

Geología desde los ojos de un dron

Una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros en Ciencias de la Tierra

Proyecto DGAPA/UNAM/PAPIME: PE101020

Visitas Geológicas Virtuales

VGv-01

Visita a afloramientos de rocas volcánicas del Plio-Cuaternario en el sur de la Cuenca de México

Autores:

Profesores

González-Torres Enrique
Hernández-Espriú Antonio
Macías-Medrano Sergio Enrique
Mancera-Alejándrez Javier

Alumnos

Aguilar-Ojeda Daniel
Montoya-Ramírez Mario
Vega-Ahuacatitla Marlene



UNAM / FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA



1. Ubicación

La visita geológica virtual (VGV) al volcán “La Cima II” comienza desde las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM en Ciudad Universitaria, con un recorrido por la Carretera Federal México-Cuernavaca. Pasando la localidad de Parres, Tlalpan, CDMX, a 36 km desde el punto de partida hasta llegar al volcán “La Cima II” (Figura 1).

Punto de salida: Facultad de Ingeniería en Ciudad Universitaria, CDMX.

Destino: Volcán “La Cima II”

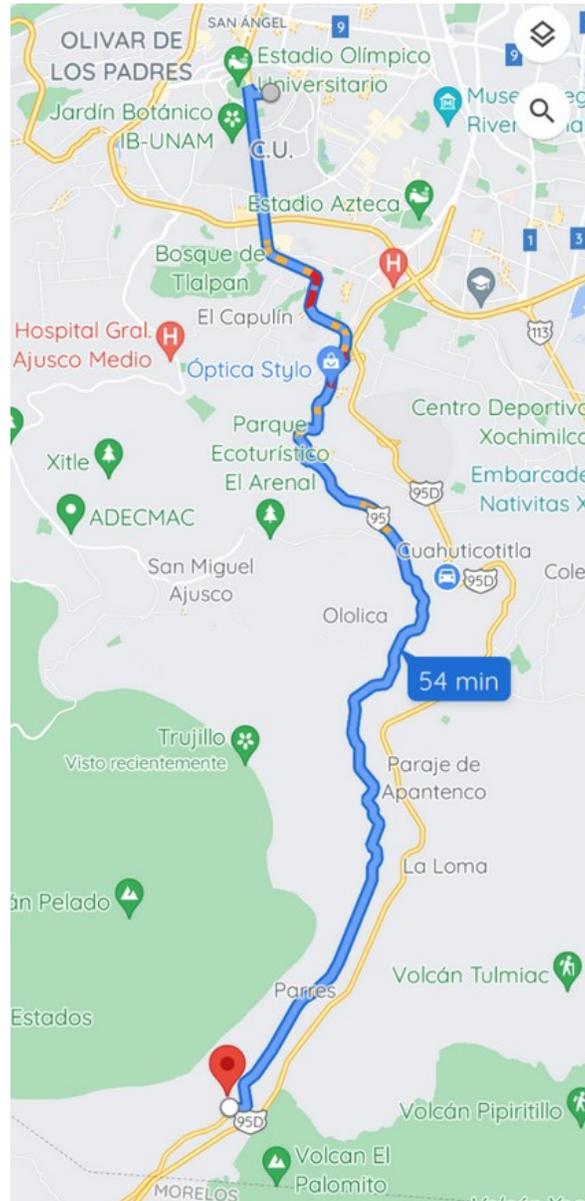


Figura 1. Ruta del recorrido desde Google Maps (en automóvil). Comienza desde la Facultad de Ingeniería en Ciudad Universitaria al Volcán “La Cima II”, Parres, Tlalpan.

2. Objetivos

Objetivo General

Las visitas geológicas virtuales (VGV) tienen por objetivo introducir al estudiante a conocer (sin salir formalmente a campo) sitios geológicos de interés, de manera que pueda experimentar a través de recursos digitales (videos de campo, fotografías esféricas 360°, panorámicas de alta resolución, modelos 3D, mapas interactivos) las observaciones, descripciones, análisis e interpretaciones a las que llegan los estudiosos de las ciencias de la Tierra durante una visita geológica de campo. Aunque ésta VGV está disponible para todo público, hemos diseñado este contenido para las asignaturas de Geología Física/General/Introdutoria, para estudiantes de licenciatura de Ciencias de la Tierra y programas académicos afines.

Objetivos particulares de la VGV-01 “El volcán La Cima II”:

Al finalizar ésta VGV el estudiante será capaz de:

- Identificar diferentes cuerpos volcánicos en la zona del volcán “La Cima II” (localidad Parres, CDMX.) y su importancia como parte del campo de volcanes monogenéticos de la Sierra de Chichinautzin de Faja Volcánica Transmexicana (FVTM).
- Reconocer la importancia de las escalas o niveles de estudio en la geología (regional, local, afloramiento, muestra de mano, láminas delgadas) como un método deductivo para entender los procesos geológicos.
- Familiarizarse con la metodología general utilizada en el trabajo geológico de campo.
- Conocer los procesos genéticos de las rocas piroclásticas, así como sus principales características físicas: estructuras, color, textura y tamaño de sus componentes.
- Conocer los mecanismos de formación de flujos lávicos, y sus principales características.
- Comprender las diferencias entre rocas piroclásticas y flujos de lava.

