

*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarria S.C.  
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México 7223898475  
RFC: ATII120618V12*

**Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.**

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/>

**Año: XIII Número: 2 Artículo no.:61 Período: 1 de enero del 2026 al 30 de abril del 2026**

**TÍTULO:** Un análisis de la dinámica espacio temporal en la transformación del paisaje volcánico natural a urbano en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México.

**AUTORES:**

1. Máster. Rafael Riquelme Alcantar.
2. Dr. José Teodoro Silva García.
3. Dra. Laura Celina Ruelas Monjardin.
4. Dr. Gustavo Cruz-Cárdenas.
5. Dr. Luis Arturo Ávila-Meléndez.
6. Dr. Luis Fernando Ceja-Torres.
7. Mtro. Fabián Villalpando-Barragán.
8. Dr. Rodrigo Mondragón Guzmán.
9. Dra. Dioselina Álvarez-Bernal.

**RESUMEN:** Xalapa ha sufrido un gran crecimiento urbano, transformando su entorno natural y causando inundaciones y deslaves recurrentes. El estudio compara el paisaje entre 1982 y 2024, mostrando que la urbanización cubre el 68% de la superficie municipal. Esta expansión alteró drásticamente los patrones hídricos. La pérdida de escorrentías, medida por la Densidad del Relieve, cae de 4.2 km/km<sup>2</sup> en zonas naturales a 0.0 km/km<sup>2</sup> en áreas urbanizadas. Morfológicamente, la actividad humana modificó el Cerro de Macuiltépetl ("Quinta montaña"). Documentos históricos indican que era parte de un clúster volcánico de cinco cerros, un vestigio natural alterado por el desarrollo urbano.

**PALABRAS CLAVES:** desarrollo urbano, geomorfología, hidrología superficial, Macuiltépetl, ordenamiento territorial.

**TITLE:** An analysis of the spatiotemporal dynamics in the transformation of the natural volcanic landscape to an urban one in the city of Xalapa, Veracruz, Mexico.

**AUTHORS:**

1. Master. Rafael Riquelme Alcantar.
2. PhD. José Teodoro Silva García.
3. PhD. Laura Celina Ruelas Monjardin.
4. PhD. Gustavo Cruz-Cárdenas.
5. PhD. Luis Arturo Ávila-Meléndez.
6. PhD. Luis Fernando Ceja-Torres.
7. Master. Fabián Villalpando-Barragán.
8. PhD. Rodrigo Mondragón Guzmán.
9. PhD. Dioselina Álvarez-Bernal.

**ABSTRACT:** Xalapa has undergone significant urban growth, transforming its natural environment and causing recurring floods and landslides. The study compares the landscape between 1982 and 2024, showing that urbanization covers 68% of the municipality's area. This expansion has drastically altered water patterns. The loss of runoff, measured by Relief Density, drops from 4.2 km/km<sup>2</sup> in natural areas to 0.0 km/km<sup>2</sup> in urbanized areas. Morphologically, human activity has modified Cerro de Macuiltépetl ("Fifth Mountain"). Historical documents indicate that it was part of a volcanic cluster of five hills, a natural remnant altered by urban development.

**KEY WORDS:** urban development, geomorphology, surface hydrology, Macuiltépetl, land use planning.

## INTRODUCCIÓN.

La dinámica del crecimiento urbano global en el siglo XXI impone desafíos críticos a la sostenibilidad territorial, especialmente en ciudades fundadas sobre ecosistemas frágiles. La expansión acelerada de las áreas metropolitanas ejerce una presión irreversible sobre los recursos naturales, altera los procesos geomorfológicos y desencadena fenómenos ambientales de alto riesgo como inundaciones y deslaves recurrentes.

La ciudad de Xalapa, Veracruz, México constituye un caso paradigmático de esta problemática. Ubicada en un entorno de origen volcánico, la topografía del municipio y la presencia de vestigios naturales, como el Cerro de Macuiltépetl ("Quinta montaña"), han sido históricamente elementos definitorios de su paisaje; sin embargo, en las últimas décadas, este capital natural ha sido severamente modificado por un crecimiento urbano desordenado, a tal grado que la urbanización cubre aproximadamente el 68% de la superficie municipal.

El presente artículo tiene como objetivo principal analizar la dinámica espacio-temporal en la transformación del paisaje volcánico natural a un paisaje urbano en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. Comprender esta evolución es crucial, ya que el crecimiento urbano no solo consume territorio, sino que reconfigura drásticamente los patrones hídricos, impactando la capacidad de la tierra para absorber y conducir el agua.

Mediante una metodología comparativa, esta investigación examina el estado del paisaje en dos momentos críticos: 1982 y 2024. Los resultados demuestran que la expansión ha provocado una alteración severa, cuantificada a través de la Densidad de Drenaje (escorrentías), que cae de  $4.2\text{ km/km}^2$  en zonas naturales a  $0.0\text{ km/km}^2$  en áreas urbanizadas. Morfológicamente, la actividad humana ha modificado el propio Cerro de Macuiltépetl, un vestigio natural que forma parte de un clúster volcánico de cinco cerros, lo que subraya la intensidad de la alteración humana. El estudio concluye, que sin una planificación territorial que respete las condiciones geomorfológicas y los patrones hídricos originales,

Xalapa continuará enfrentando serias amenazas ambientales. Este trabajo aporta una base sólida para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, con el fin de mitigar los riesgos ambientales y promover la sostenibilidad urbana.

## **DESARROLLO.**

El crecimiento urbano es actualmente un fenómeno social que presenta un fuerte impacto sobre el paisaje natural. Este esquema de desarrollo desmedido, sin ninguna planeación, ha traído graves consecuencias al generar deterioro ambiental, ya que los sistemas naturales se degradan al crear un paisaje artificial. Los resultados de estos procesos e interacciones, ya sean de orden natural o antrópico, plasman en el espacio un mosaico de fisonomías que denominamos paisajes urbanos, caracterizados por un fuerte dinamismo que imprime rápidos cambios en sus componentes, tanto físicos, biológicos como humanos (Albert et al, 2016). Los procesos de urbanización son los vectores más dinámicos en la configuración de paisajes antropogénicos, generando continuos y acelerados cambios en la fisonomía de un espacio natural, lo cual ha sido muy notorio en los últimos 40 años.

Muchos núcleos poblacionales están ubicados en zonas muy comprometidas en cuanto a riesgos naturales se refiere: vulcanismo, inundaciones, remoción de masas de suelo y sismos. La nueva infraestructura se ha ido desarrollando sin analizar la forma del paisaje ni las características geológicas principales de la región. “A medida que las ciudades crecen, las áreas que se consideraban inadecuadas para habitarlas, ahora se están urbanizando” (Andersen et al., 2020). Actualmente, resulta complejo delimitar fronteras entre el ámbito natural no urbanizado y el espacio urbanizado, dado que estas transformaciones se realizan de manera discontinua, sin seguir un patrón establecido, lo que aumenta los niveles de vulnerabilidad social.

La mayoría de las obras de infraestructura urbana se proyectan y realizan modificando enormemente el paisaje natural, desplazándolo, incluso. Se observa una coincidencia con un incremento en la aparición de riesgos naturales; sin embargo, rara vez se menciona la relación que pudiera existir entre estos fenómenos

catastróficos y la modificación de la topografía de un lugar, y mucho menos, con la forma del paisaje. Aunque se sabe que las condiciones climáticas de una región pueden ser influenciadas por las variaciones topográficas (Alexander et al., 2016), se pasa por alto el hecho de que, si se modifica significativamente la geoforma de un paisaje natural de forma arbitraria y utilitaria, se altera el equilibrio del ecosistema existente y su resiliencia.

