

## Geopatrimonio como una práctica social. Caso de estudio: Distrito Minero Tlalpujahua-El Oro, México

### Geological heritage as social practice. Case study: Tlalpujahua- El Oro Mining District, Mexico

Alfonso Aguilar-Pedraza<sup>1</sup>, Luis Miguel Espinosa-Rodríguez<sup>1</sup>, Alexis Ordaz-Hernández<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, México

\*Autor para la correspondencia: [aordazh@uaemex.mx](mailto:aordazh@uaemex.mx)

#### Resumen

Desde la perspectiva de la geoconservación y el geopatrimonio se desarrolla una investigación para determinar la potencialidad del Distrito Minero Tlalpujahua- El Oro (México) para la conformación de un geoparque. La metodología empleada consistió en la resolución de cuatro etapas que comprendieron: un inventario (identificación, selección y caracterización de geositos); la cuantificación (de parámetros de uso y de ranking); el impacto ambiental y propuesta de conservación; y análisis de potencialidad. De acuerdo con lo anterior y en función de los valores intrínsecos, de uso, las necesidades de protección y los impactos ambientales se identifican siete geositos que cumplen con los requisitos de la UNESCO para conformar un geoparque.

**Palabras clave:** geoconservación; geopatrimonio; inventario; geoparque; Distrito Minero Tlalpujahua-El Oro.

#### Abstract

The purpose of this study was to determine the potentiality of Tlalpujahua-El Oro Mining District (Mexico) from the perspective of geoconservation and geoheritage in order to create a geopark. The methodology used consists on the resolution of four stages that include: an inventory (identifying, selecting and characterizing geosites); quantification (ranking and parameters in use);

environmental impact, conservation proposal; and potential analysis. According to what previously said and based on the intrinsic values of use, the environmental impacts and protection needs, seven geosites that meet UNESCO's selection parameters for creating a geopark are identified.

**Keywords:** geoconservation; geoheritage; geopark; Tlalpujahuá-El Oro Mining District.

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

A partir del surgimiento de la Red Global de Geoparques, el interés por los temas de geoconservación, geopatrimonio y geoparques se ha incrementado de manera significativa en todo el mundo. De manera particular en México, las ideas referentes a estos tópicos han sido aceptadas y con base en el trabajo institucional y social, se ha logrado el decreto de dos geoparques en el territorio nacional.

Los decretos del geoparque de la Mixteca Alta en Oaxaca en primer término, y el de la Comarca Minera en Hidalgo en 2017, han motivado el estudio de potencialidad y viabilidad de otros territorios en el ámbito nacional, como ocurre en la Sierra Gorda de Querétaro, en los cañones de Chiapas, en la Huasteca potosina y, en el Distrito minero de Tlalpujahuá y El Oro en Michoacán y Estado de México, de forma correspondiente.

Y es en este último caso, en donde se centra la atención de la presente investigación, la cual tiene como objetivo central generar un inventario de geositos y geomorfositos, a partir de la evaluación, clasificación, caracterización y cuantificación territorial; para con ello fundamentar propuestas de conservación en sitios que lo requieran y coadyuvar en la toma de decisiones para la planificación y gestión de los recursos turísticos, históricos y paisajísticos, para una futura propuesta de un Geoparque en el territorio.

### **1.1. Área de estudio**

El Distrito Minero Tlalpujahuá-El Oro (DMITO) ocupa un área de 230 km<sup>2</sup>, se ubica entre el límite de los Estados de México y Michoacán en los municipios de El Oro de Hidalgo y Tlalpujahuá de Rayón (Figura 1). Desde el punto de vista fisiográfico, se sitúa en la Provincia del Sistema Volcánico Transversal.