3. Introducción



Las visitas geológicas son una actividad fundamental en el día a día de los estudiosos de las Ciencias de la Tierra, permiten ir a campo para observar, describir, analizar e interpretar afloramientos de rocas y entender cómo fueron los procesos que intervinieron para dar origen a los cuerpos de roca y las estructuras que forman.

La visita geológica virtual que estás a punto de comenzar pretende acercarte a la experiencia de una visita geológica real en el campo de volcanes monogenéticos de la Sierra de Chichinautzin. Antes de comenzar repasaremos, de manera muy breve, algunos datos importantes acerca de las rocas ígneas.

Las *rocas ígneas* se forman a partir del enfriamiento y solidificación de un magma y se clasifican en dos grandes categorías: *Intrusivas y extrusivas o volcánicas* (ver [Figura 2](#)).

Las *rocas ígneas intrusivas*, se forman por la solidificación lenta del magma en el interior de la corteza, mientras que las *rocas ígneas extrusivas*, se forman por solidificación rápida del magma fuera del conducto volcánico, es decir, en la superficie terrestre. Estas últimas a su vez podemos subdividir las en dos categorías con relación al tipo de actividad volcánica que las forma: las *rocas efusivas* que se forman por la solidificación lenta de magma formando flujos de lava, y las *rocas piroclásticas* que se forman por la solidificación de material magmático fragmentado emitido durante una erupción explosiva, formando productos piroclásticos.

La solidificación del material magmático que da origen a las rocas ígneas produce diversas *estructuras volcánicas* y en esta VGV tendremos la oportunidad de conocer algunas de ellas.

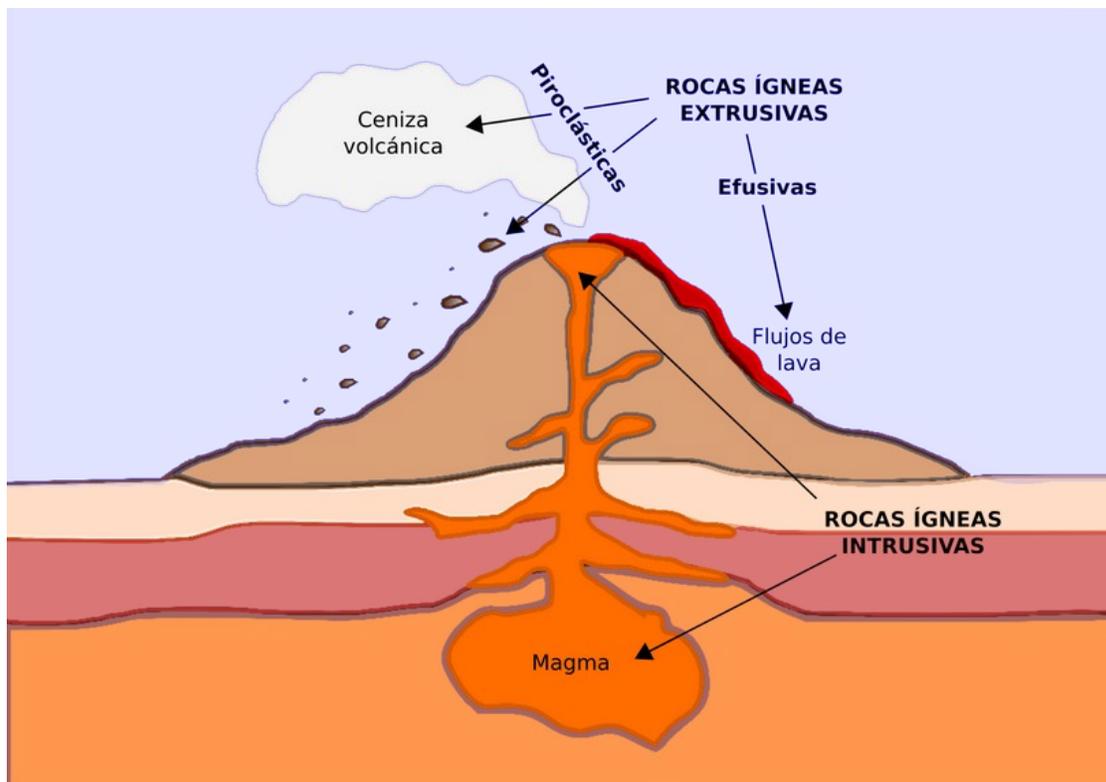


Figura 2. Esquema de estructura volcánica y rocas ígneas.

