespecie.

Tabla H.1. Ejemplo de tabla de resultados detallando el número de individuos de cada morfoespecie (elaborada por Alberto Prado, octubre 2020).

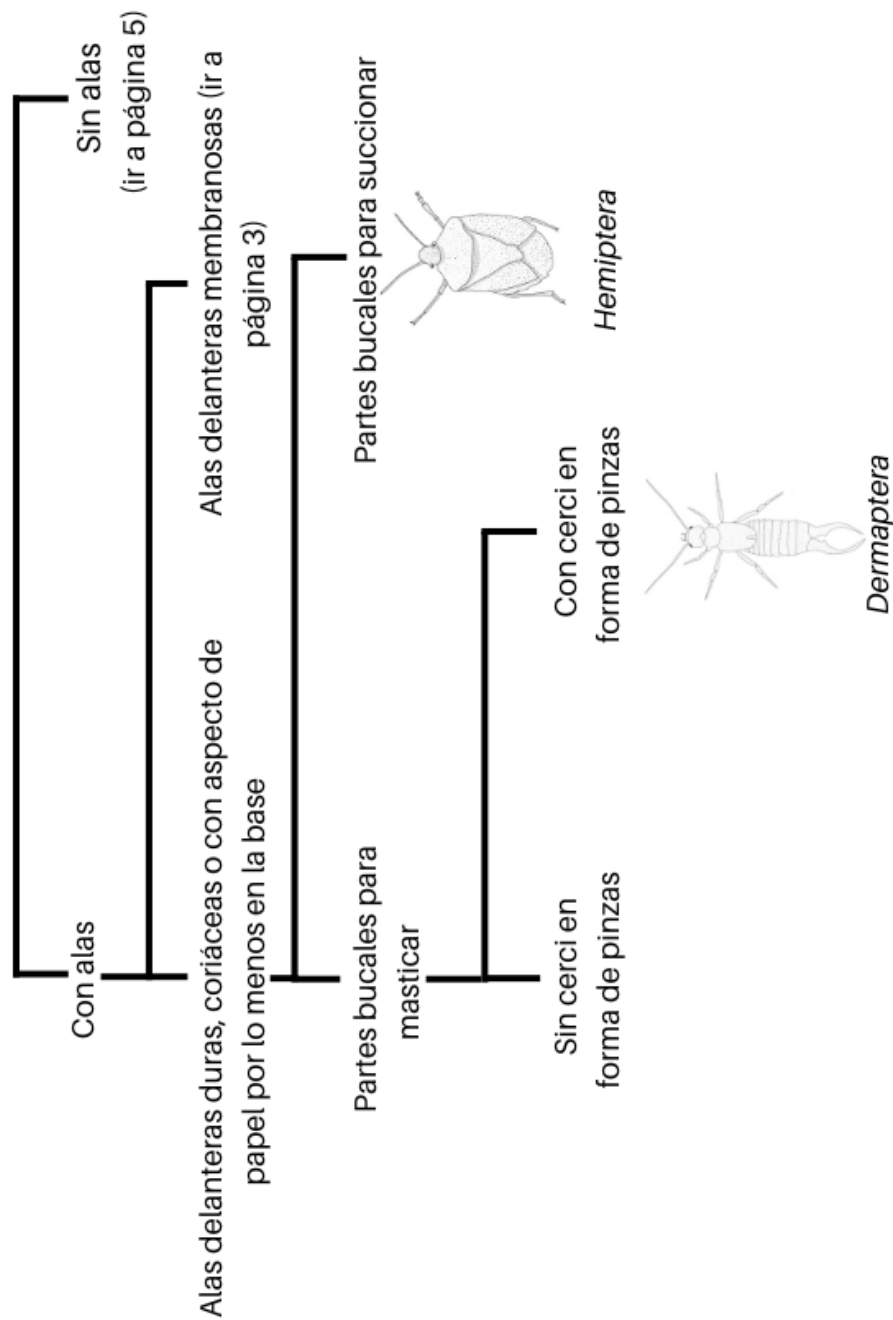
Orden	Morfoespecie	Número de individuos
Coleoptera	Coleoptera_A	12
	Coleoptera_B	3
	Coleoptera_C	7
Lepidoptera	Lepidoptera_A	33
	Lepidoptera_B	8
Hymenoptera	Hymenoptera_A	1
	Hymenoptera_B	2
	Hymenoptera_C	4
	Hymenoptera_D	6

Tabla H.2. Ejemplo de tabla de resultados detallando el número de morfoespecies por cada orden (elaborado por Alberto Prado, octubre 2020).