Afortunadamente, se ha notado un incremento en la demanda de información de carácter geológico, geotécnico e hidrológico al momento de diseñar las obras requeridas para urbanizar una región. “La inexistencia de tal información imposibilita la evaluación de diferentes usos del suelo y la habilidad para predecir eventos de desastres naturales” (De Sena Nola y Zuquette, 2021). Paradójicamente, los lugares con alto valor ecológico, paisajístico y para la recarga de acuíferos son ocupados con asentamientos informales o de interés social (Benítez et al., 2011), y cuando colapsan, afectan a personas de bajos recursos económicos que no tienen alternativas para cambiar la ubicación de sus lugares de residencia, lo que trae implicaciones financieras, sociales y hasta pérdida de vidas humanas y animales.

En muchos casos, el humano, al integrarse a los diferentes entornos naturales, lo hace de forma precipitada y potencia el hecho de que el territorio, tarde o temprano, actúe en su contra (Nieto et al., 2023; Ariyanti et al., 2020; Muhambya et al., 2023). Las nuevas técnicas de construcción, el conocimiento actual en geotecnia y los métodos modernos de exploración geológica pueden ser las herramientas que provoquen un cambio de rumbo.

En la Ciudad de Xalapa, al momento de concebir la disposición de sus calles y la orientación de las primeras construcciones, se le dio importancia preponderante a la vista del paisaje natural y se generó la idea de una ciudad balcón, desde donde se podría apreciar la majestuosidad de dos montañas volcánicas, el Pico de Orizaba y el Cofre de Perote, e incluso, en un día sin nubosidad, se observaba la costa del Golfo de México (Boils et al., 2006).

La primera edificación importante se efectuó en 1531 (Blázquez, 1992), bajo el mandato del Virrey Antonio de Mendoza; se trata del convento de San Francisco, que se convirtió en el centro de la nueva población. Se ubicaba en la cima de una loma, en las cercanías de un “fuerte golpe de agua”, de acuerdo con información escrita por Constantino Bravo de Lagunes en 1580 (Contreras-Ramírez et al., 2022), y la incipiente ciudad fue establecida alrededor de la misión, hacia abajo y a los costados (Boils et al., 2006), en la ladera sur de un aparato volcánico extinto denominado Cerro del Macuítépetl.

Al entorno de esta prominencia volcánica creció la ciudad de Xalapa, rodeándolo y transformando el paisaje volcánico natural, generando el núcleo urbano. Siendo una ciudad pequeña que se compactaba en torno a su centro histórico, para finales de la década de los años 30 contaba con menos de 50,000 habitantes (Olmedo, 2011). Posteriormente, se ordenó su crecimiento hacia el norte-centro de la incipiente ciudad.

Según el censo del año 2020, la población casi alcanzó los 500,000 habitantes; es decir, en 80 años creció diez veces el número de habitantes, a costa de transformar el paisaje volcánico, colocando vialidades, casas habitación, escuelas y demás infraestructura necesaria para dotar de servicios a sus pobladores.

Resalta mencionar, que al referirnos a la transformación histórica del paisaje volcánico en Xalapa, es importante el trabajo de Jácome, donde se reporta la existencia de un conjunto formado por cinco aparatos volcánicos, que a juzgar por las curvas de nivel observadas en el levantamiento planimétrico, tienen forma cónica. En la actualidad, solo se constata la existencia de uno de ellos, el Cerro del Macuítépetl. “Los otros cuatro aparatos, probablemente fueron devastados entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX, a manera de bancos de materiales, para extraer arena y grava, agregados que fueron usados para la construcción de la naciente urbe” (Jácome et al., 2022). El ejemplo anterior es una evidencia clara de estos procesos históricos de transformación del paisaje volcánico natural por el impacto antrópico generado por el crecimiento urbano desmedido de la ciudad de Xalapa.

El objetivo del artículo es mostrar, adicionalmente, las consecuencias socio-ambientales negativas de la alteración del paisaje geológico y del menosprecio de la información geológica para el desarrollo urbano

en el pasado. Mostrar que al concebir las formaciones geológicas y la interacción humana con ellas, con el concepto de patrimonio geológico, se logra generar evidencias para aprender de experiencias pasadas y reforzar al mismo tiempo la identidad colectiva. En particular, obras de arte y símbolos de identidad contemporáneos se convirtieron en evidencias sobre el paisaje geológico al momento de la fundación de la ciudad. También orientaron la indagación geológica para generar supuestos de trabajo acerca del desarrollo urbano y de las consecuencias negativas de la alteración del relieve geológico.

### Área de estudio.

Xalapa de Enríquez, capital del Estado de Veracruz, se ubica en la parte oriental de México (figura 1). Fue establecida en una región con clima muy benévolos, exuberante vegetación, suelos muy fértiles y abundante agua de muy buena calidad, a los pies de un aparato volcánico extinto (Ramírez y Fitz, 2007), que drena el agua de lluvia a través de barrancas pronunciadas.

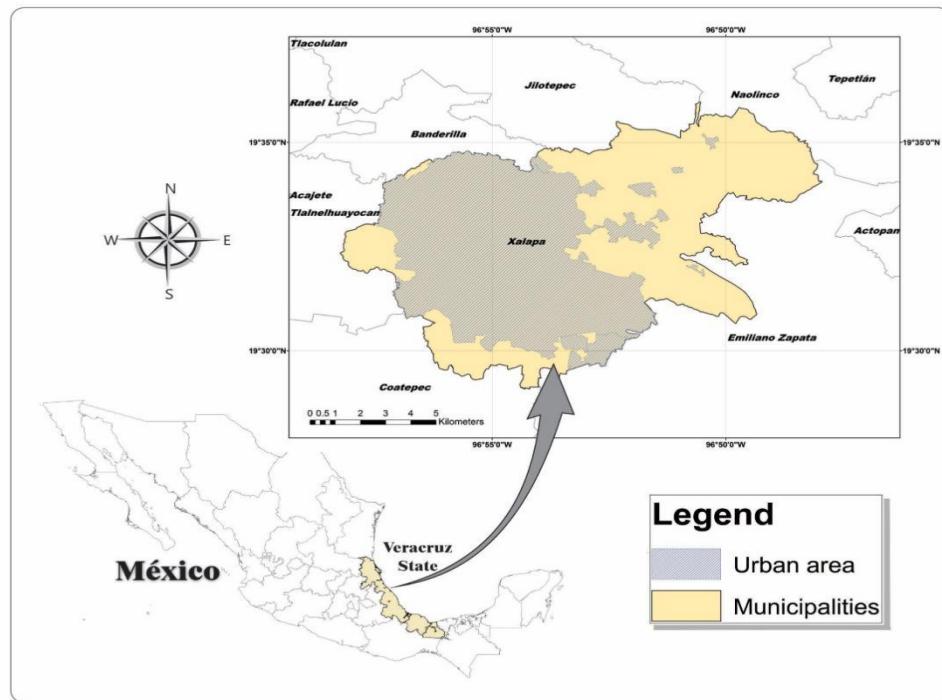


Figura 1. Localización de la Ciudad de Xalapa, Veracruz, México. (Benítez et al. 2011).

Sus coordenadas geográficas son 19° 33' 07" de latitud norte y 96° 54' 50" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich, con una altitud promedio de 1,400 m (INEGI, 2000).

La ciudad de Xalapa se caracteriza por ser un núcleo urbano de 488,531 habitantes (DataMéxico, 2020), fundado en torno a un aparato de origen volcánico denominado Cerro de Macuiltepetl (Ramírez y Fitz, 2007), en cuyas faldas emanan varias fuentes surgentes de agua: el Chiltoyac, el Ánimas, el Xalitic, el Techacapan y el Tlalnecapan.

