

Aportes para la contextualización y relevancia internacional del Geopatrimonio

del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, México

Contribuições para a contextualização e relevância internacional do Geopatrimônio do Geoparque Mundial da UNESCO Mixteca Alta, México

Contributions to the contextualization and international relevance of the Geoheritage of the UNESCO World Geopark Mixteca Alta, Mexico

José Luis Sánchez-Cortez¹, José Luis Palacio-Prieto², Quetzalcóatl Orozco-Ramírez¹, Emmaline Rosado-González¹, Norma López-Castañeda¹ y Xóchitl Ramírez-Miguel¹

¹ Universidad Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geografía, Unidad Académica de Estudios Territoriales-Oaxaca, Oaxaca, México

² Universidad Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geografía, Coyoacán, México

jssancor@gmail.com; jsanchez@geografia.unam.mx; palacio@unam.mx; qorozco@geografia.unam.mx, emma.rogz@gmail.com; normalc@geografia.unam.mx; xochitl@geografia.unam.mx

Sánchez: <https://orcid.org/0000-0002-1236-2848>

Palacio: <https://orcid.org/0000-0001-6651-0255>

Orozco: <https://orcid.org/0000-0002-3085-7406>

Rosado: <https://orcid.org/0000-0002-4959-7739>

López: <https://orcid.org/0009-0008-8488-1170>

Ramírez: <https://orcid.org/0009-0004-0559-3893>

Resumen

El geopatrimonio de un territorio reúne los rasgos geológicos y geomorfológicos clave para interpretar la historia del planeta. Su singularidad confiere su valor internacional, aspecto fundamental para la instauración de un Geoparque Mundial UNESCO. Este artículo expone el caso del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (México), contextualizando sus principales aspectos de importancia mundial. Se resalta la presencia de afloramientos metamórficos del proterozoico, evidencias paleoecológicas de los pastizales de Norteamérica, presencia de fósiles guías del Albiense y estructuras tectónicas y neotectónicas en los terrenos tectonoestratigráficos Mixteco y Zapoteco; también elementos culturales de categoría internacional. Se destaca la importancia de estos sitios a escala nacional, cumpliendo con el criterio de singularidad, establecido por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Para cumplimentar los objetivos de los Geoparques Mundiales UNESCO, se resalta la participación comunitaria, el grado de interacción de la sociedad con su geopatrimonio, así como la divulgación de estos elementos de interés.

PALABRAS CLAVE: geodiversidad; geositos; paleoambientes; patrimonio geológico

Resumo

O geopatrimônio de um território reúne as principais características geológicas e geomorfológicas para interpretar a história do planeta. Sua singularidade lhe confere valor internacional, aspecto fundamental para o estabelecimento de um Geoparque Mundial da UNESCO. Este artigo apresenta o caso do Geoparque Mundial Mixteca Alta da UNESCO (México), contextualizando seus principais aspectos de importância global. Destacam-se a presença de afloramentos metamórficos proterozóicos, evidências paleoecológicas das pradarias norte-americanas, presença de fósseis-guia do Albiano e estruturas tectônicas e neotectônicas nos terrenos tectonoestratigráficos Mixtecos e Zapotecas; além elementos culturais de categoria internacional. Ressalta-se a importância desses sítios em escala nacional, atendendo ao critério de unicidade estabelecido pela União Internacional de Ciências Geológicas. Para cumprir os objetivos dos Geoparques Mundiais da UNESCO, destacam-se a participação comunitária, o grau de interação da sociedade com seu geopatrimônio, bem como a disseminação desses elementos de interesse.

PALAVRAS-CHAVE: geodiversidade; geossítios; paleoambientes; patrimônio geológico.

Abstract

The geoheritage of a territory gathers the key geological and geomorphological features to interpret the history of the planet. Its uniqueness confers its international value, a fundamental aspect for the establishment of a UNESCO Global Geopark. This article presents the case of the Mixteca Alta UNESCO Global Geopark (Mexico), contextualizing its main aspects of global importance. It highlights the presence of Proterozoic metamorphic outcrops, paleoecological evidence of North American grasslands, Albian fossil guides, and tectonic and neotectonic structures in the Mixtec and Zapotec tectonostratigraphic terrains, as well as cultural elements of international importance. The importance of these sites on a national scale is highlighted, complying with the singularity criterion established by the International Union of Geological Sciences. In order to fulfill the objectives of the UNESCO Global Geoparks, community participation, the degree of interaction of society with its geoheritage, as well as the dissemination of these elements of interest are emphasized.

KEYWORDS: geodiversity; geosites; paleoenvironments; geological heritage.

1. Introducción

Las variables que conforman el paisaje y los elementos que nos permiten vislumbrar la historia evolutiva de nuestro planeta, como lo haría un templo o museo al aire libre, pueden ser considerados parte del geopatrimonio de un territorio (Newsome y Dowling, 2018; Reynard y Brilha, 2018; Santangelo y Valente, 2020). Algunos de los sitios que denotan un valor de singularidad científica, turística y/o educativa, pueden tomar la denominación de geositio/geomorfosito, según sea el caso (Palacio-Prieto, 2013). Los valores especiales que posee un determinado elemento geológico (*in situ o ex situ*), puede detonar en la aplicación de estrategias específicas de conservación para el beneficio de las generaciones presentes y futuras (ProGEO, 2017). Las estrategias de conservación pueden variar de acuerdo con el contexto político y administrativo de cada territorio (Caballero Cruz *et al.*, 2016). La intención de conservación del geopatrimonio aún es difusa; la sociedad, en general, no reconoce a plenitud la importancia del patrimonio geológico y la necesidad de su protección (Gordon, 2019); sin embargo, es un proceso que se va encaminado hacia el reconocimiento, en buena medida por las acciones del Programa de Ciencias de la Tierra de la UNESCO (UNESCO, 2015).

Ante esta necesidad los geoparques mundiales UNESCO surgen como una alternativa que busca promover la participación comunitaria en la gestión del territorio, promulgando el uso del geopatrimonio como una herramienta de desarrollo e identidad territorial (Farsani *et al.*, 2014), siendo los geositios y geomorfositos elementos fundamentales para cumplir este fin. Wimbledon (1996) establece que los geositios son elementos que permiten mostrar de manera prolija algún rasgo identitario de la historia de la tierra, ya sea en su conjunto o del lugar específico al cual pertenece; mientras que Panizza (2001) define a los geomorfositos como las formas específicas del relieve a las que se le puede atribuir un valor determinado.

Se ha estandarizado el hecho de que los geositios deban tener un valor científico preponderante para su consideración como tal

(Brilha 2018). Carcavilla *et al.*, (2019) manifiestan que es recomendable la participación de grupos muy nutridos de geocientíficos especialistas en diversas áreas (petrología, paleontología, mineralogía, sedimentología, geomorfología, entre otras), para generar un inventario del geopatrimonio. En el caso particular de los geoparques, los inventarios del geopatrimonio son el punto de partida para la gestión del territorio, y deben ir de la mano de otros aspectos complementarios: un adecuado marco normativo e institucional, estrategias de conservación y procesos educativos (Zouros, 2016; UNESCO, 2024).

Los geoparques deben contar con un patrimonio geológico de interés internacional (UNESCO, 2015, 2024; Martini *et al.*, 2022), ya que de eso depende su valor de singularidad en comparación con otros territorios, y sus valoraciones intrínsecas cumplen el rol de estandarizar la escala de importancia científica de cada sitio de interés patrimonial (Georgousis *et al.*, 2021). A la par, estos territorios procuran que sus geositios, además de sus intereses intrínsecos, posean una relación simbólica con las comunidades locales (UNESCO, 2015). Los geoparques fortalecen la identidad y los vínculos entre la población y su entorno, a través de las conexiones históricas que guardan las diferentes culturas con sus paisajes y elementos naturales (Alba *et al.*, 2023). El geopatrimonio puede establecer poderosos enlaces con las comunidades locales, hasta el punto de generar empoderamiento social y promover acciones encaminadas a su geoconservación (Prosser, 2019), entre las cuales, los geoparques aparecen como una alternativa muy viable y versátil (Gabriel *et al.*, 2018).

Otro aspecto para destacar en los Geoparques Mundiales de la UNESCO, como se establece en su definición, es el compromiso que tienen con la promoción de un desarrollo sostenible local: “*Los Geoparques Mundiales de la UNESCO son áreas geográficas únicas y unificadas en las que se gestionan sitios y paisajes de importancia geológica internacional, a través de un concepto holístico de protección, educación y desarrollo*

sostenible" (UNESCO, 2024: 1). Es en este sentido que a partir de 2015, cuando es asumida la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, el Programa Internacional de Geociencias y Geoparques de la UNESCO y la Red Global de Geoparques, tomaron el compromiso de promover en estos territorios estrategias que contribuyeran a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (Rosado-González, *et al.*, 2020, 2022; Sá, *et al.*, 2024).

El Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (GMUMA), cuenta con el reconocimiento de la UNESCO desde mayo 2017 (Palacio-Prieto *et al.*, 2019), y una característica muy relevante del geopatrimonio local es su fuerte relación con las comunidades indígenas, en particular el vínculo que une la cosmovisión local y la geodiversidad; sus leyendas, oralidad y toponimia, dan testimonio de esta cualidad (Rosado-González, 2016; Rosado-González y Ramírez-Miguel, 2017). Previamente, a través de la aplicación de un proceso metodológico participativo desarrollado con las comunidades locales, se identificaron 48 geositos de importancia internacional, nacional, regional y local, en los cuales destaca su alto valor cultural, arqueológico y antropológico (FIGURA 1).

Entre los principales aspectos considerados en el este trabajo, se describen los afloramientos de rocas del Proterozoico correspondientes al microcontinente Oaxaquia, evidencias paleoecológicas del Pleistoceno, presencia de fósiles invertebrados extintos del Albiense (Cretácico Inferior), evidencias tectónicas y neotectónicas, así como elementos y manifestaciones culturales.

El presente trabajo no corresponde a un inventario sistemático de geositos, más bien tiene como objetivo profundizar en los diferentes aspectos que exponen los intereses geológico y geomorfológico presentes en el GMUMA, y brindar argumentos que validen la relevancia internacional de sus geositos. De igual forma, esta recopilación de información geológica actúa como un caso de estudio en el que se ejemplifica cómo se insertan los contextos geológicos de importancia global dentro del concepto de geoparques, siendo un soporte científico técnico, a manera de un marco de referencia práctico,

para aquellos territorios que están en proceso de construcción de un geoparque.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El GMUMA es un territorio que comprende nueve municipios, ubicados en el centro oeste de la región Mixteca Alta del estado de Oaxaca; juntos corresponden a un total de 415 km² y una población aproximada de 7.000 habitantes (Lorenzen, 2021). Su gradiente altitudinal oscila entre los 2.050 y 2.890 msnm, siendo un relieve típico montano, con valles y lomeríos. Debido a su localización hacia el borde de la Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre Oriental, concurre una gran diversidad de elementos geológicos, principalmente rocas de diferentes tipos, edades y condiciones (grado de alteración, nivel de intemperismo, diaclasamiento), que están distribuidas en todo el territorio, así como manifestaciones tectono-estructurales locales y regionales. En el territorio del GMUMA afloran secuencias sedimentarias de la cuenca Tlaxiaco, que se ubican sobre un basamento cristalino (Complejo Oaxaqueño), que ha aportado sedimentos desde el Cretácico Inferior (Formaciones San Isidro, Teposcolula y Yucunamá), con depósitos sedimentarios alternados de tipo marino en plataforma continental, hasta secuencias posteriores de sedimentos continentales fluviales (Mixteca Alta Aspiring Geopark, 2015; Santamaría-Díaz *et al.*, 2008), (FIGURA 1).

Entre los atributos más importantes de la geodiversidad y el geopatrimonio del GMUMA tenemos aquellos que están relacionados con las geoformas y procesos erosivos generados por acción natural y antrópica, juntamente con la pérdida de suelo y cobertura vegetal, vinculado a la sobreexplotación agrícola, pastoreo y la susceptibilidad erosiva impuesta por una litología frágil. Los grandes circos erosivos y las huellas de la pérdida del suelo han sido definidos como un verdadero desastre ecológico (Mendoza, 2002; Guerrero-Arenas *et al.*, 2010; Sandoval-García *et al.*, 2021); sin embargo, esta circunstancia de vulnerabilidad ambiental y el paisaje derivado han sido utilizados como una

estrategia para promover la geoconservación y educación en el GMUMA, haciendo énfasis en la necesidad de implementar buenas prácticas

agrícolas, ganaderas y ambientales para contrarrestar este proceso erosivo.

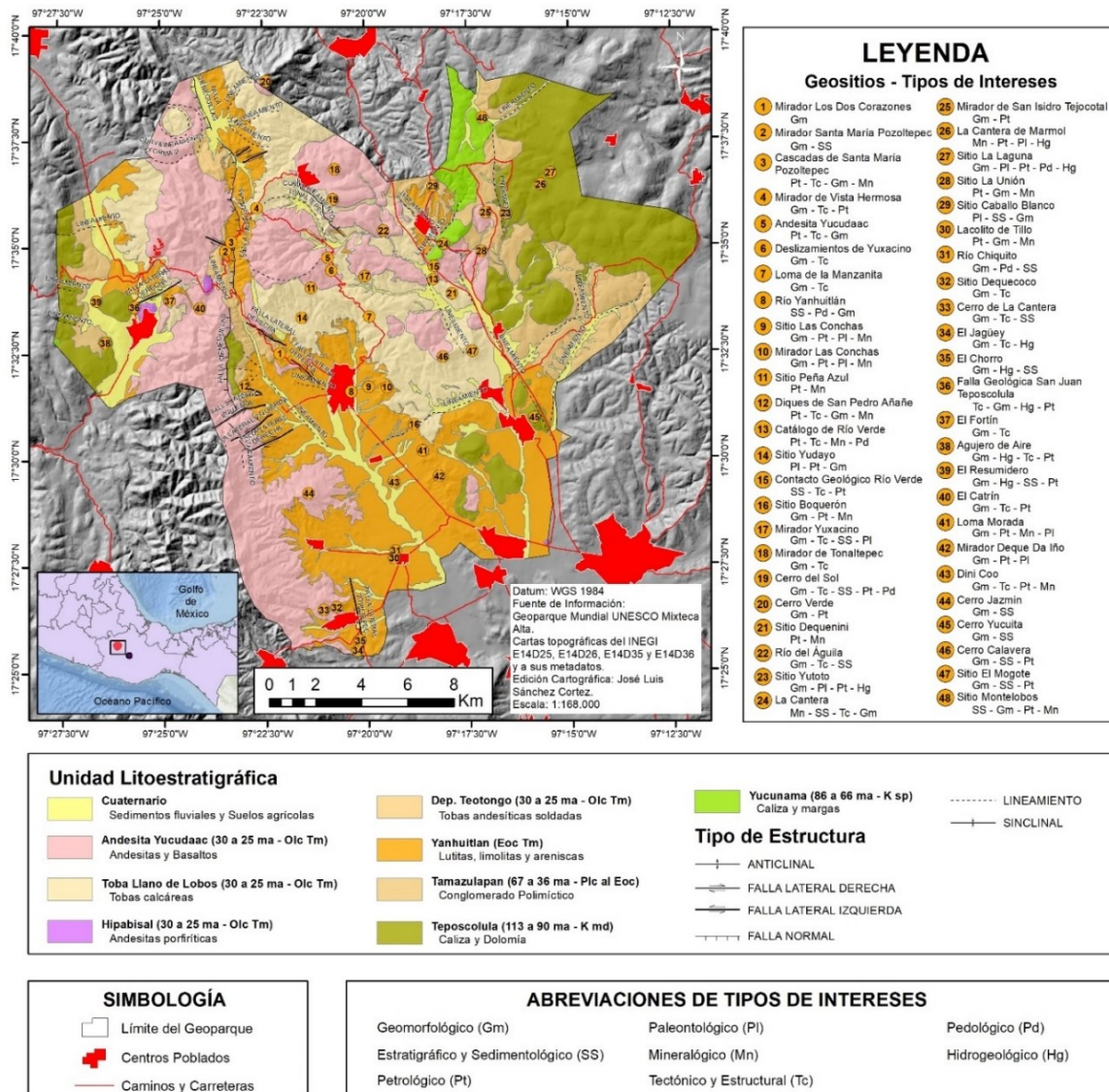


FIGURA 1. Mapa geológico del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, en el cual constan los 48 geositos que forman parte de este territorio

2.2 Métodos

En el presente trabajo se aplicó un proceso analítico bibliográfico y descriptivo de los principales intereses geológico y geomorfológico del Geoparque Mixteca Alta, y se complementó con la recopilación de información geológica y geomorfológica en el área del GMUMA,

utilizando técnicas de mapeo geológico y geomorfológico de carácter selectivo, empleando criterios de observación directa de cada rasgo de interés (Lahee, 1985; Lugo Hubp, 1988), integrado con la observación de perfiles a lo largo de senderos interpretativos empleados

dentro del territorio, así como el análisis de secciones y mapas geológicos locales disponibles.