Orden	Número total de morfoespecies
Coleoptera	3
Lepdoptera	2
Hymenoptera	4

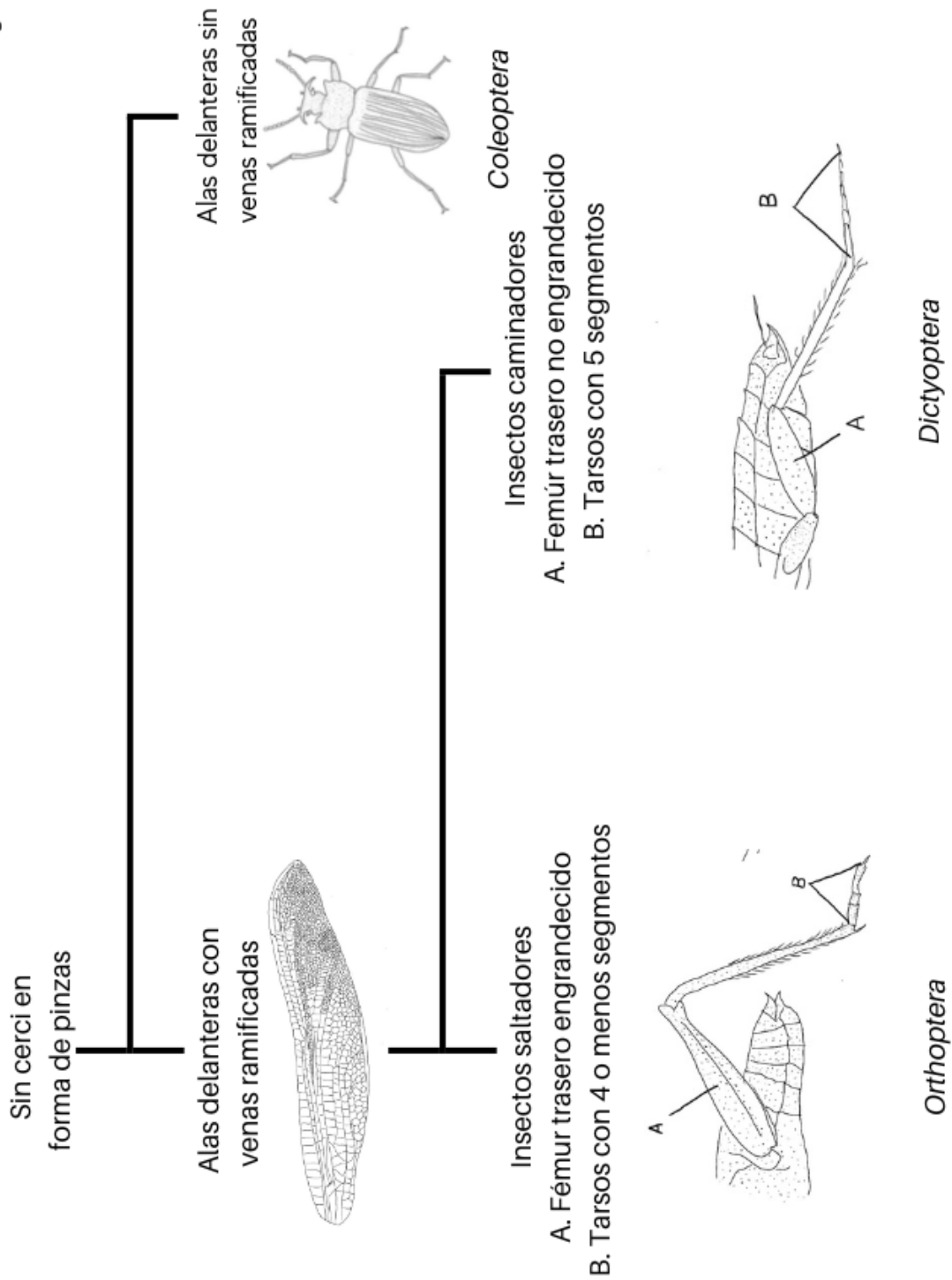
I) Clave Dicotómica

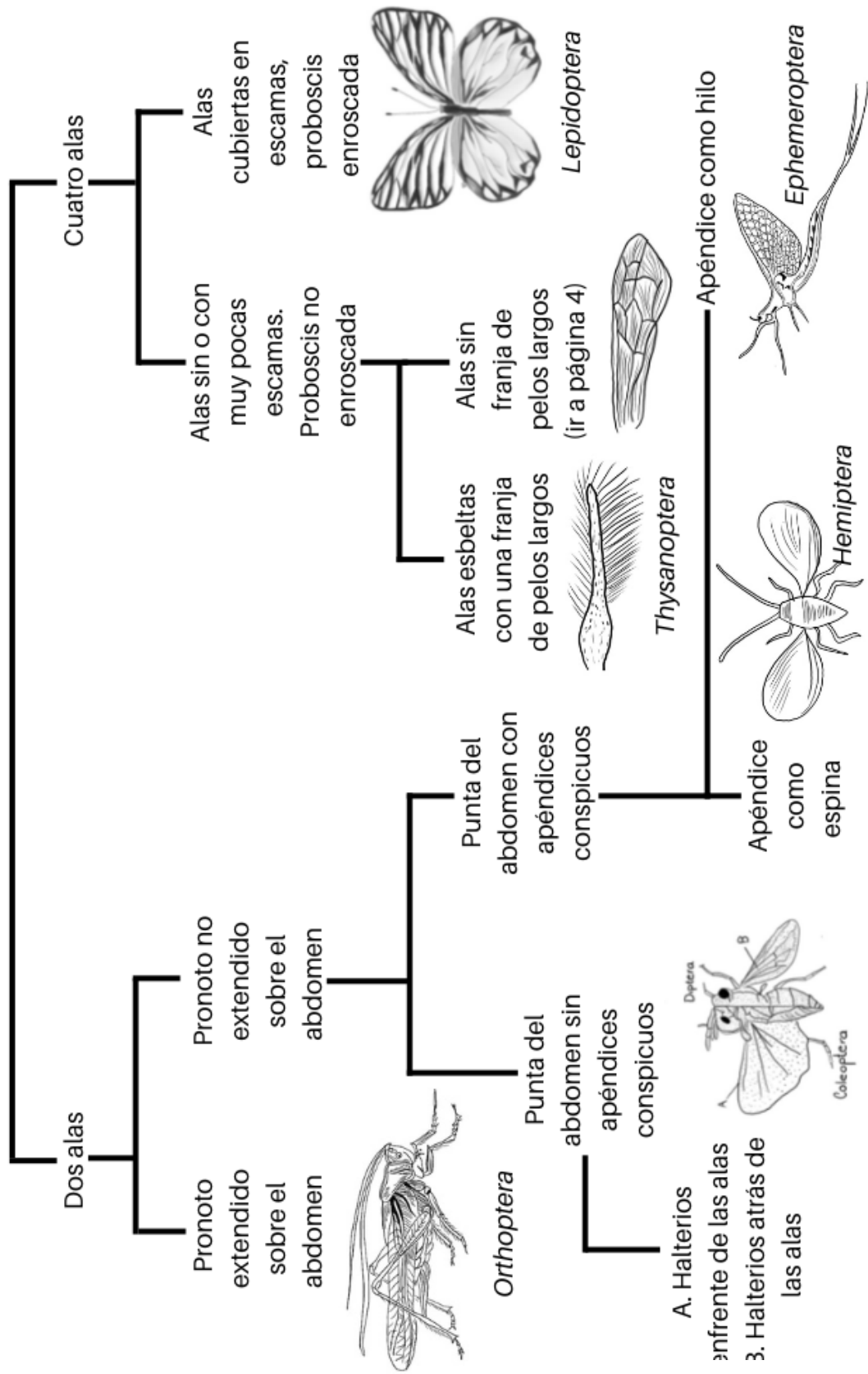
CLAVE DICOTÓMICA PARA IDENTIFICAR ÓRDENES DE INSECTOS

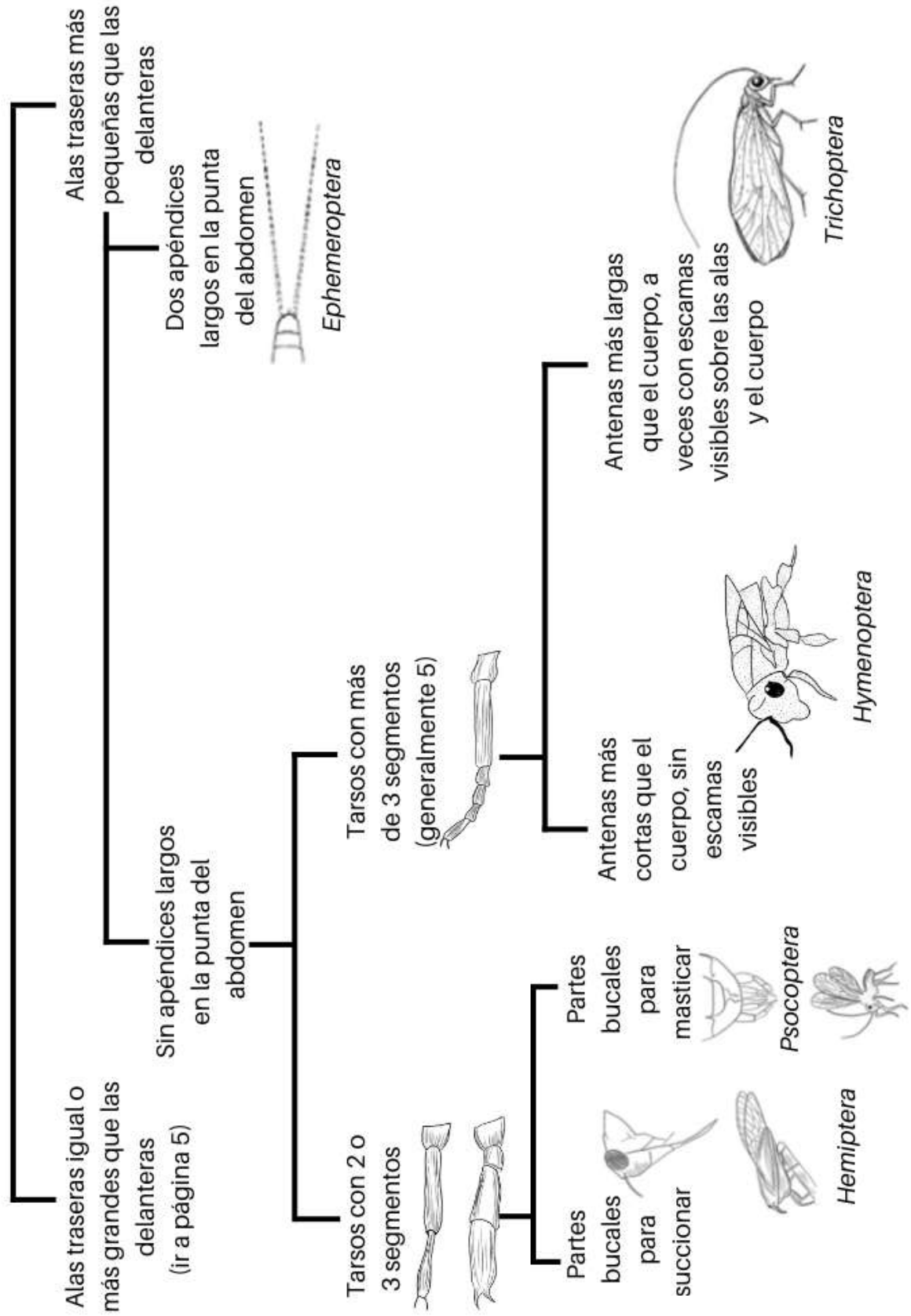


Página 1

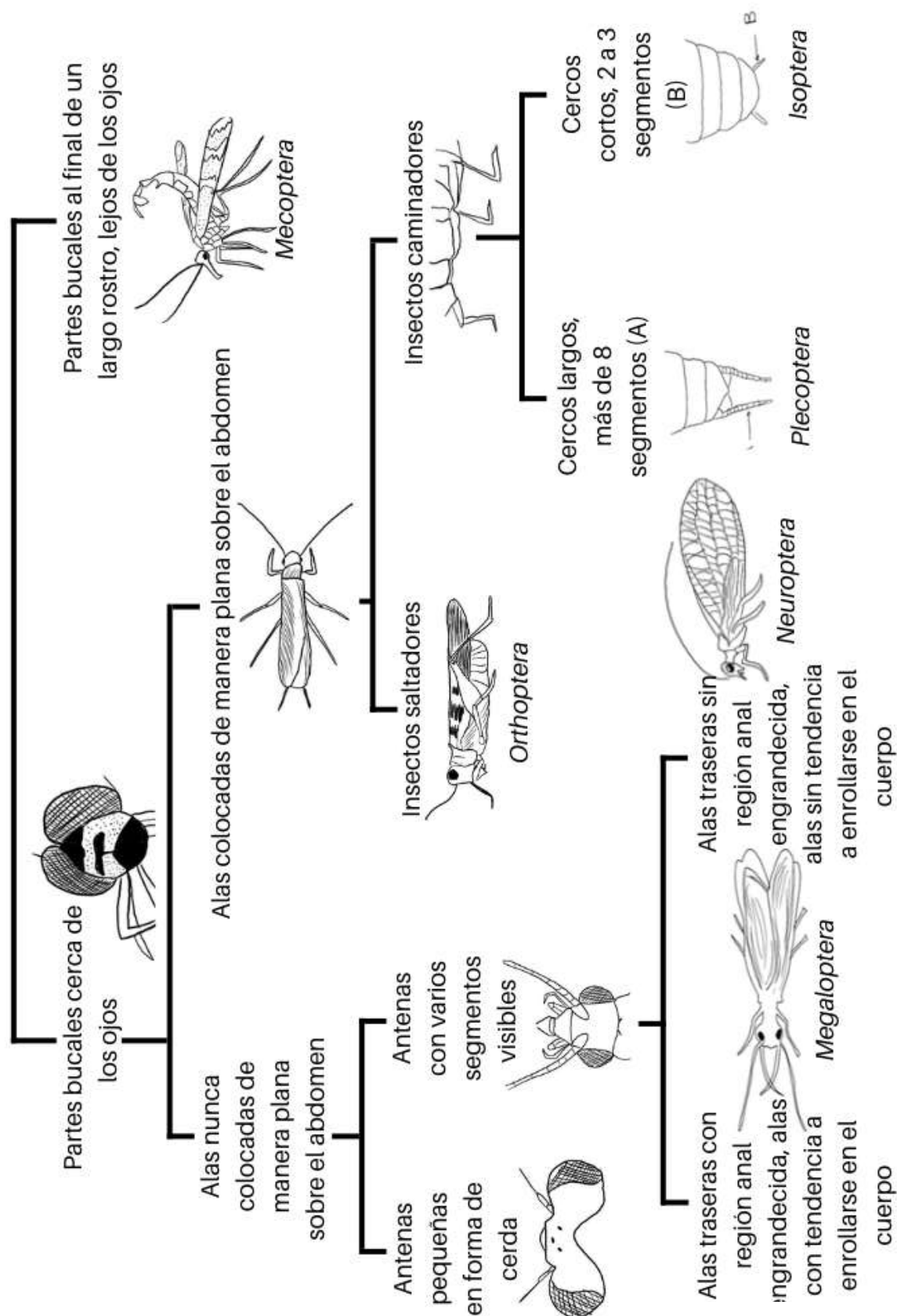
*Los esquemas de los insectos fueron diseñados por Daniela Leal y Edna López para este proyecto, 2022.