Es el año de 1313, en el que se identifica, regularmente, como el periodo en que se establecieron en la región Xalapeña pequeños asentamientos de grupos Xicalangas, Olmecas y Totonacas, que con el correr de los años se fusionaron para generar la comunidad denominada Xallapan, vocablo que significa “manantial en la arena” (López, P. 2014).

Geológicamente, se localiza dentro del denominado Campo Volcánico Monogenético de Xalapa (CVMX) (figura 2), en el límite oriental del Cinturón Volcánico Trans Mexicano, que representa el evento de vulcanismo más reciente, a partir del Jurásico (Ferrari et al. 2012).

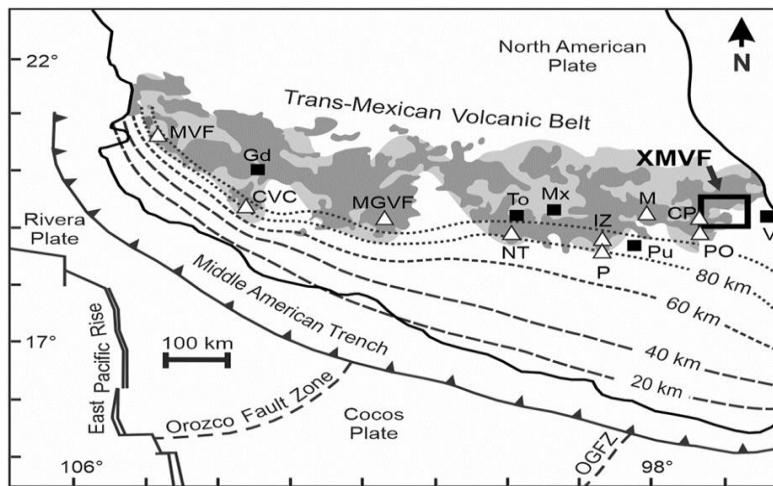


Figura 2. En el recuadro interior se muestra la ubicación del Campo Volcánico Monogenético de Xalapa (XMVF). MVF: Campo Volcánico Mascota. CVC: Complejo Volcánico de Colima. MGVF: Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato. NT: Nevado de Toluca. P: Popocatépetl. IZ: Iztaccíhuatl. PO: Pico de Orizaba. CP: Cofre de Perote. OGFZ: Zona de Falla O’Gorman. Gd: Guadalajara. Mx: México. To: Toluca. V: Veracruz (Jácome et al. 2022).

El vulcanismo del CVMX inició hace 6 a 7 millones de años, al norte en Chiconquiaco, y posteriormente, hace 2 millones de años, cerca de Actopan (Ferrari et al. 2005), sobre rocas marinas de edad Mesozoico (Sierra Madre Oriental), a las que le sobreyacen conglomerados Terciarios de la Cuenca de Veracruz (Sieron et al. 2017). Se trata de un conjunto de volcanes monogenéticos de naturaleza basáltica y basáltica-andesítica, de edad Cuaternario tardío, que surgieron en la falda oriental del Cofre de Perote, la mayoría conos compuestos por acumulación de escoria volcánica (Rodríguez et al. 2010).

El Cerro del Macuiltépetl, cono de escoria volcánica de composición basáltica-andesítica, compuesto por tres cráteres de 15 a más de 300 metros de diámetro, que en más de 4 emanaciones de lava cubrió una distancia de 27.5 kilómetros, hacia el sureste (Jácome et al., 2022), es representativo de este vulcanismo (Rodríguez et al., 2010), quizá uno de los menos estudiados en el país (Jácome et al., 2022), y que junto con otro cono, ubicado a 25 kilómetros hacia el noroeste, denominado el Volcancillo, de menos de 900 años (Rodríguez et al. 2010) evidencian actividad reciente y un gran riesgo para los habitantes de la ciudad de Xalapa y zonas conurbadas (Jácome et al., 2022).

### **Metodología.**

Mediante la aplicación de un método cuantitativo sistemático (Pickering y Byrne, 2013), fue posible obtener información científica de investigaciones previas, en los 25 años más recientes, acerca de la manera en que los paisajes naturales son transformados en urbanos, sobre todo en países que han tenido experiencias de riesgo volcánico en sus ciudades.

Para conseguir una forma de abordar dichos tópicos de manera ordenada y sistemática, se utilizaron las siguientes palabras clave para la búsqueda de información: geological landscape, geological risk, geomorphological landscape, monogenetic volcanic field. Para identificar estudios previos en la región estudiada, se utilizó la siguiente expresión de búsqueda: Xalapa monogenetic volcanic field. Las principales bases de datos académicas utilizadas fueron Science Direct y Scopus.

Se analizó material cartográfico, editado y disponible para su uso por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con el fin de determinar los rangos de crecimiento de la ciudad, las características hídricas superficiales, ubicar diferentes estructuras geológicas y los variados paisajes geomorfológicos, así como distintos tipos de rocas y suelos. Esto permitió observar cómo la ciudad de Xalapa fue superpuesta paulatinamente sobre ese paisaje natural y la manera en que lo transformó. Se utilizaron programas como Autocad y ArcGIS para la elaboración de mapas. Toda la información fue corroborada con campañas de exploración y verificación en campo. Adicionalmente, se analizaron imágenes satelitales históricas de la extensión de la ciudad en un lapso de 35 años (desde 1985 hasta el 2020), el periodo en que se observa el mayor crecimiento en extensión horizontal de la capital del Estado de Veracruz, utilizando la aplicación digital Google Earth.

Un elemento cuantitativo clave para medir el impacto de la modificación del paisaje natural a urbano fue la medición de la Densidad de Disección del Relieve (DDR). La DDR calcula la concentración de cauces fluviales en un área específica, con el objetivo de establecer zonas de mayor o menor concentración de cursos fluviales, y por ende, con mayor erosión fluvial.

### **Definición y Cálculo de la DDR.**

La Densidad de Disección del Relieve (DDR), también denominada disección horizontal del relieve en plano representa la erosión de la superficie terrestre en función de la longitud del talweg por  $\text{km}^2$ .

En un campo volcánico como el de estudio, uno de los factores más importantes que intervienen es el estado de las fracturas, cuya importancia reside en que estas constituyen zonas de debilidad que facilitan la conducción del agua, y en consecuencia, la disección del relieve.

Este parámetro morfométrico resalta la competencia del sustrato, las estructuras disyuntivas (fracturas o fallas), la inclinación del terreno, la cobertura, así como la intensidad y el tipo de precipitación. Se determina trazando todos los cauces fluviales que hay en la cuenca propia de Xalapa, incluyendo los drenajes o torrentes de montaña. Posteriormente, se calcula la concentración de los ríos por unidad de área

(para este estudio de 2x2 km<sup>2</sup>, utilizando la fórmula:  $D = L/A$ , donde D es la Densidad de Disección del Relieve (km/km<sup>2</sup>), L es la longitud de cauces (km) y A es el área (km<sup>2</sup>).

Para complementar la información, se visitaron el H. Ayuntamiento de la Ciudad De Xalapa de Enríquez, el Centro de Estudios de Creación y Documentación en las Artes (CECDA), el Museo de Antropología del Estado de Veracruz (MAX) y el Museo de la Casa Xalapa (MUCXA). Esta búsqueda tuvo como fin obtener archivos históricos fotográficos, evidencias de cambios drásticos en el paisaje natural y analizar las formas en que el ser humano pudo transformarlo al generar un asentamiento poblacional; por otra parte, se realizaron entrevistas a personas preferentemente mayores de 70 años, que pudieran brindar información acerca de su experiencia con los cambios que transformaron el paisaje de la ciudad. Se decidió ese rango de edad debido a que los mayores cambios que sufrió el paisaje natural de la ciudad iniciaron alrededor de 1950.

