

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El estratovolcán andesítico Volcán de Colima es uno de los volcanes más activos de Norteamérica y el más activo de la República Mexicana, por lo que fue incluido como uno de los 16 Volcanes de la Década seleccionados para especial investigación durante los últimos diez años del siglo XX por la Comisión de Mitigación de Desastres Volcánicos de la Asociación Internacional para la Vulcanología y Química del Interior de la Tierra (Zobin et al. 2002). Su actividad histórica es conocida en los últimos 500 años; desde 1560 A.D. el Volcán de Colima ha tenido alrededor de 43 erupciones significativas (Saucedo et al. 2005), de las cuales al menos cuatro han sido eventos plinianos (González et al. 2002; Zobin et al. 2008).

Las lavas principalmente andesíticas expulsadas por el Volcán durante su actividad han originado la formación de domos de lava los cuales han presentado diversas fases de crecimiento y colapso parcial o total. Una de las características del Volcán de Colima ha sido la ocurrencia de flujos piroclásticos (Saucedo et al. 2004; Macías 2005), estos pueden originarse por el colapso de un domo de lava (Branney & Kokelaar 2002) y presentan una de las mayores amenazas volcánicas debido al potencial destructivo que poseen, ya que pueden fluir a altas velocidades y arrastrar grandes bloques de roca (Branney & Kokelaar 2002; Saucedo et al. 2004).

La erupción de 1991, una de las más explosivas de los últimos 100 años, culminó con la destrucción del domo y la formación de un cráter de 450 m de diámetro y 350 m de profundidad. Esta erupción propició la generación de flujos piroclásticos que alcanzaron hasta 15 km de longitud desde la cima del cráter (Macías 2005; Saucedo et al. 2005).

Los flujos piroclásticos no siguen una trayectoria radial, sino que se desplazan a gran velocidad por las barrancas formadas en las laderas, guiados por la gravedad, cerca de las cuales se han establecido algunos asentamientos humanos, por ello el estudio y la generación de información respecto al peligro que representan los flujos piroclásticos asociados a la actividad del Volcán de Colima debe constituir uno de los principales intereses para la protección civil.

La localidad de La Yerbabuena se encuentra en la ladera SW del Volcán de Colima y es el asentamiento humano más próximo al cráter, a solamente 8 km de distancia. Debido a la cercanía que tiene esta localidad con el cráter del Volcán de Colima es

imprescindible determinar qué tan susceptible es ante la ocurrencia de un flujo piroclástico.

En esta investigación se aborda el estudio de los flujos piroclásticos desde tres perspectivas: por una parte se busca identificar cambios morfológicos en el domo del Volcán de Colima antes de una erupción; identificar la ruta más probable de un flujo piroclástico que pudiera afectar la localidad de La Yerbabuena; y el diseño de un taller de cartografía participativa en la localidad de La Yerbabuena

I.1. OBJETIVOS

El proyecto que aquí se presenta tiene como objetivo analizar los cambios morfológicos del domo de lava del Volcán de Colima y su implicación en la gestión del peligro volcánico por la generación de flujos piroclásticos en la comunidad de La Yerbabuena; a su vez está integrado por tres subtemas, cada uno con un objetivo general y objetivos específicos, que sin embargo se encuentran profundamente interrelacionados.

El subtema del que parte el proyecto es el estudio del domo de lava del Volcán de Colima, el cual tiene como objetivo general identificar los cambios morfológicos del domo de lava del Volcán de Colima en el periodo 2011-2013.

Del anterior se desprende el subtema del análisis de la trayectoria de los potenciales flujos piroclásticos, el objetivo de este subtema es identificar las trayectorias de los potenciales flujos piroclásticos formados por la actividad del Volcán de Colima.

El tercer subtema tiene como objetivo general desarrollar una propuesta de cartografía participativa en el poblado de La Yerbabuena, en el municipio de Comala, Colima.