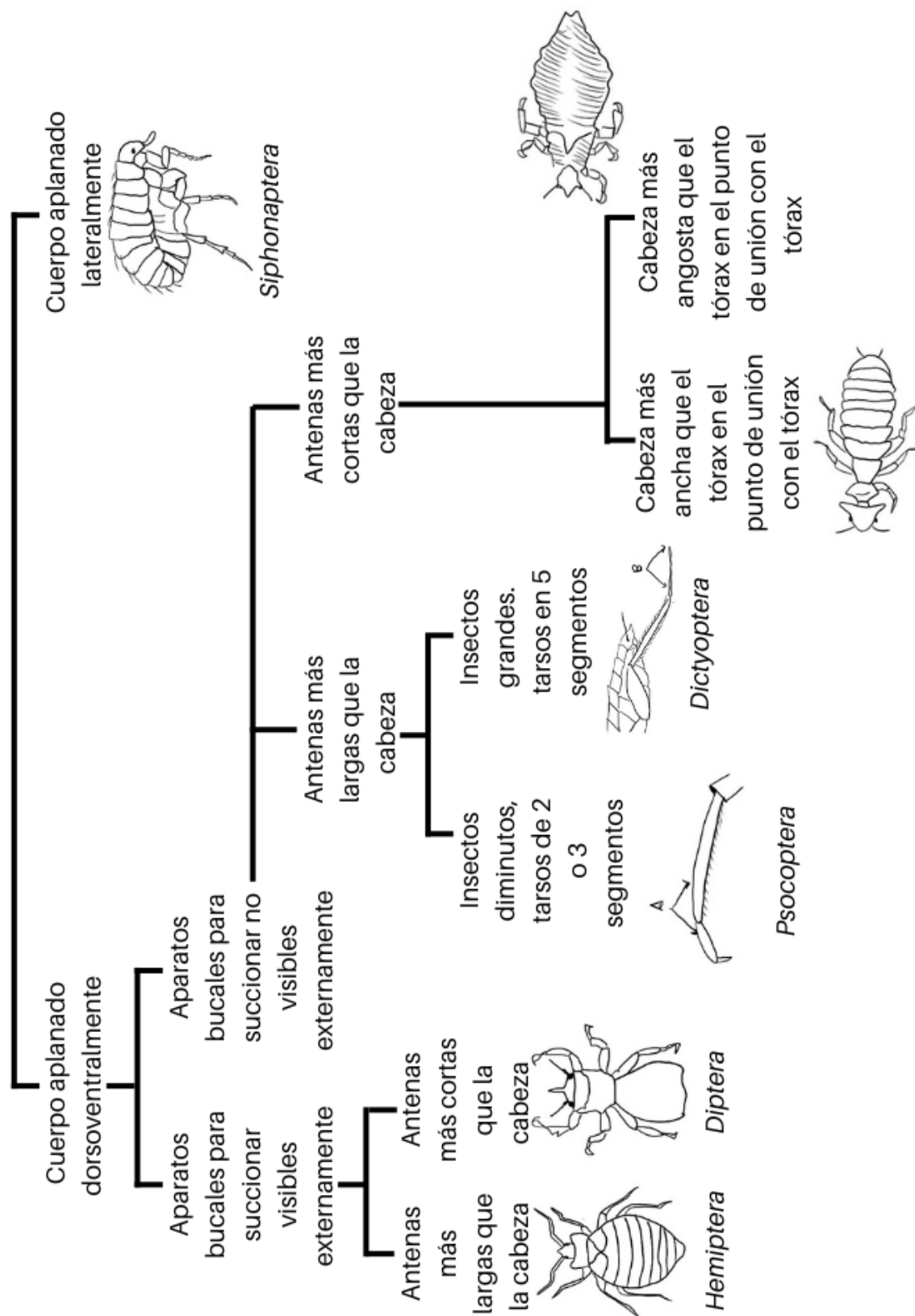


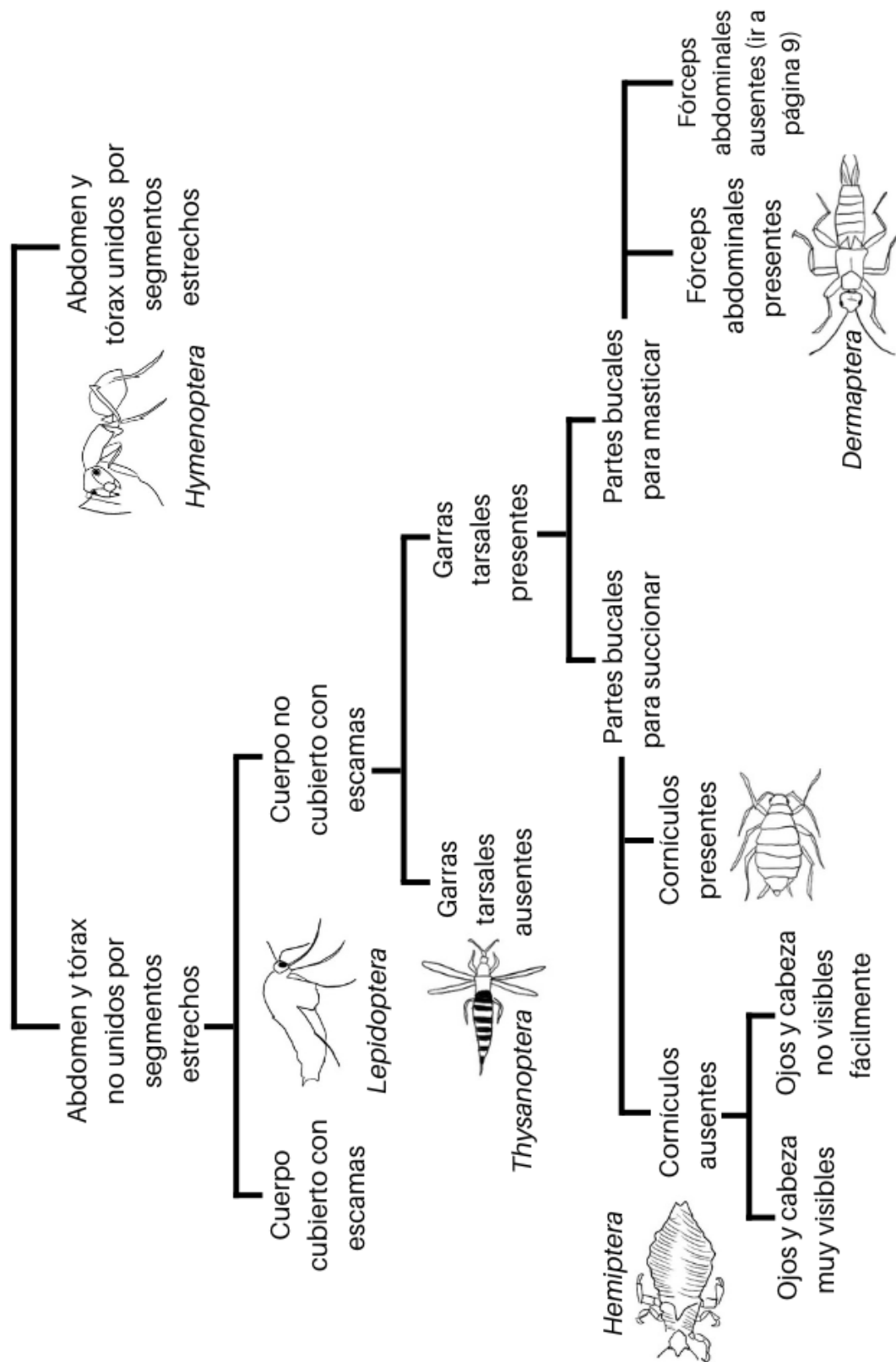


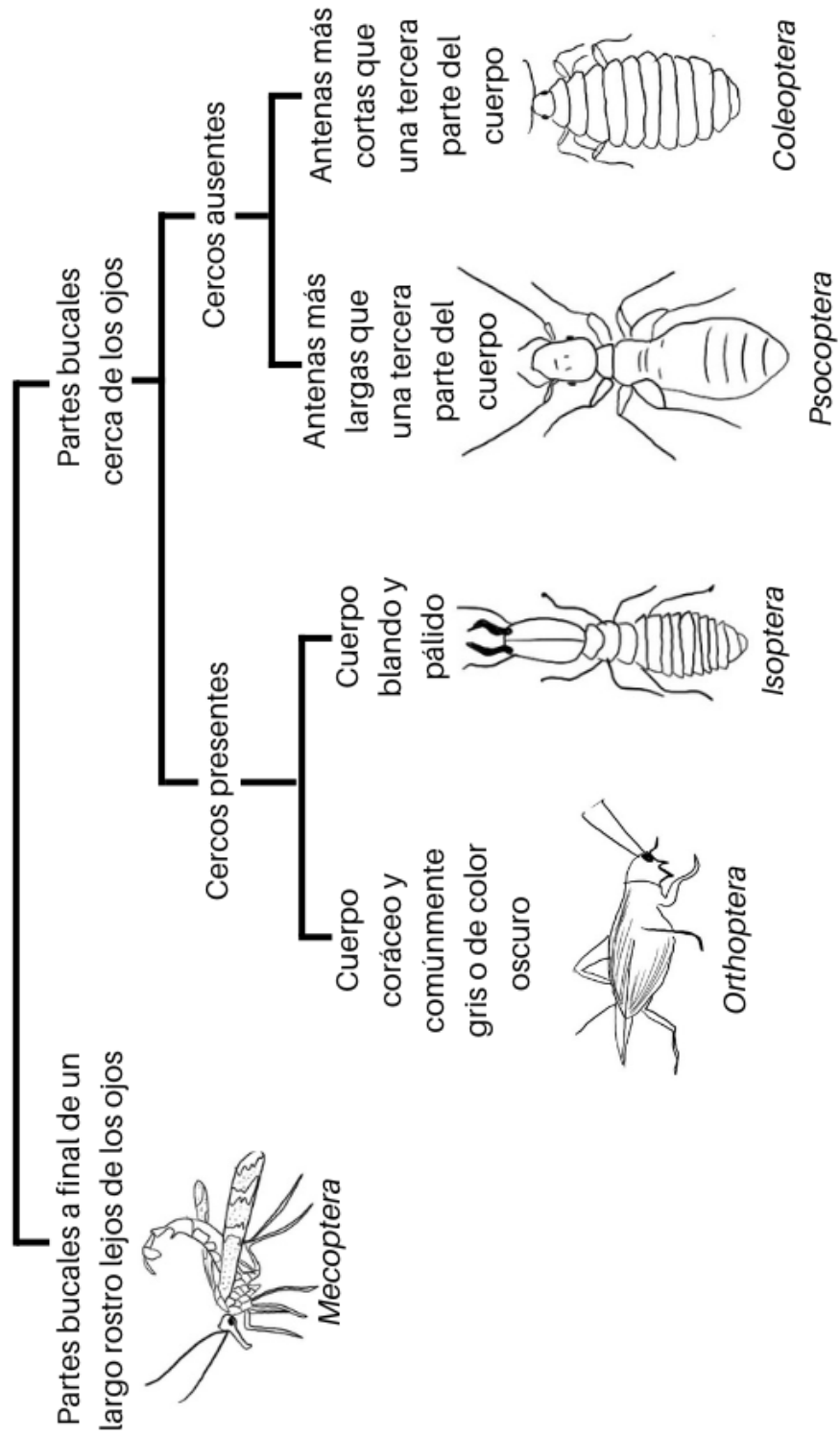
Continúa de la página 4











J) Avistamiento de Aves

Para realizar avistamiento de aves es fundamental contar con binoculares, una bitácora de campo (Formato 6) para anotar las observaciones realizadas y una Guía de campo para la identificación de aves (incluida al final de este documento).

☞ **Binoculares**

Los binoculares serán una herramienta de gran importancia en la observación de aves, ya que permitirán observar con detalle las características físicas del espécimen. Para optimizar su funcionamiento deberás tomar en cuenta lo siguiente: tomaremos como ejemplo unos binoculares con un aumento de 10x y lentes de 25 mm. De estos datos, el primer número nos indica el aumento de la imagen que producen los lentes, en este caso la imagen observable se verá 10 veces más cerca de la distancia real del observador. Luego, el número 25 se refiere al diámetro en milímetros de los objetivos de los binoculares (Figura 80). Entre más grande sea este diámetro, más luz entra al objetivo de los binoculares, y mejor calidad tendrá la imagen.

Los binoculares por lo general cuentan con un anillo de ajustes de dioptrías que permiten ajustar la capacidad

visual del observador (Fig. 80), para ajustarlos, coloca los ojos en los oculares hasta fijar una posición cómoda, a continuación, observa solamente con el ojo izquierdo (manteniendo el ojo derecho cerrado) un objeto fijo hasta que se vea claramente, ajustando el anillo de enfoque (Fig. 80). Posteriormente, con el mismo objeto, cierra el ojo izquierdo y solamente con el derecho ajusta el anillo de dioptrías hasta que el objeto sea claro. El ajuste de dioptrías se realizará solamente una vez, mientras que el anillo de enfoque se tendrá que ajustar cada vez que desees ver una imagen clara.



Figura 80. Fotografía en planta, de un par de binoculares Bushnell (tomada por Mariana De la Teja, febrero 2023).

Capuchón
abajo



Capuchón
a tope

Figura 81. Fotografía de costado de los binoculares Bushnell (tomada por Mariana De la Teja, febrero 2023).

Si no usas anteojos, gira los capuchones que cubren los oculares hasta lograr que se ajusten de manera cómoda (Figura 81), en caso de usar anteojos mantenlos abajo en su posición original.

Para enfocar aves en movimiento se recomienda acercar los binoculares lentamente a los ojos sin dejar de observar el ave y ajustar el anillo de enfoque.



K) Descripción morfológica del perfil del suelo

La descripción de las propiedades morfológicas del suelo es una actividad que inevitablemente se realiza directamente en campo, ya que las propiedades deben estar inalteradas, para su adecuado registro. Desde el fundador de la ciencia del suelo (Dokuchaev, 1846-1903) hasta la fecha, la descripción morfológica de las propiedades del suelo es la base para conocer la génesis y distribución de los suelos a diferentes escalas espaciales y temporales. Aunque, en fechas recientes, las técnicas espectrométricas se utilizan cada vez más, debido a que es posible registrar diferentes propiedades del suelo con el uso de sensores remotos. Sin embargo, estas técnicas sólo registran las propiedades de la capa superficial, con lo cual, el trabajo de campo seguirá siendo necesario para conocer las propiedades morfológicas básicas de los diferentes horizontes o capas del suelo, y con esto entender su génesis y distribución. En este orden de ideas, es recomendable que previo al trabajo de campo, se realice una caracterización ambiental de la zona de estudio, así como, una campaña de prospección preliminar para elegir los sitios donde se realizarán los perfiles de suelos; lo que facilitará la campaña final de trabajo de campo y, por lo tanto, la descripción morfológica del perfil de suelo.

En esta sección de la Guía se describe la metodología de trabajo de campo, con el objetivo principal de que los estudiantes sean capaces de reconocer y describir las propiedades morfológicas del suelo, y relacionen los factores formadores de la génesis de los suelos y su posible distribución en el paisaje.

Materiales y Reactivos

- 1 Pala plana
- 1 Pala curva
- 1 Pico o zapapico
- 1 Cuchillo de campo
- 1 Cinta métrica
- 1 Clavo
- 1 Bolsa de plástico con capacidad de 1 kg
- Cámara fotográfica
- Tabla Munsell
- Cuaderno
- Manual de campo y formatos para descripción de perfiles (datos ambientales y morfológicos)
- Lápiz
- Plumín de tinta indeleble
- Etiquetas de papel o cartoncillo
- Reactivos:
 - HCl al 10%
 - Agua oxigenada al 8%
 - Tiras de papel pH
 - Potenciómetro de campo*
 - Conductímetro de campo*

** Es recomendable utilizar estos instrumentos en campo.*



La metodología para la descripción de perfiles de suelo se puede separar en dos etapas: trabajo de gabinete y trabajo de campo.

➤ ***Trabajo de gabinete***

El trabajo de gabinete consistirá en hacer una revisión bibliográfica y cartográfica de la zona de estudio para obtener información ambiental del área. Por lo que será necesario revisar la cartografía siguiente: Geología, Fisiografía, Topografía, Hidrología, Vegetación y Suelos. Con esta finalidad se recomienda utilizar el portal del INEGI en su sección de Geografía y Medio Ambiente. En este portal se tiene acceso a la información digital para su consulta y descarga de los archivos vectoriales (formato *.shp) para la elaboración de cartografía temática (<https://inegi.org.mx/temas/suelo/#Herramientas>).

También es pertinente hacer una búsqueda bibliográfica relacionada con la zona de estudio sobre la fauna y las condiciones socioambientales de la región.

➤ ***Trabajo de campo***

A continuación, se describe la secuencia lógica del trabajo de campo en el sitio donde se realizará el perfil del suelo:

1. Localizar el sitio para realizar un perfil (calicata o pozo) del suelo.
2. Cavar el perfil del suelo:
 - Los perfiles de suelo se deben ubicar en zonas representativas de la unidad de paisaje previamente determinada en la etapa de trabajo de gabinete.
 - Cavar un pozo utilizando pala y pico con las siguientes dimensiones aproximadamente: 1.5 m ancho, 2 m de largo y 1.25 m de profundidad al menos.
 - Que la cara del perfil quede en el ancho del pozo y siempre que sea posible se debe orientar hacia el sol, para que al momento de la descripción del perfil la cara se encuentre iluminada.
 - Cuando el perfil se ubique en una ladera, se debe elegir la parte alta de la pendiente como la cara del perfil a describir; esto para evitar contaminación entre horizontes (ver Figura 82).
 - En la cara elegida para su descripción y toma de muestras, no deben depositarse los residuos de la excavación, para evitar contaminar las muestras de los horizontes.
 - No pisar sobre la superficie de la cara del perfil para no alterar las propiedades morfológicas.
 - El perfil del suelo se excava hasta una profundidad de 1.25 m o hasta alcanzar algún impedimento, como roca continua.

- Al cavar el perfil se debe tener mucho cuidado para evitar accidentes.
3. Preparar el perfil para su descripción:
- Con ayuda de la pala aplanar el frente del perfil y en caso de ser necesario, con ayuda de un cepillo de cerdas firmes limpiar perfil.
 - Colocar una cinta métrica, con ayuda de un clavo metálico o de plástico, para que quede colgada desde la superficie del primer horizonte. La cinta métrica servirá de guía para separar y determinar la profundidad de los horizontes y la profundidad total del perfil.
 - En esta condición se sacan varias fotografías del perfil, que servirán de apoyo para posteriormente revisar con cuidado algunos detalles de la descripción morfológica del perfil del suelo (ver Fig. 82).



Figura 82. Ubicación de la cara del perfil en una ladera (Fotografía tomada por Abel Ibáñez, camino a El Suspiro, Qro., diciembre 2022).

4. La descripción de los factores ambientales:
- Previo al inicio de la descripción del suelo, es recomendable que se registren las condiciones ambientales actuales del sitio de estudio. Esto servirá como marco de referencia para la descripción de las propiedades del perfil, para este fin se sugiere utilizar el [Formato 7](#) (de datos ambientales, incluido al final de la Guía).
 - Además, es necesario que se tomen fotografías panorámicas del sitio de donde se realiza el perfil para documentar las características ambientales del paisaje y tipo de ecosistema (Figura 93).



Figura 83. Tomas panorámicas de la zona de estudio (Fotografías tomadas por Abel Ibáñez, camino a la localidad El Suspiro, Qro., diciembre 2022)

5. La descripción de las propiedades morfológicas del perfil del suelo:

- En condiciones ideales, la descripción morfológica del suelo se debe realizar con paciencia, concentración y tiempo suficiente. Por tanto, en esta actividad se pueden consumir dos o tres horas por cada perfil; aunque esto dependerá de la profundidad del suelo y de los horizontes que se hayan separado de acuerdo con el color, granulometría, humedad y procesos edáficos evidentes como acumulación de carbonatos, procesos de óxido-reducción, acumulación de sales, costras, pedregosidad, etc. (Figura 83).
- La descripción de las propiedades morfológicas de cada horizonte del suelo se debe realizar de forma sistematizada; para lo cual se sugiere utilizar el [Formato 8](#) (de datos morfológicos incluido al final de la Guía).
- Las propiedades enunciadas en el [Formato 8](#), se describen con detalle en Siebe *et al.* (1996) "[Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo](#)". Se recomienda tener a la mano este manual para su consulta.



Figura 84. La imagen superior muestra la reacción de los carbonatos al HCl al 10 %, y en las dos imágenes de abajo se muestra la determinación de la adhesividad, la plasticidad y la textura determinada en campo (Fotografías tomadas por Rosario Vázquez, Valle Verde, Qro., marzo 2022).