## **Resultados.**

La figura 3 muestra como el asentamiento Xalapeño fue creciendo en forma de plato roto, llegando a establecer las viviendas y las calles en lomeríos con pendientes muy pronunciadas. Durante los siglos XVIII y XIX, la ciudad se compactaba en torno a su centro, creciendo en su territorio urbanizado muy lentamente para la primera mitad del siglo XX, -en 1940 contaba con 46,827 habitantes- (Olmedo, 2011).

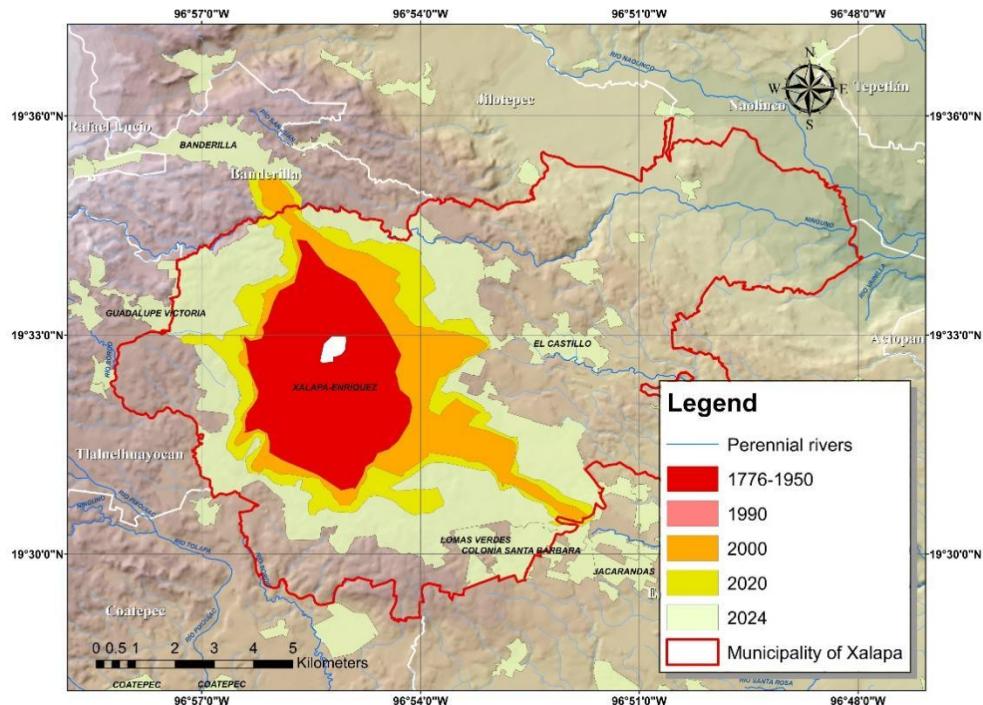


Figura 3. Crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Xalapa 1776-2020. Elaboración propia.

La expansión urbana de la ciudad de Xalapa, a lo largo de su historia, ha ocurrido en forma horizontal, creciendo del centro hacia su periferia, generalmente sobre áreas naturales o ecosistemas que desaparecen. De acuerdo con Morello (2006), los procesos que dan lugar a las grandes modificaciones del paisaje se dan en dos sentidos: la agrícola, en donde se modifican ecosistemas naturales, y la urbana, donde la ciudad avanza sobre áreas agrícolas, ganaderas o remanentes de ecosistemas naturales. Estos remanentes constituyen el patrimonio geológico de la región, formando parte del Campo Volcánico Monogenético de Xalapa (CVMX).

Inicialmente, la mancha urbana estaba rodeada de varias haciendas de propiedad privada, entre ellas: Molino de Pedreguera, Lucas Martín, La Orduña, Tuzamapan, Zimpizahua, El Castillo, El Lencero, Pacho y Las Ánimas. Estas propiedades fueron fragmentadas por la Ley Agraria de 1915, sentando las bases para dar espacio al crecimiento de la ciudad.

Con la dotación de tierras de carácter ejidal, surgieron varias congregaciones rurales cercanas a la ciudad, como el poblado denominado Progreso Macultépetl, ubicado en las faldas del extinto volcán del mismo

nombre. Todas estas comunidades agrícolas serían absorbidas por la ciudad en la década de 1980 (Olmedo, 2011), cambiando por completo el uso del suelo, hecho que se verifica en la línea de tiempo de imágenes satelitales antiguas que pueden obtenerse mediante la aplicación digital Google Earth.

La ciudad se expandió, por ordenanzas de los gobiernos locales, a fines de la década de 1930 en el siglo XX, de manera ordenada y planificada hacia el norte; para ello fue necesario realizar expropiaciones de tierras ejidales, cambiando el uso del suelo; sin embargo, hacia el sur y suroeste se dieron asentamientos de tipo más bien irregular, carentes de todo tipo de infraestructura.

En general, la topografía de Xalapa es accidentada, con relieve irregular, fuertes pendientes y barrancas profundas. Los suelos residuales de origen volcánico, compuestos por arcillas preconsolidadas presentan un comportamiento inestable: son susceptibles a la erosión hídrica y se agrietan tanto por las lluvias como por la sequía. Ejemplo de ello son los taludes expuestos a la intemperie que se desgajan (Ramírez y Fitz, 2007).

Sin duda, el crecimiento urbanom y por ende, la ocupación de áreas naturales, se ha visto acelerado durante el periodo de 1982 al 2024. La superficie del municipio de Xalapa es de 124.38Km<sup>2</sup>, para 1982, el área ocupada por la mancha urbana de la ciudad era de tan solo 23.80km<sup>2</sup> (19.13% del total de la superficie del municipio), pasando abruptamente a ser para el año 2024 de 67.80km<sup>2</sup>, que representa ya el 67.80% del paisaje urbano. (Figura 4).

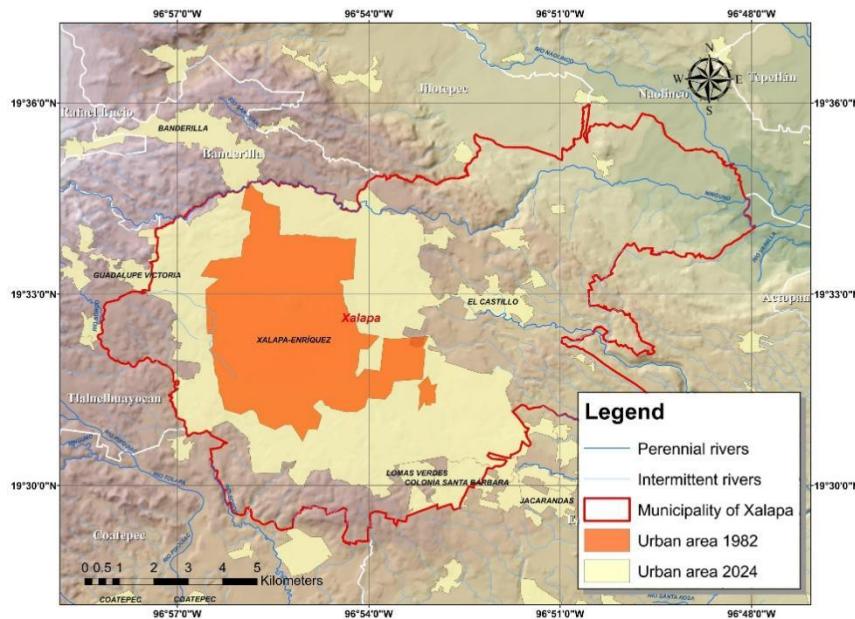


Figura 4. Esquema del crecimiento urbano en Xalapa, periodo 1982-2024.

