



Del pasado minero a un nuevo paisaje: investigación para la restauración ecológica en Tlalpujahua–El Oro



Ciencia al Instante

La región minera de Tlalpujahua y El Oro, entre Michoacán y Estado de México, brilló durante más de cuatro siglos como productor mundial de oro y plata, transformando economías y comunidades. Sin embargo, tras el cierre de las minas en 1958, quedaron cicatrices ambientales profundas que contaminan suelos y agua con metales pesados como mercurio y arsénico. Desde 2015, investigadores realizan estudios de restauración ecológica empleando especies nativas de árboles y bacterias benéficas que toleran la contaminación. Los árboles capturan metales en su madera mediante fitoestabilización, evitando que contaminen ecosistemas y cadenas alimenticias. Este enfoque combinado de reforestación, microbiología y monitoreo demuestra que incluso suelos severamente degradados pueden regenerarse, ofreciendo esperanza para otros territorios afectados por la minería en México.



Del pasado minero a un nuevo paisaje: investigación para la restauración ecológica en Talpujahua–El Oro

Durante décadas, las montañas de Talpujahua y El Oro guardaron silencio bajo el peso de la minería. La tierra fue perforada, los bosques transformados y los ríos alterados. Hoy, entre cicatrices abiertas y suelos erosionados, comienza a crecer algo distinto.

Cómo citar este artículo: Sánchez-Montaña L, Solís-Rojas L, Curiel-Jiménez DS, Lindig-Cisneros RA. 2026. Del pasado minero a un nuevo paisaje: investigación para la restauración ecológica en Talpujahua–El Oro. Revista Ciencia y Naturaleza (1255).





Cuando el oro y la plata marcaron el destino del territorio

Entre los actuales estados de Michoacán y el Estado de México se extiende la región minera de Tlalpujahua y El Oro, cuya historia quedó marcada por el brillo del oro y la plata. Desde 1558 y durante más de cuatro siglos, esta región conocida como Real de Minas, fue escenario de una intensa actividad extractiva que impulsó economías, moldeó comunidades y dio forma a su identidad social y cultural.



Desde la época prehispánica se registraron extracciones metalúrgicas, pero fue a partir de la llegada de los españoles, cuando la actividad se intensificó y comenzaron a descubrirse nuevas minas. De hecho, El Oro se fundó durante la colonia alrededor de los años 1772 a 1787 como consecuencia del descubrimiento de vetas de oro y plata. Tras la guerra de Independencia, la falta de inversión y la inestabilidad política provocaron un periodo de declive. Sin embargo, la minería resurgió en momentos clave.



A inicios del siglo XIX, cuando capital británico impulsó empresas como la Tlalpujahua Company y la United Mexican Company para reactivar antiguas explotaciones. Durante el Porfiriato (1876–1911), tras el hallazgo de ricos filones de oro en el cerro Somera, ubicado en El Oro. En esos años, la región alcanzó un reconocimiento internacional notable: entre 1905 y 1913 llegó a posicionarse como una de las mayores productoras de oro a nivel mundial.

En ese contexto surgió la Compañía Minera Las Dos Estrellas, que se convirtió en una de las más importantes del país durante el siglo XX. Pero



la historia minera también estuvo marcada por la tragedia. En mayo de 1937, el colapso de la Presa de Lamas dejó más de 300 personas fallecidas y profundas pérdidas económicas. Tras el desastre se formó la Cooperativa Minera Dos Estrellas, respaldada por el gobierno de Lázaro Cárdenas.

Aunque la actividad continuó algunos años más, nunca recuperó el esplendor de décadas anteriores. Finalmente, en 1958, las minas cerraron por falta de rentabilidad. Cuando el oro dejó de extraerse, no todo quedó enterrado bajo tierra. El paisaje conservó las huellas de la actividad minera.



Las huellas ambientales que dejó la minería

La minería no solo transformó la economía de Tlalpujahua y El Oro, también modificó profundamente su entorno natural. Durante siglos, la extracción y el procesamiento de minerales generaron residuos, alteraron la composición de los suelos y cambiaron el curso de algunos cuerpos de agua, por ejemplo los ríos Dos Estrellas y Tlalpujahua. En la Figura 1 se puede observar una aproximación a este nuevo paisaje. Aunque no es posible calcular con exactitud la magnitud total de estas perturbaciones, el paisaje aún conserva algunas marcas visibles como extensiones de suelo compuestas por desechos mineros y zonas donde la vegetación original desapareció.