I.1. JUSTIFICACIÓN

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II. MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y METODOLOGÍA

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La investigación que aquí se presenta circunscribe tres subtemas, cada uno con un objetivo particular, sin embargo los tres constituyen acciones sinérgicas dirigidas a abordar el tema general del proyecto. En ese sentido, el proyecto puede entenderse como un sistema integrado por tres subsistemas: un subsistema regional que constituye el ambiente tectónico, el clima, la edafología, la vegetación y el uso de suelo; un subsistema volcánico, que abarca al Volcán de Colima y los fenómenos volcánicos que derivan de su actividad; y un subsistema social de la localidad de La Yerbabuena.

En teoría de sistemas un sistema consiste en una colección de elementos en la que cada elemento afecta el comportamiento del todo, y a su vez puede afectar o ser afectado por el comportamiento de otro elemento o grupo de elementos. El sistema puede conceptualizarse en tres niveles: el primero es la estructura holística misma del sistema; el intrasistema, que depende del sistema de referencia y se refiere a los subsistemas; y el suprasistema mediante el cual establece que ningún sistema es un elemento último y se encuentra contenido dentro de otro sistema o ambiente (Ackoff 1974).

En el contexto de esta investigación el sistema bajo estudio es el Volcán de Colima el cual está integrado por tres subsistemas: el subsistema regional, el cual engloba el contexto climático, edafológico y de vegetación y uso del suelo en el que se encuentra el sistema; el subsistema del domo de lava; y el subsistema social de la comunidad de La Yerbabuena.

III.1 LOCALIZACIÓN

El Volcán de Colima ($19^{\circ}30'44.49''$ N, $103^{\circ}37'1.08''$ O), también llamado Volcán de Fuego, es un estratovolcán activo ubicado en el margen occidental de la República Mexicana, en el límite de los estados de Colima y Jalisco (Figura 1). Los municipios que lo contienen son Comala y Cuauhtémoc, en Colima, y Tuxpan, Zapotitlán y Tonila en el estado de Jalisco. El volcán se encuentra a aproximadamente 100 km al sur de la ciudad de Guadalajara y a 30 km al norte de la ciudad de Colima. Posee una elevación aproximada de 3,860 m por lo que representa la octava cima más alta del país.

El Volcán de Colima está compuesto principalmente de andesitas; se ubica en la porción oeste del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) y forma parte de una cadena volcánica con orientación N-S llamada el Complejo Volcánico de Colima (CVC) que está constituido por los volcanes: Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima (Macías 2005). Al mismo tiempo marca la intersección entre dos estructuras tectónicas, la Zona de Rift de Colima con dirección N-S y la Falla Tamazula con dirección NE-SW (Garduño-Monroy et al. 1998; Zobin et al. 2002) (Figura 1) .

La Yerbabuena es una localidad ubicada en la porción NNE del Estado de Colima, en el municipio de Comala, sus coordenadas centrales son $19^{\circ}28'32.90''$ N de latitud y $103^{\circ}41'5.94''$ W de longitud y se encuentra a una altitud aproximada de 1,025 msnm. La comunidad se encuentra en la ladera suroeste del Volcán de Colima a una distancia de 8 km del cráter del Volcán de Colima hacia el SW y aproximadamente a 26 km del centro de la Ciudad de Colima (Figura 1).