Las cifras anteriores reflejan el acelerado crecimiento urbano que ha tenido implicaciones en la transformación del paisaje natural de la región, modificando sus geoformas, su patrón de aguas superficiales, la vegetación, lo cual ha representado riesgos hídricos constantes como son inundaciones y deslaves.

La expansión urbana ha traído modificaciones importantes en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas locales como son: erosión de suelos, cambios en los patrones de los escurrimientos de aguas superficiales, presencia de fauna nociva, entre otras problemáticas.

En base a lo anterior, se obtuvo el mapa de DDR, para dos tiempos distintos (1982 y 2024), mostrando así, la evolución de la modificación en los valores de escorrentía y la modificación de este componente asociado al crecimiento urbano desmedido de Xalapa.

La figura 5 muestra la distribución de valores de DDR, en áreas de 2x2km, para el año 1982, obteniéndose valores máximos de disección del orden de 4km/km<sup>2</sup>, en zonas libres de perturbación urbana, en áreas naturales con morfología volcánica de depósitos de flujos piroclásticos y coladas lávicas; valores intermedios que están entre 1.5 y 3.0 km/km<sup>2</sup>, los observamos en la zonas de pie de montes, depósitos

aluviales aun conservados para esa época, y finalmente, el punto medular es como, para la zona urbanizada, materialmente desaparece la escorrentía natural, reflejada en valores disección de  $0.0\text{km}/\text{km}^2$ .

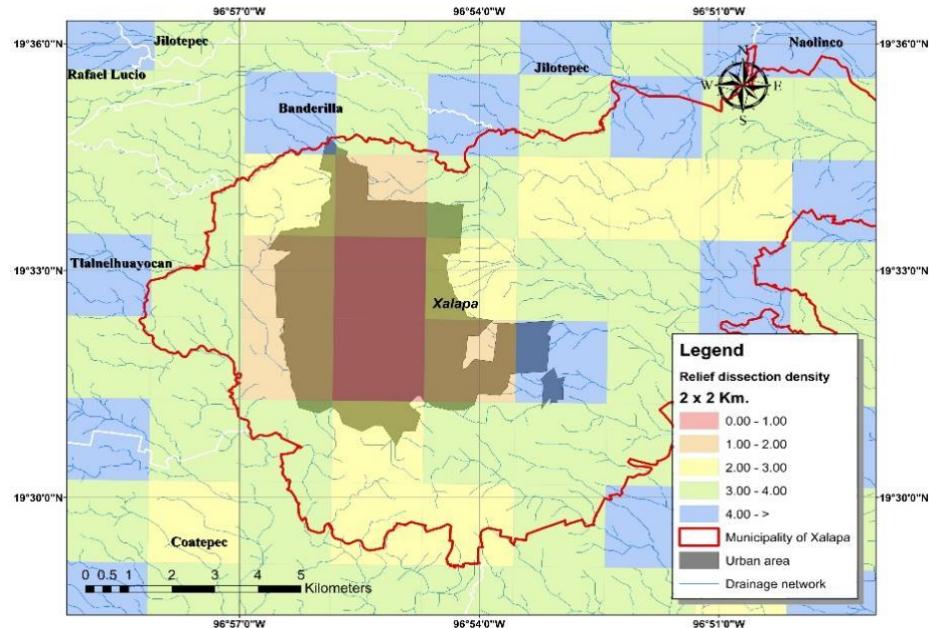


Figura 5. Mapa de densidad de disección del relieve año 1982.

Para el año 2024, la figura 6 muestra este comportamiento de la DDR, y es evidente como la superficie con valores nulos, se asocia a la superficie de la mancha urbana actual, misma que ha modificado el patrón de drenaje local, permaneciendo aun con valores de  $4.0\text{km}/\text{km}^2$ , siendo acordes con la expansión de la mancha urbana en todos los puntos cardinales principalmente al norte, noreste y noroeste.

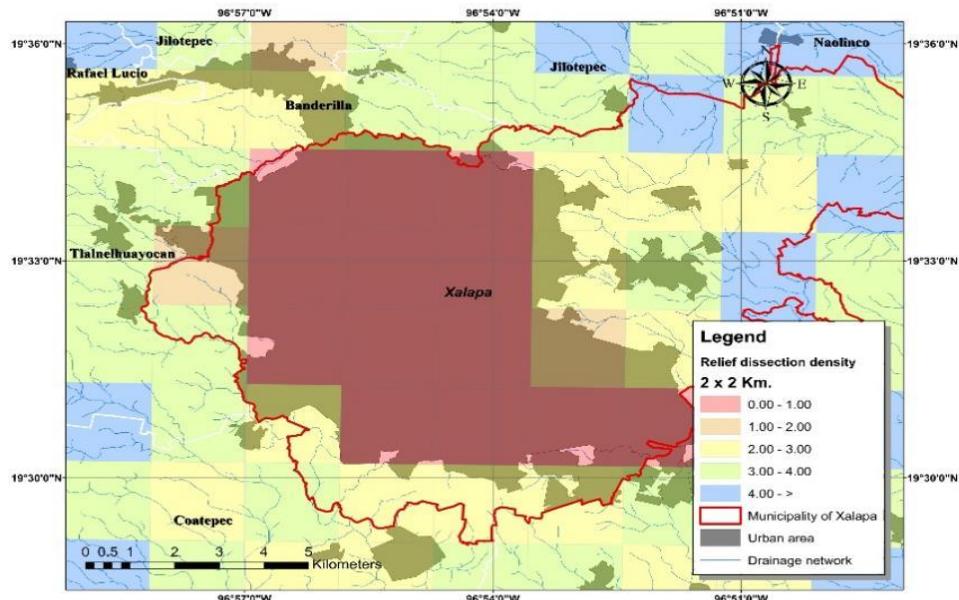


Figura 6. Mapa de densidad de disección del relieve año 2024.

Este elemento cuantitativo de la modificación del paisaje hídrico natural, así como de un elemento importante como es la vegetación, se ha perdido dentro del contexto de la ciudad de Xalapa; el 90% de la vegetación natural (Bosque Mesófilo de Montaña y Acahuales) se ha visto reflejado en desastres de inundaciones severas en la ciudad, que son recurrentes a un desarrollo urbano sin planeación, sin considerar aquellos valores y servicios ambientales que el paisaje natural otorga.

Un elemento natural modificado por actividad antrópica, producto del desarrollo urbano, está asociado al volcán Cerro de Macuiltépetl. Existen evidencias históricas, que este volcán, cuyo nombre significa en náhuatl, “Quinta montaña”, era parte de un clúster volcánico, formado por cinco cerros similares.

La figura 7 muestra un mapa topográfico de la ciudad, realizado en 1869 por el Ingeniero Manuel Rivera y resguardado en el Archivo general de la Ciudad Xalapa, donde se observan cuatro conos volcánicos más, en las cercanías al Cerro del Macuiltépetl.

Jácome et al. (2022) especulan que fueron devastados entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX, a manera de bancos de materiales, para extraer arena y grava, agregados que fueron usados para la construcción de la naciente urbe, sugiriendo darles los nombres de Cetépetl, Ometépetl, Yeitépetl y

Nahuitépetl, toda vez que el nombre Macuilitépetl, del único volcán existente a la fecha y siguiendo esta lógica “Ce” significa uno, “Ome” significa dos, “Yei”, tres y “Nahui”, cuatro.

