

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Identificación y evaluación de los impactos ambientales
potenciales por la presencia de jales en las zonas aledañas a
la comunidad de Huautla, Morelos: propuesta de mitigación
orientada a una compensación ecológica**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS NATURALES

PRESENTA:

M. en C. ROBERTO MÁRQUEZ HUITZIL

ASESORA DE TESIS: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA

CUERNAVACA, MORELOS

MARZO, 2025

Cómo citar:

Márquez-Huitzil, R. 2024. Identificación y evaluación de los impactos ambientales potenciales por la presencia de jales en las zonas aledañas a la comunidad de Huautla, Morelos: propuesta de mitigación orientada a una compensación ecológica. Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 309 pp.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a las siguientes instituciones y personas por su apoyo para la realización de la siguiente investigación:

Al CONAHCyT por la beca de doctorado número 778992. También por el apoyo al proyecto de Ciencia de Frontera 191975 del Consejo Nacional de Ciencias Humanidades y Tecnología otorgado a la Dra. Marcela Osorio Beristain, para realizar los análisis de metales pesados en muestras de suelo.

A las biólogas Karina Matías Ocampo e Ilana Villarreal Carrión por su apoyo en la toma de muestras de suelo en campo, especialmente a la Biól. Karina por su apoyo en los recorridos y trabajo de campo.

A la Dra. Jaqueline García Hernández y a la Técnica Daniela Aguilera Márquez del Laboratorio de Ciencias Ambientales del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Guaymas, Sonora, por la realización de los análisis de suelos.

Al Doctorado en Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) y a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por facilitar gran parte de la literatura para este trabajo. A todos aquellos que comparten artículos e información científica a través de internet de forma gratuita y permiten que el conocimiento sea accesible para tod@s.

Agradezco al CIByC por el préstamo de vehículos en diversas ocasiones para realizar el trabajo de campo de esta investigación.

A la Dra. Cristina Martínez Garza por dirigir esta tesis y enseñarme a escribir de la forma adecuada.

A la Dra. Marcela Osorio por su apoyo en todo este trabajo y a través del proyecto Ciencia de Frontera para la realización de los análisis de suelo y el alojamiento en Huautla.

A los miembros de mis comités tutorial, de permanencia, predoctoral y revisores de este trabajo: Dr. Roberto Lindig Cisneros, Dra. Eliane Ceccon, Dr. Lorenzo Vázquez Salem, Dra. Fernanda Figueroa, Dra. Violeta Núñez Rodríguez, Dra. Marcela Osorio, Dra. Cristina Martínez Garza, Dr. Xavier López Medellín, Dr. Valentino Sorani Dalbon.

A Don Santos y familia por recibirnos en su casa.

A mi primo el IQM. Andrés Vela Avitúa por su amabilidad y cordialidad al compartirme sus conocimientos en su especialidad.

A los pobladores de Huautla, Morelos de todas las edades que, amablemente, compartieron sus conocimientos y sus puntos de vista sobre la problemática ambiental y la minería. Así mismo, agradezco por su amabilidad durante las estancias realizadas en el poblado.

A los miembros de la Coordinación de Posgrado del CEIB al Dr. Ramón Suárez Rodríguez, la Lic. Sandra Guadalupe Martínez Sánchez, la Guadalupe Martínez Sánchez, el Ing. Víctor Martínez Valdez y la Lic. Gracia Serrano.

A la bióloga Luz María por permitirme resguardar las muestras de jales en el CIByC.

A tod@s los compañer@s del Laboratorio de Ecología de la Restauración del CIByC Paula, Iris, Laritza, Gerardo, Rosemary y a quien pudiera estar omitiendo por su trato amable y por siempre compartir cosas interesantes, aunque a algunos sólo los conozca virtualmente.

A mis queridas amigas Meztli Méndez Méndez, Bibiana Del Pilar Royero Benavides, Susanita Estrada Márquez por toda su amistad de tantos años, apoyo incondicional, confianza, charlas frecuentes y por su amistad de tantos años.

A mis amigos de toda la vida Roberto Madrid, Humberto Molina, Miguel Espinosa por siempre estar ahí, aunque sea a la distancia y virtualmente.

A mis amig@s del dojo por siempre ser un apoyo para el conocimiento, amistad y estímulo cada fin de semana durante los últimos 10 años. Al profe Ale Cruz, Joel, Aldo, Jorge, Joss, Claudia, Toño, profe Evaristo, Raúl, Kalid, Rosita, Eli, Beto, Daniel, Chucha.

A mis compañeros de la Facultad de Ciencias por su amistad, confianza y compartir ideas a Liliana López, Juan Carlos Peña, Daniel Olvera, Tere Ruiz, Pedro Magaña, Lydia Ramírez, Bruno Barrales. A Irene Sánchez por su amistad, apoyo, consejos y préstamo de material para realizar mis muestreos de campo.

A mi mamá Ofelia Huitzil por su enorme regalo de vida, amor incondicional que me dio toda la vida, paciencia, honestidad y ser la mejor amiga que pude tener, más allá de su papel como madre, en donde quiera que ahora se encuentre.

A mi padre Jaime, mis hermanos Jaime y Ofelia y, a mi sobrino Emilio por lo que pude aprender de ellos, a pesar de todo.

A mi familia Márquez y a mi familia Sánchez que siempre han estado ahí, aunque nos frecuentemos poco.

A mí mismo por persistir con este trabajo a pesar de mis propias inseguridades propias y que me ha dado la sociedad.

Al Universo y a la vida por todo lo maravilloso y misterioso que resultan, por lo poco que los conocemos y lo mucho que nos dan, a pesar de todo lo que hacemos los humanos.

Índice

RESUMEN	3
ABSTRACT	5
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CAPÍTULO II. IDENTIFICACIÓN DE MINAS Y JALES EN HUAUTLA, MORELOS, MÉXICO (PUBLICADO: <i>INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS</i> , 2022 DOI: https://doi.org/10.14350/rig.60633)	28
CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DE LA EROSIÓN Y DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO DE LADERA DE JALES MINEROS EN HUAUTLA, MORELOS (PUBLICADO: <i>INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS</i> , 2025 DOI: https://doi.org/10.14350/rig.60920)	52
ANEXO	72
RECOMENDACIONES	81
CAPÍTULO IV. PERSPECTIVA SOCIAL Y RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN HUAUTLA, MORELOS	84
INTRODUCCIÓN	85
Perspectiva social y reconstrucción histórica de la problemática ambiental	90
METODOLOGÍA.....	94
RESULTADOS.....	105
a) Perspectiva social sobre la problemática ambiental en Huautla, Morelos	105
b) Problemática ambiental y su relación con los jales mineros en Huautla, Morelos	124
c) Participación social en la resolución de los problemas ambientales	136
b) Problemática ambiental y su relación con los jales mineros en Huautla, Morelos	153
c) Participación social en la resolución de los problemas ambientales	158
CONCLUSIONES	163
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164
ANEXOS.....	197
CAPÍTULO V. ADOPTAR LOS OBJETIVOS DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA COMO META CRUCIAL AL MITIGAR DESECHOS MINEROS: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA (PUBLICADO: <i>ACTA BOTÁNICA MEXICANA</i> , 2022 DOI: https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2019).....	219
VI. DISCUSIÓN GENERAL.....	257
IDENTIFICACIÓN DE JALES MINEROS EN HUAUTLA, MORELOS.....	258

EROSIÓN Y SUSCEPTIBILIDAD AL MOVIMIENTO EN MASA DE LOS DEPÓSITOS DE JALES Y MOVIMIENTO DE LOS METALES PESADOS QUE CONTIENEN: LA DINÁMICA DE LOS JALES EN HUAUTLA	259
Problemática ambiental en Huautla, Morelos desde la perspectiva social y la reconstrucción histórica	261
Restauración ecológica en jales mineros para su incorporación en los procesos ecológicos	263
CONCLUSIONES GENERALES	265
RECOMENDACIONES	266
INSERCIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN DENTRO DEL CONTEXTO DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN JALES MINEROS	268
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	279

FIGURAS

CAPÍTULO III

Figura A. Formación de “pedestales” en Las Presas	76
Figura B. Cárcava encontrada en Las Presas. Obsérvese el espesor del depósito de jal excavado verticalmente por la cárcava	77
Figura C. Exhumación de raíces por erosión laminar en uno de los taludes de Las Presas	78
Figura D. Proceso de tunelamiento en las presas de jales. A. Tubificación (orificios pequeños que abren tubos) y tunelamiento (orificios grandes que abren túneles) en el talud de Las Presas; b. Tunelamiento y colapso de túneles en el banco de Los Molinos	79
Figura E. Hundimientos del terreno en el banco de Las Presas	79
Figura F. Manchado de rocas calizas en el lecho de un arroyo seco por reacción de la caliza con el drenaje ácido de los jales (flechas azules) (obsérvese la coloración semejante a la de los jales) y jales depositados el arroyo	80

CAPÍTULO IV

Figura 1. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿Cómo piensas que es la naturaleza para los seres humanos?	107
Figura 2. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿la tierra, el agua, el oxígeno, las plantas y los animales se encuentran en una cantidad limitada en el planeta?	108

Figura 3. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la afirmación: “La naturaleza puede contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos sobre ella”.	110
Figura 4. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿Existe un riesgo de que la humanidad se enfrente a una crisis global en materia ambiental?	113
Figura 5. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿Muchas personas desperdician los recursos que nos ofrece la naturaleza?	114
Figura 6. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿has escuchado de problemas ambientales?	116
Figura 7. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas, en general, respecto a los medios por los que se informan sobre la problemática ambiental	117
Figura 8. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad, respecto a la pregunta: ¿En dónde lo escuchaste? (acerca de los problemas ambientales).	118
Figura 9. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿crees que los problemas ambientales son más graves de lo que informan los medios?	119
Figura 10. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿piensas que hay problemas ambientales en tu comunidad?	120

Figura 11. Porcentajes de respuestas por grupo de edad al preguntar sobre la gravedad de los problemas ambientales en su comunidad	121
Figura 12. Porcentajes por grupo respecto a la pregunta: ¿cómo te sientes respecto a los problemas ambientales?	123
Figura 13. Porcentajes de respuesta por grupo respecto a la pregunta: ¿Sabes o conoces si hay tierra de las minas (jales o relaves) en tu comunidad?	125
Figura 14. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿Qué cantidad de tierra de jales se ocupa en tu comunidad en algunas actividades?	127
Figura 15. Porcentaje de respuesta por grupo respecto a la pregunta: ¿En qué cantidad consideras que el material de los jales se desplaza con el viento y la lluvia?	129
Figura 16. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿Crees que algunas enfermedades en tu comunidad se relacionan con los jales?	133
Figura 17. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la afirmación: “Me siento más responsable de los problemas ambientales locales que de los problemas globales”	138
Figura 18. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la afirmación: “Lo que cada uno de nosotros hacemos por el ambiente es de gran importancia para su cuidado:”.	139

Figura 19. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿a quién le corresponde resolver los problemas ambientales en el planeta?	141
Figura 20. Porcentajes de respuestas por grupo de edad respecto a la pregunta: ¿qué acción tomarías respecto a un área afectada?	143
Anexo 2. Gráficas complementarias	
Gráfica 1. Porcentaje de personas entrevistadas por grupo de edad y género en Huautla	205
Anexos 3. Diagramas sobre la reconstrucción histórica y la problemática ambiental en Huautla, Morelos	
Figura 1. Diagrama sobre la Historia del pueblo de Huautla a partir de su fundación	207
Figura 2. Diagrama sobre el origen de la minería y la fundación de Huautla	208
Figura 3. Diagrama sobre el movimiento de materiales, los problemas ambientales asociados y las consecuencias para algunos pobladores	209
Figura 4. Diagrama sobre las causas del cierre de la última empresa minera y algunas alternativas económicas para los trabajadores	210
Figura 5. Diagramas sobre los efectos en el ambiente y en los mineros por el cierre repentino de la minería	211

ANEXOS

Capítulo III

Caracterización de la erosión y de la susceptibilidad al deslizamiento de ladera de jales mineros en Huautla, Morelos (Publicación de Investigaciones Geográficas)	73
--	----

Capítulo IV

Anexo 1. Cuestionarios base para las entrevistas y Preguntas abiertas sobre la perspectiva ambiental de los pobladores de Huautla	198
Anexo 2. Gráficas complementarias	204
Anexo 3. Diagramas sobre la reconstrucción histórica y la problemática ambiental en Huautla, Morelos	206
Anexo 4. Descripción de la actividad ganadera en Huautla	212
Anexo 5. Transcripción sobre las características de la minería y las condiciones de trabajo de los mineros (Mondragón-Morales, 1986)	213