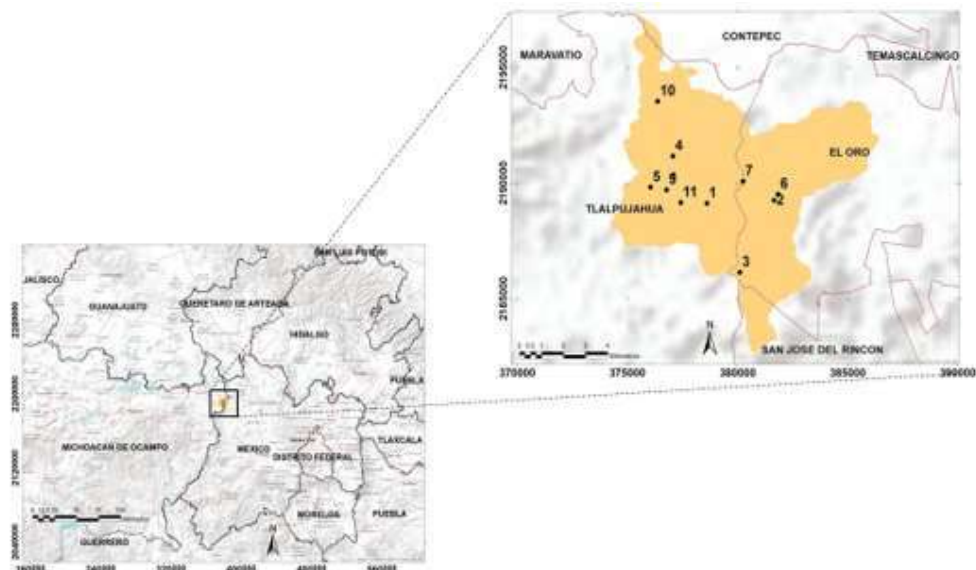


Figura 1. Ubicación del Distrito Minero Tlalpujahua-El Oro, México. (1) Museo Tecnológico Minero Siglo XIX, (2) Museo de Minería Estado de México, (3) Presa Brookman, (4) Iglesia del Carmen, (5) Localidad Campo del Gallo, (6) Minería Socavón San Juan, (7) Cerró Somera, (8) Socavón el Cedro, (9) Socavón Cerrito Lacolot, (10) Las Américas y (11) Mina Luz de Borda.

El DMITO está situado sobre una estructura de arcos volcánicos del Mioceno (Terreno Guerrero y Sistema Volcánico Transversal), en el cual afloran secuencias volcano-sedimentarias metamorizadas del Cretácico y rocas volcánicas calcoalcalinas generadas durante la subducción de la placa de Cocos con la Norteamericana, la provincia se extiende de Nayarit a Veracruz (Gómez *et al.* 2005).

Las unidades geomorfológicas de la región están relacionadas con vulcanismo y la actividad tectónica del cuaternario que dio origen a los arcos volcánicos presentes en la extensión del territorio. Sobresalen en este, la presencia de calderas volcánicas, sistemas de fosas tectónicas *en echelon*, estrías de falla, depósitos ignibriticos, calcáreos, y volcanosedimentarios, fallas normales y transcurrentes y plegamientos. La región pertenece a la región hidrológica Número 12 Lerma-Santiago, en la Cuenca Río Lerma-Santiago, subcuenca Río Tlalpujahua (Martínez-Medina *et al.* 2006). El clima es templado subhúmedo, con temperaturas entre los 10 y 18°C y rango de precipitaciones entre los 800 y 1 100 mm. El municipio de El Oro, cuenta con una población cercana a los 32 000 habitantes y el municipio de Tlalpujahua, por su parte, cuenta con una población de aproximada de 25 373 personas.

La especial relevancia geomorfológica, geológica e histórica del DMITO se debe a que en él se localiza la mina *Dos Estrellas* que permitió el desarrollo y auge de la minería en México (Espinosa 2017) y que es comparada en

importancia con los distritos mineros de Guanajuato y Real del Monte en Pachuca (Chávez *et al.* 2010; Cisneros *et al.* 2012).

La mina desarrolló un sistema de vetas que se han clasificado como un depósito auroargentífero de tipo epitermal y de baja sulfuración (Albinson *et al.* 2001) que provocó el auge minero en la segunda mitad del siglo XIX y principio del XX en un territorio ocupado por grupos pertenecientes a las culturas azteca, tarasca y mazahua, de los cuales, estos últimos ocupan la región hasta el tiempo presente (Uribe 1992, 2009).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se emplearon los principios metodológicos propuestos por Brilha (2005) y Pereira *et al.* (2007), los cuales tienen como propósito sistematizar las tareas de geoconservación a diferentes escalas (país, estado, municipio o área protegida). Para el desarrollo de la investigación, las tareas fueron agrupadas en pasos secuenciales, desde el inventario, cuantificación del geopatrimonio, conservación, valorización, divulgación y monitoreo. De acuerdo con ello, la metodología se diseñó en cuatro fases de trabajo; en la Tabla 1 se describen los métodos y los probables resultados a obtener en cada una de ellas.

Tabla 1. Metodología empleada para el inventario, cuantificación y análisis de los geositios y geomorfositos del DMITO (tomando alguno de los criterios de Brilha 2005)

<b>Etapas</b>	<b>Sub-Etapas</b>	<b>Método</b>	<b>Producto</b>
<b>Inventario</b>	Identificación de Geositios	Revisión Bibliográfica Exploración de campo	Lista de posibles geositios
	Evaluación cualitativa	Evaluación de los parámetros de acuerdo con el valor intrínseco y del uso potencial y necesidades de protección	Esquema de Ranking comparativo de Geositios
	Selección de Geositios	Comparación de los Geositios seleccionados	Lista definitiva de Geositios a inventariar
	Caracterización de los Geositios	Revisión Bibliográfica Trabajo en campo Descripción de Geositios	Fichas con la descripción de Geositios

Cuantificación	Evaluación numérica	Asignación de valores numéricos a diferentes parámetros en los criterios de cuantificación del valor intrínseco, uso potencial y necesidades de protección	Tabla con los valores asignados en los criterios de valor intrínseco, uso potencial y necesidades de protección
	Ranking	Media aritmética simple de las tres clases de parámetros principales y clasificación de los Geositios a nivel local, regional, nacional e internacional	Tabla de Ranking de los Geositios de mayor a menor valor, designada su importancia a nivel local, regional, nacional e internacional
Impacto Ambiental y Propuesta de conservación	Identificación de los impactos ambientales en los Geositios seleccionados	Revisión Bibliográfica Visita en campo a cada uno de los Geositios	Impactos ambientales presentes en cada uno de los Geositios seleccionados y medidas para su conservación
	Necesidades de protección	Asignación de valores numéricos de acuerdo con los criterios de deterioro, vulnerabilidad, protección y urgente de protección	Tabla de necesidades de protección
Potencial de Uso	Clasificación	Reconocimiento de Áreas Naturales Protegidas, o Zonas de Protección por los municipios afines que contemple un marco legal	Mención de Áreas Naturales Protegidas, o Zonas de Protección con fundamento legal

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Inventario

De acuerdo con la metodología propuesta en la Tabla 1 se presentan los sitios seleccionados, donde se consideraron rasgos culturales, históricos y geocientíficos (Tabla 2).