6. La toma de la muestra del suelo:

- La toma de las muestras se hace de abajo hacia arriba. Es decir, se inicia desde el horizonte inferior y se continúa con los horizontes ubicados por arriba del horizonte muestreado (horizontes suprayacentes). Para tomar la muestra se utiliza la pala plana y el cuchillo de campo. La pala se coloca en la parte baja del horizonte y con ayuda del cuchillo se va agregando suelo sobre la pala.
- Se toma aproximadamente 1 kg de suelo y se guarda en bolsas de plástico debidamente etiquetadas. Las muestras se llevan al laboratorio para su posterior manejo y análisis de acuerdo con los objetivos de la investigación.

7. Finalizar el trabajo de campo:

- Antes de tapar el pozo se recoge y guarda todo el material utilizado y finalmente se regresa todo el suelo al pozo. Esto para evitar cualquier tipo de accidente y sobre todo para favorecer la conservación y protección del suelo.



FORMATOS

FORMATO No. 1

FORMATO PARA LA DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SITIO

Nombre de la localidad: _____ Fecha: _____

Clave: _____ Coordenadas: _____ Altitud: _____

Fotografías (claves): _____

Descripción general del sitio (se puede realizar un esquema o dibujo del afloramiento).

Tipos de rocas que afloran en el sitio (Ign, Sed, Met):

Las rocas o el depósito, se encuentran intemperizados? (Sí) (No)

Tipo de intemperismo: _____

Grado de intemperismo en la roca/afloramiento: _____

Se pueden reconocer los componentes/minerales originales? (Sí) (No) Líticos (), Vidrio (), Granos () Otros componentes: _____

Textura del depósito/afloramiento: _____

Color: _____ Dureza: _____ Espesor: _____

FORMATO No. 2

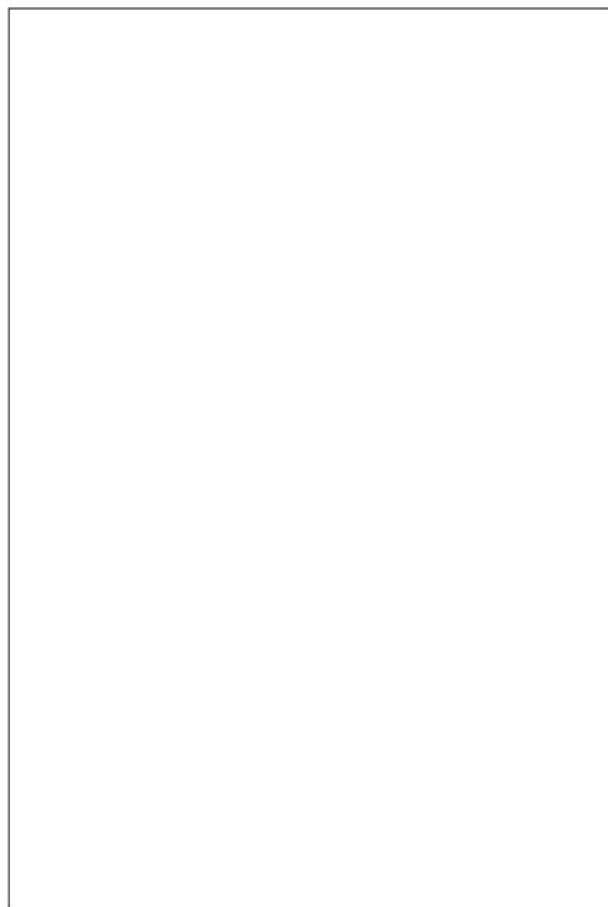
FORMATO PARA LA DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE DEPÓSITOS VOLCÁNICOS

Nombre de la localidad: _____ Fecha: _____

Clave: _____ Coordenadas: _____ Altitud: _____

Fotografías (claves): _____

Esquema de la columna estratigráfica del depósito (se puede tomar también una fotografía con escala).



Características del depósito

Espesor total: _____ Color: _____

Textura: _____

Tamaño de los granos o cristales: _____

Forma de los granos o cristales: _____

Presenta matriz? (Sí) (No)

Color Matriz: _____

Porcentaje de matriz: _____

Color de los líticos presentes: _____

Tamaño de los líticos: _____

Porcentaje de líticos/clastos/vidrio: _____

Presenta gradación? (Sí) (No) Tipo: _____

Grado de selección de fragmentos en el depósito: _____

Presenta soldamiento/litificación? (Sí) (No) Tipo/Grado: _____

Presenta estratificación? (Sí) (No) Tipo: _____

Minerales identificados: _____

Clasificación específica del tipo de roca (intrusiva/extrusiva/piroclástica/silíceas): _____



Estructuras o rasgos sobresalientes: _____

Tipo de depósito: _____

Clave de muestra: _____ Fotografías: _____





FORMATO No. 6

BITÁCORA DE CAMPO PARA AVISTAMIENTO DE AVES

Nombre de la localidad: _____ Fecha: _____

Hora: _____ Coordenadas: _____ Altitud: _____

Fotografías (claves): _____

Características	Ave 1	Ave 2	Ave 3
Color de plumas principales:			
Tipo de Pico:			
Forma del cuerpo:			
Tamaño de las alas:			
Tamaño de los tarsos:			
Color/tamaño de la cola:			
Tipo de vuelo:			
Observaciones:			
Dibujo			
Orden/Familia/Especie			



FORMATO No. 7

FORMATO DE DATOS AMBIENTALES

Autor:		
Transecto:		Nodo:
Fecha:		
1	Localización	Localidad: Coordenadas X: _____ Y: _____ Altitud: _____
2	Condiciones Atmosféricas	Actuales: Soleado/despejado — Parcialmente nublado — Nublado — Lluvioso
		Pasadas: Sin lluvia el último mes — Sin lluvia la última semana — Sin lluvia las últimas 24 Horas
	Geoforma y topografía	Geoforma principal: Planicie — Meseta — Depresión — Piso de valle de Zona escarpada — Colina — Montaña — Zona muy escarpada
		Posición de la pendiente en terrenos ondulados y montañosos: Cumbre — Hombro — Pendiente media — Pendiente baja — Inicio de pendiente — Base
		Posición de la pendiente en terrenos planos a casi planos: Parte alta — Parte intermedia — Parte baja — Base
Uso de suelo y vegetación	Pendiente: Plano (0-0.2%) — Muy ligeramente inclinado (1-2%) — Ligeramente inclinado (2-5%) — Inclinado (5-10%) — Fuertemente inclinado (10-15%) — Moderadamente escarpado (15-30%) — Escarpado (30-60%) — Muy escarpado (>60%)	
	Uso actual: Urbano — Industrial — Turístico — Vegetación primaria — Vegetación secundaria — Excavación — Mina — Residencial — Sitio de desechos — Otro:	
	Agricultura: Temporal — Riego — Comercial	
3	Evidencias de erosión	Condición actual de la parcela: Arado — Irrigado — Compactado — Rellenado — Quemado — Pastoreado
		Tipo de cultivo: Algodón — Trigo — Cebada — Maíz — Otro:
		Tipo de riego: Aspersión — Surcos — Goteo — Inundación
4	Material parental	Evaluación: Sin erosión — Ligera — Moderada — Severa — Extrema Tipo: a) Hídrica: Laminar — Por surcos — Cárcavas — Túneles — Movimiento en masa b) Eólica: Depósitos de arena — Sales Efecto: Pérdida de horizonte superficial— <25% — 25/75% — >75% — Pérdida total
5	Drenaje superficial	Depósitos: Aluvión — Coluvión — Lacustre — Eólico — Ceniza volcánica — Piroclástico — Pómez — Roca consolidada Roca ígnea: Granito — Riolita — Diorita — Andesita — Gabro — Basalto — Peridotita Roca sedimentaria detrítica: Lutita — Limolita — Arenisca — Brecha — Conglomerado Roca sedimentaria química: Calcita — Dolomita — Evaporita — Travertino — Yeso — Otra: Roca metamórfica a) Foliada: Pizarra — Filita — Esquisto — Gneis b) No foliada: Mármol — Cuarzita
6	Pedregosidad superficial	Excesivo — Bueno — Moderado — Deficiente — Muy deficiente
7	Encostramiento	Tamaño: Pequeño — Mediano — Grande — Muy grande Tipo: Gravas finas — medias — gruesas Piedras — Cantos rodados finos — medios — gruesos Fragmentos de roca — Lapilli — Bombas y bloques Cobertura: 0-2% 2-5% 5-15% 15-40% 40-80% >80%
8	Grietas superficiales	Grosor: Ninguno <2mm 2-5 mm 5-20 mm >20mm Consistencia: Ligeramente duro — Duro — Muy duro — Extremadamente duro
9	Presencia de sales	Ancho: <1cm 1-2cm 2-5cm 5-10cm >10cm Profundidad: <2cm 2-10cm 10-20cm >20cm
10	Conductividad Hidráulica en superficie	Cobertura: Ninguna (0-2%) Bajo (2-15%) Moderado (15-40%) Alto (40-80%) Espesor: Ninguno Delgado(<2mm) Medio(2-5mm) Grueso(5-20mm) Muy grueso (>20mm)
11	Comentarios	Método de campo: cm/hora:

FORMATO No. 8

FORMATO DE DATOS MORFOLÓGICOS

Descriptor: Transecto:	Perfil: Nodo:	Fecha:
Prof.	Datos morfológicos	
1.	Color:	
2.	Textura: Arena – Franco arenoso – Franco arcillo arenoso – Franco limoso – Limoso – Arcillo arenoso – Arcillo limoso – Arcilloso	
3.	Consistencia: <i>En seco:</i> Suelto – Suave – Ligeramente duro – Duro – Muy duro – Extremadamente duro <i>En Húmedo:</i> Suelto – Muy friable – Friable – Firme – Muy firme	
4.	Adhesividad: No adherente – Ligeramente adherente – Muy Adherente	
5.	Plasticidad: No plástico – Ligeramente plástico – Plástico – Muy plástico	
6.	Humedad actual: Muy seco – Seco – Levemente húmedo – Húmedo – Saturado – Muy mojado	
7.	Estructura: Granular – Migajón – BSA – BA – Laminar – Prismática – Masiva – Terrones Tamaño: Fino (5-10mm) – Medio (10-20mm) – Grueso (20-50mm) – Muy grueso (>50mm)	
8.	Pedregosidad: Ninguna – Pocos (0-2%) – Comunes (5-15%) – Muchos (15-40%) – Abundantes (40-80%) – Dominante (>80%) Clasificación: Gravas finas (2-6mm) – Medias (6-20mm) – Gruesas (20-60mm) – Piedras (60-200mm) – Cantos (200-600mm) – Cantos grandes (>600mm) Forma: Planos – Angular – Subredondeado – Redondeado Intemperismo: Fresco – Intemperizado – Fuertemente intemperizado	
9.	Porosidad: Tipo: Intersticial – Vesicular – Canales Tamaño: Finos (0.5-2mm) – Medios (2-5mm) – Gruesos (5-20mm) Abundancia(2mm): Ninguno – Muy pocos (1-2) – Pocos (2-5) – Comunes (5-20) – Muchos (>20)	
10.	Raíces: Tamaño: Finas (<2mm) – Medias (2-5mm) – Gruesas (>5mm) Abundancia: Ninguna – Pocas (1-2) – Comunes (5-20) – Muchas (>20)	
11.	Rasgos pedológicos: a) Revestimientos b) Cementación c) Nódulos d) Afloramiento de sales e) Óxido-Reducción f) Superficies de deslizamiento g) Aluminio activo	
	Descripción:	
12.	Estabilidad de agregados: Muy alta – Alta – Mediana – Moderada – Baja – Muy baja	
13.	Rasgos de actividad biológica: Artefactos – Madrigueras – Carbón – Canales de lombrices – Crotobinas – Otro:	
14.	Límite a) Distinción: Abrupto(0-2cm) – Claro (2-5cm) – Gradual (5-15cm) – Difuso (>15cm) b) Topografía: Suave – Ondulado – Irregular – Fracturado	
15.	Moteados Color: Abundancia: Pocos – Comunes – Muchos – Abundantes Tamaño: Finos (2-6mm) – Medios (6-20mm) – Gruesos (>20mm)	
16.	Contenido de carbonatos: No hay reacción – Ligera – Moderada – Baja – Muy baja	
17.	Salinidad: Sin exceso de sales (0-4dS/m) – Ligeramente salinos (4-8dS/m) – Moderadamente salinos (8-16dS/m) – Fuertemente salinos (>16dS/m)	
18.	pH:	
19.	Penetrabilidad (kg/cm²):	



Glosario de algunos elementos kársticos

Cañón kárstico (garganta): Es un valle con paredes muy escarpadas, profundo y estrecho. Su formación se debe a la erosión fluvial (fluviokarst) sobre un lecho de rocas carbonatadas. El río puede mantener su flujo sobre la zona kárstica hasta salir de ella, y esto se puede deber a que: i) el caudal excede la capacidad de absorción del karst, ii) el gradiente hidráulico es bajo, lo que impide que el agua se vaya al subsuelo lo suficientemente rápido (Huggett, 2011; De Waele, 2017).

Columna o pilar: Es un depósito químico de mineral secundario que se forma cuando una estalactita y una estalagmita se encuentran. Puede tener una longitud de hasta 60 metros y un diámetro de 20 metros (Huggett, 2011; De Waele y Gutiérrez, 2022).