Las estructuras observadas en campo fueron interpretadas según minutas y anotaciones con criterios geológicos y geomorfológicos (ubicación, datos estructurales, datos cartográficos, singularidades, litologías, exposición, texturas, dimensiones), suplementadas con información bibliográfica de cada sitio. Finalmente, luego del análisis bibliográfico se establecieron los aspectos e intereses geológico y geomorfológico de mayor singularidad en el área del geoparque. Las particularidades más importantes de un determinado sitio y criterio direccionan el valor internacional de algunos de los geositos inventariados en el geoparque, de acuerdo con las directrices establecida por la IUGS (2023); de igual manera, en este análisis también se consideraron los geosenderos que poseen en su recorrido los geositos o elementos naturales de interés internacional.

3. Resultados

A continuación, como parte de los resultados obtenidos se enlistan los principales criterios o intereses geológicos y/o geomorfológicos que se consideran con una alta singularidad. Estos criterios se han establecido en un orden relacionado con la escala geográfica de su importancia y su relación temporal (tiempo geológico).

3.1 Caracterización de sitios para interpretación geológica

Rodinia fue un super continente tres veces más antiguo que la Pangea; formado hace unos 1.100 o 1.000 millones de años, caracterizado por una intensa actividad tectónica (con alta frecuencia de procesos sísmicos, magmáticos y vulcanismo). Rodinia carecía de rastros de animales o de plantas, por lo que se le considera como un super continente estéril (Plummer, 2024). Hace aproximadamente 750 millones de años, Rodinia se comenzó a fraccionar en Laurencia o Laurasia (vinculada con la actual Norte América) y Gondwana (vinculada con la actual Sudamérica),

formando un océano entre ambas, denominado Panthallasa, o Pantalasa. En medio de Pantalasa había una enorme cordillera submarina que separó a los continentes. Hace 750 millones de años se presentan eventos de deformación a consecuencia de esta ruptura.

La orogenia *Greenville* se ubica al este de Norte América o margen este norteamericano (entre 900 y 1.000 millones de años). En Oaxaca, a 5 kilómetros del GMUMA, existen rocas de la misma edad, que se relacionan con el evento de la orogenia *Greenville* (FIGURA 2), aunque Ortega-Gutiérrez (1984) indica que es un evento diferente, relacionado con el otro lado de la costa estadounidense, es decir con la geología de las Rocosas. Desde 1991 se crea la hipótesis de Oaxaquia, representado por una teoría que explica la presencia de un microcontinente con una extensión cercana a 1 millón de km², que actualmente abarca desde el estado de Oaxaca hasta Tamaulipas (Hoffman, 1991; Centeno-García, 2017; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995, 2018).

Se ha llegado a la conclusión de la existencia de Oaxaquia, ya que se ha encontrado que las rocas de los cinturones metamórficos de los estados de Tamaulipas, Hidalgo y Oaxaca tienen la misma edad del cinturón orogénico *Greenville*, es decir, cuando se formó Rodinia (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995). Estas rocas, corresponden al segundo afloramiento rocoso más antiguo de México, sólo superado por los afloramientos metamórficos ubicados en el estado de Sonora (1.600 millones de años) (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). Oaxaquia contiene minerales particulares, que se forman bajo condiciones de alta presión por choque de placas tectónicas (Mora *et al.*, 2019).

Oaxaquia se considera una pieza importante del rompecabezas de Rodinia y Pangea. Incluso hay pruebas isotópicas que refieren que Oaxaquia está más relacionada geológicamente con Sudamérica que con Norteamérica (Ruiz *et al.*, 1988). Sin embargo, no se conoce a ciencia cierta cómo migró Oaxaquia hacia su posición actual, entre 950 y 505 millones de años, ya que se perdió el registro de minerales y rocas que lo confirmen. Los modelos paleogeográficos de la evolución tectónica que se han establecido

exponen que Oaxaquia navegó hacia el norte y se incorporó a Laurentia (Weber y Schulze, 2014), existen evidencias fósiles de trilobites y otros organismos invertebrados que lo confirmarían. En esos tiempos se menciona que Oaxaquia

estaba muy pegado a Colombia (Sudamérica) y los fósiles encontrados en Oaxaca son similares a los encontrados en Sudamérica.



FIGURA 2. Afloramiento de rocas metamórficas (ortogneis, paragneis, anfibolitas y granulitas) correspondientes al Complejo Oaxaqueño (Proterozoico). Estas estructuras forman parte del Sendero de los Mil Millones de Años

3.2 Fósil de *Hippurite* (Rudista), *Coalcomana ramosa* (Boehn), fósil guía del Albiense

Los *Hippurites* pertenecen a un grupo de organismos bivalvos denominados Rudistas, los cuales son animales ya extintos que aparecieron a finales del Jurásico (160 millones de años aproximadamente) y se extinguieron a partir de la última gran mortandad, a finales del Cretácico (66 millones de años), he allí su gran importancia paleontológica (Oviedo-García, 2005; Mitchell, 2011). Estos organismos estaban constituidos por dos valvas (bivalvo), una de las cuales poseía una estructura de paredes gruesas, cilíndrica, alargada y cónica (en su parte inferior), fijada al sustrato, la cual se denomina valva derecha, mientras que la otra valva correspondía a una estructura móvil tipo 'tapa', ubicada en la parte

superior del animal, la cual se le denomina valva izquierda.

La *Coalcomana ramosa* (Boehm) es un organismo Rudista, considerada como una de las especies más importantes para la paleontología y la geología de México (Alencaster y Pantoja, 1986), (FIGURA 3), ya que es una especie cuya presencia indica el rango crono-estratigráfico correspondiente al Albiense (entre 113 y 100 millones de años), además indica el ambiente de depositación de los sedimentos, siendo un organismo que habitó en ambientes marinos bentónicos, fijos en sustratos resistentes, conformando comunidades numerosas, tal como los actuales arrecifes coralinos.



FIGURA 3. Registros fósiles de *Hippurites Coalcomana* (rudistas), encontrados en el geositio La Laguna del Geosendero Yutoto; A) Plano longitudinal de la valva derecha de una *Coalcomana* sp.; B) Plano transversal de la valva derecha de una *Coalcomana ramosa* (Boehn)

3.3 Paleoecología, fósiles de la megafauna del Pleistoceno y pastizales de América del Norte

Otro de los principales intereses geológicos percibidos en el territorio geoparque está vinculado con la paleoecología de la Mixteca Alta; Johnson *et al.* (2008) y Martorell *et al.* (2022) hacen alusión a la distribución de los pastizales de América del Norte, estableciendo que en la actual Región Chocholteca y Mixteca oaxaqueña, se corresponden al paleolímite sur de estos importantes ecosistemas, debido a la presencia de tobas volcánicas que propician el desarrollo de suelos delgados y calcáreos. Estos ambientes fueron un hábitat favorable para la megafauna del Pleistoceno Superior. Los hallazgos de restos fósiles de mamuts, caballos, perezosos gigantes, entre otros, en el territorio del GMUMA, son un testimonio importante para corroborar estas afirmaciones. En este mismo sentido, Ceballos *et al.* (2010) y Carbot-Chanona *et al.* (2022) mencionan que los corredores ubicados entre el Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur corresponden a uno de los grandes corredores biológicos y rutas migratorias de megafauna durante el Pleistoceno, ya que también se han encontrado restos de estos mamíferos en Centro y Sudamérica (Agenbroad, 1984; Lucas *et al.*, 2022).

En el geositio del río Yanhuitlán (FIGURA 4B), se han estudiado paleosuelos con un registro de 13.000 años, que incluyen vestigios de la última gran glaciación del Pleistoceno, lo cual está relacionado con las migraciones y cambio de hábitat de los ejemplares extintos de la megafauna del Pleistoceno (Mueller *et al.*, 2012; Solís y Bocco, 2018). En el Centro de Interpretación del GMUMA, existe una colección de especímenes fósiles procedentes de los geositios Yudayo y Caballo Blanco (FIGURA 4).

3.4 Tectonismo y neotectonismo de la Región Mixteca

Entre los aspectos que se consideran de importancia internacional resaltan las condiciones tectónicas, neotectónicas y estructurales de la Mixteca Alta, derivadas de las circunstancias innatas del estado de Oaxaca. Oaxaca se encuentra en la zona de convergencia de cuatro placas tectónicas que se desplazan entre sí (Pacífico hacia el noroeste, Norteamérica hacia el occidente, Cocos hacia el noreste y Caribe hacia el oriente), convirtiendo esta zona en una porción de debilidad cortical (Kostoglodov y Pacheco, 1999; González Huizar, 2019).