Tabla 2. Listado de sitios identificados con interés geológico, geomorfológico o cultural

<b>Posibles Geositios</b>	<b>Municipio</b>	<b>Interés</b>	<b>Coordenadas UTM Latitud/Longitud</b>	
Museo Tecnológico-Minero del Siglo XIX "Mina Las Dos Estrellas"	Tlalpujahua de Rayón	Mineralógico, Geotectónico, Geoquímico, Geocultural, Ecológico, Estético y Económico	2189137.7	378605.8
Presa Brockman	El Oro de Hidalgo	Geomorfológico, Hidrogeológico, Volcánico, Petrológico, Geotectónico, Estético Didáctico, Geocultural y Económico	2186154.8	380101.8
Iglesia del Carmen	Tlalpujahua de Rayón	Geomorfológico, Geoquímico, Lacustre, Geocultural, Didáctico, Estético, Cultural y Económico	2191172.9	377063.7
Localidad Campo del Gallo	Tlalpujahua de Rayón	Geomorfológico, Petrológico, Económico, Ecológico Tectónico, Paisajístico y Didáctico	2189832.0	376050.0
Socavón el Cedro	Tlalpujahua de Rayón	Mineralógico, Petrológico, Geotectónico	2189701.0	378744.0
Las Américas	Tlalpujahua de Rayón	Geomorfológico, petrológico, volcánico, Estratigráfico, Geotectónico y Económico	219355 N	376371W
Cerró Somera	El Oro de Hidalgo	Geomorfológico, Petrológico, Geotectónico, Geoquímico, Ecológico y Geocultural	2190088.5	380250.3
Socavón San Juan	El Oro de Hidalgo	Geomorfológico, Mineralógico, Geotectónico, Geoquímico, Didáctico y Geocultural	2189522.9	381837.1
Museo de Minería del Estado de México	El Oro de Hidalgo	Mineralógico, Petrológico, Geocultural, Didáctico y Económico	2189265.2	381659.3
Mina Luz de Borda	Tlalpujahua de Rayón	Geomorfológico, Mineralógico, Geotectónico, Geoquímico y Geocultural	2189162.0	377418.0

Socavón en el Cerrito Lacolot	Tlalpujahua de Rayón	Geomorfológico, Mineralógico, Estratigráfico Tectónico, Didáctico, Ecológico y Geocultural	2189720.0	376777.0
-------------------------------	----------------------	--	-----------	----------

### 3.2. Cuantificación

Los 11 sitios enlistados en la Tabla 2 son considerados como los más importantes en la región; fueron ordenados de forma jerárquica con la finalidad de enfocar los esfuerzos en aquellos más sobresalientes. La cuantificación consideró los siguientes criterios (Tabla 3):

- Valor Intrínseco: 0 (nulo) a 4 (muy elevado).
- Potencial de Uso: 0 (nulo) a 4 (muy elevado).
- Necesidades de Protección: 1 (bajo) a 3 (alto).

Tabla 3. Esquema del ranking comparativo de sitios de interés geológico-geomorfológico para la evaluación cualitativa

Sitios de interés Geológico - Geomorfológico	Valor Intrínseco					Uso Potencial				Necesidad de Protección			Total
	Científico	Ecológico	Cultural	Estético	V.I. Total	Accesibilidad	Visibilidad	Otros valores	U.P. Total	Deterioro	Vulnerabilidad	N.P. Total	
Museo Tecnológico- Minero del Siglo XIX "Mina Las Dos Estrellas" *	4	3	4	4	15	4	4	1	9	1	1	2	26
Presa Brockman*	3	3	2	4	12	4	4	1	9	1	1	2	23
Iglesia del Carmen*	2	3	4	3	12	4	4	1	9	2	2	4	25
Socavón el Cedro	1	2	1	2	6	1	2	0	3	3	3	6	15
Las Américas	2	2	2	2	9	2	3	0	5	3	3	6	20
Serró Somera	3	4	2	3	12	3	3	1	7	1	1	2	20
Socavón San Juan*	4	0	4	4	12	4	4	1	9	1	1	2	23
Museo de Minería del Estado de México*	4	3	4	4	15	4	4	1	9	1	1	2	26
Mina Luz de Borda	3	2	2	2	9	3	4	0	8	2	2	4	21
Socavón en el Cerrito Lacolot*	3	3	4	3	13	3	4	1	8	3	2	5	26
Campo del Gallo*	1	4	4	4	13	4	4	1	9	1	1	2	24

\*Indica los Geositos seleccionadas para los análisis posteriores

Los criterios de valor intrínseco, uso potencial y necesidad de protección, explicados en Brilha (2005) y Pereira *et al.* (2007); permitieron cuantificar los 11 sitios iniciales (Tabla 3), donde sobresalen 7 sitios como los mejores calificados. En lo adelante el análisis se enfoca en los siete sitios marcados con asterisco (\*), aplicándose de forma íntegra en ellos la metodología propuesta en la Tabla 1.