Cueva kárstica: Considerando el proceso que le da origen, una cueva es una abertura natural subterránea, agrandada por la disolución de la roca carbonatada, con una amplitud lo suficientemente grande (1-1.5 centímetros) para que se origine un flujo turbulento (Ford y Williams, 2007; De Waele, 2017). Sin embargo, aunque la disolución química es un proceso esencial, generalmente es acompañada por intemperismo mecánico, corrosión y biocorrosión (Slabe y Prelovšek, 2013; De Waele y Gutiérrez, 2022). Una cueva en rocas carbonatadas le tomará algunos miles de años en desarrollarse (De Waele, 2017). La forma y tamaño de la cueva son rasgos influenciados por las características intrínsecas de la roca, por la velocidad del flujo, el índice de saturación y la concentración de sedimentos (Lauritzen y Lundberg, 2000).

Dolina: El término dolina (derivado del esloveno, refiriéndose a una depresión en el paisaje) hace alusión a una depresión circular o subcircular cerrada, que puede variar en tamaño de pocos metros hasta cientos de metros o incluso kilómetros de amplitud y de pocos metros a cientos de metros de profundidad. Tienen paredes y fondo de formas variadas (e.g., cónicas, cilíndricas; Huggett, 2011; White, 2022). Se forman por procesos variados, como disolución en planos de falla o fracturas, colapso de cuevas, sufusión y subsidencia (Huggett, 2011).

Endokarst: Rasgos kársticos desarrollados en el subsuelo o bajo la superficie terrestre (Ford y Williams, 2007; De Waele y Gutiérrez, 2022).

Estalactita: Es un depósito químico de mineral secundario (aragonito o calcita), que puede tener formas variadas, incluyendo formas cónicas y cilíndricas. Su diámetro mayor está adherido al techo de la cueva y éste disminuye gradualmente hacia abajo. Se forma por cristalización a partir de un goteo lento a través de un canal o tubo alimentador de agua desgasificada y/o por escurrimiento en las paredes externas de la estructura (Ford y Williams, 2007; Huggett, 2011). Estas estructuras pueden alcanzar 2 metros de amplitud y hasta 3-6 metros de longitud. Sus variaciones en textura, fábrica y mineralogía le dan una apariencia laminada. Cada lámina representa una etapa de su crecimiento y las condiciones fisicoquímicas en las cuales cristalizó (De Waele y Gutiérrez, 2022).



Estalagmita: Es un depósito químico de mineral secundario (calcita o aragonito) que crece desde el piso de la cueva hacia arriba. Tiene formas variadas, incluyendo cónica, cilíndrica o de terraza, y pueden crecer hasta 60 metros de altura y tener un diámetro hasta de 50 metros (Ford y Williams, 2007; De Waele y Gutiérrez, 2022). Se forman, ya sea por el goteo de un tubo alimentador de una estalactita, o bien por el goteo desde el techo de la cueva. Cuando el agua se impacta contra el piso y salpica, ésta pierde CO₂ o se evapora, dejando una película fina de carbonato de calcio que empieza a crecer desde el piso, con cima redondeada. La forma y tamaño de una estalagmita dependerán de la constancia del flujo (tasa de goteo), de la disponibilidad del soluto y de la altura de caída de la gota (Ford y Williams, 2007). Su estructura interna también es laminada, pero, a diferencia de una estalactita, no tiene tubo alimentador (De Waele y Gutiérrez, 2022).

Exokarst: Rasgos kársticos desarrollados en la superficie terrestre (Ford y Williams, 2007; White y White, 2013).

Huellas de corriente (vieiras, rizaduras de disolución): Son estructuras en forma de vieira o de cuchara, asimétricas, cuspidas, presentándose en grupos. Su longitud varía comúnmente entre 0.5 y 20 centímetros, aunque pueden ocasionalmente alcanzar los 2 metros, su amplitud es, en promedio, la mitad de su longitud (Curl, 1974). Estas estructuras tienen mayor profundidad en su extremo corriente arriba, por lo tanto, son indicadoras de la dirección del paleoflujo en sitios donde ya no fluye el agua. Su formación está asociada al paso de un flujo turbulento, involucrando abrasión mecánica y disolución, en una superficie compacta de rocas carbonatadas homogéneas. El tamaño de las estructuras es inversamente proporcional a la velocidad del flujo (Ford y Williams, 2007; De Waele y Gutiérrez, 2022; White, 2022). Son comunes en las paredes, piso y techo de cuevas, pero no son exclusivas de estos sitios (De Waele y Gutiérrez, 2022).

Lapiaz: El término lapiaz (lapiés del francés) se usa para designar a un tipo de disolución diferencial superficial o subterránea que genera surcos comúnmente semi o paralelos, con crestas muy agudas o redondeadas y valles suaves (Fig. 50b). Estas estructuras de disolución pueden medir de pocos milímetros hasta algunos metros de longitud. Su formación está controlada por varios factores (e.g., topografía, biota, composición y textura de la roca, geología estructural, hidrodinámica; De Waele y Gutiérrez, 2022; White, 2022).

Polje: El término polje (derivado del esloveno, refiriéndose a una planicie larga o campo plano) es usado para designar a una gran depresión elongada cerrada o a abierta corriente arriba, con paredes escarpadas y fondo plano con depósitos de arcillas o suelo residual. Varían en tamaño de decenas de metros a decenas de kilómetros de amplitud y de centenas de metros de profundidad (Kranjc, 2013; Bonacci, 2013; De Waele, 2017). Puede estar ocasionalmente inundada formando un lago intermitente y ser drenada por corrientes subterráneas (Huggett, 2011; De Waele y Gutiérrez, 2022). La formación de un polje puede estar asociada a regiones tectónicamente activas (polje estructural; los más comunes), al nivel base del drenaje regional y su intersección con la superficie del suelo (poljes de nivel base) o al paso de un río externo a la zona kárstica (polje fronterizo) (Ford y Williams, 2007).

Surgencia kárstica: Es un manantial formado cuando el agua de corrientes subterráneas sale a la superficie y comienza a fluir como corriente superficial (Ford y Williams, 2007).

Tinajita: Es una pequeña depresión circular cerrada con paredes escarpadas y fondo plano, típicamente con un diámetro de no más de 15 centímetros, aunque pueden alcanzar menos de un metro (Taboroši y Kázmér, 2013). Su formación puede estar asociada a la presencia de parches de bacterias, algas o líquenes que acidifican el sustrato, promoviendo la disolución y erosión (biokasrtificación).

Torre kárstica (mogote): Es un relieve residual de rocas carbonatadas, que puede tener formas variadas y alcanzar los 100 metros o más de altura, sus lados son muy escarpados, lo cual contrasta con la planicie que los rodea. Su formación está asociada a climas húmedos tropicales, donde la abundante producción de CO₂ en los suelos promueve altas tasas de disolución por largos períodos (Ford y Williams, 2007; De Waele y Gutiérrez, 2022).

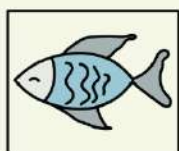
Uvala: El término uvala (derivado del serbio, refiriéndose a un valle) se usa para describir a una depresión cerrada de forma irregular, con fondo también irregular, que puede estar cubierto por una delgada capa de suelo, sedimento no consolidado o vegetación. Una uvala puede variar en tamaño de pocos cientos de metros hasta pocos kilómetros (Huggett, 2011). Aunque no se tiene un consenso en su proceso de formación, algunos autores sugieren que se debe a la coalescencia de varias dolinas (e.g., Goudie et al., 1994), mientras que estudios más recientes proponen que se pueden formar debido a una lenta corrosión areal por largos períodos de tiempo en rocas carbonatadas con alta densidad de fracturas y tectónica compleja (e.g., Čalić, 2011).



Guía de campo ilustrada para avistamiento de aves

Simbología

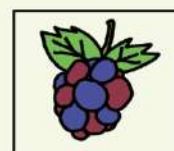
Tipos de alimentación



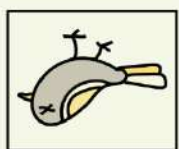
Peces



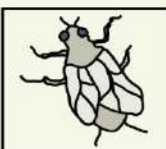
Carroña



Frutos



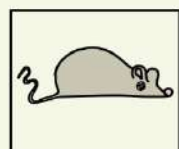
Aves



Insectos



Reptiles
pequeños



Mamíferos
pequeños



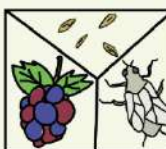
Material
Vegetal



Néctar y
polen



Semillas

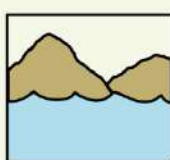


Omnívoros

Tipos de vegetación



Bosque templado
de coníferas y
encinos



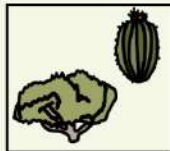
Acuáticos



Selva
mediana



Bosque mesófilo
de montaña



Semidesierto,
Matorrales



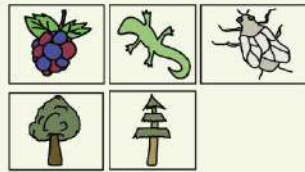
Generalista



Selva Baja



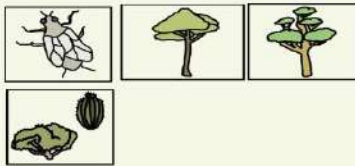
Trogón de Montaña
Trogon Mexicanus



Luis Piquigrueso
Tyrannus Vociferans



Mosquero Cardenal
Pyrocephalus Rubinus



Zopilote Mexicano
Cathartes Aura



Oropéndola de Moctezuma
Psarocolius Montezuma

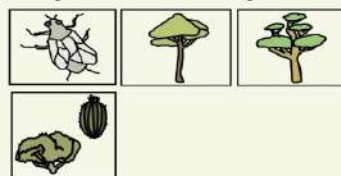




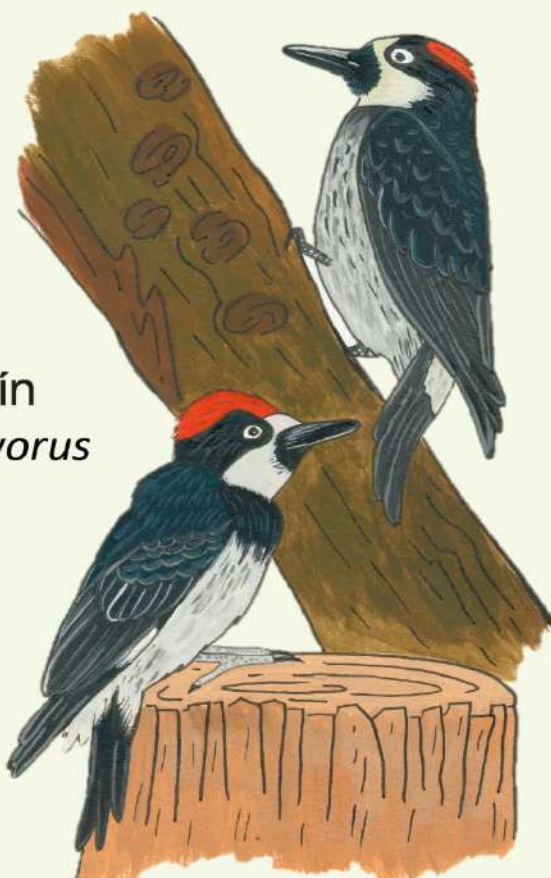
Cuervo Llanero
Corvus cryptoleucus



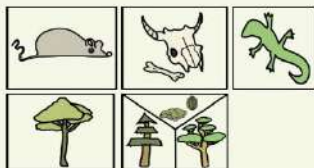
Mosquero Llanero
Sayornis saya



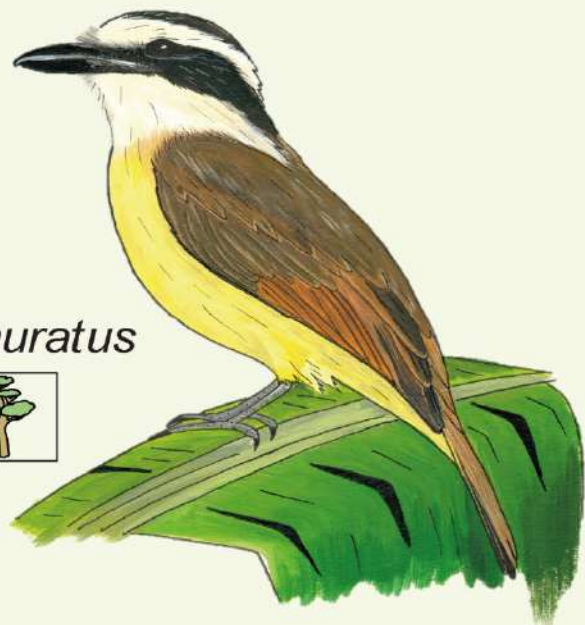
Carpintero Arlequín
Melanerpes Formicivorus