El GMUMA se ubica en una zona geológica compleja, asociada a procesos tectónicos en los terrenos tectono estratigráficos Mixteco y

Zapoteco (Sedlock *et al.*, 1993). El 25% de los sismos ocurridos en México se presentan en el estado de Oaxaca; tan solo entre enero y diciembre de 2023, a nivel estatal se registraron un total de 6.782 episodios con magnitudes mayores a 3, mientras que, en el geoparque, se han registrado 63 sismos con magnitudes mayores a 3, desde 1979 hasta la fecha (Servicio Sismológico Nacional, 2024), asociado a fallas laterales activas con dirección N-S y NW-SE (Sistemas Caltepec, Cieneguilla y Oaxaca). Los geositos falla geológica de San Juan Teposcolula,

El Catrín y Mirador de Vista Hermosa (FIGURA 5) son algunos en los que se puede percibir los efectos del tectonismo dentro del GMUMA. Otra de las principales manifestaciones de los procesos tectónicos en el geoparque es la formación del Nudo Mixteco (sector sur del límite de la placa norteamericana) y la formación de una divisoria continental, de la cual nacen tres cuencas hidrográficas que drenan sus aguas hacia el océano Pacífico (río Balsas y río Verde) y el golfo de México (río Papaloapan), (FIGURA 6).



FIGURA 4. A) Restos fósiles de diversos especímenes de megafauna del Pleistoceno, encontrados en los geositos Yudayo y Caballo Blanco. B) Afloramiento capas de paleosuelos, cuyas edades reportadas corresponden a 13.000 años de antigüedad

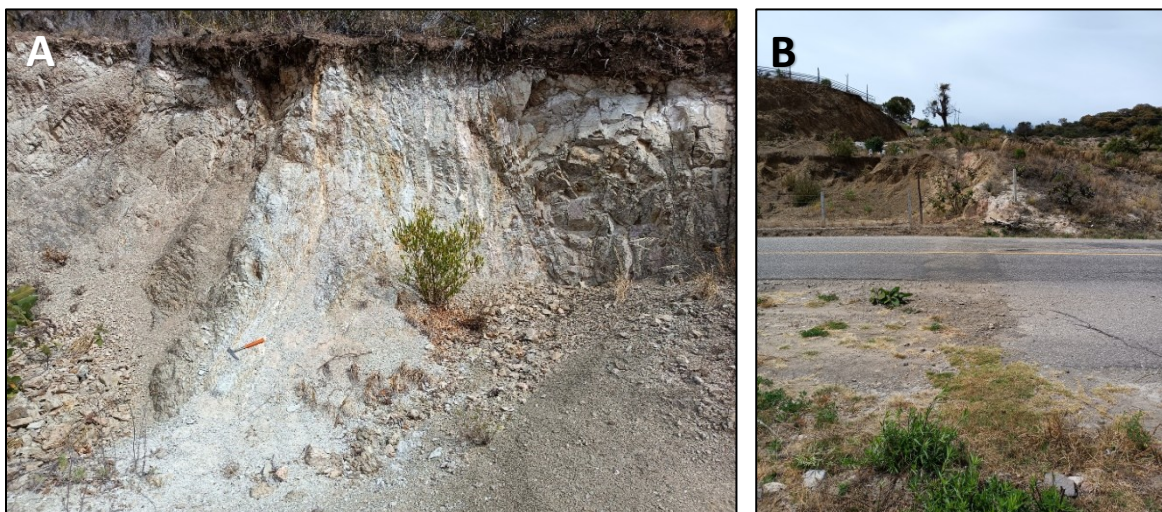


FIGURA 5. Evidencias de fallas laterales activas. A) Falla de Tooxi (geosito 1); B) Falla geológica de San Juan Teposcolula (geosito 38)

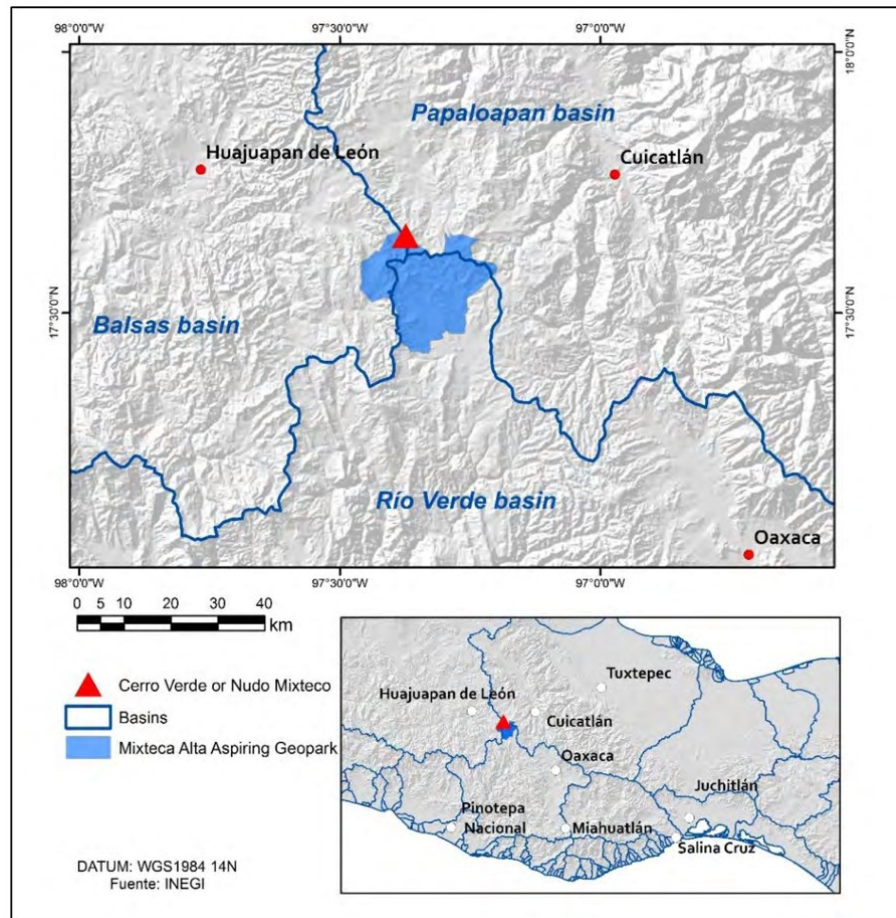


FIGURA 6. Ubicación de la divisoria de las cuencas hidrográficas del río Balsas, río Verde (drenan sus aguas hacia el Pacífico) y río Papaloapan (drena hacia el golfo de México). Esta divisoria de carácter continental se ubica justo en los geositos Mirador de Vista Hermosa (geosito 4) y Cerro Verde (geosito 20)

3.5 Valor cultural: manifestaciones culturales tradicionales como respuesta a los procesos erosivos

En complemento con lo antes descrito, Palacio-Prieto *et al.* (2016) y Fernández de Castro-Martínez (2020) mencionan que en el área del GMUMA los elementos geológicos y geomorfológicos patrimoniales de interés, están vinculados con tres eventos principales: 1) los procesos erosivos que se dan de manera natural en este territorio, en conjunción con la erosión de origen antrópico, los cuales al conjugarse crean un espectáculo de geoformas erosivas y diversos patrones de modelado, que fungen como una verdadera aula temática sobre la erosión; 2) los afloramientos de suelos antiguos o paleosuelos, los cuales se encuentran enterrados o aflorando

en los cauces de los ríos del valle de Yanhuatlán. Estos suelos antiguos registran acontecimientos históricos ambientales, biológicos, culturales, sociales en el GMUMA; 3) los elementos culturales que se asocian a los recursos geológico, geomorfológicos y paisajísticos, como los *lamabordos* (FIGURA 7A) o terrazas de cultivo prehispánicas y los sitios arqueológicos, los cuales son ejemplos de la mixtura y adaptación de las culturas ancestrales a su entorno.

Además de que los paleosuelos son una fuente importante de datos prehistóricos, estos se usan en la actualidad para la elaboración de piezas de alfarería en el municipio de Santo Domingo Tonaltepec. En estas localidades las mujeres alfareras utilizan las técnicas y los conocimientos heredados por sus antecesoras,

siendo transmitidos durante siglos y sus piezas se encuentran muy diseminadas por toda la región (Spores y Balkansky, 2013; Pérez Rodríguez, 2020).

Con relación a la erosión como proceso natural y su aprovechamiento por las comunidades, se han datado terrazas tipo *lamabordo* de 3.400 años en la zona limítrofe del GMUMA (Leigh *et al.*, 2013). La invención de las terrazas tipo *lamabordo* fue uno de los desarrollos tecnológicos que permitieron el desarrollo civilizatorio y urbano de la población durante la prehistoria; de hecho, se afirma que debido a este desarrollo tecnológico, el Valle de Nochixtlán, una zona que comparte una porción con el GMUMA, tuvo una mayor concentración poblacional de la que tiene actualmente (Spores, 1969). Así mismo, los *lamabordos* moldearon el paisaje prehispánico de la región y determinaron en buena medida el patrón de los asentamientos humanos (Pérez Rodríguez, 2016). La técnica de construcción de *lamabordos* se mantiene hasta nuestros días, y está asociada a un tipo de sistema agrícola muy particular que, además de ser parte del patrimonio cultural y material de las comunidades mixtecas, tiene un papel muy importante en la seguridad alimentaria de las comunidades, en particular de las que están ubicadas en los lomeríos y son una estrategia para adaptarse a la variabilidad ambiental actual (Bocco *et al.*, 2019, Orozco-Ramírez *et al.*, 2020).