### **3.3. Impacto ambiental y propuesta de conservación**

Esta etapa se soportó sobre un consistente conocimiento físico y socioeconómico el cual ha permitido definir los potenciales impactos que atentan en la preservación de los valores de cada Geositio.

#### **3.3.1. Museo Tecnológico–Minero del Siglo XIX Mina Las Dos Estrellas**

Se localiza en la localidad Dos Estrellas del municipio Tlalpujahua de Rayón (Estado de Michoacán). Las coordenadas geográficas son 2189137.7 N y 378605.8 W y se emplaza a una altitud de 2700 msnm. El Geositio presenta un valor intrínseco y de uso muy elevado, y la necesidad de protección es baja.

##### **3.3.1.1. Descripción**

El museo de la mina Las Dos Estrellas es patrimonio minero e industrial, lugar de la bonanza histórica por el descubrimiento de filones ricos en oro y plata de reconocimiento mundial por el Belga Francisco J. Fournier en 1898. Presenta yacimientos minerales de tipo auroargentíferos formados en el Oligoceno (29Ma) por procesos de metalogénesis en arcos volcánicos insulares del Sistema Volcánico Transversal y del Terreno Guerrero.

El proceso hidrotermal dio lugar a las fases de transporte de fluidos y materiales, el cual duro 27 Ma, formándose minerales no comunes como la boulangerita, aguilarita, promesita y fischesserita tienen lugar en este yacimiento (Espinosa 2017).

El área tiene una extensión de 4 hectáreas en las cuales se encuentran las instalaciones del museo (salas de exhibición, talleres, cafetería y el socavón). El Socavón Dos Estrellas tiene un rumbo de 70° NE y se extiende a gran profundidad hasta las vetas más importantes del Distrito Minero, La Verde, Nueva, San Rafael, La Colorada y la Amarilla. Vetas con rumbo que va de los 10°-30° NW con longitud de más de 3 km, con una profundidad que supera los 450 m y de espesor de entre 1 a 40 m. En el área del socavón se observan rocas metavolcánicas (pizarras con un lustre negro metálico y



vetillas de calcita. En el área, de un clima templado, existe un bosque de coníferas con pino, oyamel y junípero (Figura 2).



Figura 2. Conjunto de fotografías del Museo Tecnológico-Minero del Siglo XIX Mina Las Dos Estrellas.

### 3.3.2. Presa Brockman

Localizada en el municipio de El Oro de Hidalgo del Estado de México cubre un área de 27.4 hectáreas a 2700 msnm en las coordenadas 2186154.8 N y 380101.8 W. El valor intrínseco y de usos es muy elevado, y la necesidad de protección baja.

#### 3.3.2.1. Descripción

Esta presa es declarada el 13 de octubre del 2004 por el Gobierno del Estado de México "Parque Estatal Santuario del Agua y Forestal de las Presas Brockman y Victoria, Estado de México" (Gaceta de Gobierno, 2007). Tiene una superficie de 27.4 hectáreas, es un polígono irregular que inicia en la parte norte de la presa Victoria, que representa el límite entre los Estados de México y Michoacán.

En este lugar se aprecia un relieve volcánico donde los procesos erosivos son distintivos de los elementos geológicos de interés del sitio, la presa Brockman se asienta sobre una caldera volcánica de composición riolítica procedente de un antiguo edificio volcánico colapsado, durante el Mioceno, se especula mediante estudios científicos que es el centro de erupción de las tobas piroconsolidadas de la Formación Las Américas, y sobre la cual existe controversia genética con la caldera Amealco (Frías et al. 1965). La formación de calderas se origina de violentas explosiones como lo es la pliniana.

El almacenamiento es de 3 ,041 ,809.681 m<sup>3</sup> y abastece junto con la presa Victoria a 10,000 habitantes, la construcción de la presa tiene inicio en 1901. En el tiempo presente, el uso de ésta se enfoca a fines recreativos (renta de cabañas, práctica de la fotografía, ciclismo, paseo en lancha, venta de

artesanías y alimentos). Alrededor de la presa existe un bosque variado de encino y oyamel característico de un clima subhúmedo (Figura 3).



Figura 3. Conjunto de fotografías de la presa Brockman.

### 3.3.3. Iglesia del Carmen

Se localiza en el municipio Tlalpujahuá de Rayón del Estado de Michoacán, en las coordenadas 2191172.9 N y 377063.7 W. El Geosítio presenta un valor intrínseco y de uso muy elevado, mientras que la necesidad de protección clasifica como media.