RESUMEN

La minería genera gran cantidad de desechos derivados del procesamiento de materiales, entre los que se encuentran los denominados jales. Los jales son materiales sin valor para la minería consistentes de rocas trituradas, molidas y combinadas con millones de litros de agua y con químicos para la separación de los minerales de interés. Al ser depositados a cielo abierto, los jales mineros interactúan con el ambiente y tienen un efecto sobre el mismo. En este estudio se revisaron cinco aspectos de los jales en Huautla, Morelos en los siguientes capítulos: El Capítulo I describe la problemática producida por la minería y por los jales. En el Capítulo II se identificaron depósitos de jales y minas presentes en Huautla. Para ello se realizó la revisión de información documental, la compilación de información georreferenciada, la fotointerpretación de imágenes de percepción remota, así como sus análisis semiautomatizados con SIG y, mediante la consulta a los habitantes y la verificación de los sitios. En la zona se encontraron 19 minas y cinco depósitos de jales: tres presas de jales (dos en Los Molinos y uno en Las Presas) y dos depósitos sin confinamiento (Tlalchichilpa y Huautla). En este capítulo se integró el conocimiento respecto a los depósitos de jales en Huautla y se resaltó la importancia de combinar distintos métodos para la identificación precisa de jales y minas. En el Capítulo III se analizó el desplazamiento por erosión hídrica en los depósitos de jales y su susceptibilidad al deslizamiento de ladera. Esto se logró por medio de la evaluación de la erosión de los depósitos de jales aplicando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo y el modelo de Mora-Varhson sobre la Susceptibilidad al deslizamiento de ladera; adicionalmente se usaron (i) análisis de percepción remota y con Sistemas de Información Geográfica, (2) el reconocimiento de la zona por fotointerpretación y recorridos de campo y, (3) un análisis de metales pesados en los jales y en las zonas de inundación del río principal al que desembocan los arroyos que son aledaños a los depósitos de jales. La tasa de pérdida de suelo en los taludes de los depósitos de jales fue mayor a $200 \text{ ton/ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los años más lluviosos y una erosión cercana a cero en el año más seco. En los depósitos de jales se presentó una susceptibilidad muy alta al deslizamiento de ladera en los taludes (zonas con alta pendiente) y muy baja en los bancos (zonas con pendiente cercana a cero). En campo se registraron evidencias de erosión como la exhumación de raíces, la formación de surcos y cárcavas, colapso del terreno, zonas expuestas sin vegetación y tubificación. En las zonas de depósito del Arroyo grande, hacia donde desembocan los cauces aledaños a los depósitos de jales y, en los depósitos de jales se encontraron nivel de metales pesados como Zn, Cd, Pb, Cu, Hg y As por arriba de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (para el Cd, Pb y Hg; SEMARNAT, 2007) y por la EPA (para el Cu y Zn; U.S. EPA, 1994). La intensa erosión, la susceptibilidad al deslizamiento de ladera y la concentración de metales pesados indican una alta erosión de materiales de los jales y una Susceptibilidad al deslizamiento de ladera. Los metales pesados tienen alta estabilidad en los jales, pero también se desplazan y depositan en las zonas de inundación del Arroyo Grande. En el capítulo IV se abordó la problemática ambiental y la minería en Huautla, Morelos utilizando la

reconstrucción histórica y la perspectiva ambiental de la población local. La reconstrucción histórica se realizó mediante la revisión documental, el análisis de la zona por percepción remota y los testimonios de los pobladores; estos últimos permitieron conocer la perspectiva social sobre la problemática ambiental complementada con la aplicación de entrevistas semiestructuradas. A partir de las entrevistas se describe la perspectiva de niños, jóvenes y adultos. Como resultado de la reconstrucción histórica se encontró que la problemática ambiental en Huautla inicia con el desarrollo de la minería sin una regulación ambiental y con los problemas ambientales que se generaron por el asentamiento de una población en un lugar aislado sin una planificación, así como con la producción de alimentos para satisfacer las necesidades de la población en Huautla. Desde la perspectiva social, la problemática ambiental en Huautla se originó a partir de problemas comunes como los drenajes caseros hacia las barrancas, un manejo inadecuado de las parcelas, el abuso de los recursos naturales por algunos pobladores, la quema de la maleza en los terrenos y, la contaminación generada por tirar la basura en las barrancas o por quemarla. Una menor proporción de la sociedad reconoce de manera fundamentada a la minería y a los jales como factores que provocan la problemática ambiental. La reconstrucción histórica encontró una relación con el origen del pueblo de Huautla, la historia minera y la falta de planificación en el manejo de ecosistemas como factores que generaron la problemática actual del pueblo. El Capítulo V es una propuesta metodológica para la restauración ecológica de la selva estacionalmente seca en los jales mineros y resalta las implicaciones de una mitigación inadecuada. La propuesta metodológica incorporó las experiencias en la restauración de una mina de roca caliza y en proyectos de restauración en distintos ecosistemas a cargo del Gobierno Federal, sugiriendo métodos que adoptan los objetivos de la restauración ecológica. Además, la propuesta se complementa con una revisión bibliográfica de información relacionada con la remediación de sitios contaminados. La propuesta resalta los riesgos generados por el uso de biota para la biorremediación de los jales contaminados, que puede crear trampas ecológicas. También propone la rehabilitación de suelos, antes de iniciar la restauración propiamente dicha. En la propuesta se sintetizan los puntos que, técnicamente, debe cubrir un proyecto de restauración ecológica. La propuesta sugiere una combinación de metodologías para proyectos de restauración ecológica, aportando un enfoque integral del problema. En conclusión, la investigación en conjunto aborda la problemática ambiental de los jales mineros de forma integral y propone una alternativa de solución. Los capítulos II al V proponen una serie de métodos para obtener una visión más completa del comportamiento de los jales mineros y pueden integrarse como base de un proyecto de restauración ecológica aplicable a jales mineros.

ABSTRACT

Mining generates a large amount of waste derived from the processing of materials, including the so-called tailings. Tailings are materials of no value to mining, consisting of crushed and ground rock combined with millions of liters of water and chemicals for the separation of minerals of interest. When deposited in the open air, mining tailings interact with and impact the environment. This study reviewed five aspects of tailings in Huautla, Morelos, in the following chapters: Chapter I describes the problems caused by mining and tailings. Chapter II identified tailings deposits and mines present in Huautla. This study included a review of documentary information, compilation of georeferenced information, photointerpretation of remote sensing images, and semi-automated analysis using GIS, consulting with residents, and verifying the sites. Nineteen mines and five tailings' deposits were found in the area: three tailings' dams (two in Los Molinos and one in Las Presas) and two unconfined deposits (Tlalchichilpa and Huautla). This chapter integrated the knowledge regarding tailing's deposits in Huautla and highlighted the importance of combining different methods for a more precise identification of tailings and mines. Chapter III analyzed the displacement due to water erosion and their susceptibility to landslides in the tailing's deposits. This was achieved by evaluating tailings deposit erosion using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the Mora-Varhson model for landslide susceptibility; additionally, (1) remote sensing and Geographic Information Systems were used, (2) the area was surveyed through photointerpretation and field surveys and, (3) a heavy metal analysis was also conducted in the tailings and floodplains of the main river into which the streams adjacent to the tailings deposits flow. The rate of soil loss was greater than 200 tons/ha/yr in the wettest years on the slopes of the tailings deposits, and erosion was close to zero in the driest year. The tailings deposits had a higher susceptibility to landslides on the slopes (areas with steep gradients) and a lower one on the banks (areas with gradients close to zero). Evidence of erosion was recorded in the field, including root exhumation, the formation of furrows and gullies, ground collapse, exposed areas without vegetation, and piping. In the deposit areas of the Arroyo Grande where the channels adjacent to the tailings deposits flow into the watersheds and in the tailings deposits, heavy metals as Zn, Cd, Pb, Cu, Hg and As were found above the Maximum Permissible Limits established by NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (for Cd, Pb and Hg; SEMARNAT, 2007) and by the EPA (for Cu and Zn; U.S. EPA, 1994). The intense erosion, susceptibility to hillslides and the concentration of heavy metals indicate a high erosion of tailings materials and a susceptibility to hillslides. Heavy metals have high stability in the tailings, but they also move and deposit in the flood zones of the Arroyo Grande. Chapter IV addressed environmental issues and mining in Huautla, Morelos, using historical reconstruction and the environmental perspective of the local population. Historical reconstruction was conducted through documentary review, remote sensing analysis of the area, and residents' testimonies. The latter provided insight into the social perspective on environmental issues, complemented by semi-structured interviews. The interviews provide insight into the perspective of children, youth, and adults. The historical reconstruction revealed that environmental problems in Huautla began with

the development of mining without environmental regulations and the environmental problems generated by the settlement of a population in an isolated location without planning, as well as the food production to meet the needs of the Huautla population. From a social perspective, the environmental problems in Huautla originate from common problems, such as domestic drainage into the ravines, inadequate management of the agricultural land, abuse of natural resources by some residents or the burning of weeds on the land, pollution generated by dumping garbage in the ravines or by burning it. A smaller proportion of society has a well-founded recognition of mining and tailings as factors causing environmental problems. Historical reconstruction found a connection between the origin of the town of Huautla, the mining history, and the lack of planning in ecosystem management as factors that generated the town's current problems. Chapter V presents a methodological proposal for the ecological restoration of the seasonally dry forests in mining tailings and highlights the implications of inadequate mitigation. The methodological proposal incorporated experiences in the restoration of a limestone mine and restoration projects in different ecosystems led by the Federal Government, suggesting methods that embrace the objectives of ecological restoration. In addition, the proposal is complemented by a bibliographic review of information related to the remediation of contaminated sites. The proposal highlights the risks generated for using biota for the bioremediation of contaminated tailings, which can create ecological traps. It also proposes soil rehabilitation before beginning the restoration itself. The proposal summarizes the points that, technically, an ecological restoration project should cover. The proposal suggests a combination of methodologies for ecological restoration projects, providing a comprehensive approach to the problem. In conclusion, the research as a whole addresses the environmental problems of mine tailings in a comprehensive manner and proposes an alternative solution. Chapters II through V propose a series of methods to obtain a more complete view of the behavior of mine tailings and can be integrated as the basis for an ecological restoration project applicable to mine tailings.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La minería es una actividad económica enfocada a la extracción de materiales del subsuelo (INEGI, 2011). La actividad minera explora, extrae, explota y beneficia a los minerales de interés económico provenientes del subsuelo (Cravioto, 2019). La minería es una actividad económica enfocada a la extracción de materiales del subsuelo (INEGI, 2011). La actividad minera explora, extrae, explota y beneficia a los minerales de interés económico provenientes del subsuelo (Cravioto, 2019).

Entre los beneficios que siempre se difunden sobre la minería, la principal es la generación de empleos y la “derrama económica” como lo publicitan la Cámara Minera de México (CAMIMEX) y/o el Servicio Geológico Mexicano (SGM) (Téllez-Ramírez, 2022). La minería se maneja como una actividad primordial porque provee de materias primas a distintas industrias (Navarro-Villanueva, 2020). En los últimos años, la aparición de nuevas tecnologías extractivas como la hidrometalurgia, la lixiviación con cianuro o soluciones ácidas, la pirometalurgia y la electrometalurgia, entre otras (Salazar Sánchez, 2010), diversifican considerablemente los impactos ambientales, sociales y económicos de la minería (Azamar-Alonso y Téllez-Ramírez, 2022). Dichas tecnologías son altamente eficientes en términos económicos y sumamente destructivas en términos ecológicos (Fernández-Vega, 2011). Los impactos de las distintas tecnologías aplicadas durante la extracción de los minerales o materiales extraídos del subsuelo pueden ser muy distintos en términos de las condiciones geomorfológicas, edáficas y toxicológicas del sitio impactado (Kuter, 2013). En el aspecto social, aunque se dice que la minería resuelve el problema de la pobreza, algunos autores sugieren que la incrementa (Ross, 2001). La minería puede dañar los recursos naturales locales en tal magnitud

que, las comunidades ya no son capaces de sostenerse a sí mismas, arriesgando su supervivencia, ya que en los sitios abandonados deja un legado de daños ambientales y sociales, como en lugares habitados por comunidades indígenas ha dejado un despojo de las superficies concesionadas, el daño a las tierras, los depósitos de los materiales que fueron desechados por el proceso minero que pueden contener minerales metálicos que contaminan los suelos y el agua, entre otros (Alfie Cohen, 2015).

La minería tiene efectos negativos a distintos niveles. La minería influye en la economía del país y sus actividades influyen en el medio ambiente de manera superficial y subterránea cita. La minería tiene diversos impactos negativos que son trasladados a la sociedad y a la economía nacional, como en el caso de los países más pobres de América, donde los bajos estándares de vida y el incremento de la pobreza crea una dependencia hacia la minería, pero con gran desigualdad salarial para los propios nacionales, a pesar de que estos países sean los importantes poseedores de los recursos minerales (Ross, 2001). Las actividades mineras tienen considerables impactos negativos en el medio ambiente, las comunidades humanas y la economía, considerando los servicios ambientales afectados en el sitio minero y en el conjunto del paisaje (Hipólito Esteban y Azamar Alonso, 2022). La minería influye en la economía del país y sus actividades influyen en el medio ambiente de manera superficial y subterránea (Osorio, 2022).

La actividad minera genera residuos con características particulares. Durante la actividad minera pueden extraerse millones de toneladas de rocas que son trituradas y molidas; posteriormente, mediante operaciones de separación y

concentración de minerales denominadas “beneficio de minerales”, se apartan minerales significativos para esta actividad (DOF, 2004). Durante el beneficio de minerales se adicionan millones de litros de agua y diversas sustancias químicas altamente tóxicas para disgregar los minerales por flotación (Kossoff *et al.*, 2014; Núñez-Rodríguez, 2015). Una vez separados los minerales con valor económico, a las toneladas de materiales remanentes se les denominan jales (DOF, 2004). Inicialmente, los jales tienen consistencia lodosa, facilitando su transporte hacia depósitos sin contención o, a depósitos confinados por presas de jales (Nieto-Ávila, 1997; DOF, 2004). Las presas de jales son obras de ingeniería que se construyen y operan de manera simultánea (Valle-Mejía, 1991; Mac Gregor-Arroyo, 1992). La actividad minera genera millones de toneladas de depósitos de jales que contienen materiales molidos con características particulares, pues contienen sustancias tóxicas que son abandonadas al término de la explotación (DOF, 2010b).