Figura 1. Representación gráfica de un jal minero en Tlalpujahua - El Oro.



Especies nativas como el oyamel (*Abies religiosa*), que todavía habita en bosques cercanos, dejaron de encontrarse en áreas intervenidas por la actividad extractiva. La presencia prolongada de empresas mineras no solo definió la historia económica de la región, sino también su historia ambiental. Los residuos y transformaciones del pasado continúan planteando riesgos para la biodiversidad local y posibles afectaciones a la salud de las comunidades.

Frente a las consecuencias que dejó la minería, la pregunta era inevitable: ¿es posible recuperar un territorio marcado por siglos de extracción? En Tlalpujahua-El Oro, la restauración ambiental no es solo una aspiración ambiental, sino un campo activo de investigación científica.

Desde 2015, llevamos a cabo estudios de ecología de restauración en Tlalpujahua (Figura 2) para explorar estrategias para rehabilitar los antiguos depósitos de jales mineros, es decir apilamientos de material molido que queda después de que los minerales han sido extraídos de las rocas que los contienen. El objetivo de estos estudios fue reducir los riesgos asociados a metales pesados como el mercurio y el arsénico.



Figura 2. Ensayos de restauración ambiental de los depósitos mineros de la zona minera Tlalpujahua - El Oro y jal minero.

"Cada intervención humana en la naturaleza tiene consecuencias que trascienden generaciones."

Rachel Carson



Reforestar sobre los jales: ensayos con coníferas nativas

Dentro de estas investigaciones, uno de los primeros pasos consistió en recuperar la cobertura vegetal de los suelos degradados mediante el establecimiento de plantaciones forestales experimentales. En la presa de jales “Los Cedros”, en Tlalpujahua, se evaluó el desempeño de cinco especies de coníferas nativas con distintas tolerancias ambientales: cuatro pinos (*Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana*, *P. martinezii* y *P. leiophylla*) y un cedro (*Juniperus deppeana*). Se trasplantaron a una parcela experimental árboles de 18 meses de edad, propagados en vivero y 2 años después se evaluó la supervivencia y el crecimiento. Todas las especies mostraron porcentajes altos de supervivencia, lo que fue un resultado alentador, además de un crecimiento satisfactorio. Sin embargo, su crecimiento fue desigual, aun considerando los patrones de crecimiento de cada especie.

Pinus pseudostrobus y *Pinus devoniana* mostraron el mayor desarrollo, mientras que el cedro presentó el crecimiento más lento, pero la mayor tasa de supervivencia. Este resultado sugiere que algunas especies pueden tolerar mejor los residuos mineros, lo que las convierte en candidatas clave para procesos de restauración a largo plazo.



Aliados invisibles: bacterias que resisten y regeneran

Una vez determinado que la reforestación con fines de restauración era posible, dado que el sustrato de los jales presenta características que dificultan el desarrollo de las plantas, se exploró el papel de las bacterias del suelo. La restauración no depende únicamente de los árboles.



Bajo la superficie, los microorganismos del suelo desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas.



En 2021, nuestro grupo de investigación llevó a cabo estudios para identificar bacterias promotoras del crecimiento vegetal presentes en los suelos de *Tlalpujahua* y, al mismo tiempo, tolerar altas concentraciones de mercurio y arsénico. Se detectaron géneros comúnmente asociados a ambientes contaminados y que algunas de sus especies favorecen el crecimiento vegetal como: *Bacillus* y *Pseudomonas*, así como cepas resistentes de *Herbaspirillum huttiense*, *Rhizobium radiobacter* y *Klebsiella*. Lo que abre la posibilidad de utilizarlas como herramientas biológicas para acelerar la recuperación del sitio. En este sentido, la restauración ecológica se apoya en aliados invisibles que ayudan a reconstruir procesos naturales alterados por décadas de actividad minera.

Mercurio, arsénico y soluciones basadas en la naturaleza

Además de comprender el papel de los microorganismos en la recuperación de los suelos degradados, otra línea de investigación se centró en analizar el destino de los metales pesados presentes en los jales y su interacción con los bosques. Los análisis mostraron que el mercurio (Hg) persiste en los suelos y en árboles ubicados tanto en los jales como en los bosques cercanos.