#### 3.3.3.1. Descripción

Los restos de la capilla del Carmen se localizan en una penillanura a 2600 msnm. De estilo neoclásico del siglo XVIII, fue afectada el 27 de mayo de 1937 por el desbordamiento de la presa de jales "Lamas" de la mina Las Dos Estrellas que la cubrió en su totalidad. Se calcula que el flujo de lodo se desplazó a una velocidad aproximada de 25 m/s, el cual destruyó la mayor parte del templo, sepultó el atrio, el panteón y casas aledañas, y se calcula que dejó sin vida a 300 personas. El flujo lodoso formó una depósito (isopaca) de jales que tiene un espesor de dos metros en el piso del patio principal del antiguo edificio religioso (Sánchez *et al.* (2015).

Desde la perspectiva geológica, el lugar pertenece a la Formación Villa de Ayala, que constituye una secuencia vulcanosedimentaria. Es rodeada por una vegetación de variedades de pinos. En la capa de jales se observan depósitos de grano fino como limos, arcillas y guijarros de diferentes tamaños, derivado de los materiales que se depositaron en la antigua presa, con contenidos de Pb, Cd, Zn, As, Cu, Fe. El lugar tiene un alto significado cultural; y es muestra de los impactos que ocasiona la minería y cómo la geología ambiental se puede aplicar (Figura 4).



Figura 4. Conjunto de fotografías. Iglesia del Carmen.

### 3.3.4. Socavón San Juan

El geositio se ubica en el municipio El Oro de Hidalgo del Estado de México, en las coordenadas 2189522.9 N y 311837.1 W a una altura de 2656 msnm. Se estima con un valor intrínseco y de uso muy elevado y con una necesidad de protección baja.

#### 3.3.4.1. Descripción

Se ubica en la cabecera Municipal del Oro de Hidalgo. Es un atractivo Turístico desde 2015 que administra el ayuntamiento municipal. La bocamina tiene un área de exposición que cubre una longitud de acceso al público de 300 metros. Se observan pizarras de grano muy fino de color negro metálico con vetillas de calcita y cuarzo lechoso que alcanzan hasta 2.5m. Existen fichas técnicas informativas sobre los elementos antiguos de la minería, la exposición de herramientas (crisoles, carro minero o góndola entre otros objetos). En este socavón se extrajo Oro, Plata, Zinc en el siglo pasado.

Una de las vetas más importantes, es la San Rafael, de forma lenticular, con un rumbo variable entre  $10^\circ$  y  $40^\circ$  SW, con un echado que va de los  $60^\circ$  a los  $80^\circ$  hacia NE o SW. Esta veta se ubica a una profundidad de 633 metros, en el nivel número catorce donde se encuentra en contacto con roca de tipo andesita (Figura 5).



Figura 5. Diferentes vistas del Socavón San Juan.

### 3.3.5. Museo de Minería del Estado de México

El museo se ubica en el municipio El Oro de Hidalgo del Estado de México, en las Coordenadas: 2189265.2 N y 381659.3 W a una altura de 2771 msnm. La evaluación cualitativa realizada, indica un valor intrínseco y de uso muy elevado, con una necesidad de Protección baja.

#### 3.3.5.1. Descripción

Fue una mina del siglo XX de pertenencia inglesa, activa entre 1915 a 1926 llamada "La Providencia". Alcanzó una profundidad aproximada de 300 m. En segundo término, perteneció a la cooperativa minera Dos Estrellas, y en el tiempo presente es un museo que ofrece la exposición de fotografías, documentos, planos, maquinaria de la actividad minera y bonanza de la época. Las salas de exposición albergan patrimonio histórico, cultural y geológico. Posee más de 250 muestras de rocas y minerales propias del Distrito Minero Tlalpujahua-El Oro y de otros municipios del Estado de México. Los rasgos mineros son visibles al conservar la bocamina de la época (Figura 6).



Figura 6. Conjunto de fotografías. Museo de Minería del Estado de México.

### 3.3.6. Socavón en el Cerrito Lacolot

Se ubica en el municipio Tlalpujahua de Rayón del Estado de Michoacán, en las coordenadas 2189720N y 376777 W, a una altura de 2690 msnm. Al socavón se le adjudica un valor intrínseco y de uso muy elevado, con una necesidad de protección alta.

#### 3.3.6.1. Descripción

Ubicado a medio kilómetro de la cabecera municipal de Tlalpujahua, en la localidad Campo del Gallo donde el acceso es por una brecha de terracería. En este paraje se encuentran las ruinas del antiguo Seminario de Monjas y el monumento a la Virgen del Carmen. En el sitio existe un socavón en dirección

N25°W, labrado en el rumbo de la veta de cuarzo con óxidos, que alcanza un desarrollo de 80 m. La geología corresponde a la formación Amatepec de 150 Ma (Bustamante 2007). La roca encajante la conforma una sucesión de pizarras y metalutitas con la presencia de óxidos de hierro, los minerales visibles son limonita y hematita.

El sitio es de interés turístico, aunque no concurrido, con buena vista del paisaje y los restos de la capilla del antiguo seminario de monjas (Figura 7).



Figura 7. Conjunto de fotografías. Socavón en el Cerrito Lacolot.

### **3.3.7. Campo del Gallo**

El geositio se ubica en municipio Tlalpujahua de Rayón del Estado Michoacán, en las coordenadas 2189392 N y 376050 W a una altura de 2734 msnm.