En México, la minería ocurre desde antes de la época de la Conquista. De acuerdo con León-Portilla et al. (1978), la minería era algo común entre los pueblos originarios de México, pero los conquistadores españoles cambiaron radicalmente la forma de explotación de los minerales. La minería floreció en el siglo XVI siendo la plata el mineral con mayor explotación siendo el principal motor de la economía (Jarquín-Ortega, 2012). De una minería donde, prácticamente recogía los minerales disponibles en la tierra, pasó a ser una minería con una extracción exhaustiva (León-Portilla et al., 1978). Durante el siglo XVII, etapa de la consolidación de la Nueva España, esta junto con el Perú fueron consideradas el centro minero más importante del Imperio español (Jarquín-Ortega, 2012). En las últimas tres décadas se

otorgaron miles de hectáreas y de concesiones mineras por los gobiernos de los presidentes Miguel de la Madrid, Carlos Salinas de Gortari, Vicente Fox Quesada, Felipe Calderón Hinojosa y Enrique Peña Nieto en una estrategia agresiva de privatización de la minería (Téllez-Ramírez, 2021). Entre 1994 y 2018, más de 45 mil concesiones mineras fueron otorgadas cubriendo cerca de la mitad del territorio (Tetreault, 2023); tan sólo durante los gobiernos de Fox y Calderón se otorgaron 28,810 concesiones mineras, cubriendo 60.9 millones de hectáreas, lo que corresponde al 31% del territorio nacional (Tetreault, 2020). La minería ha crecido desmedidamente desde el inicio del nuevo milenio (Tetreault, 2013). Tan sólo durante la primera década del siglo XXI, las empresas concesionarias de los aprovechamientos extrajeron del país casi el doble de la cantidad de oro y la mitad de la plata de la que se extrajo durante los trescientos años de la Conquista y la época colonial (Fernández-Vega, 2011). Los beneficios que reportan las industrias mineras por lo general son para la empresa minera y un mínimo de estos se quedaban en el país, juntos con una serie de problemas sociales y ambientales (Pérez-Jiménez, 2014; Núñez-Rodríguez, 2015). Entre 1980 y 2016, se registraron al menos 37 conflictos mineros en el país (OCMAL, 2016). Hasta el año de 2018, la ley minera priorizaba la explotación minera sobre los derechos humano, esta ley permitía el desplazamiento de los pueblos originarios si se encontraban en un área que hubiera sido concesionada, el consumo de agua para la minería, entre otros (Núñez-Rodríguez, 2015).

En la actualidad, México ocupa las primeras diez posiciones a nivel mundial en la producción de diecisiete minerales, generando empleos, inversiones y

crecimiento en infraestructura (Cámara Minera de México, 2020). El primer lugar en producción de plata es ocupado por México, pero también se extraen minerales como el bismuto, fluorita, wollastonita, celestita, cadmio, sulfato de sodio, diatomita, molibdeno, plomo, sal, zinc, barita, grafito, oro, yeso, arena silíceas, cobre y manganeso haciendo que México sea uno de los 10 productores principales en el planeta (Núñez-Rodríguez, 2015). En mayo de 2023 se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Minera, de la Ley de Aguas Nacionales, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en materia de concesiones para minería y agua (DOF, 2023). Las reformas legales de 2023 estipulan un mayor cuidado ambiental y social, así como un mayor aporte al crecimiento económico del país, para poder otorgar y ejercer la actividad minera en territorio nacional (Tetreault, 2023; DOF, 2023). Las reformas a la ley minera limitan el trabajo de las mineras, poniendo mayor atención a la sociedad y al medio ambiente. Esta nueva ley minera prioriza la consulta a los pueblos originarios, el cuidado de las aguas, el respeto a las Áreas Naturales Protegidas, entre otros (DOF, 2023). En 2021, durante los primeros tres años del Gobierno del presidente Andrés Manuel López Obrador, la superficie concesionada se redujo entre un 10.64 % y un 8.59 % del territorio nacional; México contaba en ese año con 24,066 concesiones mineras distribuidas en 16.83 millones de hectáreas de acuerdo con María Luisa Albores, titular de la SEMARNAT (EFE, 2021). Las críticas de las comunidades indígenas a la industria minera no sólo abarcan la contaminación ambiental, sino también un abanico de problemáticas que incluyen la preocupación sobre los impactos sociales y las conexiones de esta industria con una larga historia de

desposesión, colonialismo y afectación social (Keeling y Sandlos, 2009; Núñez Rodríguez, 2015).

En lo que respecta al número de depósitos de jales en México es incierto. La regulación sobre los jales mineros data de hace un par de décadas, por lo que en México existe una gran cantidad de depósitos de jales clandestinos (Rivera-Castelo, 2009; Ahumada-Mexía 2017). Incluso existen residuos mineros en al menos 17 Áreas Naturales Protegidas en México que fueron autorizadas antes del 2018 (La Jornada, 2021). Hasta hace pocos años no se contaba con una estimación de los jales mineros existentes en el país, ni de los compuestos tóxicos que se dispersan por el agua y el viento desde estos (Arvizu-Valenzuela, 2018). Bajo la administración del Lic. Andrés Manuel López Obrados se inició el Inventario Homologado Preliminar de Presas de Jales que tan sólo cuenta con 561 registros hasta el momento (SEMARNAT, 2024). En una tesis de ingeniería geológica (minería) se menciona que el número de depósitos de jales podría ser mayor a 10,000 (Rivera-Castelo, 2009). Dada la imprecisión en el número y ubicación de los depósitos de jales, en México se requieren métodos e información para su identificación.

Los depósitos de jales mineros presentan características especiales. Los jales están formados por partículas del tamaño de arcillas y limos (Martín-Crespo *et al.*, 2020). Los escurrimientos de agua y la acción del viento desprenden estas pequeñas partículas, desplazándolas de su ubicación original y provocando su erosión (FAO, 2019). Debido a estos procesos, las sustancias tóxicas contenidas en los jales son lixiviadas hacia los alrededores (Mokhtari *et al.*, 2018). Cuando la energía del agua o del viento ya no es suficiente para continuar transportando las

partículas, estas pueden acumularse en distintas zonas del paisaje (Morgan, 2005). Por otra parte, los depósitos de jales que experimentan estos procesos de erosión son susceptibles al desplazamiento de grandes bloques pendiente abajo, lo que se denomina movimiento en masa (Scatena y Lugo, 1995). Estos movimientos en masa provocan el colapso parcial o total de los depósitos de jales (Mendez y Maier, 2008). Los jales son focos de contaminación ambiental que representan un peligro para la biodiversidad y para la población humana debido a su dispersión y a su riesgo por su movimiento en masa (Elizondo *et al.*, 2016).

La evaluación de los problemas ambientales debe involucrar a la sociedad. El saber popular corresponde a la perspectiva social o punto de vista que la sociedad tiene respecto a un tema particular (Durand, 2000). En el ejercicio diagnóstico, el intercambio entre el conocimiento científico y el saber popular permiten comprender, mejorar el conocimiento de la realidad desde la colectividad, por medio de técnicas participativas que involucren a las comunidades y a las instituciones para que la toma de decisiones sea más aterrizada en la realidad socioecológica y económica local (Mena-García *et al.*, 2022). Por su parte, la reconstrucción histórica es una técnica para aproximarse a las percepciones que distintos actores tienen sobre eventos locales a través de entrevistas en profundidad y la revisión de documentos escritos sobre las comunidades (Mena-García *et al.*, 2022). En el estudio del desequilibrio ecológico-ambiental y sus efectos en la población es fundamental el conocimiento de la coevolución humana-ambiental en el área de interés (Castañeda Casas, 2016). Queda muy poca información detallada sobre el andamiaje social que organizó y configuró la industria minera mexicana

desde la época virreinal en la producción de plata, como en el caso de Huautla; no obstante, las consecuencias quedan plasmadas sobre los paisajes, los efectos persisten, aunque las causas que los provocaron hace mucho hayan dejado de existir (Moreno-Unda *et al.*, 2019). El proceso de reconstrucción histórica puede recuperarse como resultado del diálogo generado a partir de diferentes entrevistas a personas participantes que conozcan o hayan vivido algún evento particular (Mena-García *et al.*, 2022). La historia ambiental incluye la defensa obligada de la multidisciplinariedad, una característica que no es ajena a la historia, pero resulta más compleja porque suele implicar conocimientos científicos al margen de las ciencias sociales (Simón-Ruiz, 2010). Por tanto, la perspectiva social y la reconstrucción histórica sobre la problemática en Huautla, resultante de las actividades minero-metalúrgicas a escala local, requiere de una investigación local de información documental (Moreno-Unda *et al.*, 2019), de los testimonios compartidos por los habitantes (Torres-Martínez, 2018) y de los conocimientos aportados por investigaciones científicas (Simón-Ruiz, 2010). Los problemas ambientales en los pueblos mineros deben involucrar a la sociedad a quienes afecta, así como a las fuentes de información que los describan tanto para su diagnóstico como para plantear y decidir acerca de las alternativas de solución.

Los jales mineros implican diversos riesgos que deben mitigarse. La mitigación de sitios afectados por los jales, puede involucrar una o varias de las siguientes acciones: (i) prevenir, que implica evitar o minimizar el impacto de una acción particular que tenga un efecto negativo en el sitio, por ejemplo no depositando jales mineros en el ambiente; (ii) limitar las actividades o intervenciones

que degraden a los ecosistemas, por ejemplo, realizando minería subterránea en vez de minería a cielo abierto; (iii) rehabilitar las características del sitio, por ejemplo, creando un sitio que no represente un riesgo socioambiental a pesar de tener un depósito de jales; (iv) restaurar ecológicamente el sitio degradado, por ejemplo, recuperando al ecosistema original en el sitio afectado por el depósito de jales; (v) compensar la pérdida de algunas características, por ejemplo, recuperando las características perdidas en el sitio de depósito de los jales en otro sitio con características similares (Bradshaw, 1983; Meffe y Carroll, 1994; Treweek, 1999; Gann *et al.*, 2019). Las distintas estrategias de mitigación fueron clasificadas desde hace décadas como: remediación, rehabilitación, reclamación, reemplazamiento vegetal, recubrimiento vegetal y restauración ecológica (Bradshaw, 1983). Estas estrategias de mitigación recuperan parcial o totalmente características de un ecosistema degradado, sin embargo, la restauración ecológica es la única que busca recuperar al ecosistema original (Bradshaw, 1983; Meffe y Carroll, 1994). En 2004, la SER proporcionó una serie de Principios exclusivos para la restauración ecológica que abarcaron una mayor cantidad de aspectos relacionados con la recuperación de los ecosistemas (SER, 2004). Uno de estos principios propone que el sitio restaurado debe incrementar la conectividad y se integre con la estructura y el funcionamiento del paisaje (Society for Ecological Restoration (SER) International, 2004; Gann *et al.*, 2019). Recientemente se plantea que las estrategias de remediación y rehabilitación son aliadas de la restauración ecológica, formando parte de un continuo restaurativo (Gann *et al.*, 2019). La restauración ecológica busca recuperar la diversidad y funcionamiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (Gann *et al.* 2019). Algunos proyectos de

restauración en minas en México surgieron a partir de la demanda social por recuperar las características originales de sitios afectados por la minería (Márquez-Huitzil, 1999). Un planteamiento para planificar la restauración ecológica asociada con el aprovechamiento de recursos naturales debería de incluir al menos cuatro aspectos (Márquez-Huitzil, 2005): a) Una descripción previa de las características biogeofísicas del ecosistema, a distintas escalas; b) El tipo de intervención que se pretende realizar en el sitio y los posibles efectos que tendrá sobre el ecosistema, área o paisaje; c) Las medidas preventivas o de mitigación para evitar los efectos de las afectaciones sobre el ecosistema y; d) Las medidas para mantener la continuidad de las características bióticas y de los procesos naturales tanto dentro del medio físico como dentro de las comunidades bióticas, así como entre éstos dos componentes del ecosistema. En los últimos años, estos criterios se han actualizado considerando que los sitios en donde se busca restaurar un ecosistema pueden relacionarse con una o más estrategias de mitigación, para que dejen de representar una amenaza para la biota y las comunidades humanas y los procesos ecológicos sean funcionales a las distintas escalas y que las comunidades vecinas deben involucrarse en los proyectos de restauración (Gann *et al.*, 2019).

La historia del pueblo de Huautla, en el estado de Morelos está asociada a la extracción minera de plata. El pueblo fue fundado como San Francisco de Huautla en el siglo XVI y, en siglo XX, después de la Revolución Mexicana se ubicó dentro del ejido Huautla y, hasta 1991 fue un distrito minero, especialmente de plomo (Pb), plata (Ag) y zinc (Zn) (Mondragón-Morales, 1986; Sánchez-Santiró, 2002; Juárez-

Mondragón, 2017). El pueblo de Huautla está vinculado a la actividad minera desde hace casi cinco siglos.