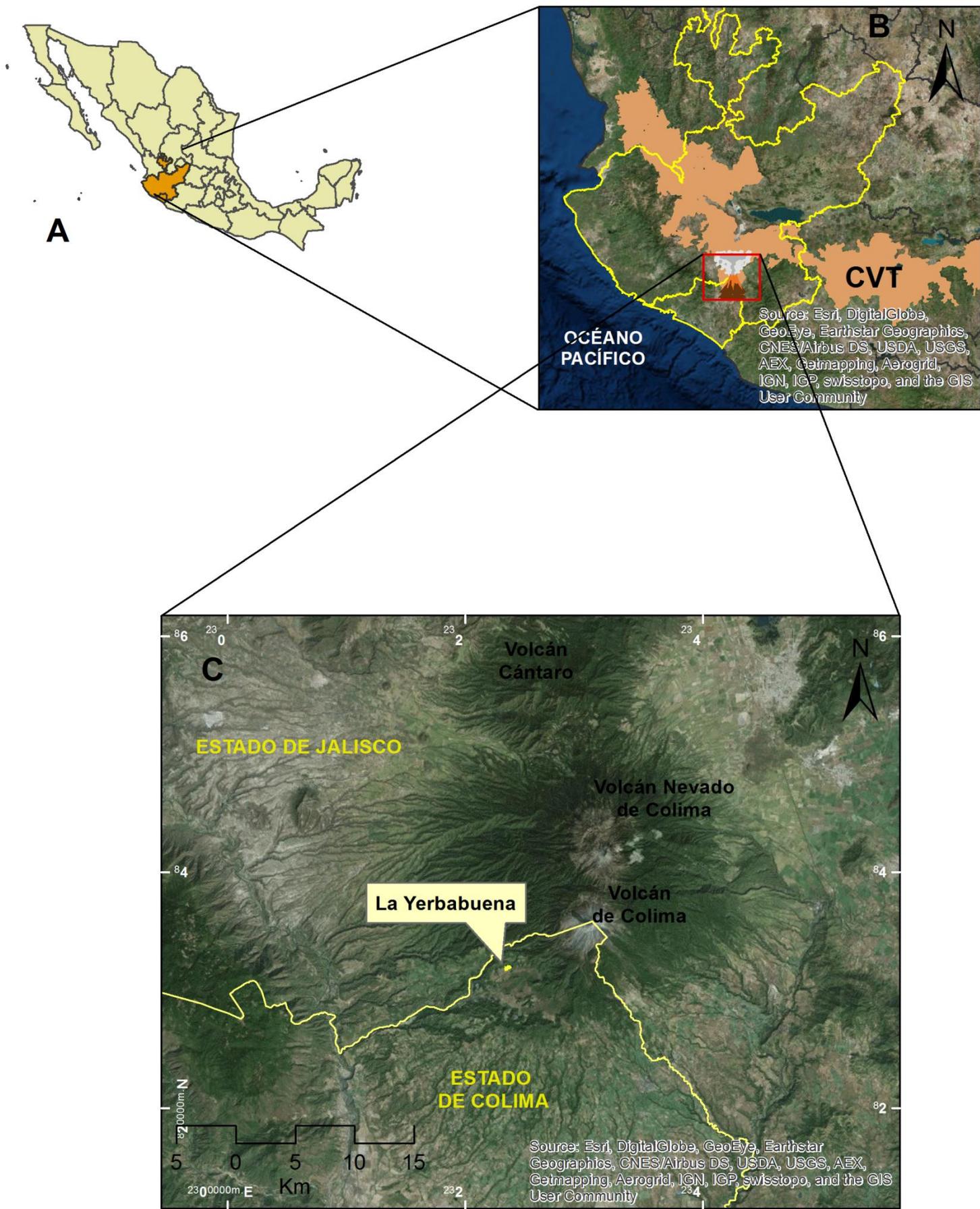


Figura 1. Mapa de localización del Volcán de Colima. El volcán de Colima se encuentra entre los Estados de Colima y Jalisco (C), al centro oeste de la República Mexicana (A) y en el extremo oeste del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) (B).

III.2 EVOLUCIÓN DE LA CADENA

Tectónicamente, la sección oeste del CVT está sujeta a la subducción de la placa de Rivera debajo de la placa Norteamericana. En esta zona existe también un sistema integrado por tres *rifts*: el *rift* de Tepic-Zacoalco al noroeste, el *rift* de Chapala al este y el graben de Colima al sur (Luhr et al. 1985; Garduño-Monroy et al. 1998).