#### **3.3.7.1. Descripción**

Campo del Gallo pertenece al Parque Nacional Rayón que comprende un área de 25 hectáreas, se ubica al poniente de la cabecera municipal, donde el acceso se realiza por terracería. Desde el mirador se puede observar el paisaje y los rasgos geomorfológicos del DMITO (patrimonio geomorfológico), elementos de los arcos interoceánicos como el vulcanismo, escarpes de falla, laderas denudatorias, laderas de flujos piroclásticos y lávicos. En el lugar predominan las rocas calizas que yacen de manera discordante sobre pizarras arcillosas con una edad del Cretácico Inferior (Bustamante 2007).

Durante el siglo XX este lugar fungía como un banco de extracción de roca para la elaboración de Cal donde su producción tuvo lugar en las inmediaciones de la mina Las Dos estrellas. El Campo del Gallo fue decretado en 1952 como Parque Nacional Rayón por el presidente Miguel Alemán Valdez, en reconocimiento a la heroica labor que prestó al movimiento insurgente (Villeda 2012). La vegetación se compone de variedades de pino y oyamel. Se realizan actividades recreativas y familiares además de constituir un símbolo cultural e histórico para la entidad (Figura 8).



Figura 8. Conjunto de fotografías. Geosito Campo del Gallo.

Definidas las características físicas y los principales valores de cada geosito, se identificaron los impactos ambientales que pueden afectarlos. Lo anterior, se sustentó bajo un detallado trabajo de campo y la revisión bibliográfica. Se identifican impactos ambientales ya existentes, ocasionados por la actividad minera durante los siglos XVI, XVIII y XIX y agudizados por procesos actuales (Tabla 4).

Tabla 4. Impactos ambientales que atentan contra la conservación de los geositos y las propuestas para su preservación

<b>Geosito</b>	<b>Principales Impactos Ambientales que atentan en su conservación</b>	<b>Propuesta de Conservación</b>
Museo Tecnológico–Minero del Siglo XIX "Mina Las Dos Estrellas"	(1) Alto grado de meteorización química por factores atmosféricos. (2) Caída de rocas y dispersión de polvo. (3) Corrosión en postes y bastidores	(1) Monitoreo estructural para verificar presencia de rupturas, agrietamientos y desgastes. (2) Reemplazo del 30% de los soportes que se encuentren en malas condiciones (postes y bastidores). (3) Señalización y uso de medios de seguridad. (4) Colocar fichas técnicas informativas sobre los elementos de interés geológicos
Presa Brockman	(1) La tala inmoderada de los bosques del Cerro Llorón y Cedral (principales aportadores de agua a la presa). (2) Erosión e inadecuado uso del suelo en las zonas adyacentes. (3) Contaminación a través	(1) Reforestación en las zonas de recarga. (2) Crear un plan de manejo ambiental que incluyan campañas ambientales y de sensibilización. (3) Diseñar un sistema de drenaje para evitar el vertido aguas residuales. (4) Colocar fichas técnicas informativas sobre los elementos

	de fosas sépticas. (4) Eutrofización o enriquecimiento en nutrientes	de interés geológicos, biológicos y culturales
Iglesia del Carmen	(1) Sobrexposición de los jales, provocan alteraciones físicas y químicas. (2) Contaminación del suelo por metales pesados	(1) Instalación de fichas informativas sobre los sucesos del 27 de mayo de 1937, se resaltan los efectos de la minería. (2) Incluir imágenes de la iglesia del Carmen y de la comunidad antes y después del citado suceso. (4) Reconstruir el puente de acceso al sitio
Socavón San Juan	(1) Meteorización química por factores atmosféricos. (2) Actos de vandalismo (rayones y firmas) sobre la superficie de elementos rocosos, postes y fichas técnicas	(1) Monitoreo en postes y bastidores para identificar presencia de rupturas, agrietamientos y desgastes. (2) Instalación de fichas técnicas informativas y de conservación sobre los elementos de interés geológico
Museo de Minería del Estado de México	(1) Presiones ambientales por actividad turística, en específico la generación de residuos sólidos. (2) Erosión	(1) Actividades de geoeducación y educación ambiental. (2) Promover el cuidado y protección de las instalaciones en especial de las áreas verdes y la reforestación
Socavón en el Cerrito Lacolot	(1) Presencia de residuos sólidos en área del Socavón. (2) Pérdida de elementos forestales. (3) Pocas iniciativas para la recuperación del antiguo convento	(1) Diseñar un plan de manejo ambiental mediante un trabajo multidisciplinario. (2) Campañas de recolección de residuos sólidos y reforestación. (3) Fomentar la reconstrucción del antiguo convento
Campo del Gallo	(1) Pérdida de elementos forestales. (2) Generación de residuos sólidos y líquidos por actividades turísticas	(1) Implementación de fichas o mamparas donde se exponga la evolución geológica del paisaje. (2) Desarrollar acciones de limpieza y reforestación

### **3.4. Potencial de Uso**

#### **3.4.1. Museo Tecnológico–Minero del Siglo XIX “Mina Las Dos Estrellas”**

Este sitio es promovido y usado con intereses naturales, culturales e históricos. El patrimonio minero es impulsado desde 1999 por una asociación no gubernamental, que rescata la arquitectura, objetos y documentos de la antigua mina “Las Dos Estrellas”; en éste se conservan las instalaciones de la industria metalúrgica que conforma 18 salas de exhibición, siete talleres originales de la época y murales que relatan la historia de la región. En la bocamina se realizan recorridos guiados, sin embargo, carece de divulgación geocientífica, por lo que se recomienda la implementación de fichas informativas de los procesos geológicos que dieron origen a la formación de los yacimientos auroargentíferos, para fomentar el geoturismo.