Caracara
Caracara Plancus



Luis Grande
Pitangus sulphuratus

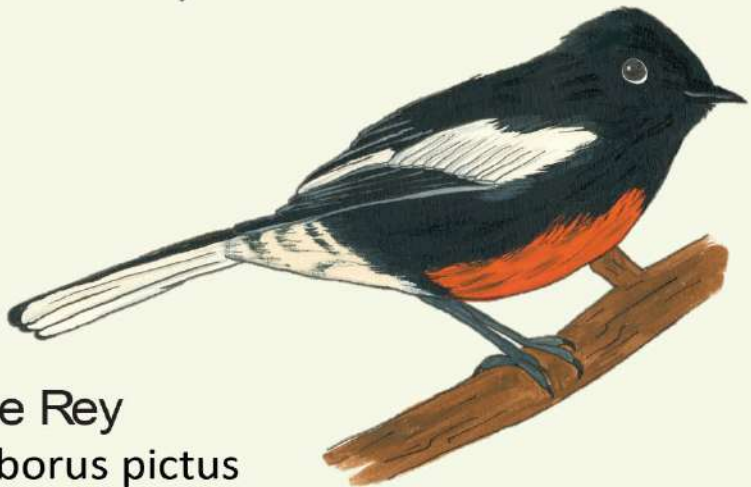




Halcón Peregrino
Falco Peregrinus



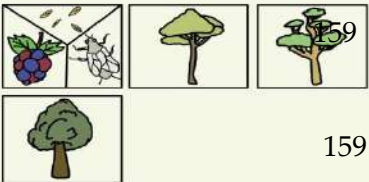
Mosquero Pintero
Empidonax affinis



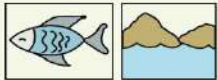
Chipe Rey
Myioborus pictus



Chara Verde
Cyanocorax yncas

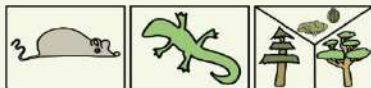


Águila Pescadora
Pandion Haliaetus

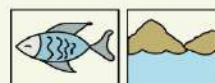




Aguililla Cola Roja
Buteo jamaicensis



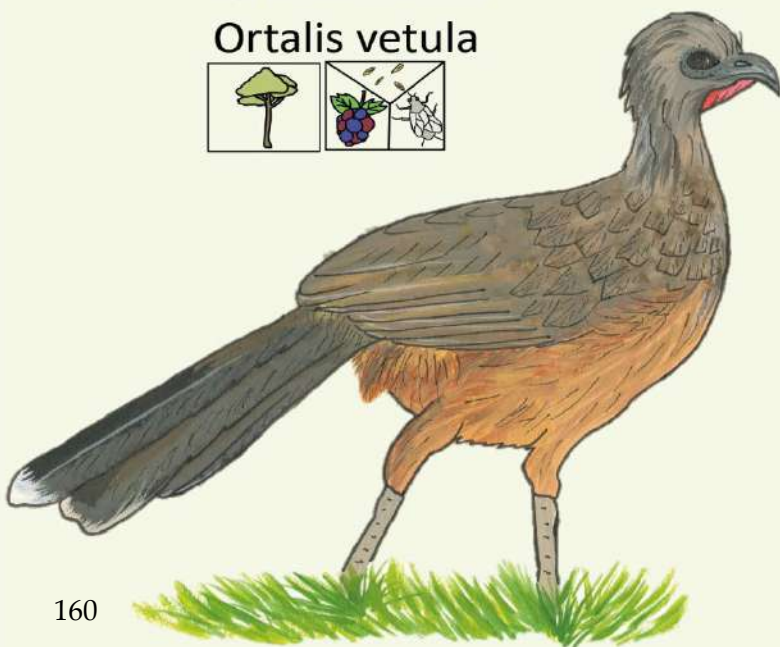
Martín Pescador
Megaceryle torquata



Saltapared Barranquero
Catherpes mexicanus



Chachalaca
Ortalis vetula



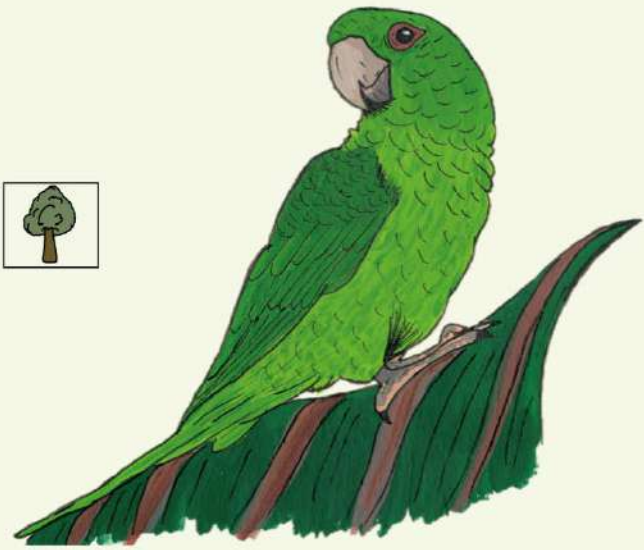
Cuitlacoche Piquicurvo
Toxostoma curvirostre





Guacamaya Verde

Ara Militar



Perico Verde

Psittacara holochlorus



Correcaminos

Geococcyx californianus



Zopilote

Coragyps atratus



Cardenal

Cardinalis cardinalis





OBSERVACIONES











REFERENCIAS

- Aguilar Pérez, J., Pichardo Barrón, Y. y Sánchez Moreno, J.I. (3-7 de abril de 2017). *Reporte de nuevos rudistas del Albiano para la localidad de El Madroño, Landa de Matamoros, Querétaro, México*. XII Congreso de Geología, Estratigrafía y Paleontología, GE02-CE1, Séptima Convención Cubana de Ciencias de la Tierra.
- Aguirre-Alberto, L. y Martínez-Cardenas, L. (2018). Production of callus and roots from lateral meristems of *Loeselia mexicana*. *Botanical Sciences*, 96(3), 405-414. <https://doi.org/10.17129/botsci.1910>
- Aguirre-Díaz, G.J. (2008). Capítulo 3. Historia volcánica del entorno del Valle de Querétaro. En J. Arzate-Flores, A. Cortés-Silva, A. Lozano (Eds.), *El Valle de Querétaro y su geoentorno Tomo I* (pp. 27-43). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Querétaro.
- Aguirre-Díaz, G.J. y López-Martínez, M. (2001). The Amazcala caldera, Queretaro, Mexico. Geology and geochronology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 111, 203-218. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(01\)00227-X](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(01)00227-X)
- Aguirre-Díaz, G.J. y López-Martínez, M. (2009). Geologic evolution of the Donguinyó-Huichapan caldera complex, central Mexican Volcanic Belt, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 179, 133-148. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.10.013>
- Alencáster, G. (1987). Fauna arrecifal del Albiano tardío de la región de Jalpan, Querétaro, México. *Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra*, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2, 111-119.
- Alencáster, G. (23-28 de junio de 1991). *El Madroño, localidad de Rudistas excepcional del Cretácico medio del*



Geológica de México (Pachuca, Hgo.), 7-9.

Alencáster, G. y Aguilar, J. (1995). Jalpania queretana, a new rudist (Bivalvia-Hippuritacea) from the mid-Cretaceous of Central Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 12(2), 1026-8774.

<https://rmcg.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/1167/972>

Alencáster, G. y Oviedo, A. (1998). Re-examination of the genera *Texicaprina* Coogan, *Mexicaprina* Coogan, and *Kimbleia* Coogan (Caprinid Rudists) from the Albian of Central Mexico. *Sociedad Mexicana de Paleontología*, 8(2), 163-179.

Argles, T.W. (2010) a. Recording structural information. En *Geological field techniques* (pp. 163-191). Wiley-Blackwell.

Argles, T.W. (2010) b. Recording features of metamorphic rocks. En *Geological field techniques* (pp. 192-205). Wiley-Blackwell.

Arreguín, M.L., Cabrera, G., Fernández, R., Orozco, C., Rodríguez, B. y Yépez, M. (1997). *Introducción a la Flora del Estado de Querétaro*. CONCyTEQ.

Barnes, J.W. y Lisle, R.J. (2004). *Basic Geological Mapping. The Geological Field Guide Series* (4ª ed.). John Wiley & Sons Ltd.

Bedolla-García, B.Y. y Zamudio, S. (2015). Four new species of *Salvia* (Lamiaceae) from central Mexico. *Phytotaxa*, 217(1), 035-052. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.217.1.3>

Berlanga, H., H. Gómez de Silva, V. M. Vargas-Canales, V. Rodríguez-Contreras, L. A. Sánchez- González, R. Ortega-Álvarez y R. Calderón-Parra. (2019). *Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes*. CONABIO.



V. (2008). *Red de Conocimientos sobre las Aves de México (AVESMX)*. CONABIO.

Berner, E.K., Berner, R.A. y Moulton, K.L. (2003). Plants and Mineral Weathering: Present and Past. En J.I. Drever (Ed.), *Surface and ground water, weathering, and soils* (Vol. 5, pp. 169-188). Treatise on Geochemistry, Amsterdam, Elsevier.

Bonacci, O. (2013). Poljes, ponors and their catchments. En J. Shroder (Ed. en jefe), A. Frumkin, (Ed.) *Karst Geomorphology* (Vol.6, pp. 112–120). Treatise on Geomorphology, Academic Press.

Burchfiel, B.C. y Davis, G.A. (1975). Nature and controls of Cordilleran orogenesis, western Unites States: extension of an early synthesis. *American Journal of Sciences*, 275, 363-396.

Cabrera-Luna, J. y Gómez-Sánchez, S.M. (2005). Análisis florístico de la cañada, Querétaro, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 77, 35-50. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57707703>

Caiceros-Gallegos, A., Hernández-Sandoval, L., Guevara-Escobar, A. y Suzán-Azpiri, H. (2017). La influencia del manejo de suelo en la distribución espacial de la comunidad forestal en la Sierra “El Doctor”, Querétaro, México. *Cactáceas y succulentas mexicanas*, 62(2), 36-56.

Ćalić, J. (2011). Karstic uvala revisited: Toward a redefinition of the term. *Geomorphology*, 134, 32– 42. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.029>

Carabias-Lillo, J., Provencio, E., De la Maza-Elvira, J. y Ruiz-Corzo, M.I. (1999). *Programa de Manejo Reserva de la Biósfera Sierra Gorda*. Instituto Nacional de Ecología.

Carranza-González, E. (2004). Una nueva especie de *Ilex* L. (Aquifoliaceae), del Norteste del Estado de

Carrasco-Núñez, G. (1988). *Geología y petrología de los campos volcánicos de Los Azufres (Mich.), Amealco y El Zamorano (Qro.)*. [Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México].

Carrasco-Núñez, G., Milán, M. y Verma, S.P. (1989). Geología del volcán Zamorano, Estado de Querétaro. *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 8(2), 194-201.
<https://rmcg.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/1270>

Carrillo-Bravo, J. (1971). La Plataforma Valles-San Luis Potosí. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 23, 1-112.

Carrillo-Martínez, M. (1990). Geometría estructural de la Sierra Madre Oriental, entre Peñamiller y Jalpan estado de Querétaro. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 9(1), 62-70.
<https://www.rmcg.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/1253>

Carrillo-Martínez, M., (1997). *Hoja Zimapán 14Q-E (7)*. Resumen de la Geología de la Hoja Zimapán, Estados de Hidalgo y Querétaro: Carta Geológica de México, Serie 24, escala 1:100,000. Universidad Nacional Autónoma de México.

Centeno-García, E. (2005). Review of Upper Paleozoic and Lower Mesozoic stratigraphy and depositional environments of central and west Mexico: constraints on terrane analysis and paleogeography. En T. H. Anderson, J. A. Nourse, J. W. Mc Kee y M. B. Steiner (Eds.), *The Mojave-Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives* (Vol. 393, pp. 233-258). Geological Society of America Special Papers.



Centeno-García, E., Ruíz, J., Coney, P.J. y Ortega-Gutiérrez, G. (1993). Guerrero terrane of Mexico: Its role in the Southern Cordillera from new geochemical data. *Geology*, 21, 419-422.

[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1993\)021%3C0419:GTOMIR%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1993)021%3C0419:GTOMIR%3E2.3.CO;2)

Chávez, M.R.J., Hernández, O.J. y Sánchez, M.E. (2007). Documentación de factores de amenaza para la flora cactológica del semidesierto queretano. *Boletín Nakari*, 18, 89-95.

Clements, J.F., Schulenberg, T.S., Iliff, M.J., Fredericks, T.A., Gerbracht, J.A., Lepage, D., Billerman, S.M., Sullivan, B.L. y Wood, C.L. (2024). The eBird/Clements checklist of Birds of the World: v2024 [Archivo PDF]. <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>

Coe, A.L. (2010) a. Introduction to field observations at different scales. En *Geological field techniques* (pp. 42-52). Wiley-Blackwell.

Coe, A.L. (2010) b. Recording features of sedimentary rocks and constructing graphic logs. En *Geological field techniques* (pp. 102-138). Wiley-Blackwell.

Coe, A.L. (2010) c. Field equipment and safety. En *Geological field techniques* (pp. 4-41). Wiley-Blackwell.

Collinson, J. y Mountney, N. (2019). *Sedimentary structures* (4a ed.). Dunedin Academic Press.

Compton R.R. (2016). *Geology in the field*. Earthspun Books, Cape Town, South Africa.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2003). Aves de México. [Archivo PDF]. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/aves-de-mexico>

Curl, R.L. (1974). Deducing flow velocity in cave conduits from scallops. *NSS Bulletin*, 36(2), 1-5. <http://hdl.handle.net/2027.42/62082>



De la Maza, E.R.G. (1995). La monarca del vuelo. *Revista Ciencias*, 37, 4-18.

Demant, A. (1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación.

Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 2, 172-187.

<https://rmcg.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/1457>

De Waele, J. (2017). Karst processes and landforms. En D. Richardson, N. Castree, M.F. Goodchild, A.

Kobayashi, W. Liu, y R.A. Marston (Eds.), *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth,*

Environment, and Technology (pp. 1-13). Wiley Blackwell, John Wiley & Sons, Ltd.

<https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0968>

De Waele, J. y Gutiérrez, F. (2022). *Karst Hydrogeology, Geomorphology and Caves*. Wiley Blackwell, John

Wiley & Sons Ltd.

Dubroeucq, D., Geissert, D., Moreno, P. y Millot, G. (1992). Soil evolution and plant communities in coastal

dune near Veracruz, Mexico. *Cahiers ORSTOM Série Pédologique*, 27(2), 237-250.