3.6 Meteorito de Yanhuatlán

El 31 de diciembre de 1864, Leopoldo Río de la Loza elabora un informe a manera de reporte, sobre la caída de un aerolito de gran tamaño en la zona de Santo Domingo Yanhuatlán, el mismo que establece que: "*Se cree que cayó en la Mixteca alta, al pie de un cerro conocido bajo el nombre de Deque-Yucunino, a siete mil pies ingleses de elevación, como a los 17° 29' de latitud, y a 1° 47' de longitud oriental de México, en un pueblo llamado Santo Domingo Yanhuatlán, cabecera del partido de su nombre, distrito de Teposcolula, del cual dista cuatro leguas, y veinticinco de la ciudad de Oaxaca, que es la capital del Departamento a que pertenece el pueblo.*" (Río de la Loza, 1865: 5).

En esta descripción se establece que el peso del meteorito es de 916 libras, o 421 kilogramos. Además, se expresa que las medidas aproximadas de la masa metálica son: 71 cm de truncamiento a truncamiento, 45 cm en su mayor latitud o eje transversal, y 43 cm de altura. Actualmente, el meteorito reposa y está expuesto en las instalaciones del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (FIGURA 7B). No se sabe a ciencia cierta el sitio exacto de la caída de este aerolito; sin embargo, el registro histórico del acontecimiento es una gran oportunidad para profundizar sobre este hecho, y se abre la posibilidad de localizar en territorio elementos potenciales afines a este patrimonio.



FIGURA 7. A) Estructuras tradicionales para la contención de sedimentos, y generación de suelos agrícolas, denominadas *lamabordos*; B) Meteorito de Yanhuatlán, el cual reposa en el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México

4. Discusión

Tanto para los visitantes, turistas y viajeros en general, y para quienes observan los paisajes existentes en la Mixteca Alta (Bautista Santiago, 2022), es imposible no otorgar un alto valor estético, considerando las variables de los contrastes de colores y estructuras visibles en todo este territorio, así como aspectos imponentes que destacan sin dificultad, como en el caso de las cárcavas, valles estrechos o sus diques andesíticos (Barrientos-Zavala *et al.*, 2023). No obstante, estas circunstancias están íntimamente ligadas a procesos geológicos, geomorfológicos, mineralógicos, actividad biogeoquímica, hidrológica, actividades antrópicas, entre otras, que han repercutido directa o indirectamente en la distribución de la cobertura vegetal. Y mucho más allá de estos efectos que resaltan a primera vista, existen elementos singulares para este contexto local, regional, nacional e incluso internacional, que han sido expuestas en este trabajo.

Los Geoparques Mundiales UNESCO aparecen como una etiqueta internacional que promulga la creación de un mecanismo de cooperación y desarrollo, a partir de territorios que, con un patrimonio geológico de valor internacional y un enfoque comunitario, garanticen la conservación de ese patrimonio, comprometiendo a las comunidades locales, con el objeto de forjar una gestión sostenible (UNESCO, 2015; Henriques y Brilha, 2017; Rosado-González *et al.*, 2020). Los Geoparques brindan un testimonio incondicional del geopatrimonio global y propagan su conservación (Du y Girault, 2018), y el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta cumple ambos criterios.

La evaluación o caracterización de la particularidad científica de este patrimonio es el soporte necesario para definir la singularidad geológica de un geoparque, empero, cuando el geopatrimonio es identificado por la sociedad en general, el geopatrimonio también obtiene un valor adicional de identidad o de relación con las comunidades locales (Girault, 2019). Si un geocientífico clasifica un elemento geológico de importancia internacional, sin que la comunidad

se haya apropiado o involucrado en el proceso de catalogación, ese elemento de singularidad o valor internacional pasa a ser un elemento sin contexto para las comunidades; no obstante, cuando un geositio es aceptado por la comunidad científica y la población local, su valor patrimonial es mucho más simbólico (Gray, 2013).

Evaluar el valor de singularidad puede ser importante a la hora de establecer la importancia científica del geopatrimonio, pero ¿cuán importante es un elemento geológico o geomorfológico de importancia mundial para las comunidades locales? Eso va a depender del nivel de interacción, divulgación o involucramiento que se logre desplegar a nivel de la sociedad, en lo que respecta a la exposición de su importancia (Rodrigues *et al.*, 2023). Por ello es necesario promover una interacción más estrecha entre la comunidad académica y la sociedad al momento de identificar y proponer geositios.

En este sentido, ¿se garantiza que el geopatrimonio del GMUMA posee un valor internacional? pues de acuerdo con lo establecido por la IUGS (2023) (Unión Internacional de Ciencias Geológicas, por sus siglas en inglés), el término de patrimonio de importancia internacional aplica a territorios que poseen características geológicas que se consideren entre los mejores ejemplos de su género a nivel nacional, o en la red regional a la que pertenezca, y en el marco de su contexto geológico principal. Por ejemplo, los geoparques en China poseen condiciones y características únicas que representan la diversidad geológica nacional, cuya conservación es imperiosa, ya que algunos de estos territorios son extremadamente sensibles al impacto humano (Zhao y Wang, 2002; Xu y Wu, 2022).

Dicho esto, el geopatrimonio presente en el GMUMA no es la excepción en cuanto a su valor científico, ya que podemos puntualizar como ejemplos, los afloramientos metamórficos del Complejo Oaxaqueño (evidencias del microcontinente Oaxaquia, y el segundo tipo de roca con mayor antigüedad en México), la presencia de fósiles de rudistas *Coalcomana*

ramosa (Boehm) (catalogada como una de las especies más importantes para la paleontología y la geología de México por Alencaster y Pantoja en 1986), así como la formación del Nudo Mixteco y de la divisoria continental, de la cual nacen tres cuencas hidrográficas que drenan sus aguas hacia el océano Pacífico (río Balsas y río

Verde) y el golfo de México (río Papaloapan), los que cumplen lo establecido en las directrices de la IUGS. Es importante vincular las relaciones de este geopatrimonio con los demás geositos y los geosenderos ubicados en el territorio (FIGURA 8 y TABLA 1).