La minería generó aproximadamente 780,000 toneladas de jales con una alta concentración de metales pesados tóxicos como Pb, Mn y Cd (SEMARNAT, 2004; Tovar-Sánchez *et al.* 2012). Los jales mineros representan distintas amenazas al ambiente por la abundante presencia de arsénico (As), un metaloide, y de otros metales pesados altamente tóxicos (POEREM, 2013; Garrido-Hoyos y Romero-Velázquez; 2016). Esto ha dado origen a distintos estudios enfocados en tres depósitos de jales, aledaños al poblado de Huautla: el efecto de la bioacumulación de metales pesados en especies vegetales (Martínez-Becerril, 2009; Castañeda-Bautista, 2016; Santoyo-Martínez, 2016; Santoyo-Martínez, 2020); efectos en la sangre de especies animales (Tovar-Sánchez *et al.* 2012; Esteves-Aguilar 2018; Valenzuela, 2020; Amaro Flores, 2022; Gómez-López, 2023; Organista-Nava, 2023) y en su conducta; el efecto en la estructura de las comunidades de roedores (De la Cruz-Guarneros 2018; Galván-Ramírez, 2020). No se encontraron estudios relacionados con el movimiento de los jales o la perspectiva de la población acerca de los mismos. En 2017, durante un primer recorrido por la zona, en una conversación informal con un habitante quien fue empleado de confianza de la empresa minera comentó que el número de jales era mayor a tres depósitos. Esta conversación y la información descrita en párrafos anteriores generaron la inquietud por investigar el número real de jales en las cercanías de Huautla, Morelos. Los estudios encontrados se enfocan sólo en tres depósitos de jales, pero su número

exacto es impreciso. La dinámica de los depósitos o la perspectiva de la población sobre sus impactos también son desconocidos.

Considerando las problemáticas expuestas anteriormente se planteó un objetivo general y cuatro objetivos particulares. El objetivo general de la tesis fue describir los problemas socioambientales que implican los jales mineros en Huautla, Morelos y proponer una estrategia de restauración ecológica. Los objetivos particulares fueron los siguientes: i) reconocer y localizar los depósitos de jales en Huautla, Morelos; ii) caracterizar su comportamiento en el medio natural; iii) conocer la problemática ambiental generada por la minería desde la reconstrucción histórica y la perspectiva social; iv) proponer la mitigación de sus efectos buscando restaurar al ecosistema afectado por su depósito. La investigación sobre los jales se realizó en cuatro de los seis capítulos de la tesis: el capítulo II identificó los jales mineros en Huautla; el capítulo III describe la erosión de los jales y la susceptibilidad al movimiento de ladera de los depósitos y de las presas de jales; el capítulo IV incluye la perspectiva de los pobladores de Huautla y la reconstrucción histórica para conocer la problemática ambiental y el capítulo V propone una metodología para mitigar los impactos buscando restaurar al ecosistema original sobre los jales. Los capítulos II al V pudieron integrarse en una propuesta metodológica de estrategias de mitigación, incluida la restauración ecológica y sus efectos sociales. Las distintas fases de esta investigación resultan complementarias entre sí para el conocimiento y descripción del problema ambiental que implica la presencia de jales mineros, la historia minera de la zona y su relación con la población de Huautla, así como para

soportar el planteamiento de una propuesta metodológica para la solución a la problemática ambiental de los jales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahumada Mexía, R. 2017. Identificación de residuos tóxicos mineros por percepción remota y su verificación geoquímica en El Triunfo (BCS): propuesta metodológica para priorizar acciones de restauración. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S.

Alfie Cohen, Miriam. 2015. Conflictos socio-ambientales: la minería en Wirikuta y Cananea. *El Cotidiano* 191: 97-108. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. D. F., México

Amaro Flores, O.J. 2022. Conducta de exploración en la calandria dorso rayado (*Icterus pustulatus*) y su relación con la exposición a desechos de la minería metálica en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos. Tesis de Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 64pp.

Arvizu Valenzuela, L.V. 2018. El legado de la minería, el riesgo de sus residuos o jales. *Nuestra Tierra* Año 15, No. 29: 3- 6

Ávalos-Lozano, J.A., M. Aguilar-Robledo, P. Medellín-Milán y J.A. Alcalá Jáuregui. 2019. Esbozo histórico de la industria minero-metalúrgica de producción de

- plata en la Nueva España/México, Siglos XVIII y XIX. En: Aguilar Robledo, M., H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez (Eds.). La historia ambiental en México: Estudios de Caso. Universidad Autónoma de San Luis Potosí- Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades- Universidad Autónoma de Zacatecas. 55- 64pp.
- Bradshaw, A.D. 1983. The Reconstruction of ecosystems. Journal of Applied Ecology 20:1-17
- Cámara Minera de México, 2020. Informe Anual, LXXXIII Asamblea General Ordinaria. Informe de la Octagésima Tercera Asamblea General Ordinaria de la Cámara Minera de México. México. 91 p.
- Castañeda Bautista, J. A. 2016. Estudio ecotoxicológico de los jales mineros de Huautla, Morelos: El caso de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Beth. (Fabaceae). Tesis de Maestría. Centro de investigación en biodiversidad y conservación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 73pp
- Castañeda Casas, M. 2020. Reconstrucción histórica del paisaje de Tenancingo. Cuicuilco Revista de Ciencias Antropológicas 67: 263-281
- Cravioto F. 2019. La normatividad minera en México: problemas y propuestas de modificación. Nota informativa Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C. México. 19p.
- De la Cruz Guarneros, N. 2018. Efecto de la bioacumulación de metales en la población de *Liomys irroratus* (Gray 1868) que habita los jales de Huautla, Morelos: un enfoque multibiomarcadores. Centro de Investigación en

Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Disponible en <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/476>

DOF. 2004. NORMA Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. Lunes 13 de septiembre de 2004. Diario Oficial de la Federación.

Durand, L. 2000. La colonización en la Sierra de Santa Marta: perspectivas ambientales y deforestación en una región de Veracruz. Tesis de Doctorado en Antropología. Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. 199pp.

EFE. 2021. México reduce de 10,64 % a 8,59 % su territorio concesionado a la minería. Agencia EFE S.A. 3 de junio de 2021. <https://www.swissinfo.ch/spa/m%C3%A9xico-reduce-de-10-64-a-8-59-su-territorio-concesionado-a-la-miner%C3%ADa/47165084>

El Universal. 2016. Minas en México. http://archivo.eluniversal.com.mx/graficos/graficosanimados14/EU_Mineria_Mexico/

Elizondo, C., M. A. Márquez-Linares, M. L. Marín-García y P. J. Gutiérrez-Yurrita. 2016. Flora que crece naturalmente en presas de jale minero abandonadas susceptibles de ser utilizadas en reclamación, Zimapán, Hidalgo, México. *Interciencia* 41 (7): 492-498

- Esteller, M. V., E. Domínguez-Mariani, S. E. Garrido y M. Avilés. 2015. Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico. *Environmental Earth Science* 74: 2893-2906.
- Esteves Aguilar, J. 2018. Evaluación del daño genético y la inestabilidad en el desarrollo del cráneo en la especie centinela *Peromyscus melanophrys* que habita en zonas mineras. Tesis de Maestría en Biotecnología del Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.
- FAO. 2019. Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 100 pp.
- Galván Ramírez, M.A. 2020. Estructura de la comunidad de roedores silvestres asociados a jales de Huautla, Morelos. Tesis de Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos
- Gann, G.D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J.G. Hallett, C. Eisenberg, M. R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decler y K. W. Dixon. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27(S1): S1–S46

- Garrido-Hoyos, S., y L. Romero-Velázquez. 2016. Synthesis of Minerals with Iron Oxide and Hydroxide Contents as a Sorption Medium to Remove Arsenic from Water for Human Consumption. *International Journal of Environmental Research on Public Health* 13 (69): 1-9.
- Gómez López, A.N. 2023. Estado hematológico de *Turdus rufopalliatu*s asociado a la cercanía a residuos de la minería de plata en Huautla, Morelos. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 40pp
- Hipólito Esteban, J. y A. Azamar Alonso. 2022. Organización colectiva en Morelos frente a la amenaza socio-ambiental del proyecto Mina Esperanza. En: Azamar Alonso, A. e I. Téllez Ramírez (Coords.) *Minería en México; panorama social, ambiental y económico*. Medio Ambiente, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 47-63pp.
- Jarquín-Ortega, M.T. 2012. Reseña de "Historia de México" de Von Wobeser, Gisela (coord.). *Economía, Sociedad y Territorio*, XII (38): 277-292
- Juárez-Mondragón, A. 2017. Prácticas de aprovechamiento en Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) del sur de Morelos. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. 348 p.

Keeling, A. y J. Sandlos. 2009 Environmental Justice Goes Underground? Historical Notes from Canada's Northern Mining Frontier. *Environmental Justice* 2, 3: 117-125

La Jornada, 2021. Residuos mineros terminan en al menos 17 áreas naturales protegidas, advierten. 2 de diciembre de 2021. <https://www.jornada.com.mx/noticia/2021/12/02/sociedad/residuos-mineros-terminan-en-al-menos-17-areas-naturales-protegidas-advierten-8354>

León-Portilla, M., J. Gurría Lacroix, R. Moreno y E. Madero Bracho. 1978. La minería en México. Instituto de Investigaciones Históricas. Universidad Nacional Autónoma de México. 185pp.

Martín-Crespo, T., D. Gómez-Ortiz, S. Martín-Velázquez, P. Martínez-Pagán, C. de Ignacio-San José, J. Lillo y Á. Faz. 2020. Abandoned Mine Tailings Affecting Riverbed Sediments in the Cartagena–La Union District, Mediterranean Coastal Area (Spain). *Remote Sensing*, 12, 2042; 19p. doi:10.3390/rs12122042.

Martínez Becerril. 2009. Efecto de los metales pesados en jales mineros sobre la comunidad vegetal de la microcuenca de Huautla y el daño genotóxico en su herbívoro dominante *Peromyscus levipes* (Rodenta: Muridae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Querétaro. 96 pp

Martínez Pacheco, M. L. 2008. Evaluación de los efectos genotóxicos de metales presentes en el agua de bebida de la población de Huautla, Morelos. 73p.

- Meffe, G. K., C. R. Carroll, and contributors. 1994. Principles of Conservation Biology. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts. 729p
- Mena García, P., A. Ávila Artavia, A. Vargas Venegas y A. Ortega Ortega. 2022. La reconstrucción histórica como herramienta de diagnóstico: saberes y sentires desde un enfoque de comunicación. +E: Revista de Extensión Universitaria, 12(16), e0011. doi: [10.14409/extension.2022.16.Ene-Jun.e0011](https://doi.org/10.14409/extension.2022.16.Ene-Jun.e0011)
- Mendez, M.O. y Maier, R.M. 2008. Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments— An Emerging Remediation Technology. Environmental Health Perspectives 116(3): 278- 283
- Mokhtari, A. R., S. Feiznia, M. Jafari, A. Tavili, M. Javad, G. Bafghi, F. Rahmany y R. Kerry. 2018. Investigating the Role of Wind in the Dispersion of Heavy Metals Around Mines in Arid Regions (a Case Study from Kushk Pb–Zn Mine, Bafgh, Iran). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 101: 124–130.
- Mondragón Morales, R. 1986. El proceso de proletarización en la Sierra de Huautla, Morelos (1982). Tesis de licenciatura en Sociología. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. 196p.
- Moreno Unda, A.A., M.A. Robledo y J.A. Avalos Lozano. 2019. El programa nacional de desmontes en México. En: Aguilar Robledo, M., H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez. La Historia Ambiental en México: Estudios de Caso. Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 65-74pp. 117-127pp.

- Morgan, R. P. C. 2005. Soil erosion and conservation. Third Edition. Blackwell Publishing. United Kingdom. 304 pp.
- Mussali Galante, P. 2008. Estudio sobre la inducción de daño al ADN en sangre periférica de individuos expuestos a metales en el agua de bebida en la población de Huautla, Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Experimental). Posgrado en Ciencias Biológicas. Facultad de Medicina, UNAM. 74p.
- Navarro Villanueva, J.I. 2020. Materias primas fundamentales. Estrategias de la UE para reducir la actual dependencia. Energía & Minas, Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas 16: 18-27
- Núñez Rodríguez, V. R. 2016. Minería Mexicana en el capitalismo del Siglo XXI. Editorial Itaca. Ciudad de México. 254p.
- Organista Nava, C.G. 2023. Influencia de la cercanía a desechos mineros en la conducta exploratoria en *Turdus rufopalliatus* en Huautla, Morelos. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 77 pp
- Osorio, O. 2022. La Gran Minería... ¿beneficios o perjuicios? KAVILANDO 3(1/2): 39-45
- Panico, F. y C. Garibay Orozco. 2019. Minería y territorio: acercamientos teóricos al campo de la historia ambiental a través de un estudio de caso. En: Aguilar Robledo, M., H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez. La Historia Ambiental

en México: Estudios de Caso. Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 65-74pp.

Pérez Jiménez, S. 2014. Territorialidades contenciosas en México: El caso de la minería. Tesis de Maestría en Geografía, CIGA-UNAM.

POEREM. 2013. Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos. Caracterización. Nueva Visión- SEDESU- UAEM.

Reyna Rosas, E. 2014. Agua que has de beber... arsénico no debe de tener. CIENCIORAMA 304. 9p. Recuperado en: <http://www.cienciorama.unam.mx/#!/titulo/304/?agua-que-has-de-beber--arsenico-no-debe-tener>

Reyna Rosas, E. 2009. Evaluación de cambios nucleares en el epitelio bucal de individuos expuestos a metales en el agua de bebida en Huautla, Morelos. Tesis de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. 73p.