Reconocimiento general

La provincia geológica de la Faja Volcánica Transmexicana se extiende en la región central de México, desde el océano Pacífico hasta el Golfo de México. Es una región en la que están expuestos alineamientos de estructuras de volcanes, que se originaron a lo largo de un límite de convergencia de las placas tectónicas y que se conocen como arcos continentales. Dentro de esta provincia se encuentra la Sierra de Chichinautzin, en donde se estima la presencia de al menos 220 aparatos volcánicos, cuyas rocas más antiguas reportadas tienen edades de 1.2 millones de años, sin embargo, dominan las formados durante los últimos 40 mil años. Está constituida por estructuras volcánicas a las cuales llamamos conos de escoria constituidos por ceniza volcánica y materiales más gruesos denominados lapilli. Estos conos tienen edades del Plio-cuaternario, los cuales han formado derrames de lava y depósitos piroclásticos que cubren un área de aproximadamente de 2500 km². Las rocas volcánicas en esta área son en su mayoría basaltos, andesitas y andesitas basálticas (Figura 3).

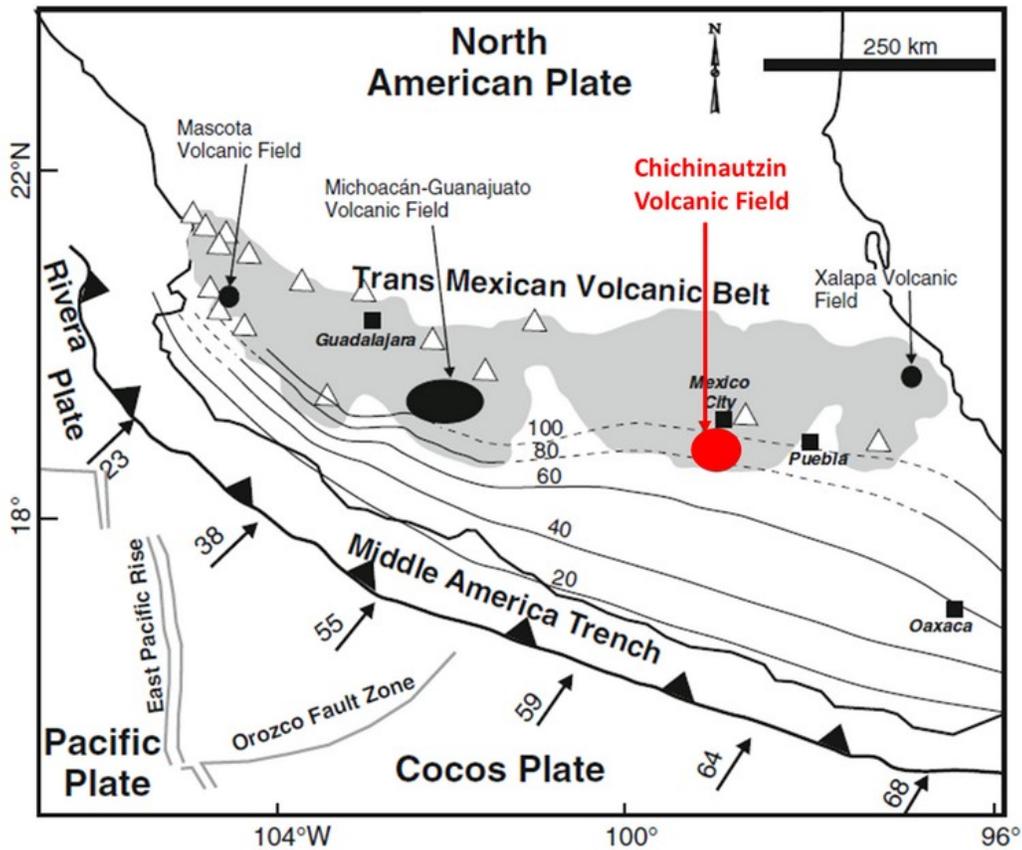


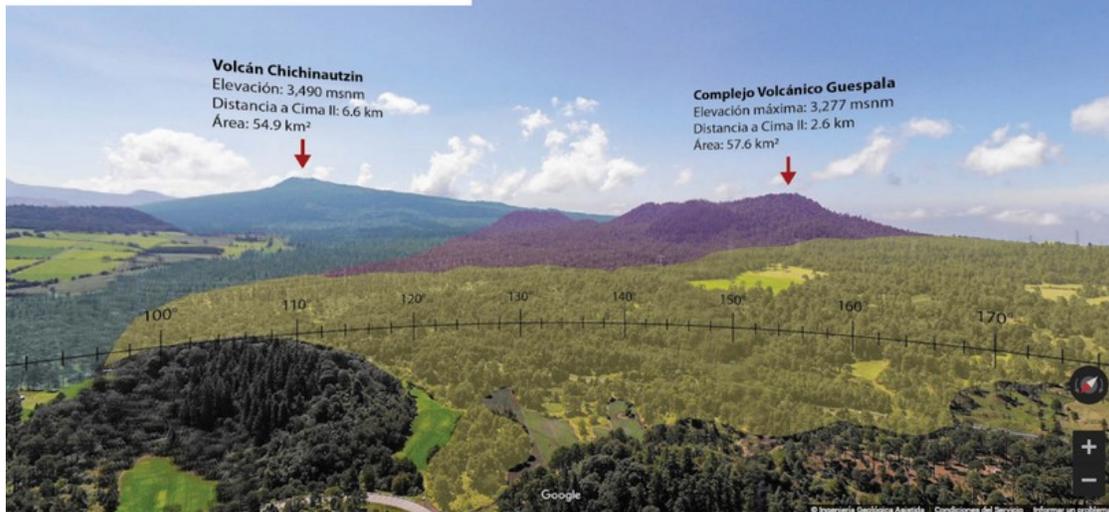
Figura 3. Reconocimiento general de la zona de estudio. Se muestra el área (en sombreado gris) de la provincia geológica de la Faja Volcánica Transmexicana y del área (en rojo) de la Sierra de Chichinautzin. FUENTE: Tectonic map of the Trans-Mexican volcanic belt. Arce et al. (2013).