El Volcán de Colima marca la intersección de dos largas estructuras tectónicas locales, de norte a sur se encuentra la zona del *rift* de Colima, el cual se extiende con una longitud de 150 km hasta el Océano Pacífico en donde se traslapa con el límite entre las placas de Cocos y Rivera (Allan et al., 1991), este *rift* es una estructura tectónica formada de tres segmentos morfológicos (norte, centro y sur) y es la frontera oriental del Bloque de Jalisco (Schaaf et al., 1995). La parte norte del *rift* de Colima es una cuenca de 65 km de longitud y 20 km de ancho bordeada por fallas normales (Allan y Carmichael, 1984; Allan, 1986).

La segunda estructura es la Falla Tamazula, se trata de una estructura regional en dirección NE-SW que se extiende por más de 100 km hacia el este cortando al *rift* de Colima en su parte central a la altura del CVC de Colima, donde se genera un graben con la misma orientación. (Delgado-Granados y Urrutia-Fucugauchi, 1985; Allan, 1986), (Garduño 1998).

El complejo de Colima, formado por los volcanes Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima se erige sobre un basamento de andesitas y volcanoclásticos del Cretácico Inferior de la Formación Telcatitlán, areniscas y lutitas de la Formación Encino, calizas masivas de la Formación Tepames, lechos rojos del Cretácico Superior de la Formación Coquimatlán, intrusivos del Cretáceo y una secuencia volcánica del Terciario compuesta por derrames basálticos y andesíticos, brechas volcánicas dacíticas e ignimbritas (Macías 2005; Cortés et al. 2005) (Figura 2).

El CVC tiene tres centros eruptivos principales, que son el volcán Cántaro, en su porción septentrional, con una altitud de aproximadamente 3,000 msnm, el Nevado de Colima, en la parte central, con una altitud máxima de 4,300 msnm y en su extremo meridional el Volcán de Colima con una altitud de 3,850 msnm (Rodríguez-Elizarrarás, 1995) (Figura 1).