Ducloux, J., Petit, S., Decarreau, A. y Delhoume, J.P. (1995). Clay differentiation in aridosols of Northern

Mexico. *Soil Science Society of America Journal*, 59, 269-276.

<https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900010043x>

Facultad de Ciencias Naturales. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L002. México, D.F.

Dudek, T., Cuadros, J. y Fiore, S. (2006). Interstratified kaolinite-smectite: nature of the layers and

mechanism of smectite kaolinization. *American Mineralogist*, 91, 159-170.

Elzinga, C.L., Salzer, D.W., Willoughby, J.W. y Gibbs, J.P. (2001). *Monitoring Plant and Animal Populations:*

A Handbook for Field Biologists. Blackwell Science.

Engelbreton, D., Cox, A. y Gordon, R.G. (1985). *Relative motions between oceanic and continental plates in the*

<https://doi.org/10.1130/SPE206-p1>

Fernández-Rubio, F. (2016). El impacto de las aves sobre el hombre. *Argutorio* 36, II semestre, 49-55.

Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53, 84-92.

<http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2000v53n1a5>

Ferrari, L. (2004). Slab detachment control on mafic volcanic pulse and mantle heterogeneity in central Mexico. *Geology*, 32 (1), 77-80. <https://doi.org/10.1130/G19887.1>

Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V. y Manea, M. (2012). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*, 522–523, 122-149.

Fitz-Díaz, E., Tolson, G., Hudleston, P., Bolaños-Rodríguez, D., Ortega-Flores, B. y Vásquez-Serrano, A. (2012). The role of folding in the development of the Mexican fold-and-thrust belt. *Geosphere*, 8, 931– 949. <https://doi.org/10.1130/GES00759.1>

Fitz-Díaz, E., Lawton, T.F., Juárez-Arriaga, E., y Chávez-Cabello, G. (2018). The Cretaceous-Paleogene Mexican orogen: structure, basin development, magmatism and tectonics. *Earth-Science Reviews*, 183, 56–84. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.002>

Ford, D. y Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester.

Fratesi, B. (2013). Hydrology and Geochemistry of the Freshwater Lens in Coastal Karst. En M.J. Lace y J.E. Mylroie (Eds.), *Coastal Karst Landforms, Coastal Research Library* (5, 59-75), Springer.

Freeman, T. (1999). *Procedures in field geology*. Blackwell Science.



García-Calderón, N.E., Ibáñez Huerta, A., Álvarez Arteaga, G., Krasilnikov, P.V. y Hernández Jiménez, A. (2006). Soil diversity and properties in mountainous subtropical areas, in Sierra Sur de Oaxaca, Mexico. *Canadian Journal of Soil Science*, 86, 61–76. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/S04-070>

Garduño-Martínez, D.E., Pi Puig, T., Solé, J., Martini, M. y Alcalá-Martínez, J.R. (2015). K-Argillite-mica age constraints on the formation and reactivation history of the El Doctor fault zone, central Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(2), 306-322. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2015.2.584>

Gentry, A.H. (1988). Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75, 1-34.

Gómez de Silva, H. (2001). *Reglas de ensamble general en las comunidades de aves*. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de México].

Gómez-Sánchez, M. (1997). *Flora vascular del cerro El Zamorano*. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L002, México. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfL002.pdf>

Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, T. y Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 227-283. <https://doi.org/10.18268/bsgm2005v57n3a2>

Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, T. y Ferrari, L. (2007). Igneous petrogenesis of the Trans-Mexican Volcanic Belt. En S.A. Alaniz-Álvarez y A.F. Nieto-Samaniego (Eds.), *Geology of México: celebrating the Centenary of the Geological Society of México* (Vol. 1-53). Geological Society of America Special Paper.



González-Elizondo, M.S., González-Elizondo, M. y Sorensen P.D. (2012). *Arbutus bicolor* (Ericaceae, Arbutae) a new species from Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, 99, 55-72.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n99/n99a4.pdf>

Goudie, A., Atkinson, B.W., Gregory, K.J., Simmons, I.G., Stoddart, D.R. y Sugden, D. (1994). *The Encyclopedic Dictionary of Physical Geography*. Blackwell Publisher.

Huggett, R.J. (2011). *Fundamentals of Geomorphology*. En J. Gerrard (Ed.), 3ª ed., Taylor & Francis Group.

Ibáñez, J.J. y Bockheim, J.G. (2013). *Pedodiversity*. CRC Press, Taylor & Francis.

Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (1999). *Programa de Manejo Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, México*.

https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/108_libro_pm.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (s.f.). *Características edafológicas, fisiográficas e hidrográficas* [Archivo PDF].

https://www.academia.edu/21173216/Características_edafológicas_fisiográficas_climáticas_e_hidrográficas_de_México

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2001). *Diccionario de datos fisiográficos (vectorial) escala 1:1,000,000* [Archivo PDF].

https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825223892/702825223892_1.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (15 de junio de 2022). Conjunto de datos de Perfiles de suelos.



<https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707>

Jenks, A.A. y Kim, S.C. (2013). Medicinal plant complexes of *Salvia* subgenus *Calosphace*: An ethnobotanical study of new world sages. *Journal of Ethnopharmacol*, 146(1), 214-224.

<https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.12.035>

Juárez-Arriaga, E., Lawton, T.F. y Stockli, D.F. (2016). *Soyatal Formation and Related Strata: Onset of Sedimentation in the Cretaceous Foreland-basin System, Central Mexico*.

https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2016/51306juarez/ndx_juarez.pdf.html

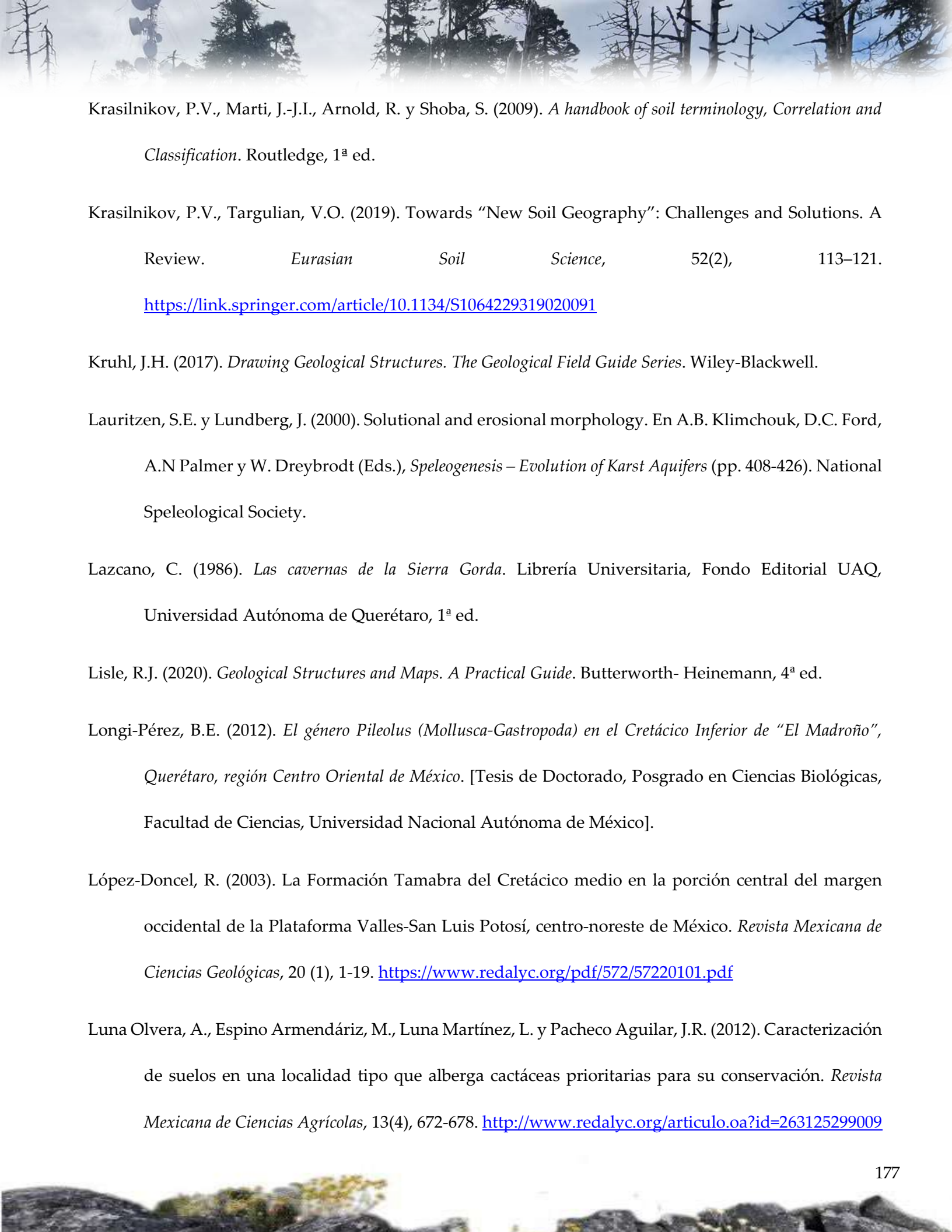
Kranjc, A. (2013). Classification of closed depressions in carbonate karst. En J. Shroder, (Ed. en jefe), A. Frumkin (Ed.), *Karst Geomorphology* (Vol 6., pp. 104-111). Treatise on Geomorphology, Academic Press.

Krasilnikov, P. (2011). Capítulo 1. Distribución espacial de los suelos y los factores formadores que la determinan. En P. Krasilnikov, F. J. Jiménez-Nava, T. Reyna-Trujillo, N.E. García-Calderón (pp. 1-39) *Geografía de suelos de México*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Krasilnikov, P., Carré, F. y Montanarella, L. (27 de junio de 2008). Soil geography and geostatistics: Concepts and Applications. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC44084>

Krasilnikov, P. V., Gerasimova, M. I., Golovanov, D. L., Konyushkova, M. V, Sidorova, V. A. y Sorokin, A. S. (2018). Pedodiversity and its significance in the context of modern soil geography. *Eurasian Soil Science*, 51(1), 1–13. <https://link.springer.com/article/10.1134/S1064229318010118>

Krasilnikov, P.V., Gutiérrez-Castorena, M.D.C., Ahrens, R.J., Cruz-Gaistardo, O., Sedov, S. y Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The Soils of Mexico*. World Soils Book Series, Springer.



Krasilnikov, P.V., Marti, J.-J.I., Arnold, R. y Shoba, S. (2009). *A handbook of soil terminology, Correlation and Classification*. Routledge, 1ª ed.

Krasilnikov, P.V., Targulian, V.O. (2019). Towards “New Soil Geography”: Challenges and Solutions. A Review. *Eurasian Soil Science*, 52(2), 113–121.
<https://link.springer.com/article/10.1134/S1064229319020091>

Kruhl, J.H. (2017). *Drawing Geological Structures. The Geological Field Guide Series*. Wiley-Blackwell.

Lauritzen, S.E. y Lundberg, J. (2000). Solutional and erosional morphology. En A.B. Klimchouk, D.C. Ford, A.N Palmer y W. Dreybrodt (Eds.), *Speleogenesis – Evolution of Karst Aquifers* (pp. 408-426). National Speleological Society.

Lazcano, C. (1986). *Las cavernas de la Sierra Gorda*. Librería Universitaria, Fondo Editorial UAQ, Universidad Autónoma de Querétaro, 1ª ed.

Lisle, R.J. (2020). *Geological Structures and Maps. A Practical Guide*. Butterworth- Heinemann, 4ª ed.

Longi-Pérez, B.E. (2012). *El género Pileolus (Mollusca-Gastropoda) en el Cretácico Inferior de “El Madroño”, Querétaro, región Centro Oriental de México*. [Tesis de Doctorado, Posgrado en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México].

López-Doncel, R. (2003). La Formación Tamabra del Cretácico medio en la porción central del margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, centro-noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20 (1), 1-19. <https://www.redalyc.org/pdf/572/57220101.pdf>

Luna Olvera, A., Espino Armendáriz, M., Luna Martínez, L. y Pacheco Aguilar, J.R. (2012). Caracterización de suelos en una localidad tipo que alberga cactáceas prioritarias para su conservación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(4), 672-678. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263125299009>



Manea, V.C., Manea, M. y Ferrari, L. (2013). A geodynamical perspective on the subduction of Cocos and Rivera plates beneath Mexico and Central America. *Tectonophysics*, 609(8), 56-81.

<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.12.039>

Martínez, M., Hernández, S.L., Gómez, S.M., Bárcenas, L.R., Pantoja, H.Y., Díaz, P.D. y Salinas, S.P. (2008).

Diversidad de plantas nativas en Querétaro y el área conurbada. *Extensión nuevos tiempos: Biodiversidad en Querétaro*, 10, 22-25.

Martínez-Yrizar, A., Sarukhan, J., Pérez-Jiménez, A., Rincón, E., Maass, J., Solís-Magallanes, A. y

Cervantes, L. (1992). Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. *Journal of Tropical Ecology*, 8(1), 87-96. <https://www.jstor.org/stable/2559815?seq=1>

Montaño, A.N. y Monroy, A.A. (2000). Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas en México. *Ciencia y Desarrollo*, 153, 26-37.