4. Contexto regional: Grupo Chichinautzin

El grupo Chichinautzin está caracterizado por la presencia de muchas estructuras volcánicas, como se observa desde la Cima II en la vista esférica de Street View (Figura 4), de las cuales gran parte de ellas son pequeños conos que en tiempo geológico tuvieron actividad hace menos de 50 mil años.

a) Simbología

- Flujos de basalto (Chichinautzin)
- Flujos de basalto (Complejo Guespala)



b) Simbología

- Flujos de basalto (Chichinautzin)

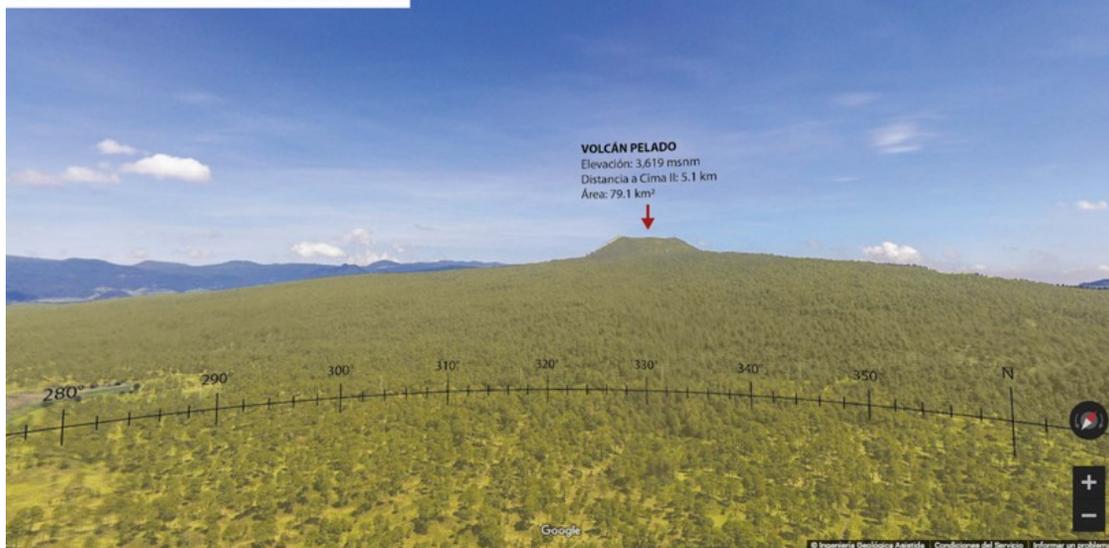


Figura 4. Vista esférica de [Street View](#) desde La Cima II. a) Vista hacia el SE, b) vista hacia el NW. FUENTE: Elaboración propia con delimitación de flujos de lava tomada de Claus Siebe et al. (2004)

Las características litológicas como son: tamaño y forma de los fragmentos de roca, textura, color, estructuras; nos permiten inferir que nos encontramos en la ladera de un pequeño aparato volcánico que hemos reconocido como un cono de escoria producto de actividad volcánica explosiva.

La hipótesis anterior la podemos sustentar ya que este tipo de conos tiene las siguientes características (Figura 6):

- a) Sucesiones de materiales ígneos fragmentados llamados piroclastos. Los cuales se acumularon en capas que a su vez forman una estructura cónica.
- b) Estas capas presentan diferencias entre sí, como variaciones en sus tonalidades y la distribución interna de sus constituyentes (fragmentos de roca).
- c) En cada una de las capas se pueden distinguir tamaños predominantes de los materiales volcánicos, es decir una capa puede tener mayor abundancia de materiales finos conocidos como ceniza volcánica, otras podrían estar constituidas en mayor medida por fragmentos más gruesos con vesículas denominados lapilli y en ocasiones en estas capas pueden contener fragmentos de mayor tamaño a los que se les conoce como bombas volcánicas.