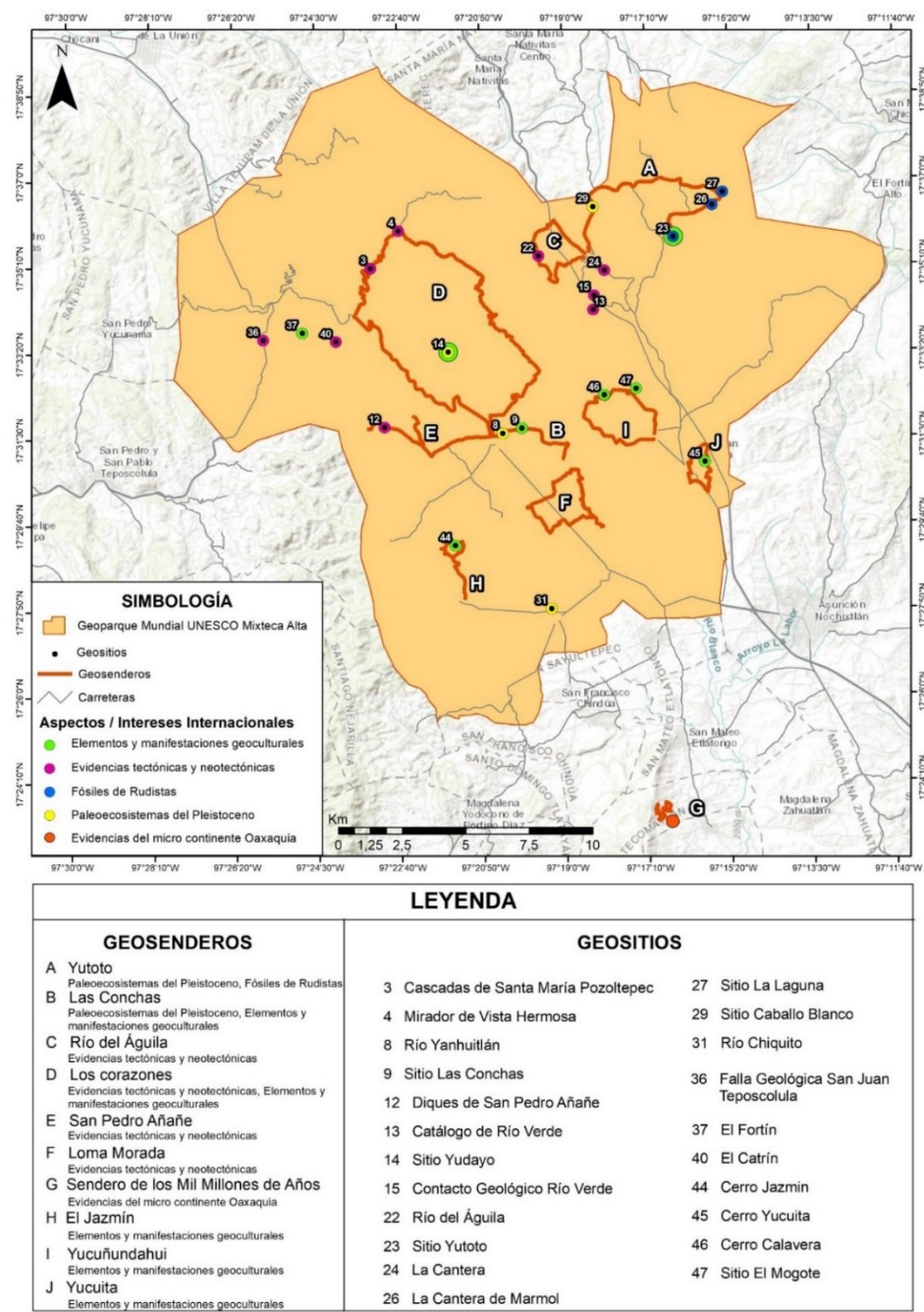


FIGURA 8. Mapa de ubicación de los geositos y geosenderos que guardan relación con los aspectos/intereses de relevancia internacional en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta

TABLA 1. Listado de los aspectos/intereses internacionales, y los geositos y geosenderos ligados a cada uno de ellos

Aspectos / Intereses Internacionales	Geositos	Geosendero
Evidencias del micro continente Oaxaquia	(*)	Sendero de los Mil Millones de Años
Paleoecosistemas del Pleistoceno	Río Yanhuatlán Sitio Yudayo Sitio Caballo Blanco Río Chiquito	Las Conchas Yutoto
Fósiles de Rudistas	Sitio Yutoto La Cantera de Marmol Sitio La Laguna	Yutoto
Evidencias tectónicas y neotectónicas	Cascada de Santa María Pozoltepec Mirador de Vista Hermosa Diques de San Pedro Añãñe Catálogo de Río Verde Contacto Geológico Río Verde Río del Águila La Cantera Falla Geológica San Juan Teposcolula El Catrín Dino Coó	Los Corazones San Pedro Añãñe Río del Águila Loma Morada
Elementos y manifestaciones geoculturales	Sitio Las Conchas Sitio Yudayu Sitio Yutoto El Fortín Cerro Jazmín Cerro Yucuita Cerro Calavera Sitio El Mogote	Los Corazones Las Conchas El Jazmín Yutoto Yucuita Yucuñundahui

(*) El Geoparque Mixteca Alta aún no cuenta con un geosito específico identificado como parte de este aspecto/interés; sin embargo, si presenta una ruta interpretativa denominada 'Sendero de los mil millones de años', la cual involucra los afloramientos del Complejo Oaxaqueño y otros geositos dentro del GMUMA. Vale puntualizar que tampoco existe en el GMUMA un geosito establecido para el aspecto/interés relacionado con la caída del Meteorito de Yanhuatlán

El reconocimiento internacional de poseer un patrimonio de singularidad global puede ser un detonante para movilizar o potenciar otros elementos patrimoniales que, de manera directa o indirecta, puedan tener relación con su geopatrimonio. Los geoparques no se manejan en función de un elemento geológico o geomorfológico de importancia global, este es solo un componente que da fundamento al geoparque. Los geoparques son una estrategia

que involucra al patrimonio natural y cultural del territorio, así como a las estructuras de gestión y manejo, fomentando actividades de conservación, desarrollo, divulgación, educación y uso sostenible de los elementos que conforman el patrimonio geológico y/o geomorfológico de importancia global. En este sentido las comunidades son el motor que impulsa y sustenta al territorio geoparque, con la base de su patrimonio.

5. Conclusiones

A partir del presente trabajo se ha realizado un análisis de los principales aspectos e interés geológicos y geomorfológicos de importancia internacional dentro del territorio del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, en el cual se han establecido varios elementos singulares que denotan la particularidad intrínseca que el GMUMA posee. Los intereses expuestos muestran una diversidad de procesos y eventos que repercuten en la complejidad del paisaje y los elementos naturales presentes. La cultura mixteca, sus tradiciones locales y su relación con el entorno, crean manifestaciones patrimoniales que sin lugar a duda representan un agregado que realza el valor funcional y aplicado del geopatrimonio. Existe mucho trabajo realizado en la Mixteca Alta sobre elementos culturales, arqueológicos y antropológicos, entorno a los *lamabordos*, las técnicas de agricultura tradicional y la distribución de sus asentamientos, recursos y formas de comunicación, son décadas de investigaciones en estos ámbitos.

Si bien los inventarios y descripciones realizadas en este manuscrito son concordantes con la información disponible que ha sido generada por los cuerpos académicos y científicos desplegados en el GMUMA, existen aspectos que deben ser profundizados. Tal es el caso de los yacimientos paleontológicos de las cuencas cretácicas y cenozoicas, en donde se

encuentran fósiles e icnofósiles de invertebrados marinos y continentales que requieren identificación y clasificación; de igual forma, en el caso de la caída del meteorito de Yanhuatlán, se abre la posibilidad de desplegar tareas de búsqueda del sitio de impacto, y la determinación de minerales asociados.

Junto con la contextualización de la relevancia internacional del geopatrimonio existente en el GMUMA, el mayor aporte de este trabajo radica en la generación un marco de referencia nacional y regional, que permite ejemplificar como se insertan los contextos geológicos singulares dentro de un territorio geoparque. A pesar de que la identificación de sitios de patrimonio geológico relevante es una condición fundamental en un geoparque, su definición y caracterización puede resultar confusa; en este sentido, un estudio de caso brinda modelos aplicados para la tipificación de dicho geopatrimonio para un área que avizora convertirse en geoparque. Asimismo, se enfatiza en que, a los sitios y características de importancia mundial descritas por geocientíficos, se les suma la cosmovisión y las relaciones comunitarias que existen en este territorio, lo que fortalece el sentido de identidad de los grupos locales con su entorno y su patrimonio, fomentando el sentido de pertenencia local en las actuales y futuras generaciones.

6. Agradecimientos

Los autores extienden su agradecimiento por el continuo soporte a las autoridades municipales y agrarias de los Municipios de Santo Domingo Yanhuatlán, San Juan Teposcolula, Santo Domingo Tonaltepec, San Bartolo Soyaltepec, San Juan Yucuita, Santa María Chachoapam, San Andrés Sinaxtla, San Pedro Topiltepec y Santiago Tillo, en representación de las comunidades que conforman el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta.

7. Referencias citadas

- AGENBROAD, L.D. 1984. "New World mammoth distribution". En: P. S. MARTIN & R.G. KLEIN (Eds.), *Quaternary Extinctions, a prehistoric revolution*, pp. 90-108. University of Arizona. Tucson, USA.
- ALBA, S.; BALDO, M.; DE BENEDETTI, L.; DEIMICHEI, S.; MAZZINO, F.; MARGAGLIOTTI, A.;... & I. TOCCO TUSSARDI. 2023. "A participatory inventory project to Kick-Start the creation of a Hospital Park: The experience of the University of Verona (North-Eastern Italy)". *Sustainability*, 15(5): 3905. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su15053905>.