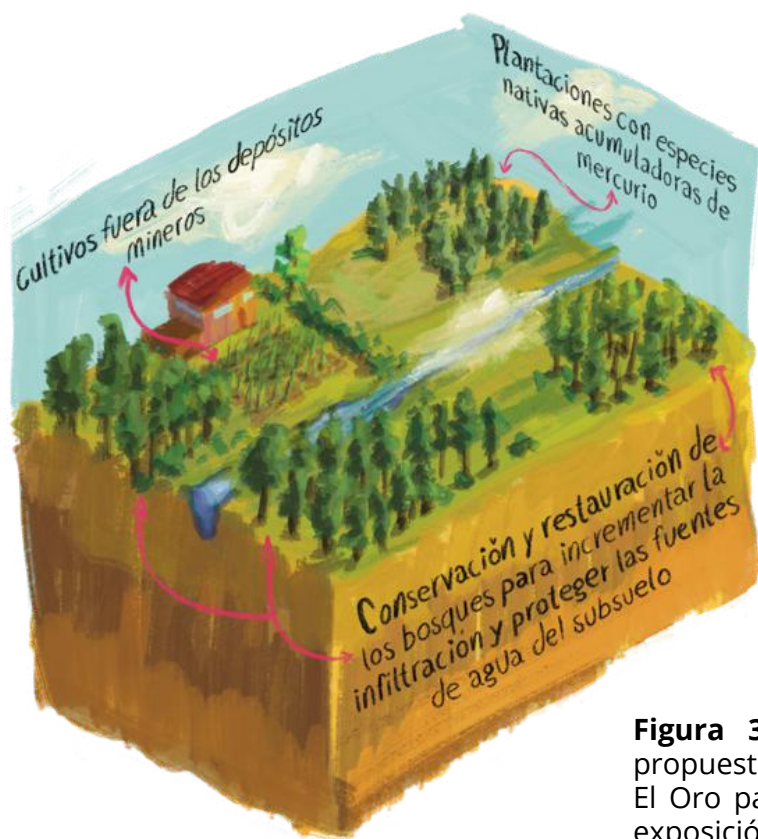


De manera interesante, se observó una alta acumulación de mercurio en la madera de algunas especies, lo que sugiere su potencial para inmovilizar el contaminante dentro del tejido vegetal, un proceso conocido como fitoestabilización. Este proceso puede convertirse en una estrategia clave para evitar que el mercurio



se disperse hacia otras partes del ecosistema o ingrese a la cadena alimenticia. De hecho, especies como *Pinus pseudostrobus* mostraron un desempeño prometedor tanto en crecimiento como en retención de metales.

Además, se analizaron 25 muestras de agua de pozos profundos utilizados para el abastecimiento público de la localidad y de los cuerpos de agua naturales, para así evaluar la posible exposición de la población a mercurio y arsénico. Los resultados indicaron que las concentraciones en el agua potable se encuentran por debajo de los límites establecidos por la normativa mexicana, lo que sugiere que actualmente no existe un riesgo significativo por esta vía.



A partir de estos resultados, se recomendó que se evitarán las actividades agrícolas o de pastoreo en los depósitos de jales, y fortalecer programas de reforestación con especies nativas capaces de contribuir a la estabilización de contaminantes (Figura 3).

Figura 3. Esquema del programa de manejo propuesto para el distrito minero de Tlalpujahua - El Oro para reducir el riesgo de la población a la exposición a mercurio y arsénico.



La recuperación de la vegetación no solo favorece la biodiversidad, sino que también mejora la infiltración de agua y la recarga de acuíferos. Además, el monitoreo del crecimiento de los árboles ha permitido estimar la captura de carbono, lo que añade un beneficio adicional: la restauración no sólo mitiga impactos locales, sino que también contribuye a la mitigación del cambio climático. En conjunto, estos estudios muestran que la restauración ambiental en Tlalpujahua-El Oro es posible, aunque compleja. Se trata de un proceso gradual que combina conocimiento forestal, microbiológico y químico. En una región donde la extracción definió el pasado, la ciencia y la regeneración ecológica comienzan a delinear nuevas formas de manejo ambiental en beneficio de las comunidades y la naturaleza.