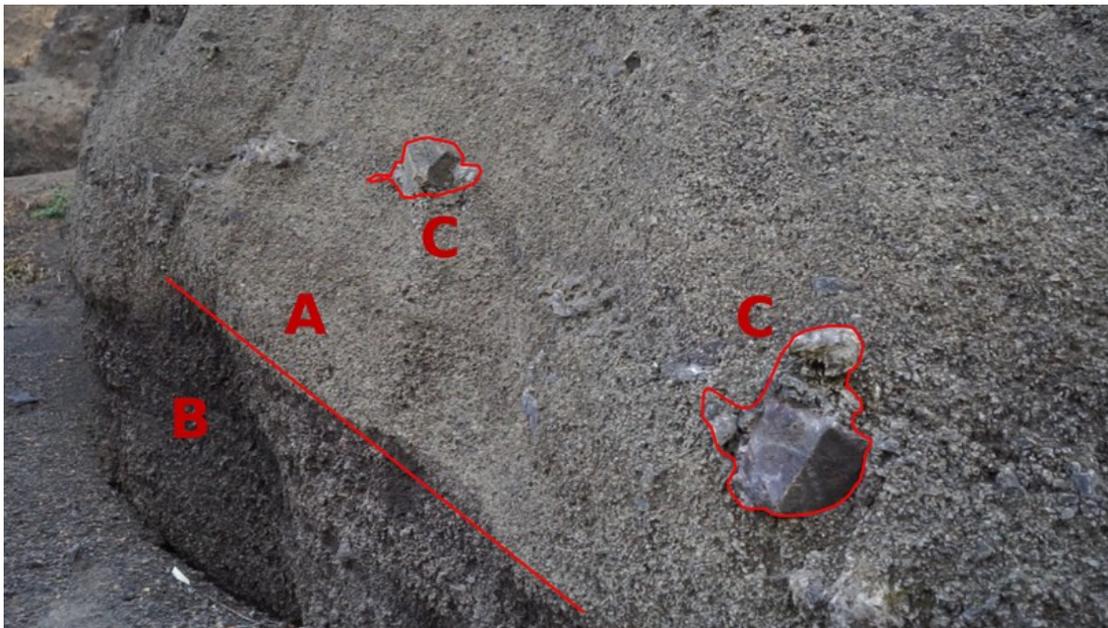
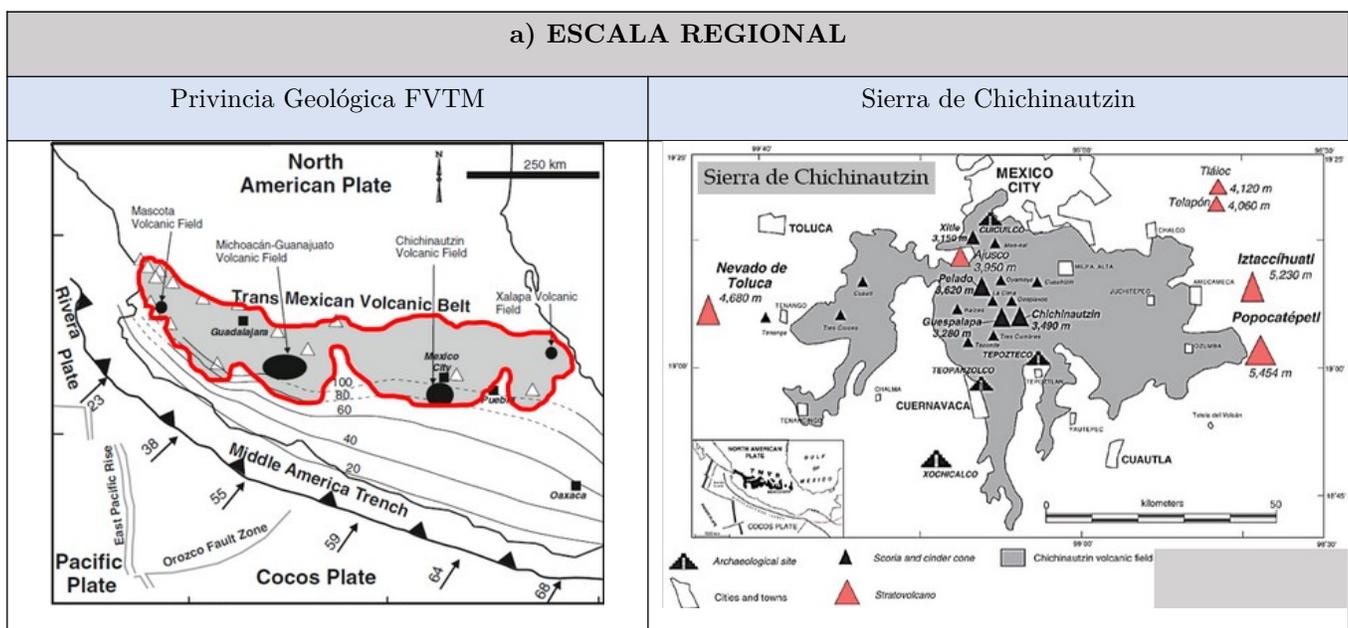


Figura 6. Ladera del volcán “La Cima II” donde se puede apreciar el límite de capa entre A y B, así como el cambio de coloración, además en C se observan los fragmentos de mayor tamaño (bombas volcánicas) inmersos en capas de material más fino.

Dichas capas pueden interpretarse como los diferentes eventos de explosiones volcánicas a lo largo de la historia eruptiva de la estructura volcánica. Así mismo, los tamaños del material piroclástico nos pueden indicar la magnitud de la energía liberada durante cada evento.