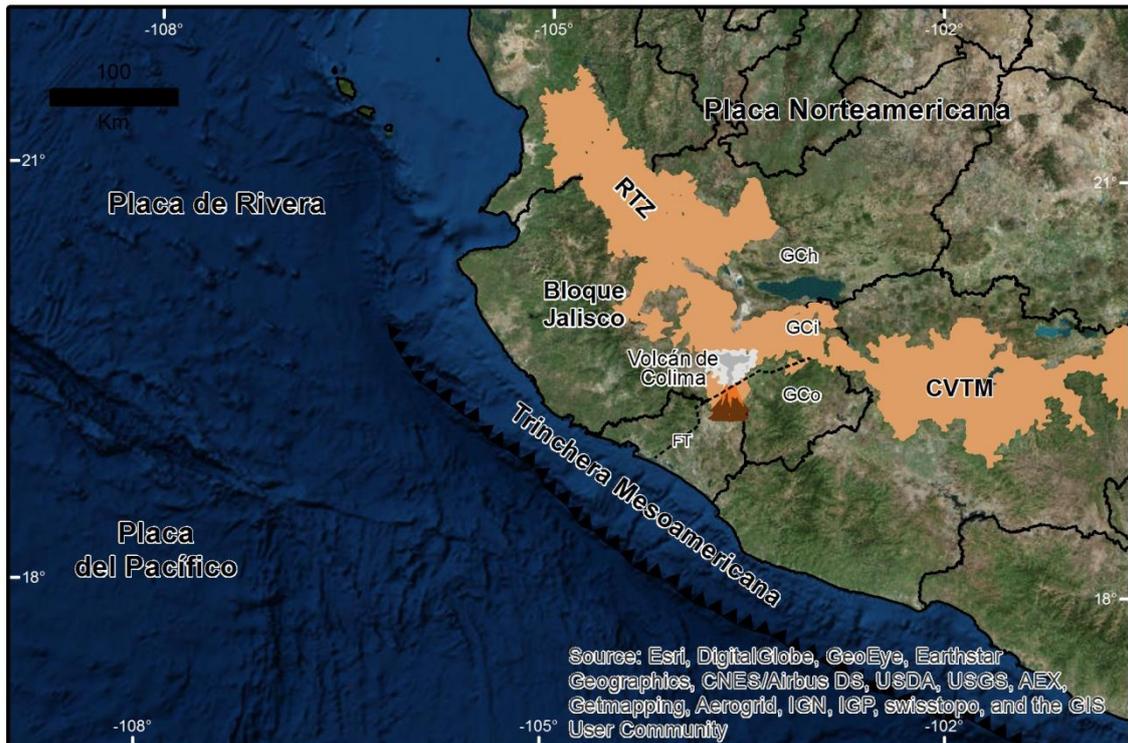


Figura 2. Mapa del sector oeste del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) en donde se muestra la ubicación del Volcán de Colima. En la imagen se destaca el Bloque de Jalisco y la Falla Tamazula, así como las zonas de *rift*: RTZ, *rift* Tepiz-Zacoalco; GCh, Graben Chapala; Graben de Colima; y GCI, Graben Citala.

Volcán Cántaro

La actividad volcánica cuaternaria en el graben de Colima inició hace aproximadamente 1.6 Ma con la formación del estratovolcán Cántaro es un estratovolcán compuesto por derrames de lava de composición andesítica, al que siguieron domos de composición dacítica (Luhr y Carmichael, 1990b). La estratigrafía de este volcán consiste en una intercalación de derrames de lava, depósitos de flujos piroclásticos y depósitos de caída. La actividad del volcán Cántaro finalizó hace aproximadamente 1.0 Ma (Macías 2005).

En el sector norte del Nevado de Colima, a lo largo de la carretera que va de Ciudad Guzmán a Venustiano Carranza, Jalisco, los productos volcánicos del Cántaro se intercalan con productos del Nevado de Colima (Robin *et al.*, 1987).

Volcán Nevado de Colima

Al término del vulcanismo del Cántaro, la actividad magmática migro al sur, para formar el volcán Nevado de Colima (19°33' N, 103°37' W) ver Figura 4. Este volcán

presentó seis periodos eruptivos, donde cada uno de ellos representa el desarrollo de un edificio volcánico (Robin *et al.*, 1987; Macías 2005):

1. El primer periodo eruptivo comenzó hace aproximadamente 0.53 Ma, en el cual se formó un edificio volcánico de unos 25 km de diámetro (Robin *et al.*, 1987), compuesto por derrames de lavas andesíticas, flujos piroclásticos y depósitos de caída que alcanzaron un volumen total superior a 300 km³ (Macías, 2005).
2. Formación de un segundo edificio volcánico, con dimensiones menores al anterior, compuesto por derrames de lava, flujos piroclásticos y depósitos de pómez de caída de composición andesítica (Macías, 2005).
3. Construcción de un tercer edificio volcánico constituido por depósitos de flujos de lava, flujos piroclásticos y material de caída de composición andesítica. Este edificio está asociado a una caldera semicircular ≥ 4 km de diámetro abierta hacia el SE, producida por el colapso del edificio volcánico, el cual generó la primera avalancha de escombros expuesta al NE del poblado El Platanar (Macías, 2005).
4. La actividad continuó con la construcción de un nuevo edificio volcánico, con una emisión de flujos de lava andesíticos de hasta 17 km de largo, flujos piroclásticos y material de caída (Macías, 2005). Algunas de las lavas de este edificio tienen edades de 0.35 Ma (Robin y Boudal, 1987). La actividad de este edificio volcánico culminó con el colapso lateral de su flanco hacia el SE, lo que originó una segunda avalancha de escombros, cuyos depósitos afloran hasta 25 km al SE del cráter en los cauces de la barranca Beltrán y río Tuxpan-Naranja (Macías, 2005).
5. La actividad reinició al interior de la caldera mediante el emplazamiento de espesos flujos de lava y depósitos de flujos piroclásticos expuestos en la barranca Atenquique, estos depósitos construyeron un quinto edificio volcánico. Esta caldera está asociada al colapso gravitacional del Nevado de Colima ocurrido hace 18,500 años A.P., que generó una tercera avalancha de escombros (Robin *et al.*, 1987; Stoopes y Sheridan, 1992; Capra-Pedol, 2000; Capra y Macías, 2002).
6. A este periodo siguió un lapso de quietud volcánica del Nevado de Colima que permitió la formación de suelos, seguido de eventos explosivos y la generación de flujos de ceniza y pómez extensos de color amarillo (Robin y Boudal, 1987). Asimismo, tuvieron lugar una serie de erupciones plinianas entre 8,000 y 2,000 años AP, las cuales emplazaron depósitos de caída y oleadas piroclásticas en el interior de la caldera (Navarro-Ochoa y Luhr, 2000). La actividad eruptiva del Nevado de Colima finalizó con derrames andesíticos contenidos dentro de la