Rivera Castelo, J.A. 2009. Diseño geotécnico para estabilización del depósito de jales mineros (Presa I), en Nacozari de García, Sonora, México. Tesis de Maestría en Ciencias-Geología. Universidad de Sonora. 122pp.

Sánchez-Salazar, M. T. 2010. La estructura territorial de la minería mexicana a inicios del tercer milenio. En: Delgado, G. C. (Editor). Ecología Política de la Minería en América Latina. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. pp. 97-132.

Santoyo Martínez, M. 2016. Bioacumulación, daño genotóxico y cambios en la estructura y morfología foliar de *Acacia farnesiana* en los jales de Huautla,

- Morelos. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 63 pp.
- Santoyo Martínez, M. 2020. Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociada a los jales de Huautla, Morelos. Doctorado en Ciencias Naturales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos citado por Santana Flores 2020.
- Scatena, F.N. y E. A. Lugo. 1995. Geomorphology, disturbance, and the soil and vegetation of two subtropical wet steepland watersheds of Puerto Rico. *Geomorphology* 13: 199-213. Disponible en <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/30266>
- SEMARNAT. 2021. Integra Gobierno de México Inventario Homologado Preliminar de Presas de Jales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Actualizado el 23 de septiembre de 2021. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/integra-gobierno-de-mexico-inventario-homologado-preliminar-de-presas-de-jales>
- SER. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Society for Ecological Restoration International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. www.ser.org y Tucson. 16p.
- Simón Ruiz, I. 2010. Apuntes sobre historiografía y técnicas de investigación en la historia ambiental mexicana. DOCUMENTOS DE TRABAJO IELAT N° 16. Instituto de Estudios Latinoamericanos – Universidad de Alcalá. 30p

- Téllez Ramírez, I. 2021. La Gran Minería y la reorganización espacial del distrito minero de Frenillo, Zacatecas (1975-2018). Doctorado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 275p.
- Téllez Ramírez, I. 2022. La subcontratación laboral en el distrito minero de Fresnillo. En: minería en México: panorama social, ambiental y económico. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU). 153-165pp.
- Tetreault, D. 2020. The new extractivism in Mexico: rent redistribution and resistance to mining and petroleum activities. World Development, 126 (C). <https://ideas.repec.org/a/eee/wdevel/v126y2020ics0305750x19303638.html>.
- Tetreault, D. 2023. Mexico's mining and petroleum policies under AMLO. A turn to neoextractivism? En: Veltmeyer, H. y A. Ezquerro-Cañete (Eds.) From Extractivism to Sustainability. Scenarios and Lessons from Latin America. Routledge, Taylor & Francis Group. 53-69pp.
- Torres Martínez, H.D. 2018. Capítulo X. Perspectivas, posturas y debate historiográfico en torno a la lucha armada y experiencia de la guerrilla urbana en los años setenta en México. En: Valerio Ulloa, S. (Coord.). Historiografía. La construcción de los discursos e imágenes del pasado. Universidad de Guadalajara. 231- 287pp.

- Tovar-Sánchez, E., L.T. Cervantes, C. Martínez *et al.* 2012. Comparison of two wild rodent species as sentinels of environmental contamination by mine tailings. *Environmental Science Pollution Research* 19: 1677-1686
- Tovar-Sánchez, E., P. Mussali-Galante, M. Martínez-Pacheco, M.L. Ortiz-Hernández, E. Sánchez-Salinas y A. Olvera-Velona. 2016. Relationship between genotoxic damage and arsenic blood concentrations in individuals residing in an arsenic contaminated area in Morelos, Mexico. 2016. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32 (1): 101-117
- Treweek, J. 1999. *Ecological impact assessment*. Blackwell Science Ltd. Oxford, Reino Unido. 351p.
- Valenzuela, C. 2020. Hematocrito, morfología variante de eritrocitos y presencia de hemoparásitos en *Icterus pustulatus* y *Molothrus aeneus*: parámetros basales y relación con la proximidad de desechos mineros en Huautla, Morelos. Tesis de Biología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Biológicas.
- Young, R. E., G. D. Gann, B. Walder, J. Liu, W. Cui, V. Newton, C. R. Nelson, N. Tashe, D. Jasper, F. A. O. Silveira, P. J. Carrick, T. Hägglund, S. Carlsén, y K. Dixon Young. 2022. International principles and standards for the ecological restoration and recovery of mine sites. *Restoration Ecology* 30(S2), e13771, 47p.

**CAPÍTULO II. IDENTIFICACIÓN DE MINAS Y
JALES EN HUAUTLA, MORELOS, MÉXICO
(PUBLICADO: *INVESTIGACIONES
GEOGRÁFICAS*, 2022 DOI:
<https://doi.org/10.14350/rig.60633>)**

Identificación de minas y jales en Huautla, Morelos, México

Identification of mines and tailings in Huautla, Morelos, Mexico

Roberto Márquez Huitzil,* Cristina Martínez-Garza,** Susana Isabel Hinojosa-Espinoza*** y Valentino Sorani†

Recibido: 12/05/2022. Aprobado: 10/10/2022. Publicado: 28/11/2022.

Resumen. En México, la minería ha dejado muchos jales mineros, materiales de desecho, tóxicos e inestables que pueden ser depositados y contenidos por estructuras denominadas presas de jales. Aun así, estos materiales se encuentran a cielo abierto y pueden ser arrastrados por la lluvia o dispersados por el viento. La identificación de los jales es un punto de partida para plantear estrategias para su mitigación. En la zona de Huautla, Morelos, se abandonó abruptamente la actividad minera sin dejar un registro preciso de tales jales. El objetivo de este estudio fue identificar estos depósitos de jales y las minas abandonadas en esa zona. Para ello se revisaron documentos y cartografía, se llevó a cabo una fotointerpretación y una clasificación de imágenes de percepción remota, así como visitas al campo y consultas a los pobladores. De esta forma se localizaron 19 minas, cinco sitios conocidos como depósitos de jales, tres contenidos por presas de jales (dos en Los Molinos y uno en Las Presas) y dos sin contención (Tlalchichilpa y Huautla). Adicionalmente, se encontraron doce depósitos potenciales de jales. La combinación de estas estrategias resultó ser la más adecuada para identificar los jales y describir sus cambios a través del tiempo.

Palabras clave: jales, minería, sistemas de información geográfica (SIG), impacto ambiental, selva estacional.

Abstract. In Mexico, mining has left many mine tailings, toxic and unstable waste materials that can be deposited and contained by structures called tailings dams. Even so, these materials are found in the open pit and can be washed away by rain or dispersed by the wind. The identification of tailings is a starting point for developing mitigation strategies. In the area of Huautla, Morelos, mining activity was abruptly abandoned without leaving an accurate record of such tailings. The objective of this study was to identify these tailings deposits and abandoned mines in that area. To this end, documents and cartography were reviewed, photo-interpretation and classification of remote sensing images were carried out, as well as field visits and consultations with local people. In this way, 19 mines were located, five sites known as tailings deposits, three contained by tailings dams (two in Los Molinos and one in Las Presas) and two without containment (Tlalchichilpa and Huautla). In addition, twelve potential tailings deposits were found.

*Centro de Investigaciones en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001, Colonia Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8947-5253>. Email: huitzil.r@gmail.com Autor de correspondencia

** Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001, Colonia Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9310-564X> Email: cristina.martinez@uaem.mx

*** Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Blvd. Durango S/N Col. Valle del Sur C.P. 34120 Durango, Durango, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6786-6624>. Email: susanahinojosa.28@gmail.com

† Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001, Colonia Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7431-1894>. Email: vsorani@yahoo.com.mx

The combination of these strategies proved to be the most adequate to identify the jales and describe their changes through time.

Keywords: tailings, geographic information systems (GIS), environmental impact, seasonal rainforest.

INTRODUCCIÓN

La minería moderna remueve y extrae millones de toneladas de materiales (Sipriano, 2016). Las zonas de extracción, infraestructura y depósito de desechos mineros (jales) afectan amplias superficies de los ecosistemas (ASGMI, 2010). La causa es la regulación legal lenta e insuficiente de la minería, que afectan a la sociedad y la economía (Pérez, 2014). Adicionalmente, la cuantificación de las afectaciones es imprecisa, ya que gran parte de las actividades mineras fueron generadas antes de la regulación (ASGMI, 2010).

Entre las principales afectaciones se encuentra la generación de materiales no útiles para la minería (jales), generados al separar y concentrar los minerales, acumulándose en miles de millones de toneladas (Reyes, 2014). Para generar de 200 a 250 gr de plata o 1 gr de oro se requiere extraer una tonelada de roca, procesando 200 a 1200 toneladas por día (Manzanares *et al.*, 2005). Al terminar la minería, los jales, minas, zonas de beneficio e infraestructura abandonados constituyen serias amenazas ambientales (Aparicio y Hernández, 2017).

Desde 2004, la legislación estableció criterios para sitios donde se construyeran presas de jales (SEMARNAT, 2013; Reyes, 2014). Estos están definidos en la NOM-141-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004) y consideran características biofísicas del sitio y el potencial de daño por la construcción de la presa de jales. También consideran la preparación del sitio, elaboración del proyecto, construcción-operación y posoperación de las presas y su monitoreo (SEMARNAT, 2004). La norma sugiere que las presas de jales pueden ocupar terrenos forestales y cauces naturales si tienen la autorización correspondiente, olvidando la fragilidad de estos sitios por el arrastre de materiales y la biodiversidad. Además, existen miles de depósitos clandestinos y previos a la NOM que incumplen

esta normatividad (Rivera, 2009). Entre otros, hay ejemplos de roturas de estas presas que afectan a los ecosistemas y la sociedad como en Tlalpujahua, Michoacán en 1937 (Sánchez-Núñez *et al.*, 2015) o en Buenavista del Cobre contaminando al río Sonora en 2014 (Luque *et al.*, 2019). Así mismo, los jales interactúan con fenómenos meteorológicos que favorecen la dispersión de partículas y sustancias tóxicas y amenazan con su movimiento en masa (Sánchez-Núñez *et al.*, 2015; Luque *et al.*, 2019).

En México, la minería existe desde la conquista. La población Real de minas de San Francisco de Huautla en Morelos se fundó en 1570 después de descubrir plata entre 1531-1558 (Valle, 1991). Para el siglo XVIII se explotaban cinco minas en la zona: Tlalchichilpa, San Francisco, Santa Ana, Peregrina y Santiago, extrayendo hasta 60 kg de plata (Ag) por tonelada de roca (Valle, 1991; Mac Gregor, 1992; Nieto, 1997).

La minería en Huautla tuvo períodos de activación y cierre, extrayendo principalmente plata (Mac Gregor, 1992; Nieto, 1997). Inicialmente fue rudimentaria, pudiéndose conocer solo por vestigios (tiros, obras secundarias, fortificaciones) (Nieto, 1997). En el siglo XX se dio una dinámica minera más documentada, como se describirá posteriormente. Hoy la actividad está restringida al encontrarse dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (POEREM, 2013). A pesar del decreto, existen 13 concesiones mineras vigentes en la zona (Tabla 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio abarcó las minas del antiguo distrito minero de Huautla, Morelos. Los métodos y herramientas utilizadas fueron los siguientes:

Revisión documental y compilación de información georreferenciada

Se consultó información documental y cartográfica de la zona. Las geolocalizaciones de minas y jales se integraron en un geodatabase y fueron cartografiadas, delimitando una zona de estudio. Esta información ayudó a reconstruir históricamente la

Tabla 1. Concesiones mineras vigentes en la zona de Huautla (Fuente: CartoMinMex, 2022).

TÍTULO	FECHA DE SOLICITUD	SUPERFICIE (ha.)
224842	2/15/2005	197
225260	01/09/2005	45
225261	4/12/2005	60
225403	2/20/2005	1367.45
227720	1/27/2005	423
227721	1/27/2005	574
229315	9/21/2006	46.16
231601	07/11/2007	456.72
231968	11/08/2007	4365.58
233116	5/18/2008	50
		7584.91

minería y su dinámica en la zona, complementada por las otras fuentes de información.

Descripción y análisis de imágenes

Se describieron y analizaron imágenes obtenidas por percepción remota, antiguas y recientes, con el programa Qgis. Una secuencia de tres tiempos fue obtenida con estas imágenes: i) etapa activa utilizando dos fotografías aéreas blanco y negro de 1970 de INEGI, 014_0190 de la línea de vuelo 62 y 033_0163 de la línea de vuelo 61, resolución 0.54 m con cuatro bandas; ii) etapa inmediata al abandono de minería, utilizando la Ortofoto digital E14A79c blanco y negro de 1995, resolución de 2 m con una banda (INEGI 1995); y iii) etapa actual, analizando una escena del mapa satelital a color, resolución de 0.5 m con tres bandas.

Las imágenes se analizaron mediante fotointerpretación (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006) y dos métodos de clasificación de imágenes. En las imágenes se identificaron polígonos con características como suelo desnudo, tonalidad, textura y falta de vegetación semejantes a los jales conocidos, clasificándolos como jales potenciales; en la imagen de 2021 se identificaron también áreas con vegetación dispersa, cárcavas y apilamientos irregulares. Esto

elementos también fueron verificados en campo. Los cambios superficiales en los jales conocidos fueron analizados y comparados entre tiempos. Estas características fueron un criterio de confirmación de jales potenciales.