La geología es una ciencia muy particular porque su estudio requiere de observaciones *multiescales*, es decir que los rasgos geológicos que estudiamos se pueden abordar desde diferentes escalas en cuanto a tamaño de los materiales estudiados y tiempo que les dio origen. Ejemplo, cuando hablamos de una gran provincia geológica como la FVT nuestras observaciones son a escala regional (centenas de km), dentro de ella hay varios sectores, como en este caso del campo de volcanes monogenéticos del Chichinautzin, en la cual encontramos varios aparatos volcánicos con rasgos semejantes y formados en un intervalo de determinado de tiempo, cada aparato volcánico tiene una escala local (centenas de metros), si nos acercamos a observar los rasgos dentro de uno de estos conos, estas observaciones serán a una escala de afloramiento (decenas de metros). Por otro lado, si nos acercamos más y tomamos una muestra de roca para hacer observaciones de detalle estaremos a una escala de muestra de mano (centímetros a milímetros). Si quisiéramos todavía más detalle incluso podríamos analizar a una escala microscópica (micras). Esto tiene relevancia ya que en cada una de estas escalas se pueden observar diferentes rasgos que nos proporcionan distintos tipos de información (ver [Figura 7](#)).



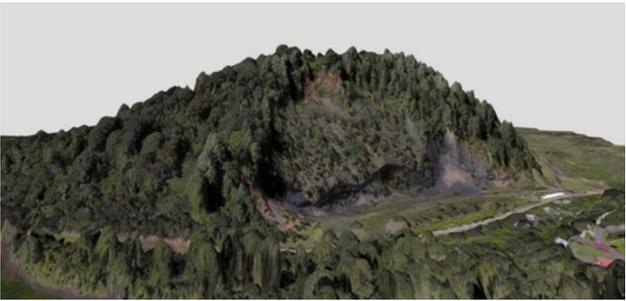
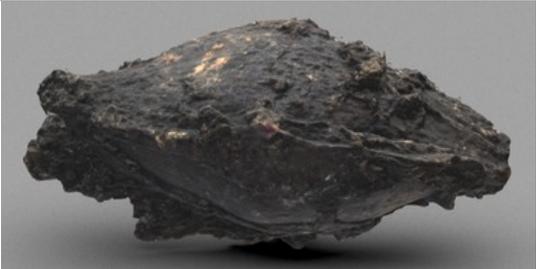
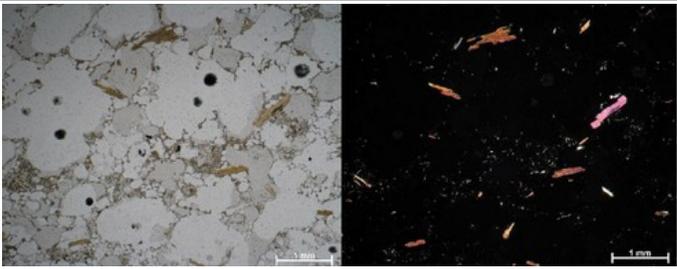
b) ESCALA LOCAL	
Volcán La Cima II	Pared lateral del volcán
	
c) ESCALA MUESTRA	
Muestra de mano	Lámina delgada
	

Figura 7. Observaciones multiescalares en la VGV-01 La Cima II. a) Ejemplifica la escala regional, izq. Provincia de la Faja Volcánica Transmexicana, der. Sierra de Chichinautzin. b) Ejemplifica la escala local, izq, Volcán la Cima II, der. Afloramiento, pared del volcán. c) ejemplifica nivel muestra, izq. Muestra de roca “La bomba”, der. Lámina delgada, nivel microscópico de una escoria.

Las rocas son materiales de la parte sólida de la Tierra que ocupan un espacio, esos volúmenes de roca se preservan a través del tiempo y son testigos de procesos que ocurrieron en el pasado. Es decir, estas rocas que observamos hoy guardan historias que nosotros podemos descifrar y reconstruir. La historia que ha quedado registrada en estas rocas se puede comparar con la historia de otros volcanes y entonces podemos saber que todo esto que observamos en la superficie se ha ido formando en diferentes intervalos. Las rocas en etapas posteriores pueden experimentar otro tipo de procesos como la meteorización y erosión, que las fragmentan, alteran y remueven. El resultado es que las rocas que se preservan son los testigos donde ha quedado confinado el tiempo.

A continuación, en 2.5D se muestra el volcán Cima II como uno de los cuerpos volcánicos del Grupo Chichinautzin. (Figura 8). -Si quieres conocer más sobre el modelado 2.5D te invitamos a visitar los siguientes videos que te dejamos por [aquí](#)-.



Figura 8. Modelo 2.5D de la pared del volcán La Cima II en [Sketchfab](#).

6. Estación 2. Vista local: Banco de material

En una ladera del volcán se encuentra una pared formada como resultado de la remoción de materiales, es decir un banco de materiales que se explotó durante la construcción de la carretera que pasa a un costado. La extracción de estos materiales ha dejado expuesto un afloramiento muy atractivo, una pared de varias decenas de metros de alto en donde es posible observar con detalle las características de las rocas que la conforman, así como estructuras geológicas dentro de la pared.