caldera y el emplazamiento del domo El Picacho, que representa la cima actual del volcán (Macías, 2005).

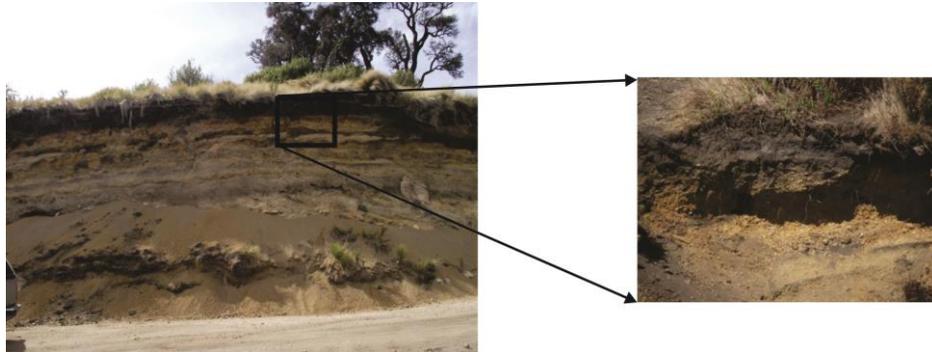


Figura 3. Depósitos piroclásticos estratificados formados por caída de pómez, compuestos de granos de pómez grano a grano soportados por una capa basal de grano fino. Fotografía tomada por Paredes-Camarillo, 2011.

Volcán de Colima

III.3 SUBSISTEMA REGIONAL

III.3.1 Clima

El clima se refiere al conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la Tierra. El clima de una región está controlado por una serie de elementos como: temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones, principalmente, y se representa con la temperatura media anual y la precipitación total anual, así como los tipos de clima según la clasificación de Koeppen modificada por (García 1973).

En el área que se ha definido como el entorno regional dominan los climas cálidos y semicálidos, los cuales se encuentran principalmente en las zonas más bajas al oeste y sur y corresponden a climas cálido-subhúmedos con temperaturas mayores a 22° C y precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm. Al centro-norte y este el clima es semicálido subhúmedo con una temperatura media anual mayor a 18° C y precipitación del mes más seco menor a 40 mm, este tipo de clima se observa en lomeríos o al pie de monte de algunas elevaciones como el mismo Volcán de Colima.

Alrededor también del Volcán de Colima el clima es templado subhúmedo con una temperatura media anual entre 12° y 18° C y precipitación en el mes más seco menor a 40 mm; hacia la cima del Volcán aparecen los climas semifrío subhúmedo y frío con temperaturas medias anuales de 5° a 12° C y de -2° a 5° C, respectivamente. En las zonas más deprimidas, en el norte y noroeste, se desarrollan climas semiáridos que alcanzan temperaturas medias anuales de 18° y 22° C y precipitaciones de verano muy escasas.

III.4 SUBSISTEMA DOMO DE LAVA

III.5 SUBSISTEMA SOCIAL

III. METODOLOGÍA

El proyecto inició con una revisión exhaustiva de información documental y cartográfica del área de estudio y de investigaciones que trataran temas similares a los que abarca esta investigación. Posteriormente se realizó una búsqueda de información geográfica (cartografía digital e impresa, e imágenes satelitales) de acuerdo a las necesidades de cada una de las áreas del proyecto. Cada uno de los subtemas presentados en esta investigación se desarrolló mediante una metodología particular la cual se describe a continuación de manera detallada.