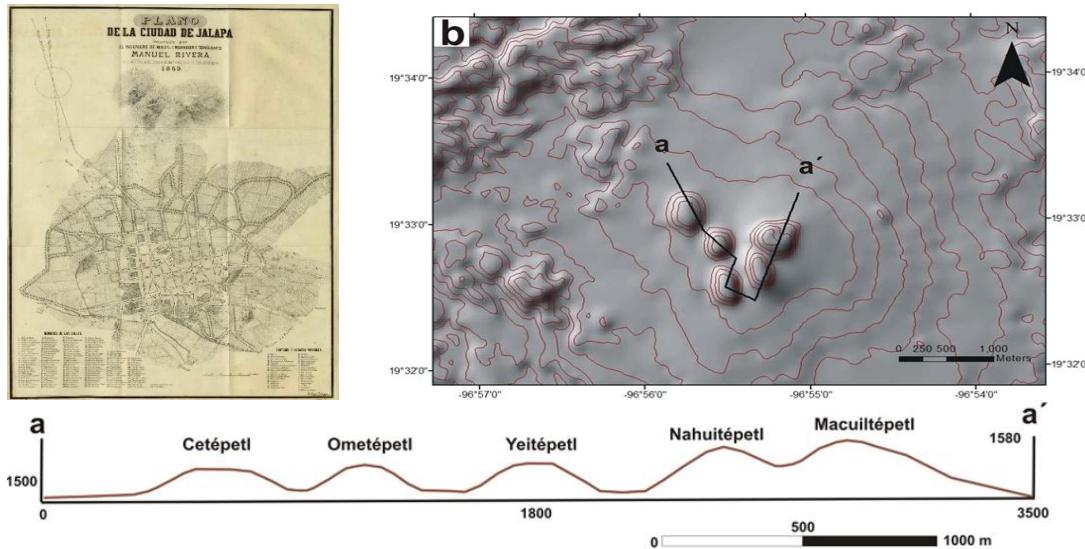


Figura 7. Imágenes extraídas de Jácome et al. (2022).

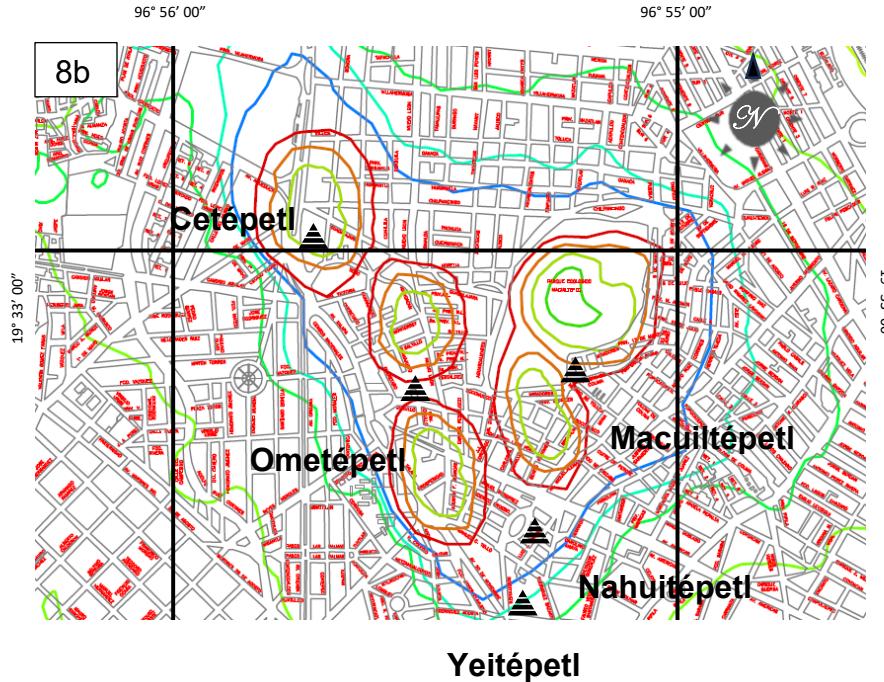
Otros dos vestigios históricos (figura 8), que evidencia estas formaciones volcánicas, que daban un paisaje natural distinto al actual, están plasmados; por una parte, en el escudo de armas de la ciudad, recibido en 1791, que da cuenta de esos cinco aparatos volcánicos al centro del cuartel principal; y por otra parte, una Litografía coloreada 30 x 40 de Carlos Nebel, “Vista de Xalapa”, fecha no registrada.

Registro IVC/028.



Figura 8. Vestigios documentales de la existencia del clúster volcánico en Xalapa.

Tomando como base el modelo digital realizado por Jácome et al (2022), se ubicaron en un mapa urbano actual (figura 9), los sitios geográficos de los elementos que integran el posible clúster Macuilitépetl, paisaje que formaba parte de esta ciudad de los balcones y hoy día es inexistente.



Figuras 9. Ubicación del posible cluster Macuilitépetl en un mapa urbano reciente.

Puede presuponerse, por la cercanía entre sí, que los otros tres edificios eran conos volcánicos del tipo cinerítico con alternancia de lavas y escorias también, como se observa en el actual cerro del Macuilitépetl y se repite en el cráter Nahuitépetl. Cartografiando la más reciente densidad volcánica, concluimos que es factible que el clúster Macuilitépetl, esté compuesto de cinco diferentes conos de escoria, basados en la evidencia directa de la historia de la explotación tan intensa de los bancos de materiales en el CVMX. Otro elemento importante, para entender este proceso de modificación del paisaje natural a urbano, es poder conocer testimonios de habitantes oriundos de la ciudad de Xalapa, que lo han vivido; para ello, se realizaron entrevistas a personas preferentemente mayores de 70 años, y que pudieran brindar información acerca de su experiencia con los cambios que transformaron el paisaje de la ciudad. Se decidió ese rango de edad pues los mayores cambios que sufrió el paisaje natural de la ciudad iniciaron en 1950.

Un total de 15 entrevistas fueron realizadas, destacando de ellas, los siguientes testimonios coincidentes y comunes:

1. “Xalapa era muy arbolado, había muchos cafetales, mucha humedad, mucha neblina, mucho musgo y llovidoza la mayor parte del año”.
2. “No había inundaciones porque las calles estaban cubiertas de piedra y el agua se infiltraba. Las inundaciones se incrementaron hace 25 años”.
3. “Muchos arroyos han desaparecido y los ríos que tenían caudales regulares disminuyeron su cantidad y además están contaminados”.
4. “Fueron bastantes cambios, se empezaron a observar caminos pavimentados y los pozos que existían en varios terrenos se taparon cuando empezó a poblarse más”.
5. “Cuando se comenzaron a construir viviendas, taparon pozos y nacimientos de agua, que eran lugares a donde acudíamos con cubetas para acarrear el agua cuando escaseaba... ahora tenemos que esperar a que nos llegue el agua por los tandos”.
6. “Debido a la pavimentación de las calles ha habido más inundaciones”.
7. “Contaminación de barrancas, arroyos, ríos y manantiales por descargas de aguas negras y fraccionamientos irregulares”.

### **Discusión.**

Los resultados obtenidos confirman, que para planificadores, diseñadores de vialidades y autoridades de todos los niveles, el riesgo volcánico es completamente ignorado al momento de desarrollar la infraestructura en las áreas de expansión urbana (Ariyanti et al., 2020). La ciudad de Xalapa no ha sido la excepción, pues cuando se programó su crecimiento, en la primera mitad del siglo XX, se decidió extenderla hacia la parte norte, donde todavía eran evidentes cuatro promontorios topográficos que se

alzaban junto a uno mayor, el Cerro del Macuiltépetl, en cuya ladera sur se había fundado la ciudad en el siglo XVI.