La investigación encaminada a generar estrategias de restauración ambiental en Tlalpujahua, es relevante porque existen pocos estudios que se hayan llevado a cabo en sitios con un historial minero tan largo en México. Frente a estrategias limitadas para recuperar suelos degradados, los ensayos realizados en Tlalpujahua representan una oportunidad para generar conocimiento aplicable a otros sitios marcados por la minería. La historia minera dejó cicatrices profundas, pero también abrió un campo de aprendizaje. Entre la memoria del oro y la ciencia de la restauración ecológica, se puede generar una nueva forma de riqueza: la de un paisaje biodiverso. 🍀

La ciencia ha demostrado que incluso los suelos más alterados pueden iniciar procesos de restauración cuando se combinan conocimiento forestal, microbiológico y monitoreo ambiental.



Conceptos

Bacterias promotoras de crecimiento vegetal: Son bacterias beneficiosas que colonizan los tejidos y las raíces de las plantas, mejorando el crecimiento, aumentando la disponibilidad de nutrientes, protegiendo contra enfermedades y mejorando la tolerancia al estrés abiótico.

Fitoestabilización: Es una técnica de fitorremediación que utiliza plantas tolerantes para inmovilizar contaminantes (metales pesados) en el suelo o raíces, evitando su dispersión por viento o agua.

Metal pesado: Son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano.

Restauración ambiental: Es el proceso de asistir a la recuperación de ecosistemas degradados, dañados o destruidos por actividades humanas o fenómenos naturales. Busca restablecer la estructura, función y biodiversidad original (o cercana a ella) para mejorar la resiliencia, la salud del medio ambiente y los servicios ecosistémicos.

Para Consulta

- Corona-Chávez P, Uribe-Salas AJ, Razo-Pérez N, *et al.* 2010. The impact of mining in the regional ecosystem: The mining district of El Oro and Tlalpujahua, México. *De Re Metallica* 15: 21–34.
- Lindig-Cisneros R, Gómez-Orozco SY, Osuna-Vallejo V. 2021. Arsénico y mercurio en el paisaje de una zona minera histórica en el oriente de Michoacán, México. *Tecnología y Ciencia del Agua* 12(6): 480–501. [\[Link\]](#)
- Uribe-Salas AJ. 1995. La pequeña industria minera en el desarrollo regional de México: Las Dos Estrellas en El Oro y Tlalpujahua, 1898–1959. In: Calvo T, Méndez B (Eds). *Micro y pequeña empresa en México*. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos. [\[Link\]](#)
- Uribe-Salas AJ. 2014. Espacio minero y patrimonio industrial en México: El mineral de Tlalpujahua (Michoacán). *Labor & Engenho* 8(4): 5–16 [\[Link\]](#)

Crédito de imágenes en orden de aparición: PhotoCosma, Olga Kostrova, Ayastd, Aree Chitprasartchai's Images, Nocturnal Design, cocographs, nadya bilqis, Arthon meekodong, Photo Images, Getty Images (GI), TrueCreatives, irasutoya, Pexels (Pex), GraphicsRF, Pepermpron, pixabay. Crédito de figuras: Figura 1 (Diego Curiel 2026), 2 (Fotografías propias 2015, 2020 y 2024) y 3 (Diego Curiel 2026). Los autores confirmaron que ningún párrafo del manuscrito ha sido generado completamente o con más del 50% de sus palabras con esta herramienta.

Diseño de publicación: Sofia Paz

Dra. Selene Ramos
Editora Asociada Revista CyN



Liliana Sánchez Montaña

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM. Científica ambiental con experiencia en investigación en restauración ecológica, educación ambiental y conservación de ecosistemas.

contacto: lsanchez@iies.unam.mx



Leonor Solís Rojas

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM. Especialista en comunicación y periodismo ambiental, con énfasis en el desarrollo de narrativas visuales y digitales para la comunicación ambiental.

contacto: lsolis@iies.unam.mx



Diego Stiven Curiel Jiménez

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM. Egresado en Ciencias Ambientales con profundización en Educación Ambiental a través del arte.

contacto: diego.curiel37@gmail.com



Roberto Antonio Lindig Cisneros

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM. Investigador en restauración ambiental, ha trabajado en distintos ecosistemas, sitios severamente degradados y en colaboración con comunidades rurales y periurbanas.

contacto: rlindig@iies.unam.mx