#### **3.4.2. Presa Brockman**

La presa Brockman es uno de los atractivos turísticos de mayor relevancia del municipio del Oro. Conformada sobre una caldera volcánica, en este sitio se llevan a cabo actividades recreativas como paseos en lancha, caminatas, campamentos y afines de la convivencia familiar donde también se aprovecha como un sitio de interés paisajístico. Se propone la instalación de carteles informativos sobre la hidrología, calidad ambiental y la geología.

#### **3.4.3. Iglesia del Carmen**

Los restos de la Iglesia del Carmen es un sitio de uso turístico donde se observan muros sepultados. Se sugiere potenciar el geoturismo e implementar carteles informativos sobre el suceso, así como explicar los efectos de la minería y los factores por el cual surgió el incidente.

#### **3.4.4. Socavón San Juan**

El uso del socavón San Juan tiene fines turísticos, la empresa minera *Gold Corp* transfirió al gobierno municipio esta propiedad en 2015. Las instalaciones cuentan con recorridos guiados y fichas informativas de antecedentes históricos. Se recomienda introducir fichas y carteles con información geológica del sitio y llevar a cabo talleres y exposiciones sobre minería, mineralogía y divulgar la evolución geológica del Distrito Minero.

#### **3.4.5. Museo de Minería del Estado de México**

Se inaugura en 1975 donde con una amplia restauración del área del socavón para su exposición. En el inmueble patrimonio del Distrito Minero de Tlalpujahua-El Oro, se exponen herramientas, fotografías y muestras



minerales donde se explica la historia minera. Se recomienda realizar talleres y exposiciones con la comunidad y los visitantes en temas de patrimonio geológico y geoconservación.

#### **3.4.6. Socavón en el Cerrito Lacolot**

El uso de este sitio es de interés turístico, aunque en la actualidad es poco visitado. Se sugiere reactivar el interés por el lugar y rescatar los valores patrimoniales del socavón, en el cual se realizaron laboríos mineros en el siglo XIX. En las inmediaciones del lugar aún se observan restos de un antiguo convento, que también se pueden conservar. Ambos sitios pueden constituir un sendero de amplio valor histórico, cultural y científico.

#### **3.4.7. Campo del Gallo**

En la actualidad tiene un uso recreacional. Tiene atractivo paisajístico, pues desde el sitio se pueden observar los principales rasgos geomorfológicos del DMITO. En él se puede divulgar la evolución e interpretación del patrimonio geológico del territorio; así mismo se pueden instalar carteles que expliquen los procesos geológicos e indiquen las geoformas con nombres y elementos del paisaje. Además, se pueden promover actividades como el senderismo y la geoeducación, con posibilidades de realizar lecturas de cartas geológicas y topográficas, y dibujos e interpretación del paisaje.

### **4. DISCUSIÓN**

Los geositorios descritos en esta investigación poseen cualidades y características singulares, en cuanto a sus rasgos culturales, históricos y geológicos. Estas características los colocan en un lugar de privilegio para ser considerados como geopatrimonio, los cuales reflejan una alta riqueza y diversidad de elementos naturales y de identidad comunitaria.

Los elementos patrimoniales que aún se conservan atestiguan la labor minera del siglo XIX en el Distrito Minero Tlalpujahuá- El Oro, México. En este estudio se sintetizan las potencialidades de siete sitios, los que pueden constituir un patrimonio importante para las presentes y futuras generaciones, esto visto en dos dimensiones fundamentales: en la conservación de la memoria histórica y en la promoción de destinos turísticos. La promoción de estos sitios como geopatrimonio recobra mayor importancia, al verse mermada la producción mineral de este espacio geográfico.

### **5. CONCLUSIONES**

- Se identifican siete geositorios, de ellos tres (Museo Tecnológico- Minero del Siglo XIX "Mina Las Dos Estrellas, la Iglesia del Carmen y la Presa Brockman) son de interés nacional e internacional por sus atributos

representativos, mientras que los cuatro restantes (Socavón San Juan, Museo de Minería del Estado de México, Socavón en el Cerrito Lacolot y el Campo del Gallo) son de interés regional.

- El catálogo de los geositiOS permite reconocer los atributos y cualidades de relevancia, los valores intrínsecos, de uso, las necesidades de protección y los impactos ambientales, visto como una base para su gestión y conservación a tomar en cuenta en el desarrollo de un Geoparque y para los planes del ordenamiento del territorio.