Se confirma, que al programar obras de expansión en Xalapa, se toman en cuenta aspectos como la disponibilidad y el uso del suelo, el acceso a servicios y el factor económico; sin embargo, se ignoran las condiciones geológicas del subsuelo (sus estructuras, origen y composición estratigráfica), las cuales son fundamentales para la estabilidad de las construcciones, la disponibilidad de agua, y sobre todo, para la seguridad de las personas.

Si se desea preservar el patrimonio ecológico, se necesita estudiar a fondo la distribución de la geodiversidad para entender su correcta interacción con la biodiversidad, en aras de ser capaces de proteger los distintos paisajes que revisten alto valor estético, geomorfológico y ecológico (Hjort & Luoto, 2010).

Otros factores considerados para la planeación de nueva infraestructura son la geometría de las calles, su orientación, diseño, distribución, su cobertura vegetal y el tipo de materiales utilizados, tratando de aminorar el efecto de isla de calor urbano; no obstante, se pasa por alto el interés en la geomorfología, misma que contribuiría a la comprensión de las amenazas geológicas e hidrometeorológicas, teniendo un papel importante a la hora de evaluar los riesgos y la vulnerabilidad en la búsqueda de la sustentabilidad (Alcántara & Goudie, 2010).

La importancia que reviste el presente trabajo es confirmar la transformación del paisaje volcánico a paisaje urbano en la Ciudad de Xalapa, Veracruz, México, y sentar las bases de trabajos futuros que establezcan diferentes escenarios, con menor rango de duda, con respecto al riesgo de erupción volcánica. Esto busca darle a las autoridades competentes herramientas más eficientes para el desarrollo de instrumentos y planes de protección social (Nieto et al., 2023), dado que muchas comunidades humanas se han establecido en las laderas de volcanes monogenéticos de tamaño pequeño o en las cercanías de regiones volcánicas todavía activas (Avellán et al., 2020; Le Corvec et al., 2013).

Los promontorios cineríticos suelen ser aprovechados como canteras, explotando los componentes rocosos que formaron las laderas del edificio volcánico (sobre todo grava y arena), y también suelen ser utilizados para actividades deportivas y turísticas (Avellán et al., 2020; Delcamp et al., 2014; Albert et al., 2016; Jácome et al., 2022). En un trabajo de investigación acerca del patrimonio geológico de los paisajes volcánicos en Camerún, se concluye que los bancos de explotación de material volcánico tienden a deteriorar el equilibrio geomorfológico y ecológico de los paisajes volcánicos que no son protegidos por las leyes ambientales, disminuyendo, o incluso anulando, su belleza y su potencial educativo y turístico (Bidias et al., 2023).

En México, intentar proteger los conos volcánicos escoriáceos dándoles el rango de patrimonio sería objeto de un debate muy intenso, ya que los materiales que los constituyen son componentes esenciales en la elaboración del concreto hidráulico, junto con el cemento que se obtiene, también, de la devastación de montañas de roca caliza.

## **CONCLUSIONES.**

La ciudad de Xalapa se erige como un claro y preocupante ejemplo de la acelerada transformación de un paisaje natural de origen volcánico a un entorno netamente urbano, impulsada por un desordenado y significativo crecimiento demográfico en un lapso temporal reducido.

Este estudio ha cuantificado la magnitud de dicho cambio, revelando que la urbanización ha consumido el 68% de la superficie municipal en el periodo comprendido entre 1982 y 2024. Esta expansión no es inocua. La modificación del paisaje ha generado una alteración hidrológica severa, confirmada por la drástica caída en los niveles de escorrentías, donde la Densidad General del Relieve pasa de rangos de 4.2 km/km<sup>2</sup> en zonas conservadas a 0.0 km/km<sup>2</sup> en áreas urbanizadas. Esta pérdida de permeabilidad y capacidad de drenaje natural es el motor principal de la vulnerabilidad, intensificando los procesos de riesgos hídricos, que se manifiestan en inundaciones y deslaves continuos con consecuencias recurrentemente devastadoras en términos de pérdidas materiales, y ocasionalmente, humanas.

Más aún, el impacto trasciende el ámbito físico-ambiental para tocar el patrimonio cultural y simbólico, pues el desarrollo urbano ha modificado irreversiblemente la morfología natural del paisaje volcánico, particularmente el clúster de cinco conos cineríticos del que formaba parte el Cerro de Macuitépetl. Esta pérdida no solo es geomorfológica, sino que representa una erosión de la identidad cultural de la ciudad, un elemento que históricamente está plasmado en su escudo de armas y en su narrativa fundacional.

La cuantificación detallada de estas transformaciones paisajísticas constituye una herramienta de diagnóstico fundamental. Los resultados subrayan la urgencia de abandonar los modelos de crecimiento tradicionales en favor de un enfoque de infraestructura verde que incorpore los límites y las funciones de los ecosistemas locales. Las futuras políticas públicas y la planificación urbana deben estar obligatoriamente ancladas en criterios de sostenibilidad y mitigación de riesgos, priorizando la protección de las zonas de recarga hídrica y la restauración morfológica para coadyuvar, efectivamente, al bienestar humano y a la resiliencia de Xalapa ante el cambio ambiental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Albert, H., Costa, F., & Martí, J. (2016). Years to weeks of seismic unrest and magmatic intrusions precede monogenetic eruptions. *Geology*, 44(3), 211-214. <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article/44/3/211/132034/Years-to-weeks-of-seismic-unrest-and-magmatic>
2. Alcántara, A. I. y Goudie, A. S. (2010). *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*. Cambridge University Press. <https://goo.su/FcPkt>
3. Alexander, C., Deák, B., & Heilmeier, H. (2016). Micro-topography driven vegetation patterns in open mosaic landscapes. *Ecological indicators*, 60, 906-920. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15004513>
4. Andersen, T. R., Poulsen, S. E., Pagola, M. A., & Medhus, A. B. (2020). Geophysical mapping and 3D geological modelling to support urban planning: A case study from Vejle, Denmark. *Journal of*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926985120300781>

5. Ariyanti, V., Gaafar, T., De La Sala, S., Edelenbos, J., Y Scholten, P. (2020). Towards liveable volcanic cities: A look at the governance of lahars in Yogyakarta, Indonesia, and Latacunga, Ecuador. *Cities*, 107. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275120312415>
6. Avellán, D. R., Cisneros-Máximo, G., Macías, J. L., Gómez-Vasconcelos, M. G., Layer, P. W., Sosa-Ceballos, G., & Robles-Camacho, J. (2020). Eruptive chronology of monogenetic volcanoes northwestern of Morelia—Insights into volcano-tectonic interactions in the central-eastern Michoacán-Guanajuato Volcanic Field, México. *Journal of South American Earth Sciences*, 100. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981120300675>
7. Benítez, G., Pérez-Vázquez, A., Nava-Tablada, M., Equihuad, M., & Álvarez-Palacio, J. L. (2011). Expansión de los asentamientos informales y sus efectos ambientales en la periferia de la Ciudad de Xalapa, Veracruz México. *Medio Ambiente y Urbanización*, 75(1), 47-70. <https://www.ingentaconnect.com/content/iieal/meda/2011/00000075/00000001/art00004>
8. Bidias, L. A. Z. A., Kameni, L. H. N., Moundi, A., & Kamgang, P. (2023). Geoheritage of the volcanic landscapes of Foumbot-Kouomboum region, Noun Plain, Cameroon: Geomorphological features and assessment of geomorphosites. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 11(3), 464-482. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2577444123000527>
9. Blázquez, Carmen. (1992). Xalapa, colección: Veracruz. Imágenes de su historia. Archivo General del Estado de Veracruz.
10. Boils, G., Crangle, N., Robledo, A. (2006). La Casa Veracruzana. Gobierno del Estado de Veracruz. Instituto Veracruzano de Cultura/Fundación Geo, A. C.