Los métodos de clasificación aplicados fueron dos: clasificación no supervisada (CNS) y análisis de imágenes basado en objetos (OBIA, por sus siglas en inglés), utilizando 11 clases. En la CNS el método organiza los píxeles automáticamente en el número de clases que defina el usuario (Díaz *et al.*, 2014). Mientras que el OBIA organiza los elementos por objetos (Hinojosa *et al.*, 2021), requiriendo de categorías definidas por el usuario. Las categorías propuestas para el OBIA fueron: 1) caminos de terracería, 2) construcción, 3) cuerpo de agua, 4) cultivo, 5) desplazamiento de jales, 6) suelo desnudo, 7) materiales dentro de la presa de jales, 8) vegetación asociada al jal, 9) selva baja caducifolia densa, 10) vegetación secundaria de selva baja caducifolia y 11) selva baja caducifolia. Las categorías asignadas por el OBIA a los jales conocidos y minas fueron otro criterio de confirmación de jales potenciales. Ambas clasificaciones se realizaron con programas libres, Orfeo Toolbox y Qgis.

El valor de similitud de Jaccard (SJ) se utilizó para comparar las categorías entre minas, jales conocidos y jales potenciales confirmados, mediante la fórmula (Jongman *et al.*, 1997):

$$SJ = \frac{c}{A + B - c}$$

donde c es el número de clases compartidas y A y B son el número total de clases para los polígonos (y).

Consulta con habitantes, representantes ejidales y verificación de campo

Se realizaron aproximadamente seis recorridos de campo. Uno acompañados por los representantes del comisariado ejidal de Huautla. Adicionalmente, extrabajadores de la mina y otros pobladores de Huautla compartieron sus conocimientos.

RESULTADOS

Compilación de información georreferenciada

Fueron consultadas cartas topográficas a escala 1:50 000 de INEGI (1987, 1995, 1997, 2009, 2015) y del Servicio Geológico Mexicano (SGM) (Salinas y García, 2010) e información documental. En total se encontraron 20 minas en la zona: La Pinta, La Fortuna, La Nueva Peregrina, La Unión, La Pabellonera, Rancho Viejo I, La Reforma, La Plomosa, Tlalchichilpa, El Seco, El Aguacate, San Pedro, San Pedro I, El Aguacate, Xochipala, Xochipala I (Salinas y García, 2010), la Mina Santiago (El Portón o El Clarín) (Farfán, 2019), La Peregrina, San Francisco (Cuatro Ases o La Chistorra) (Nieto, 1997) y Pájaro Verde (Mussali, 2008; Martínez, 2008; Garrido-Hoyos y Romero-Velázquez, 2016).

Las presas de jales son Huautla I, II y III (Salinas y García, 2010) que, en la literatura, corresponden a El Portón (Huautla II y III); el depósito de jales más antiguo es Tlalchichilpa (De la Cruz, 2018; Esteves, 2018; Téllez y Sánchez, 2018; Valenzuela, 2020; Galván, 2020; Maldonado 2020; López, 2021). Huautla II y III, localmente se denominan Los Molinos, y Huautla I es Las Presas. La zona de estudio tuvo una superficie de 2028.71ha (Figuras 1 y 2).

La reconstrucción histórica de la minería se presenta en el Cuadro 1. Esta actividad tuvo momentos de cierre y reactivación. La minería fue considerada mediana por su comunicación entre minas; una planta de beneficio que obtenía un concentrado para la fundición; aproximadamente 300 empleados (Torres, comunicación personal,

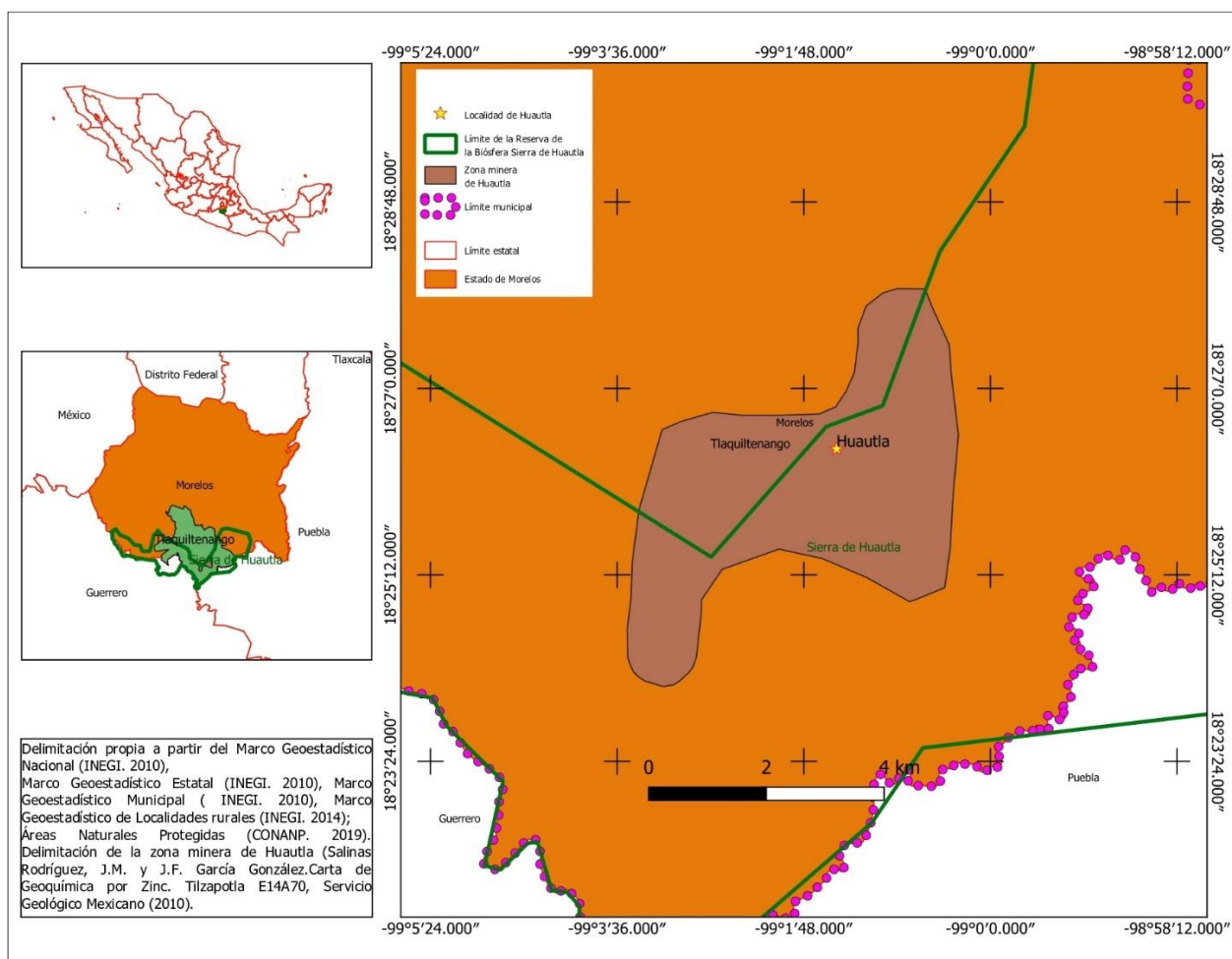


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

1990, como se citó en Valle, 1991; Morán, Alcocer y Palacios, comunicación personal, 2022); producía entre 500 y 600 g/t de plata mediante el sistema de flotación (Valle, 1991; Palacios, comunicación personal, 2022), luego, 450g/t (Mac Gregor, 1992; Nieto, 1997). La planta de beneficio procesaba hasta 300 t diarias de rocas (Valle, 1991). Otros minerales obtenidos eran cuarzo amatista, plomo (Pb), Zinc (Zn) y trazas de oro (Au) (Nieto, 1997). A principios de los años 1990, el descenso en el precio mundial de la plata y la mala administración, provocaron la quiebra de la empresa (A. Palacios, M. Alcocer, comunicación personal, 2022).

Descripción y análisis de imágenes

La fotointerpretación permitió reconocer eventos en la zona. También se identificó infraestructu-

ra de beneficio de minerales en Los Molinos y construcciones en la exHacienda Tlalchichilpa, así como tolvas en mina San Francisco cerca de la Peregrina (Figura 3a-c). La cobertura vegetal escasa o nula en sitios afectados por la minería, especialmente en jales y, en lluvias, la vegetación sólo se incrementa en zonas conservadas. En los depósitos más antiguos, Tlalchichilpa y en Huautla (depósito presentado por el comisario ejidal), la vegetación impidió reconocerlos. Se detectaron cambios en el recubrimiento vegetal, en la estructura de las presas de jales (Los Molinos y Las Presas) y el sitio de beneficio de minerales (Los Molinos).

Los jales presentaron cambios considerables a través del tiempo. En la imagen de 1970, una presa en los Molinos (Huautla I) se encuentran comple-

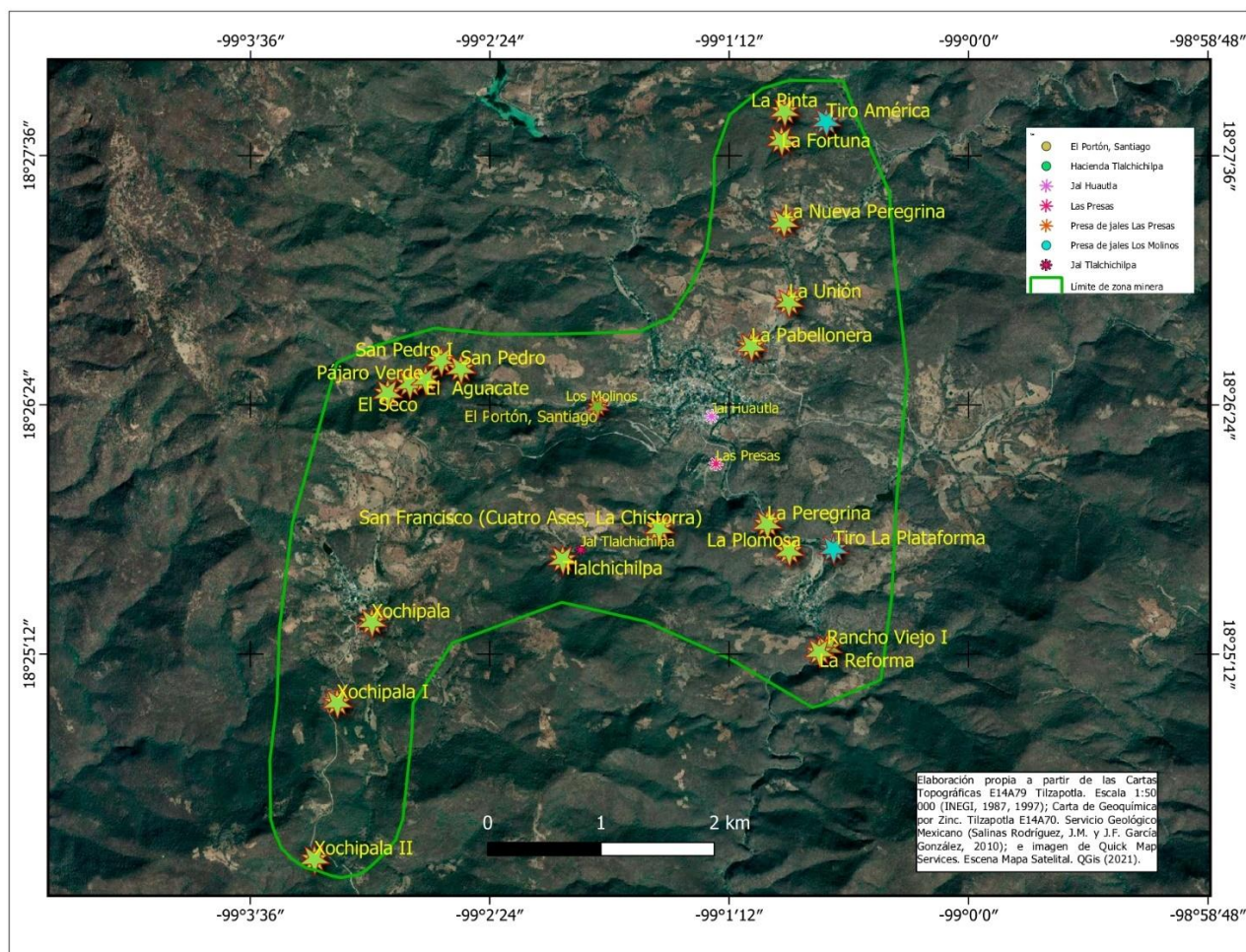
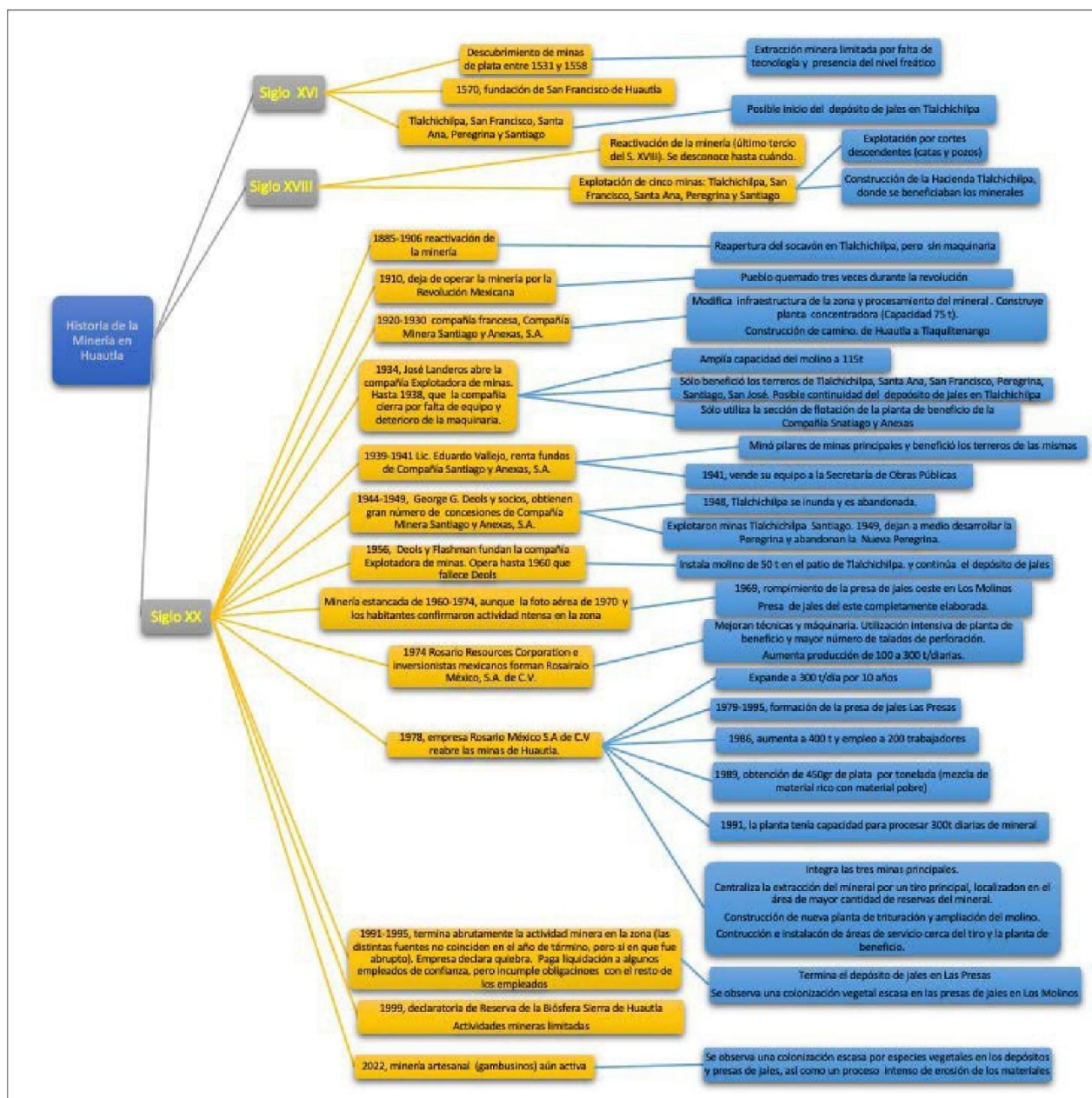