Mori, L., Gómez-Tuena, A., Cai, Y. y Goldstein, S.L. (2007). Effects of prolonged flat subduction on the

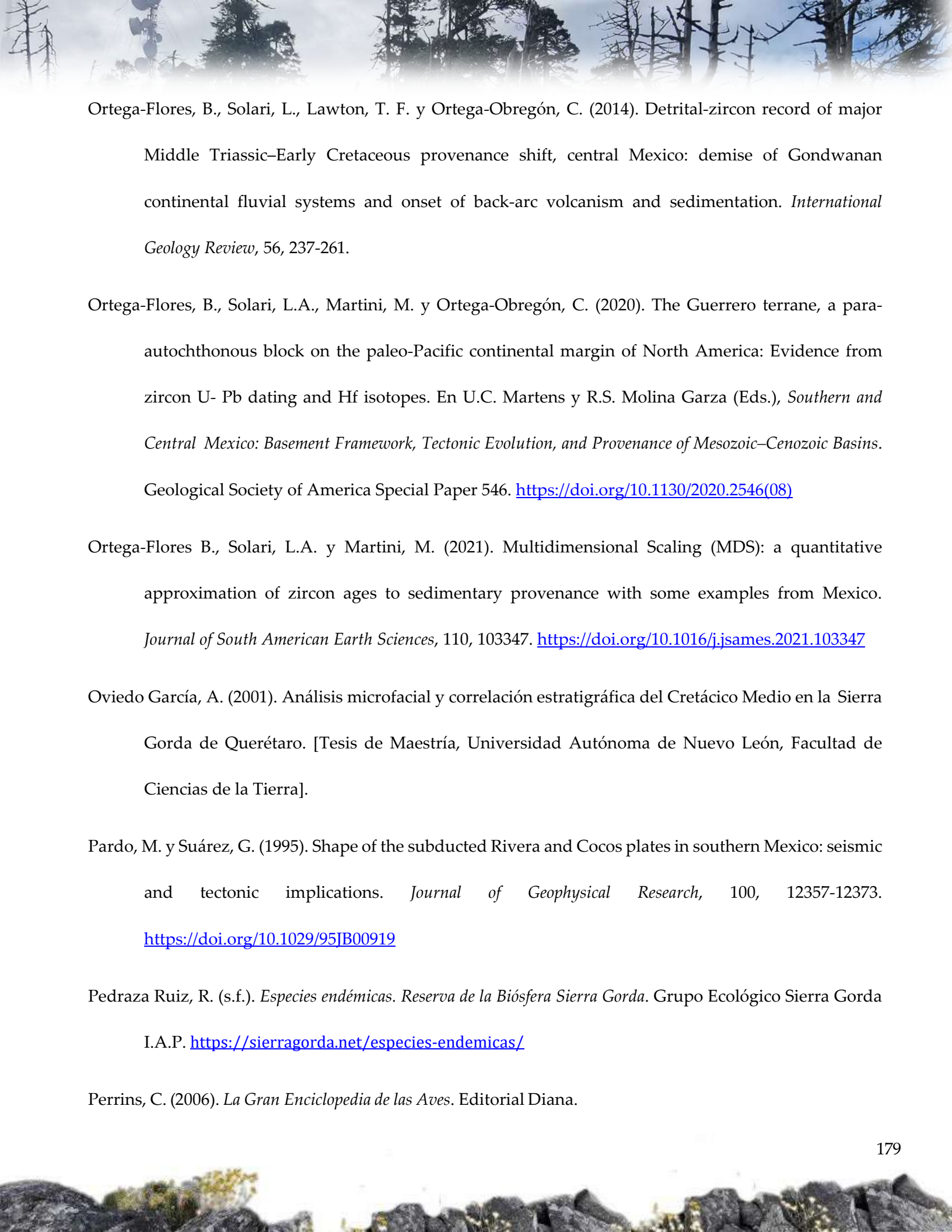
Miocene magmatic record of the central Trans-Mexican Volcanic Belt. *Chemical Geology*, 244, 452-473. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.07.002>

Myloie, J.E. (2013). Coastal Karst Development in Carbonate Rocks. En: M.J. Lace y J.E. Myloie (Eds.),

Coastal Karst Landforms (Vol. 5, pp. 77-109), Coastal Research Library, Springer.

Omaña, L., Alencáster, G. y Buitrón, B.E. (2016). Mid-early late Albian foraminiferal assemblage from the

El Abra Formation in the El Madroño locality, eastern Valles-San Luis Potosí Platform, Mexico: Paleoenvironmental and paleobiogeographical significance. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 477-196. <http://dc.doi.org/10.18268/BSGM2016v68n3a6>



Ortega-Flores, B., Solari, L., Lawton, T. F. y Ortega-Obregón, C. (2014). Detrital-zircon record of major Middle Triassic–Early Cretaceous provenance shift, central Mexico: demise of Gondwanan continental fluvial systems and onset of back-arc volcanism and sedimentation. *International Geology Review*, 56, 237-261.

Ortega-Flores, B., Solari, L.A., Martini, M. y Ortega-Obregón, C. (2020). The Guerrero terrane, a para-autochthonous block on the paleo-Pacific continental margin of North America: Evidence from zircon U- Pb dating and Hf isotopes. En U.C. Martens y R.S. Molina Garza (Eds.), *Southern and Central Mexico: Basement Framework, Tectonic Evolution, and Provenance of Mesozoic–Cenozoic Basins*. Geological Society of America Special Paper 546. [https://doi.org/10.1130/2020.2546\(08\)](https://doi.org/10.1130/2020.2546(08))

Ortega-Flores B., Solari, L.A. y Martini, M. (2021). Multidimensional Scaling (MDS): a quantitative approximation of zircon ages to sedimentary provenance with some examples from Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103347. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103347>

Oviedo García, A. (2001). Análisis microfacial y correlación estratigráfica del Cretácico Medio en la Sierra Gorda de Querétaro. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra].

Pardo, M. y Suárez, G. (1995). Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 100, 12357-12373. <https://doi.org/10.1029/95JB00919>

Pedraza Ruiz, R. (s.f.). *Especies endémicas. Reserva de la Biósfera Sierra Gorda*. Grupo Ecológico Sierra Gorda I.A.P. <https://sierragorda.net/especies-endemicas/>

Perrins, C. (2006). *La Gran Enciclopedia de las Aves*. Editorial Diana.

- 
- Pindell, J. y Dewey, J.F. (1982). Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region. *Tectonics*, 1, 179–211. <https://doi.org/10.1029/TC001i002p00179>
- Pulido-Bosch, A. (2019). Principles of Karst Hydrogeology: Conceptual Models, Time Series Analysis, Hydrogeochemistry and Groundwater Exploitation. *Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment*. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-55370-8>
- Ramammorthy, T.P. (1984). Notes on *Salvia* (Labiata) in Mexico with three new species. *Journal of the Arnold Arboretum*, 65(1), 135-143. <https://www.jstor.org/stable/43782138>
- Ramsay J.G. (1967). *Folding and Fracturing of Rocks*. McGraw-Hill.
- Rothery, D.A. (2010). Recording features of igneous rocks. En *Geological field techniques* (pp. 139-162). Wiley-Blackwell.
- Ruiz-Jiménez C., Téllez-Valdés O. y Luna-Vega I. (2012). Clasificación de los bosques mesófilos de montaña de México: afinidades de la flora. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 1110-1144. <https://doi.org/10.7550/rmb.29383>
- Rzedowski, J. (1972). Tres Adiciones al Genero *Baccharis* (Compositae) en Mexico. *Brittonia*, 24(4), 398-402. <https://doi.org/10.2307/2805502>
- Rzedowski, J. (1994). Dos especies nuevas de *Cirsium* (Compositae, Cardueae) del estado de Querétaro (México). *Acta Botánica Mexicana*, 29, 101–105. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57402908>
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35, 25–44. <https://doi.org/10.21829/abm35.1996.955>



Rzedowski, J. y Calderón de Rzedowski, G. (1989). *Rubus mcvaughianus* sp. N. (Rosaceae), una frambuesa silvestre de posible interés hortícola. *Acta Botánica Mexicana*, 5, 1-4.

<https://doi.org/10.21829/abm5.1989.572>

Rzedowski, J. y Calderón de Rzedowski, G. (2003). Dos especies nuevas de *Valeriana* (Valerianaceae) del centro de México. *Acta Botánica Mexicana*, 62, 65-71.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57406206>

Rzedowski, J., Calderón de Rzedowski, G. y Zamudio, S. (2012). La flora vascular endémica en el estado de Querétaro. I. Análisis numéricos preliminares y definición de áreas de concentración de las especies de distribución restringida. *Acta Botánica Mexicana*, 99, 91-104.

<https://doi.org/10.21829/abm99.2012.21>

Salazar, J.M. y Anderson, T.S. (25 de febrero de 2018). *Guía de Aves de la Presa de Jalpan, Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Querétaro*.

https://www.researchgate.net/publication/323390903_Field_Guide_to_the_Birds_of_the_Jalpan_Reservoir_in_the_Sierra_Gorda_Biosphere_Reserve_Queretaro_Mexico

Sánchez-Rodríguez, M. (2002). El granero de la Nueva España. Uso del entarquinamiento para la producción de cereales en el Bajío mexicano. *Revista Boletín del Archivo Histórico del Agua*. 7(22), 12-22.

Sarocchi, D., Borselli, L. y Macías, J.L. (2005). Construcción de perfiles granulométricos de depósitos piroclásticos por métodos isotópicos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3), 371-382.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v22n3/2007-2902-rmcg-22-03-371.pdf>



Scheinvar, L. (2004). *Flora cactológica del Estado de Querétaro: diversidad y riqueza*. Fondo de Cultura Económica.

Secretaría de Desarrollo Sustentable (2021). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático para el Estado de Querétaro 2021- 2050*. Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro.
<https://portal.queretaro.gob.mx/sedesu/listadoprogramas.aspx?q=0P7NpIeTMwwWz30/HvmgEvMDVbJSjYsew3XLUiDhY0=>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2 de octubre de 2024). *Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Catálogo de metadatos geográficos*.
<http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anpmx.html>

Shanov, S. y Kostov, K. (2015). *Dynamic Tectonics and Karst*. Springer-Verlag.

Siebe C., Jahn R. y Stahr K. (1996). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelo en el campo*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Publicación Especial No 4.
<https://www.smcsmx.org/files/concurso/2020/Manual3CMES2020.pdf>

Silva-Romo, G., Arellano-Gil, J., Mendoza-Rosales, C. y Nieto-Obregón, J. (2000). A submarine fan in the Mesa Central, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 429-442.
[https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00034-1)

Slabe, T. y Prelovšek, M. (2013). Rock Features and Morphogenesis in Epigenic Caves. En J. Shroder, (Ed. en jefe), A. Frumkin (Ed.), *Karst Geomorphology* (Vol. 6, pp. 172-185). Treatise on Geomorphology. Academic Press.

Sotomayor, J., Ferreyra, M. y León, J. (2003). *Clasificación mecánica de la madera de 100 especies mexicanas*. XII Congreso forestal mundial. <http://www.fao.org/D/>



Wiley-Blackwell.

Stow, D.A.V. (2005). *Sedimentary Rocks in the Field A Colour Guide*. Manson Publishing Ltd.

Suter, M. (1990). *Hoja Tamazunchale 14Q-E (5)*. Resumen de la Geología de la Hhoja Tamazunchale, Estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí. Carta Geológica de México, Serie 24, escala 1:100,000. Universidad Nacional Autónoma de México.

Taboroši, D. y Kázmér, M. (2013). Erosional and Depositional Textures and Structures in Coastal Karst Landscapes. En M.J. Lace y J.E Mylroie (Eds.), *Coastal Karst Landforms* (Vol. 5, pp.15-58), Coastal Research Library, Springer.

Tristán-Martínez, E., Fortanelli-Martínez, J. y Bonta, M. (2020). Toxic Harvest: *Chamal* Cycad (*Dioon edule*) Food culture in Xi'Iuy Indigenous Communnities of San Luis Potosí, Mexico. *Journal of Ethnobiology*, 40(4), 519-534. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-40.4.519>

Udeen, J.A. (1914). Mechanical composition of clastic sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 25, 655-744. <https://doi.org/10.1130/GSAB-25-655>

Verma, S.P. y Carrasco-Núñez, G. (2003). Reappraisal of the geology and geochemistry of Volcán Zamorano, Central Mexico: Implications for discriminating the Sierra Madre Occidental and Mexican Volcanic Belt provinces. *International Geology Review*, 45, 724-752. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.45.8.724>

Waldron, J.W.F. y Snyder, M. (2020). *Geological Structures: a Practical Introduction*. University of Alberta.

Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392. <https://www.jstor.org/stable/30063207>

White, S.Q. (2022). Karst Meso and Micro Morphology. En J.F. Shroder (Ed.), *Weathering and Soil Processes* (2ª ed., Vol. 3, pp. 395-407). Treatise on Geomorphology, Academic Press.



White, W.B. y White, E.L. (2013). Karst landforms: scope and processes in the early twenty-first century.

En J. Shroder, (Ed. en jefe), A. Frumkin (Ed.), *Karst Geomorphology* (Vol. 6, pp. 14-22). Treatise on Geomorphology. Academic Press.

Wilson, J. L. (1975). *Carbonate Facies in the Geologic History*. Springer-Verlag.

Wortel, R. y Cloetingh, S. (1981). On the origin of the Cocos-Nazca spreading center. *Geology*, 9, 425–430.

[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1981\)9%3C425:OTOOTC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1981)9%3C425:OTOOTC%3E2.0.CO;2)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1988). *Base Referencial Mundial de Recursos del Suelo (WRB)*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-%20survey/clasificacion-de-suelos/leyenda-de-la-fao/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2015). *Base Referencial Mundial de Recursos del Suelo (WRB) 2014, Actualización 2015*. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106.

Yáñez-Espinosa, L. (2006). *Las cycadas. Biología y conservación en México*. Universidad Autónoma Chapingo.