11. Contreras-Ramírez, J., Martínez-Ultrera, L., y Andrade-Domínguez, F. (2022). Hacia el conocimiento de la historia prehispánica de Xalapa. *Ollin*, (7), 47-52.  
<https://revistas.inah.gob.mx/index.php/ollin/article/view/18437>
12. DataMéxico. (2020). Población de Xalapa, Veracruz. Gobierno de México.  
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/xalapa>
13. De Sena Nola, I. T., & Zuquette, L. V. (2021). Procedures of engineering geological mapping applied to urban planning in a data-scarce area: Application in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 107. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981120306830>
14. Delcamp, A., van Wyk de Vries, B., Stéphane, P., & Kervyn, M. (2014). Endogenous and exogenous growth of the monogenetic Lemptégy volcano, Chaîne des Puys, France. *Geosphere*, 10(5), 998-1019.  
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geosphere/article-abstract/10/5/998/132202>
15. Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V., & Manea, M. (2012). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*, 522, 122-149.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040195111003957>
16. Ferrari, L., Tagami, T., Eguchi, M., Orozco-Esquivel, M. T., Petrone, C. M., Jacobo-Albarrán, J., & López-Martínez, M. (2005). Geology, geochronology and tectonic setting of late Cenozoic volcanism along the southwestern Gulf of Mexico: The Eastern Alkaline Province revisited. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 146(4), 284-306.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377027305000727>
17. Hjort, J., & Luoto, M. (2010). Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology*, 115(1-2), 109-116.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X09004140>

18. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI (2000). Carta topográfica Xalapa E14-B27, escala 1: 50 000 (Serie II) [Mapa]. INEGI.  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825638030>
19. Jácome, P. M. P., Torres, O. R., Espinasa, P. R., de la Fuente Rivera, J. R., Sánchez, J. O. R., Y Delgado, G. H. (2022). Review of geology and geomorphology of the Xalapa monogenetic volcanic field, eastern trans-Mexican volcanic belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 432, 107689. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377027322002207>
20. Le Corvec, N., Spörli, K. B., Rowland, J., & Lindsay, J. (2013). Spatial distribution and alignments of volcanic centers: clues to the formation of monogenetic volcanic fields. *Earth-Science Reviews*, 124, 96-114. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825213001037>
21. López Romero, P. (2014). La fundación del asentamiento de Xalapa. Ulúa: Revista de Historia, Sociedad y Cultura, (24), 93-116. <https://www.riaaver.org/sites/default/files/2024-05/LopezRomero2014.pdf>
22. Morello, M.A. (2006). El Recurso Extraordinario. (3<sup>a</sup> ed.). Librería Editora Platense. <https://es.scribd.com/document/707548708/Morello-2006-El-Recurso-Extraordinario>
23. Muhambya, K., Chaubey, N., Kasereka, S., & Kyandoghere, K. (2023). Towards a Dedicated Social Media and Groupware for Effective Communication during the Nyiragongo Volcanic Crisis. *Procedia Computer Science*, 224, 443-449. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050923011092>
24. Nieto, T. A., Martín del Pozzo, A. L., Gropelli, G. y Jaimes, V. M. C. (2023). Risk scenarios for a future eruption in the Chichinautzin monogenetic volcanic field, South México City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 433, 107733. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027322002645>

25. Olmedo, M. V. (2011). La expansión urbana de Xalapa en la primera mitad del siglo XX. Apuntes para la historia de su urbanización. Ulúa Revista de Historia, Sociedad y Cultura, (17).  
<https://biblioteca-repositorio.clacso.edu.ar/xmlui/handle/CLACSO/112189>
26. Pickering, C., y Byrne, J. (2013). Beneficios de publicar revisiones sistemáticas de literatura cuantitativa para doctorandos y otros investigadores en el inicio de su carrera. Higher Education Research & Development , 33 (3), 534–548.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07294360.2013.841651>
27. Ramírez, E., & Fitz, C. (2007). Carta Geológico-Minera Xalapa E14-B27, Veracruz. Servicio Geológico Mexicano.  
[https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/metadatos\\_geol/1936\\_jalapa\\_GL-MN\\_E14-B27.HTML](https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/metadatos_geol/1936_jalapa_GL-MN_E14-B27.HTML)
28. Rodríguez, S. R., Morales-Barrera, W., Layer, P., & González-Mercado, E. (2010). A quaternary monogenetic volcanic field in the Xalapa region, eastern Trans-Mexican volcanic belt: geology, distribution and morphology of the volcanic vents. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 197(4), 149-166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377027309003187>
29. Sieron, K., Peralta, F. P. C., McLeod, O. E., Guilbaud, M. N., Montiel, F. C., Y Pérez, J. C. (2017). El Campo Volcánico Xalapa: una revisión y análisis. UVserva, (4), 33-42.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9154401.pdf>

## DATOS DE LOS AUTORES.

- 1. Rafael Riquelme Alcantar.** Maestría en Construcción, Instituto Politécnico Nacional, Profesor investigador, México. Correo electrónico: [rriquelmea2200@alumno.ipn.mx](mailto:rriquelmea2200@alumno.ipn.mx) ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2079-3375>

- 2. José Teodoro Silva García.** Doctorado en Aguas Subterráneas, Instituto Politécnico Nacional, Profesor investigador, México. Correo electrónico: [jsilvag@ipn.mx](mailto:jsilvag@ipn.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4516-6461>
- 3. Laura Celina Ruelas Monjardin.** Doctorado en Desarrollo Regional Sustentable, Colegio de postgraduados-Campus Veracruz, Profesor, México. Correo electrónico: [ruelas.laura@colpos.mx](mailto:ruelas.laura@colpos.mx) , ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6465-0764>
- 4. Gustavo Cruz Cárdenas.** Doctorado en Ciencias en Edafología, Instituto Politécnico Nacional, Profesor investigador, México. Correo electrónico: [guscruz@ipn.mx](mailto:guscruz@ipn.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5256-4612>
- 5. Luis Arturo Ávila Meléndez:** Doctorado en antropología social, Instituto Politécnico Nacional, Profesor investigador, México. Correo electrónico: [lavilam@ipn.mx](mailto:lavilam@ipn.mx) , ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6429-5369>
- 6. Luis Fernando Ceja Torres.** Doctorado en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional, Profesor investigador, México. Correo electrónico: [lfceja@ipn.mx](mailto:lfceja@ipn.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8397-0701>
- 7. Fabián Villalpando Barragán.** Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional, Profesor investigador, México. Correo electrónico: [fvillalpando@ipn.mx](mailto:fvillalpando@ipn.mx) ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2483-8432>
- 8. Rodrigo Mondragón Guzmán.** Doctorado en Educacion, Instituto Politécnico Nacional, Profesor investigador, México. Correo electrónico: [rmondrag@ipn.mx](mailto:rmondrag@ipn.mx) ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3062-1928>
- 9. Dioselina Álvarez Bernal.** Doctorado en Ciencias en la especialidad de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Profesor investigador, México. Correo electrónico: [dalvarezb@ipn.mx](mailto:dalvarezb@ipn.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5946-7292>

**RECIBIDO:** 29 de octubre del 2025.

**APROBADO:** 2 de diciembre del 2025.