- ALENCASTER, G. y J. PANTOJA. 1986. "Coacomana ramosa (Bohm) (Bivalvia-Hippuritacea) del Albiano temprano del cerro Tuxpan, Jalisco". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 47(1): 33-46.
- BARRIENTOS-ZAVALA, K.J.; CHAKO-TCHAMABÉ, B.; SILIS-ESQUIVEL, J.; ALCALÁ-REYGOSA, J.; FERNÁNDEZ DE CASTRO MARTÍNEZ, G.; MARÍN-GUZMÁN, A. P. & A. MONTES DE OCA. 2023. "Distribution and Characterization of the Mixteca Alta-UNESCO Geopark Dikes as Evidence of an Extensional Tectonic Regime in Western Oaxaca, Mexico". *Investigaciones geográficas*, 111. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.60696>.
- BAUTISTA SANTIAGO, N.A. 2022. "Paisajes mediáticos de la Mixteca oaxaqueña: imágenes para un futuro étnico". *Cuicuilco. Revista de Ciencias Antropológicas*, 29(85): 137-163.
- BOCCO, G.; CASTILLO, B. S.; OROZCO-RAMÍREZ, Q. y A. ORTEGA-ITURRIAGA. 2019. "La agricultura en terrazas en la adaptación a la variabilidad climática en la Mixteca Alta, Oaxaca, México". *Journal of Latin American Geography*, 18(1): 141-168.
- BRILHA, J. 2018. "Geoheritage and geoparks". En: E. REYNARD y J. BRILHA (Eds.), *Geoheritage. Assessment, Protection, and Management*. pp. 323-334. Elsevier.
- CABALLERO CRUZ, P.; HERRERA MUÑOZ, G.; BARRIOZABAL ISLAS, C. y M. T. PULIDO. 2016. "Conservación basada en comunidad: importancia y perspectivas para Latinoamérica". *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 26(48): 335-352.
- CARBOT-CHANONA, G.; GÓMEZ-PÉREZ, L. E. & M. A. COUTIÑO-JOSÉ. 2022. "A new specimen of *Eremotherium laurillardi* (Xenarthra, Megatheriidae) from the Late Pleistocene of Chiapas, and comments about the distribution of the species in Mexico". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74(2): A070322. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2022v74n2a070322>.
- CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; GARCÍA-CORTÉS, A. & J. VEGAS. 2019. "Geoheritage and geodiversity". Instituto Geológico y Minero de España.
- CEBALLOS, G.; ARROYO-CABRALES, J. & E. PONCE. 2010. "Effects of Pleistocene environmental changes on the distribution and community structure of the mammalian fauna of Mexico". *Quaternary Research*, 73: 464-473. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2010.02.006>.
- CENTENO-GARCÍA, E. 2017. "Mesozoic tectono-magmatic evolution of Mexico: An overview". *Ore Geology Reviews*, 81: 1.035-1.052. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.010>.
- DU, Y. & Y. GIRAULT. 2018. "A genealogy of UNESCO Global Geopark: Emergence and evolution". *International Journal of Geoheritage and Parks*, 6(2): 1-17. Disponible en: [10.17149/ijgp.j.issn.2577.4441.2018.02.001](https://doi.org/10.17149/ijgp.j.issn.2577.4441.2018.02.001).

- FARSANI, N. T.; COELHO, C. O. A.; COSTA, C. M. M. & A. AMRIKAZEMI. 2014. "Geo-knowledge management and geoconservation via Geoparks and Geotourism". *Geoheritage*, 6: 185-192. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0099-7>.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO-MARTÍNEZ, G. 2020. *Fotogrametría digital y modelado del terreno por erosión hídrica en la cuenca alta del río Verde, Oaxaca*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Tesis Doctoral.
- GABRIEL, R.; MOREIRA, H.; ALENCOÃO, A.; FARIA, A.; SILVA, E. & A. A. SÁ. 2018. "An emerging paradigm for the UNESCO Global Geoparks: The Ecosystem's Health Provision". *Geosciences*, 8, 100. Disponible en: [doi:10.3390/geosciences8030100](https://doi.org/10.3390/geosciences8030100).
- GEORGOUSIS, E.; SAVELIDI, M.; SAVELIDES, S.; HOLOKOLOS, M.V. & H. DRINIA. 2021. "Teaching Geoheritage values: Implementation and thematic analysis evaluation of a synchronous Online Educational Approach". *Heritage*, 4(4): 3.523-3.542. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/heritage4040195>.
- GIRAULT, Y. 2019. "Methodological proposal for the valorization of the geodiversity of rural areas comparable with the Zat Valley". En Y. GIRAULT (Ed.), *UNESCO Global Geoparks: Tension Between Territorial Development and Heritage Enhancement*, pp., 111-132. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- GONZÁLEZ HUIZAR, H. 2019. "La Olimpiada XXIV de Ciencias de la Tierra: Los Grandes Terremotos en México". *GEOS*, 39(1): 1-21.
- GORDON, J. E. 2019. "Geoconservation principles and protected area management". *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4): 199-210. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.005>.
- GRAY, M. 2013. *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature (2nd. ed.)*. Wiley Blackwell, Chichester, UK.
- GUERRERO-ARENAS, R.; JIMÉNEZ, H. E., y R. E. SANTIAGO. 2010. "La transformación de los ecosistemas de la Mixteca Alta oaxaqueña desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno". *Ciencia y Mar*, 14: 61-68.
- HENRIQUES, M. H. & J. BRILHA. 2017. "UNESCO Global Geoparks: a strategy towards global understanding and sustainability". *Episodes*, 40(4): 349-355. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i4/017036>.
- HOFFMAN, P. F. 1991. "Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside out?" *Science*, 252: 1.409-1.412.
- INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCE (IUGS). 2023. *Guidelines for the assessment of the international significance of geological heritage in UNESCO Global Geoparks applications*. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386952>.

- JOHNSON, E.; NIELSEN-MARSH, C. M. & M. A. GUTIERREZ. 2008. "Exploration of diagenetic profiles at mammoth localities on the North American grasslands". *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 250: 113-127.
- KOSTOGLODOV, V. y J. F. PACHECO. 1999. *Cien años de sismicidad en México*. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <https://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%F1os.html>. [Consulta: marzo, 2024].
- LAHEE, F.H. 1985. *Geología Práctica*. Ed. Omega. Barcelona, España.
- LEIGH, D. S.; KOWALEWSKI, S. A. & G. HOLDRIDGE. 2013. "3400 years of agricultural engineering in Mesoamerica: lama-bordos of the Mixteca Alta, Oaxaca, Mexico". *Journal of Archaeological Science*, 40(11): 4.107-4.111.
- LORENZEN, M. 2021. "Nueva ruralidad y migración en la Mixteca Alta, México". *Perfiles latinoamericanos*, 29(58): 00011. Disponible en: <https://doi.org/10.18504/pl2958-011-2021>.
- LUCAS, S. G.; ROMERO, J. E.; VÁSQUEZ, O. J. & G. E. ALVARADO. 2022. "The fossil vertebrates of Guatemala". *Revista Geológica de América Central*, 66: 1-32. Disponible en: DOI: [10.15517/rgac.v66i0.48590](https://doi.org/10.15517/rgac.v66i0.48590).
- LUGO HUBP, J. 1988. *Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México.
- MARTINI, G.; ZOUROS, N.; ZHANG, J.; JIN, X.; KOMOO, I.; BORDER, M.; ... & A. A. SÁ. 2022. "UNESCO Global Geoparks in the "World after": a multiple-goals roadmap proposal for future discussion". *Episodes Journal of International Geoscience*, 45(1): 29-35. Disponible en: <https://doi.org/10.18814/epiugs/2021/021002>.
- MARTORELL, C.; GARCÍA, D.; BEJARANO, O.; PÉREZ, S. y J. ULRICH. 2022. *Los pastizales Chocholtecos: Capítulo 1*. Disponible en: <https://www.facebook.com/watch/?v=687583152313834>. [Consulta: marzo, 2024].
- MENDOZA, E. 2002. "El ganado comunal en la Mixteca Alta: de la época colonial al siglo XX. El caso de Tepelmeme". *Historia Mexicana*, 51: 749-785.
- MITCHELL, S. F. (Ed). 2011. The Ninth International Congress on Rudist Bivalves, 18th to 25th June 2011, Abstracts, Articles and Field Guides. *The Ninth International Congress on Rudist Bivalves*. Disponible en: <https://tedbusinesspro.com/sfmgeology/pdfs/>.
- MIXTECA ALTA ASPIRING GEOPARK. 2015. *Application dossier for the Global Geopark Network*. Oaxaca, México.
- MORA, C. I.; VALLEY, J. W. & F. ORTEGA-GUTIÉRREZ. 2019. "The temperature and pressure conditions of Grenville-age granulite facies metamorphism of the Oaxacan Complex, southern Mexico". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 6(2): 222-242.