Nuestro trabajo ahora es realizar observaciones más detalladas, para ello es necesario acercarnos al afloramiento y describir lo que observamos, por ejemplo:

En primera instancia, a medida que acercamos, lo primero que destaca, es que este cerro está constituido por un material que le llamamos deleznable, es decir, que se disgrega fácilmente y esto se debe a que la cohesión entre partículas prácticamente es nula, y que lo único que las mantiene unidas, es la fricción entre ellas y una cohesión “aparente”.

Se puede identificar una variedad de tamaños, en donde predominan de tamaño intermedio (lapilli), pero si observamos a detalle encontramos que también hay

material fino al que le llamamos ceniza volcánica y dentro de estos también podemos encontrar otros tamaños de partícula más gruesos como las bombas volcánicas (Figura 9). Cada capa tiene distribución de tamaños la cual nos podría decir sobre la energía liberada en cada evento.



Figura 9. Variedad de tamaños de las partículas halladas en la pared lateral del volcán La Cima II.

Al observar las muestras con la lupa se logran ver vesículas que son huecos que se forman por la por la presencia de gases al momento de enfriarse la lava que las formó, y está asociada a actividad volcánica explosiva.

Se proporciona a continuación una imagen de alta resolución del banco de material obtenido a través de fotogrametría oblicua a 60 m de la superficie (Figura 10).



Figura 10. Imagen de alta resolución del banco de materiales en [GigaPan](#).

Si deseas explorar en 3D las muestras obtenidas del banco de materiales (Figura 11), interactúa la siguiente colección de [Sketchfab](#).

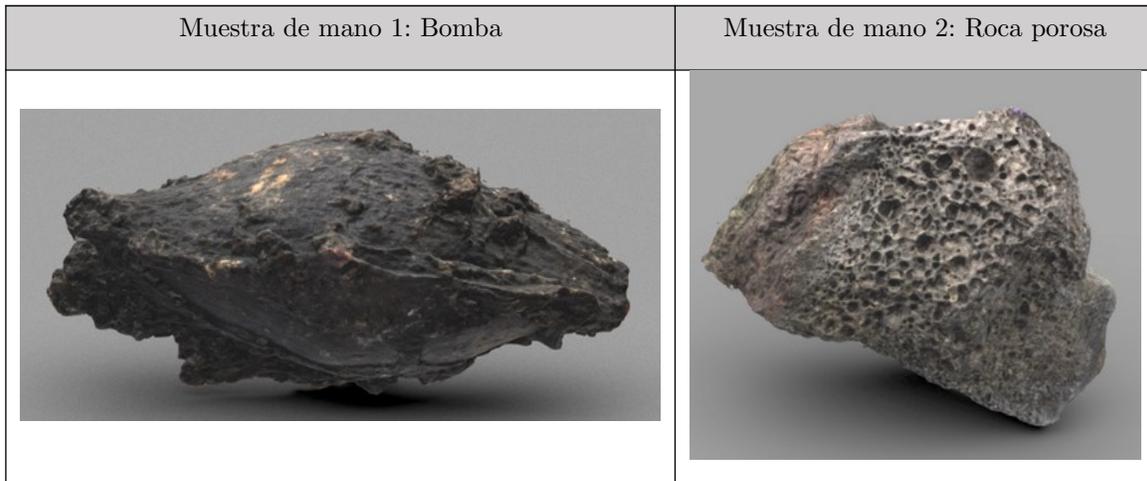


Figura 11. Imágenes de los modelos 3D de las muestras de mano recolectadas en campo. Izq. Bomba volcánica con forma ovalada. Der. Roca porosa.

7. Estación 3. Vista local: Coladas del volcán Pelado

Alrededor de unos 200 m al poniente del banco de material, encontramos otro tipo rasgos que nos expresan diferente actividad volcánica: material que está asociado a un derrame de lava, no es material fragmentado, es cohesivo.

Los materiales que observamos en este afloramiento corresponden a antiguos flujos de lava, material incandescente que corría por este segmento de este valle y que a través de su recorrido se enfrió hasta solidificarse, formando así estructuras de rocas volcánicas efusivas que se denominan lavas. Por su estructura, a este tipo de lavas se les llama lavas en bloques, los cuales se generaron por el fracturamiento conforme se iban enfriando los flujos de lava (Figura 12).



Figura 12. Lavas en bloques, coladas del volcán Pelado. Arriba: se observan los bloques que se formaron a causa del fracturamiento. Abajo: se observa cómo la vegetación se ha introducido en las fracturas.

Estas rocas presentan cambios en la coloración debido a que las superficies están expuestas al Intemperismo o a la meteorización, es decir que las rocas se afectan debido al contacto con la atmósfera, con el agua o la vegetación, etcétera. Su textura es afanítica, es decir que no observamos minerales a simple vista, sin embargo, por su color y contexto geológico podemos decir que tiene una composición máfica, lo cual quiere decir que tiene un bajo contenido en sílice y predominan minerales máficos como olivinos, piroxenos y plagioclasas.