## 6. REFERENCIAS

- Albinson, T.; Norman, D.; Cole, D. & Chomiak, B.A. 2001: Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluid inclusion and stable isotope data. *Society of Economic Geologists*, Special Publication Series 8, 1-32.
- Brilha, J. 2005: *Patrimonio geológico e geoconservacao. A conservacao de natureza na sua vertente geológica*. Palimage Editores, Lisboa, 183 Pp.
- Bustamante, J. 2007: *Inventario Físico de los Recursos Minerales del Municipio Tlalpujahuá, Estado de Michoacán*. Servicio Geológico Mexicano. Michoacán, México, 64-79.
- Chávez, P.; Salas, U.; Pérez, R.; Medina, M.; Villanueva, M.; Arroyo, R. & Camacho, R. 2010: The impact of mining in the regional ecosystem: the Mining District of El Oro and Tlalpujahuá, Mexico. *De re metallica (Madrid): revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*, (15): 21-34.
- Cisneros, M.; Camacho, R.; Chávez, P.; Medina, M. & Arroyo, R. 2012: Caracterización mineral y geoquímica de los yales del Distrito Minero El Oro-Tlalpujahuá. Reutilización potencial de los desechos mineros. En: 3er. foro de Ingeniería e Investigación en Materiales. *Memorias*, 1(3): 198-203.
- Conabio 2012: *Propuesta de lista de especies prioritarias para la conservación en México*. Grupo de trabajo del sector ambiental del Gobierno Federal, Ciudad de México, 24 p.
- Durán, J.J.; Carcavilla, L. & López, J. 2004: Patrimonio geológico: una panorámica de los últimos 30 años en España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección biológica* 100(1-4): 277-287.
- Espinosa, L.M. 2017: Geoparque en el Distrito Minero Tlalpujahuá—El Oro. *Ciencias UAT* 11(2): 24-45.
- Fries, C.; Ross, C.S. & Obregón-Pérez, A. 1965: *Mezcla de vidrios en derrames cineríticos Las Américas de la región de El Oro- Tlalpujahuá, Estados de México y Michoacán, parte centromeridional de México*.

- Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 70, 85p.
- Gómez, A.; Orozco, M. & Ferrari, L. 2005: Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3): 227-283.
- Martínez, P. M. 2010: *Identificación, caracterización y cuantificación de geositios, para la creación del primer geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío*. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 173p.
- Martínez-Medina, M.; Corona-Chávez, P.; Ramos-Arroyo, Y. R.; Robles-Camacho, J.; Montañó-Cisneros, E. & Escudero-García, R. 2006: *Estimación preliminar de impacto ambiental causado por la actividad minera (jales y terreros) mediante el uso de SIG en el Distrito Minero El Oro-Tlalpujahuá*. IDEAR, Morelia.
- Pereira, P.; Insua Pereira, D. & Alves, M.I.C. 2007: Avaliação do Património Geomorfológico: proposta de metodologia. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos* (Lisboa), Vol. V, APGeom, 235-247.
- Rosado-González, M. F. & Ramírez-Miguel, X. 2017: Importancia del trabajo comunitario participativo para el establecimiento del Geoparque Mundial de La Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Inv. Geográficas*, 92: 1-11.
- Sánchez, J. P. Y Brilha, J. 2015: *Datos preliminares para una estrategia de geoconservación de las estructuras de impacto del Brasil*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 04p.
- Sánchez, J. M, Macías, J.L., Corona, P., Martínez, M., Garduño, V., Capra, L., Garcia, F. y Cisneros, G. 2015: Rompimiento y desborde de presas de jales: el caso de estudio de Tlalpujahuá (27 de mayo de 1937). *Ciencia Nicolaita*, (65):95-119. Disponible en:  
<https://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/260>
- UNESCO 2014: *Indicadores UNESCO de cultura para el desarrollo. Manual Metodológico*. París, Francia, 118 p.
- Uribe, A. 1992: El Distrito Minero El Oro y Tlalpujahuá entre dos siglos y el mercado internacional de tecnología. Five centuries of Mexico history, Mexico. Instituto Mora-University of California, Irvine. *Revista inclusiones*, 1(1): 119-135.
- Uribe, A. 2009: Historia económica y social de la compañía minera "Las Dos Estrellas" en El Oro y Tlalpujahuá, 1898-1938. *Ciencia Nicolaita* [en línea]. Consulta: 17 dici de 2016. Disponible en: [www.cic.cn.umich.mx](http://www.cic.cn.umich.mx).
- Villeda, O. 2012: *El Campo del Gallo, centro de operaciones del movimiento insurgente en el año de 1812. Michoacán. Cambio de Michoacán*. [en línea]. Consulta: 1 Ago 2019. Disponible en:  
<http://www.cambiodemichoacan.com.mx/nota-186426>

## **Información adicional**

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

### **Contribución de los autores**

AAP: Trabajo cartográfico, edición de figuras, tabulación de resultados y redacción del original. Ajuste a las normas de la revista. LMER: Diseño del objetivo, análisis y revisión de resultados. Ajuste a las normas de la revista. Correcciones a señalamientos de arbitraje. AOH: Orientaciones metodológicas y redacción del resumen y las conclusiones. Atención a señalamientos provenientes de arbitraje. Ajuste a las normas de la revista.

### **ORCID**

AAP, <https://orcid.org/0000-0002-0435-5031>

LMER, <https://orcid.org/0000-0002-9545-400X>

AOH, <https://orcid.org/0000-0002-6788-650X>

Recibido: 15/12/2020

Aceptado: 02/03/2021