Figura 2. Jales y minas reportados en la literatura en la zona de Huautla, Morelos con la delimitación de la zona de estudio.

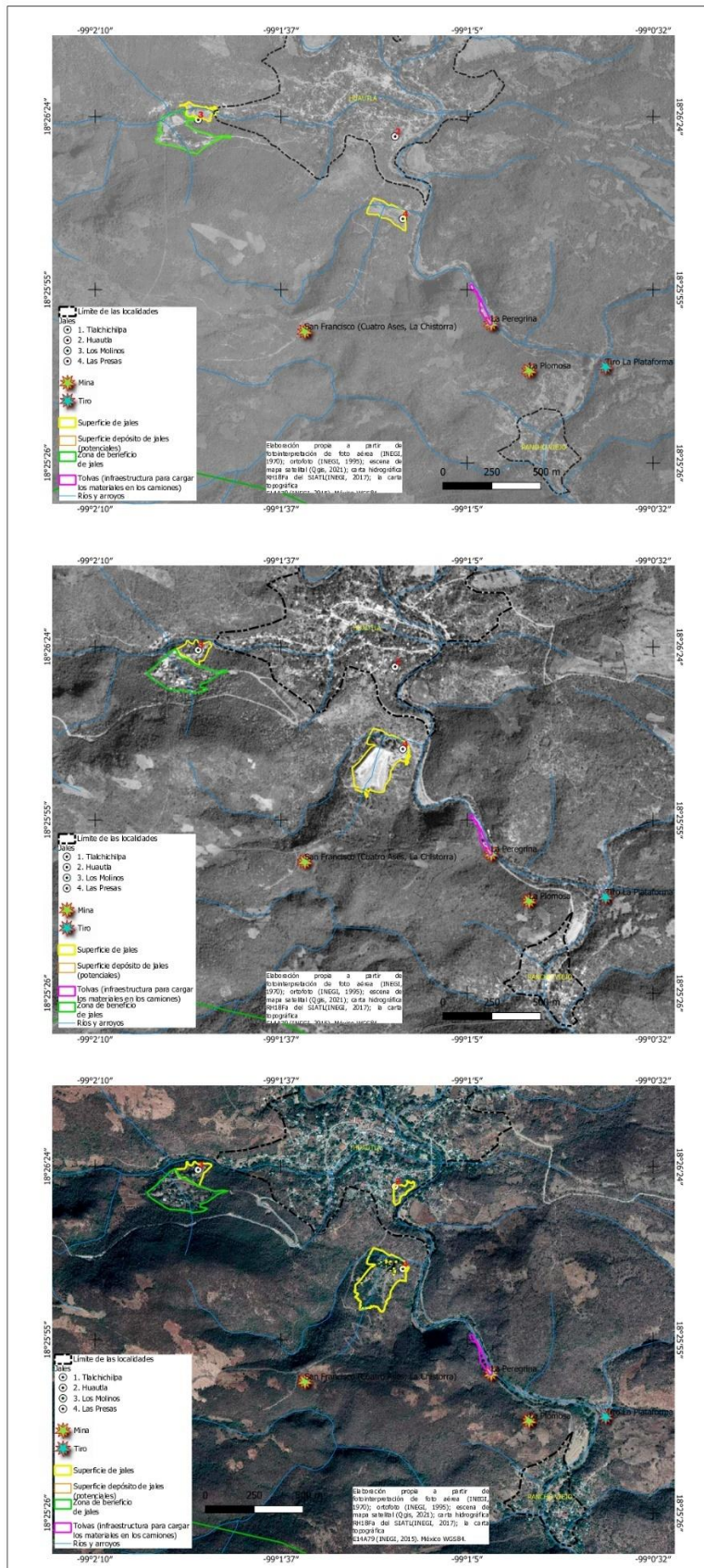
Cuadro 1. Reconstrucción histórica de la actividad minera.

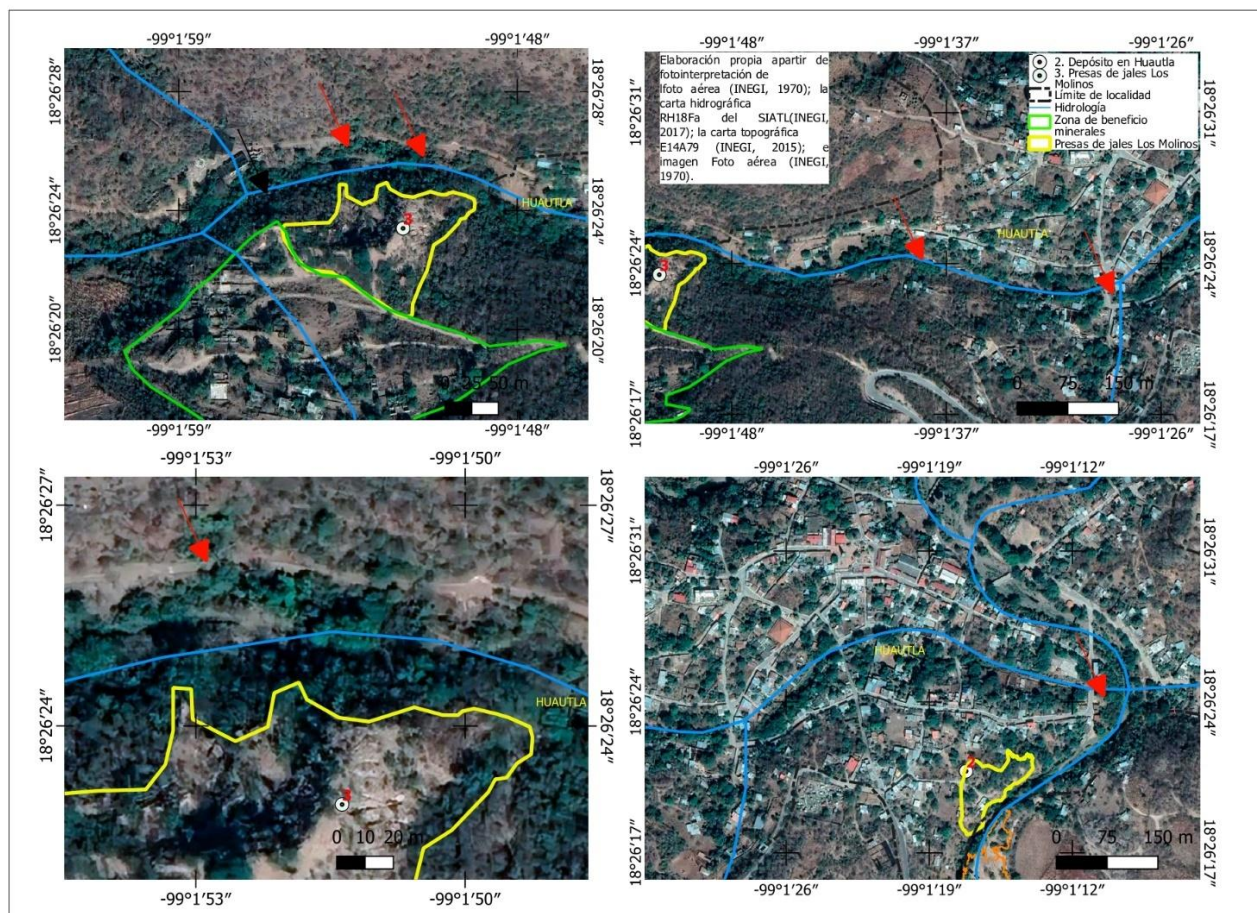


Nota: aunque incluye la dinámica de las minas principales y de los sitios de beneficio, la información consultada no describe la formación de presas y depósitos de jales. Fuente: Valle, 1991; Mac Gregor 1992; Nieto, 1997; Sánchez, 2002.

tamente formadas y la presa izquierda (Huautila II) está rota en la parte central con los jales esparcidos sobre el río y hay materiales de reserva (Figura 4); en Las Presas se inicia la formación de la presa de jales (Figura 4a). Los depósitos Huautila y Tlalchichilpa no se aprecian en las imágenes. En 1995, la presa de jales Las Presas está completamente formada (Fi-

gura 5b); Los Molinos presentan un recubrimiento vegetal, desapareciendo los materiales de reserva cercanos. En 2021 se observó erosión intensa y vegetación escasa sobre ambas presas (Figura 6, 7, 8). Al comparar imágenes recientes de Google Earth, la vegetación sobre los jales es escasa en época de lluvias y secas (Figura 8).





Nota: la línea azul de la capa hidrológica no empata con la foto aérea, utilícese sólo como referencia del cauce. Fuente: INEGI (1970).

Figura 4. Imágenes de 1970 de la zona de beneficio Los Molinos, la rotura de la presa de jales y el arrastre de materiales. a. Zona de beneficio de minerales (flechas rojas para presas de jales y flecha negra para materiales de reserva); b. presa de jales rota y dispersión de jales (flecha roja); c. arrastre de jales por el río (flechas rojas); d. arrastre de los jales al río principal, la flecha roja indica la combinación de ambos ríos cambiando la tonalidad.

La clasificación no supervisada (CNS) solo pudo aplicarse a la ortofoto (1995) (Figura 9) y la escena del mapa satelital (2021) (Figuras 10). En la ortofoto, el programa asignó la clase 11 a área sin vegetación (jales, minas, carreteras, brechas y construcciones). En el mapa satelital la clase 2 fue asignada a jales, sitios en la población de Huautla, tierras de cultivo, construcciones, terracería y carreteras; las clases 8-10 para la vegetación sobre los jales en Las Presas, Los Molinos y Huautla, en Tlalchichilpa no se presentó esta relación (Figura 10). La clasificación no supervisada agrupó a los jales con otros elementos perturbados y sin vegetación en las imágenes.