III.1 CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL DOMO DE LAVA DEL VOLCÁN DE COLIMA

Se obtuvieron imágenes satelitales *Rapid Eye* nivel 1B de las cuales tres corresponden al periodo de otoño-invierno, en los años 2011, 2012 y 2013; y dos para el periodo primavera-verano correspondientes a los años 2011 y 2012. Las imágenes *Rapid Eye* se obtienen de cinco satélites propiedad de la compañía alemana RAPIDEYE AG. Estas imágenes poseen una resolución espacial de 5m y un tamaño de 25X25 km (500 líneasX5000 renglones), y una resolución radiométrica de 12 bits. Las imágenes de estos satélites poseen 5 bandas: azul (440-510 μm), verde (520-590 μm), rojo (630-685 μm), rojo límite (690-730 μm) e infrarrojo cercano (760-850 μm).

Cada imagen se corrigió geoméricamente mientras que la corrección radiométrica se realizó mediante el método conocido como *Dark Object Subtraction* (DOS) o método de Chávez. El DOS es un método de corrección absoluta que asume que si en una imagen existen áreas con valores muy bajos de reflectancia, cualquier reflectancia aparente debería ser producto de la dispersión atmosférica y esta información puede ser usada para calibrar el resto de la escena (Chavez 1988). El algoritmo de DOS asume la existencia de objetos oscuros que corresponden a píxeles con valores de cero o muy pequeños por lo tanto el menor valor de los números digitales de la imagen se considera un efecto de la dispersión atmosférica y es sustraído de todos los píxeles de la escena (Song et al. 2001). Para realizar la corrección atmosférica mediante el método DOS se utilizó el programa ENVI versión 5.3 en un subconjunto espacial realizado en el área del Volcán de Colima.

CAPÍTULO IV

IV.1 CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL DOMO DE LAVA DEL VOLCÁN DE COLIMA

- Ackoff, R.L., 1974. *Redesigning the Future, A Systems Approach to Societal Problems*, New York: John Wiley & Sons.
- Branney, M. & Kokelaar, P., 2002. *Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites* Memoirs, 2. A. J. F. (CHIEF EDITOR) et al., eds., Londres: The Geological Society.
- Chavez, P.S., 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24(3), pp.459–479.
- Cortés, A. et al., 2005. Cartas Geológicas y Mineras 10. Carta Geológica del Complejo Volcánico de Colima, con Geología del Complejo Volcánico de Colima: México D.F. , escala 1:1.
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Instituto de Geografía*, p.246.
- Garduño-Monroy, V.H. et al., 1998. La falla Tamazula, Límite suroriental del Bloque de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15, pp.132–144.
- González, M.B., Ramírez, J.J. & Navarro, C., 2002. Summary of the historical eruptive activity of Volcán De Colima, Mexico 1519-2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 117(1–2), pp.21–46.
- Luhr, J.F. et al., 1985. Active rifting in southwestern Mexico: Manifestations of an incipient eastward spreading-ridge jump. *Geology* , 13(1), pp.54–57. Available at: <http://geology.gsapubs.org/content/13/1/54.abstract>.
- Macías, J.L., 2005. Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), pp.379–424.
- Saucedo, R. et al., 2005. Modeling of pyroclastic flows of Colima Volcano, Mexico: Implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 139(1–2), pp.103–115.
- Saucedo, R., Macías, J.L. & Bursik, M., 2004. Pyroclastic flow deposits of the 1991 eruption of Volcán de Colima, Mexico. *Bulletin of Volcanology*, 66(4), pp.291–306.
- Song, C. et al., 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 75(2), pp.230–244.
- Zobin, V.M. et al., 2008. Monitoring the 2004 andesitic block-lava extrusion at Volcán

de Colima, México from seismic activity and SO₂ emission. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177(2), pp.367–377. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.05.015>.

Zobin, V.M. et al., 2002. Overview of the 1997-2000 activity of Volcán de Colima, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 117(1–2), pp.1–19.