8. Discusión didáctica sugerida

Te invitamos a reflexionar y discutir a fondo con tu profesor de Geología, los siguientes cuestionamientos:

1. Para identificar y clasificar las rocas en campo, ¿Qué características se requieren observar?
2. ¿Cuáles son los dos grandes tipos de actividad volcánica que existen en general?, ¿cuáles son sus características principales y por qué existen diferencias entre ellos?
3. ¿Qué mecanismos geológicos de formación pudieron dar lugar a la formación del volcán “La Cima II”?
4. ¿Crees que la Formación Chichinautzin tenga algún interés económico/ingenieril en la región?, ¿qué reporta la literatura al respecto?
5. ¿Por qué piensas que hay una gran cantidad de aparatos volcánicos en la zona?
6. ¿Crees que exista algún tipo de riesgo asociado al volcanismo en el área para los habitantes actuales de la región?, ¿qué información adicional deberías considerar para evaluar esta pregunta con detalle?

9. Conclusiones

- La historia geológica de una región está registrada en las rocas expuestas en diferentes lugares, por lo que las visitas geológicas de campo son esenciales para comprender la evolución geológica de cada región.
- La metodología general utilizada en el trabajo de campo consiste en observar y describir las características de los cuerpos de roca y las estructuras que forman, así como en analizar la información que observamos e interpretar su significado.
- Las observaciones de campo se realizan en diferentes escalas. En primer término, es importante conocer el contexto geológico de la región, en una segunda etapa, se observan los afloramientos de roca en el campo, los cuales pueden variar de metros a centenas de metros y finalmente se observan en detalle las muestras de rocas, ya sea una simple vista o con lupa, y cuyo tamaño va de centímetros a milímetros.
- Las visitas geológicas virtuales permiten experimentar al estudiante algunas de las observaciones que haría un geólogo al visitar un sitio e interpretar, por ejemplo, que en esta zona hubo actividad volcánica de dos tipos:
 - La primera de tipo explosivo, la cual está atestiguada por una estructura volcánica que corresponde a un cono de escorias, constituida por sucesiones de depósitos de material piroclástico expuesto en capas. Los piroclastos varían en tamaño de bombas (> 64 mm), lapilli (2-64 mm) con vesículas y ceniza (> 2 mm), de los cuales los más abundantes son las de tamaño lapilli. La composición de los productos piroclásticos inferiores por su índice de color y escasos fenocristales de olivino indica que es de tipo basáltica.
 - En segundo término, en las zonas adyacentes al cono de escoria, se reconoce actividad volcánica efusiva, expresada en estructuras de lavas en bloques, construidas por rocas cohesivas de textura afanítica y también de composición basáltica. A partir de las observaciones de campo en la localidad no fue posible determinar la estructura volcánica de la cual proceden los flujos de lava.
- Consideramos que las visitas geológicas virtuales son una herramienta que puede complementar la formación de los estudiantes de las Ciencias de la

Tierra y que, además, son una herramienta que puede complementar y nunca sustituir el trabajo clásico (presencial) de campo.

¿Quieres conocer más?

Referencias generales para trabajo de campo y rocas volcánicas:

1. Gill R., 2010, *Igneous Rocks and Processes: A Practical Guide*, Wiley-Blackwell; Edición ilustrada, 440 págs.
2. Reynolds S. y Johnson Julia, 2022, *Exploring Geology*, McGraw-Hill Education; 6ª edición, 704 pp.
3. Tarbuck EJ y Lutgens FK, 2013, *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*, Pearson Educación, 10ª edición, 771 pp.
4. Winter JD, 2001, *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*, Pearson College Div, 697 pp.

Referencias para la VGV "El volcán La Cima II"

1. Arce, JL, Layer, PW, Lassiter, JC, Benowitz, JA, Macías, JL y Ramírez-Espinosa, J., 2013, Datación $40\text{Ar}/39\text{Ar}$, geoquímica y análisis isotópico del campo volcánico cuaternario Chichinautzin, sur de México Ciudad: implicaciones para el tiempo, la tasa de erupción y la distribución del vulcanismo, *Bull Volcanol* 74:774.
2. Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V., Manea, M., 2012. La historia dinámica de la Faja Volcánica Transmexicana y la zona de subducción de México. *Tectonofísica* 522-523, 122–149.
3. Jaimes-Viera, MC, Martín Del Pozzo, AL, Layer, PW, Benowitz, JA y Nieto-Torres, 2018, Timing the evolution of a monogenetic volcanic field: Sierra Chichinautzin, Central Mexico, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 356, 225-242.
4. Siebe, C., Rodríguez-Lara, V., Schaaf P. y Abrams, M., 2004, Edades de radiocarbono de los conos de escoria del Holoceno Pelado, Guespalapa y Chichinautzin, al sur de la Ciudad de México: implicaciones para la arqueología y peligros futuros , *Bull Vulcanology*, 66, 203-225.