- MUELLER, R. G.; JOYCE, A. A. & A. BOREJSZA. 2012. "Alluvial archives of the Nochixtlan valley, Oaxaca, Mexico: Age and significance for reconstructions of environmental change". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 321/322: 121-136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.01.025>.
- NEWSOME, D. & R. DOWLING. 2018. "Geoheritage and geotourism". En: E. REYNARD & J. BRILHA (Eds.), *Geoheritage. Assessment, Protection, and Management*, pp. 305-321. Elsevier.
- OROZCO-RAMÍREZ, Q.; BOCCO, G. & B. SOLÍS-CASTILLO. 2020. "Cajete maize in the Mixteca Alta region of Oaxaca, Mexico: adaptation, transformation, and permanence". *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(9): 1.162-1.184.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F. 1984. "Evidence of Precambrian evaporites in the Oaxacan granulite complex of southern Mexico". *Precambrian Research*, 23: 377-393.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F.; RUIZ, J. & E. CENTENO-GARCÍA. 1995. Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic. *Geology*, 23(12): 1.127-1.130.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F.; ELÍAS-HERRERA, M.; MORÁN-ZENTENO, D. J.; SOLARI, L.; WEBER, B. & L. LUNA-GONZÁLEZ. 2018. "The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution". *Earth-Sciences Reviews*, 183: 2-37. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.006>.
- OVIEDO-GARCÍA, A. 2005. *Rudistas del Cretácico Superior del Centro Al Sureste de México (Recuento sistemático de rudistas americanos)*. Universidad Autónoma de Barcelona. Unidad de Paleontología del Departamento de Geología. Tesis Doctoral. Disponible en: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Paleo-3.pdf>.
- PALACIO-PRIETO, J. L. 2013. "Geositos, geomorfositos y geoparques: importancia, situación actual y perspectivas en México". *Investigaciones geográficas*, 82: 24-37.
- PALACIO-PRIETO, J. L.; ROSADO-GONZÁLEZ, E.; RAMÍREZ-MIGUEL, X.; OROPEZA-OROZCO, O.; CRAM-HEYDRICH, S.; ORTIZ-PÉREZ, M. A.; ... & G. FERNÁNDEZ DE CASTRO-MARTÍNEZ. 2016. "Erosion, culture and geoheritage; the case of Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca, México". *Geoheritage*, 8: 359-369. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0175-2>.
- PALACIO-PRIETO, J. L.; FERNÁNDEZ DE CASTRO MARTÍNEZ, G. y E. R. ROSADO GONZÁLEZ. 2019. "Geosenderos en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca, México". *Cuadernos Geográficos*, 58(2): 111-125. Disponible en: DOI: <https://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7055>.
- PANIZZA, M. 2001. "Geomorphosites: concepts, methods and examples of geomorphological survey". *Chinese Science Bulletin*, 46: 4-5.

- PÉREZ RODRÍGUEZ, V. 2016. "Terrace agriculture in the Mixteca Alta Region, Oaxaca, Mexico: ethnographic and archeological insights on terrace construction and labor organization". *Culture, Agriculture, Food and Environment*, 38(1): 18-27.
- PÉREZ RODRÍGUEZ, V. 2020. "Estudio etnoarqueológico de la alfarería en Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca". *Cuadernos del Sur*, 25(48): 6-28
- PLUMMER, P. S. 2024. "Evolution and extinction in a supercontinental world: did the breakup of Rodinia provide metazoans with evolutionary salvation?" *Australian Journal of Earth Sciences*, 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/08120099.2024.2364710>.
- PROGEO. 2017. Geodiversidad, Patrimonio Geológico y Geoconservación. La guía de ProGEO. Disponible en: http://www.progeo.ngo/downloads/ProGEO_leaflet_ES_2017.pdf.
- PROSSER, C. D. 2019. "Communities, Quarries and Geoheritage-Making the Connections". *Geoheritage*, 11: 1.277-1.289. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00355-4>.
- REYNARD, E. & J. BRILHA. 2018. "Geoheritage: A multidisciplinary and applied research topic". En: E. REYNARD & J. BRILHA (Eds), *Geoheritage. Assessment, Protection, and Management*. pp. 3-9. Elsevier.
- RÍO DE LA LOZA, L. 1865. *Descripción del aerolito de Yanhuatlán*. Imprenta de J. M. Andrade y F. Escalante. Disponible en: <https://memoricamexico.gob.mx/swb/memorica/Cedula?old=Kd07-W8B1i1oLPn4We5e>.
- RODRIGUES, J.; COSTA E SILVA, E. & D. I. PEREIRA. 2023. "How can geoscience communication foster public engagement with geoconservation?" *Geoheritage*, 15(32). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00800-5>.
- ROSADO-GONZÁLEZ, E. M. 2016. *El Geoparque Mixteca Alta, Oaxaca; propuesta de incorporación a los Geoparques Globales de la UNESCO*. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis Licenciatura.
- ROSADO-GONZÁLEZ, E. M. y X. RAMÍREZ-MIGUEL. 2017. "Importancia del trabajo comunitario participativo para el establecimiento del Geoparque Mundial de la UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca, México". *Investigaciones Geográficas*, 92. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.59435>.
- ROSADO-GONZÁLEZ, E. M.; SÁ, A. & J. L. PALACIO-PRIETO. 2020. "UNESCO Global Geoparks in Latin America and the Caribbean and their contribution to Agenda 2030 Sustainable Development Goals". *Geoheritage*, 13(21). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00459-2>.

- ROSADO-GONZÁLEZ, E. M.; FERRARO CASTILLO, F. X.; PALACIO-PRIETO, J. L. y A. A. SÁ. 2022. "La Investigación-Acción Participativa como estrategia clave en la consolidación y gestión de los Geoparques Mundiales de la UNESCO: los casos del Mixteca Alta Geoparque Mundial de la UNESCO (México) y del Minero Litoral del Biobío Geoparque Aspirante (Chile)". *Museologia e Patrimônio - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio – UNIRIO*, 15(1): 150-163.
- RUIZ, J.; PATCHETT, P. J. & F. ORTEGA-GUTIERREZ. 1988. "Proterozoic and Phanerozoic basement terranes of Mexico from Nd isotopic studies". *Geological Society of America Bulletin*, 100: 274-281.
- SÁ, A. A.; ROSADO-GONZALEZ, E.; VAZ, N.; LOURENÇO, J.; SILVA, E. y MARTÍNEZ-MARTÍN, J. E. 2024. "A comunicação e a educação como pilares do desenvolvimento sustentável em Geoparques Mundiais da UNESCO". En: F. F. L. LUBECK FILHO, y L. CARVALHO (Orgs), *Comunicação & Desenvolvimento*. pp. 27-37. FACOS-UFSM.
- SANDOVAL-GARCÍA, R.; GONZÁLEZ-CUBAS, R. & J. JIMÉNEZ-PÉREZ. 2021. "Multitemporal analysis of the change in land cover in the Mixteca Alta Oaxaqueña". *Revista mexicana de ciencias forestales*. Disponible en: DOI: [10.29298/rmcf.v12i66.816](https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.816).
- SANTAMARÍA-DÍAZ, A.; ALANIZ-ÁLVAREZ, S. A. & A. F. NIETO-SAMANIEGO. 2008. "Deformaciones cenozoicas en la cobertura de la falla Caltepec en la región de Tamazulapam, sur de México". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25 (3): 494-516.
- SANTANGELO, N. & E. VALENTE. 2020. "Geoheritage and Geotourism Resources". *Resources*, 9(80): 1-5. Disponible en: DOI:[10.3390/resources9070080](https://doi.org/10.3390/resources9070080).
- SEDLOCK, R. L.; ORTEGA-GUTIÉRREZ, F. & R. C. SPEED. 1993. "Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Boulder". *Geological Society of America, Special Paper*, 278: 153.
- SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL. 2024. *Catálogo de sismos*. Disponible en: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>. [Consulta: marzo, 2024].
- SOLIS, B. & G. BOCCO. 2018. "Terraces and landscape in Mixteca Alta, Oaxaca, Mexico: Micromorphological indicators". *Spanish Journal of Soil Science*, 8(2): 194-213. Disponible en: DOI: [10.3232/SJSS.2018.V8.N2.05](https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N2.05).
- SPORES, R. 1969. "Settlement, farming technology, and environment in the Nochixtlan Valley". *Science*, 166(3905): 557-569.
- SPORES, R. & A. BALKANSKY. 2013. *The Mixtecs of Oaxaca. Ancient times to the present* (The Civilization of the American Indian Series, volume 267). University of Oklahoma Press. Norman, Publishing Division of the University. USA.
- UNESCO. 2024. *UNESCO Global Geoparks*. Disponible en: <https://www.unesco.org/en/igpp/geoparks/about?hub=67817>. [Consulta: agosto, 2024].

UNESCO. 2015. *Statutes of the International Geoscience and Geoparks Programme and Operational Guidelines for UNESCO Global Geoparks*. Disponible en:

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000234539>.

WEBER, B. & C. H. SCHULZE, C.H. 2014. "Early Mesoproterozoic (> 1.4 Ga) ages from granulite basement inliers of SE Mexico and their implications on the Oaxaquia concept –evidence from U-Pb and Lu-Hf isotopes on zircon". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 31(3): 377-394.

WIMBLEDON, W. A. 1996. "GEOSITES-a new conservation initiative". *Episodes*, 19(3): 87-88.

Disponible en: <https://doi.org/10.18814/epiiugs/1996/v19i3/009>.

XU, K. & W. WU. 2022. "Geoparks and geotourism in China: A sustainable approach to Geoheritage conservation and local development—A review". *Land*, 11(9): 1.493. Disponible en:

<https://doi.org/10.3390/land11091493>.

ZHAO, X. & M. WANG. 2002. "National geoparks initiated in China: Putting geoscience in the service of society". *Episodes*, 25: 33-37.

ZOUROS, N. 2016. "Global Geoparks Network and the New UNESCO Global Geoparks Programme". *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50: 284-291.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Oaxaca, México; enero, 2025