El OBIA realizó una clasificación pobre de los elementos en la fotografía aérea (Figura 11). OBIA solo asignó correctamente las clases desplazamiento de jales y suelo desnudo a las presas de jales, algunos sitios con suelo expuesto sobre el cauce del río desde Los Molinos hasta la mina Peregrina, áreas sin vegetación o con vegetación muy escasa, cultivos y pastizales. La clase suelo desnudo se asignó a sitios sin vegetación, como construcciones, carreteras o caminos de terracería. Vegetación asociada al jal fue asignada incorrectamente a zonas con vegetación escasa sin jales. El OBIA clasificó adecuadamente algunos elementos dentro de la foto aérea, incluidos los jales,

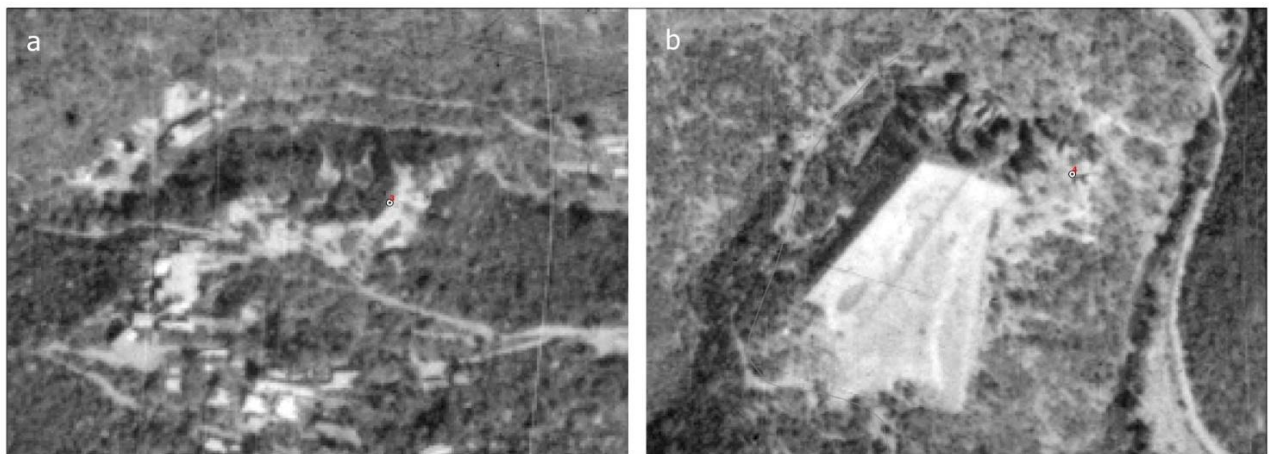


Figura 5. Presas de jales en 1995. a. Los Molinos; b. Las Presas. Obsérvese que las presas de Los Molinos están recubiertas de vegetación. Fuente: INEGI (1995).



Figura 6. Formación de cárcavas en presas de jales (flechas rojas) y escasa vegetación. a. Los Molinos; b. Las Presas con extracción de jales (flecha amarilla). Fuente: Qgis (2021).



Figura 7. Evidencias de erosión de las presas de jales. a. Cárcavas inmensas; b. exhumación de raíces. Fotos: Roberto Márquez Huitzil, 2021.



Figura 8. Zona de beneficio de minerales y presas de jales en Los Molinos, a. Época de lluvias; b. Época de secas. Obsérvese que los sitios desprovistos de vegetación en la parte inferior del cerro corresponden a los jales. Fuente: Google Earth (2021).

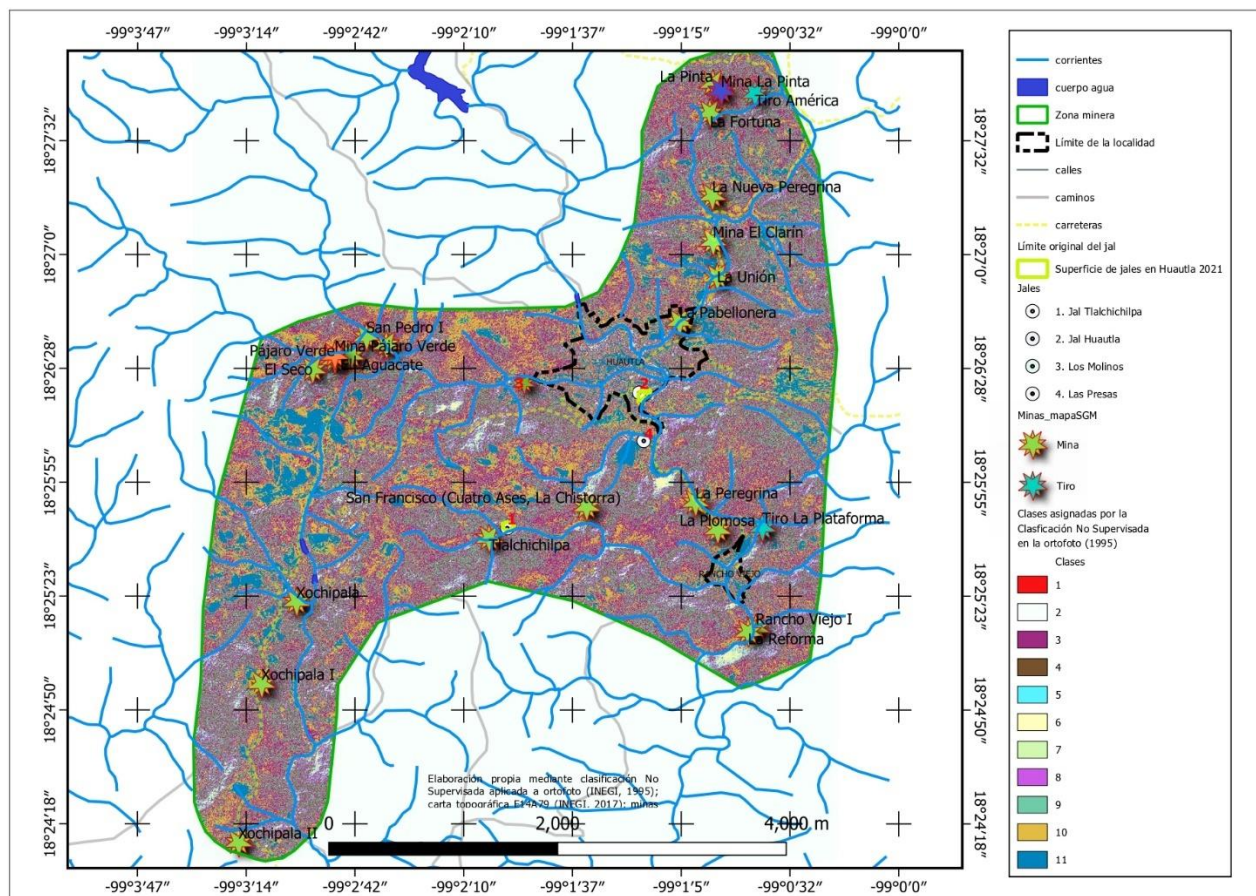


Figura 9. Clasificación no supervisada (CNS) de la ortofoto (INEGI, 1995). Los números en la leyenda corresponden a las clases asignadas automáticamente por el análisis tomando como base las características de cada pixel en la imagen.

pero la clasificación del resto de los elementos fue confusa.

En la ortofoto (1995), el OBIA realizó una mejor clasificación, asignando siete de once clases (Figura 12). La clase selva baja caducifolia se asignó a la parte noroeste, la porción sur de la imagen y la periferia de Huautla, sin diferenciar los elementos que la forman. La clase vegetación asociada al jal fue asignada a los jales en Los Molinos y Las Presas, a las minas La Pabellonera y Tiro América, las minas restantes fueron clasificadas como selva baja caducifolia. La categoría suelo desnudo se asignó adecuadamente en la imagen.

El OBIA asignó ocho de las once clases en la escena del mapa satelital, pero de manera más adecuada (Figuras 13). A los jales sin cobertura vegetal, el OBIA les asignó la clase materiales den-

tro de la presa de jal en Las Presas y Los Molinos. Vegetación secundaria de selva baja caducifolia se asignó a la vegetación sobre las presas de jales en Las Presas y en Los Molinos, así como vegetación asociada al jal aunque también a algunas áreas fuera de los jales. Alrededor de las presas de jales se asignaron las clases selva baja caducifolia, selva baja caducifolia densa y vegetación secundaria de selva baja caducifolia. En parte de la población de Huautla se asignó materiales dentro de la presa de jal, selva baja caducifolia y vegetación asociada al jal. las clases vegetación asociada al jal, selva baja caducifolia y selva baja caducifolia densa fueron asignadas a las minas La Unión, La Fortuna (Tiro América), Peregrina (La Plomosa); el resto de las minas no presentaron esta relación. El OBIA clasificó de manera más adecuada los elementos

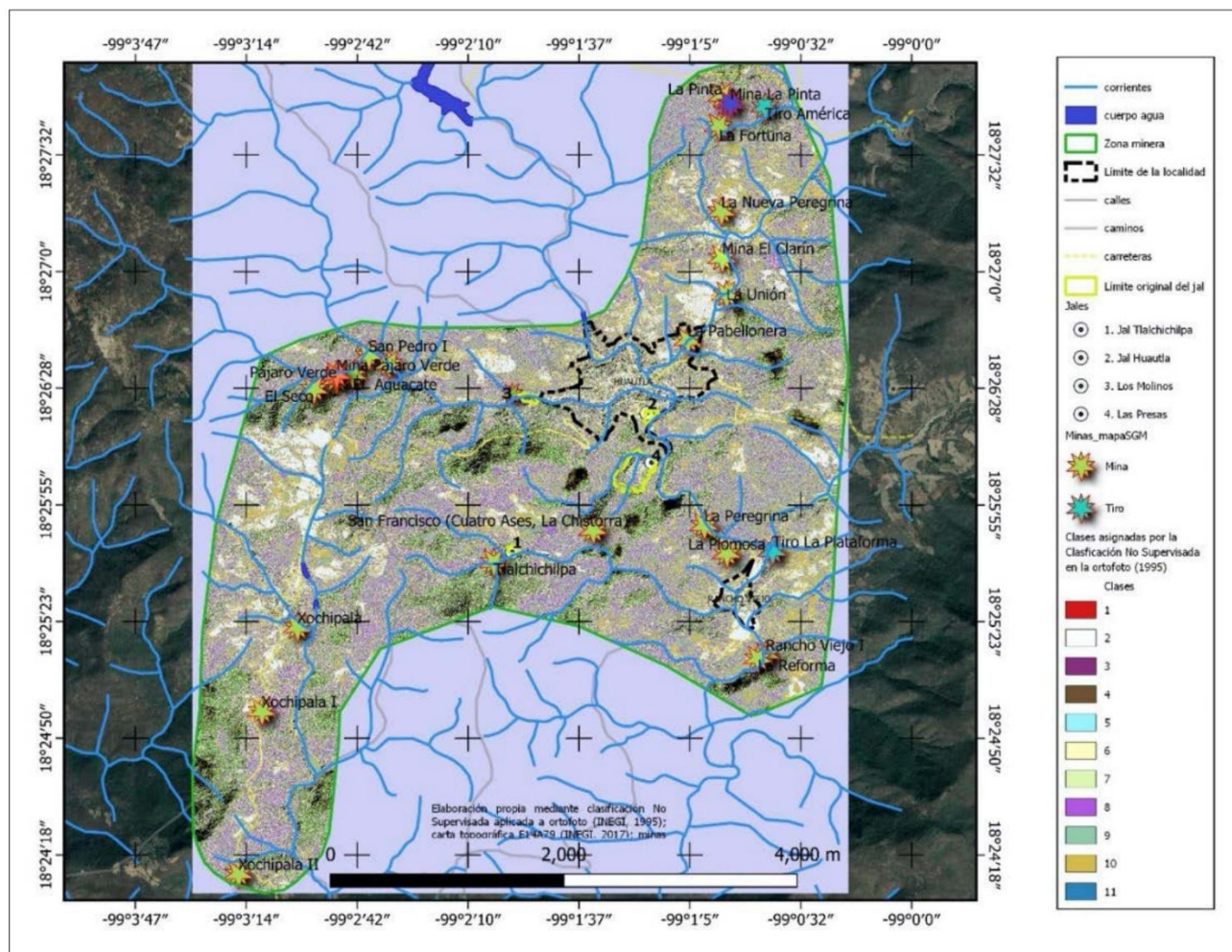


Figura 10. Clasificación no supervisada (CNS) de la escena del mapa satelital (Qgis, 2021). Los números en la leyenda corresponden a las clases asignadas automáticamente por el análisis tomando como base las características de cada pixel en la imagen.

en la escena del mapa satelital, principalmente los jales.

Al realizar la segmentación en el OBIA se identificaron 294 polígonos como jales potenciales de las imágenes de 1970 y 1995. La fotointerpretación permitió descartar 198 polígonos con características distintas a los jales conocidos a través del tiempo (Tabla 2). Los jales conocidos presentaron en común al menos las clases materiales dentro de la presa de jales, vegetación asociada al jal, vegetación secundaria de selva baja caducifolia y selva baja caducifolia, por lo que eliminamos los jales potenciales sin estas clases.

El valor de similitud se obtuvo para 24 jales potenciales restantes (11 identificados en la fo-

tografía aérea y 13 en la ortofoto). Los valores de similitud máximos se presentaron entre las minas, minas con jales conocidos y potenciales, pero no entre jales conocidos y potenciales. El valor entre jales en Huautla y Las Presas fue de 0.67, entre Huautla y Los Molinos de 0.88, entre los jales de Molinos y Las Presas de 0.85 (Tabla 2). Los jales en Huautla presentaron mayor similitud (1) con nueve minas, Las Presas con las minas Peregrina, Xochipala y Santiago (1); Los Molinos (0.83) con las minas Xochipala, Santiago y Peregrina. El número de jales potenciales se redujo al comparar los Valores de Similitud con jales y minas. Los jales potenciales presentaron mayor similitud con al menos uno de los jales conocidos o con una mina.

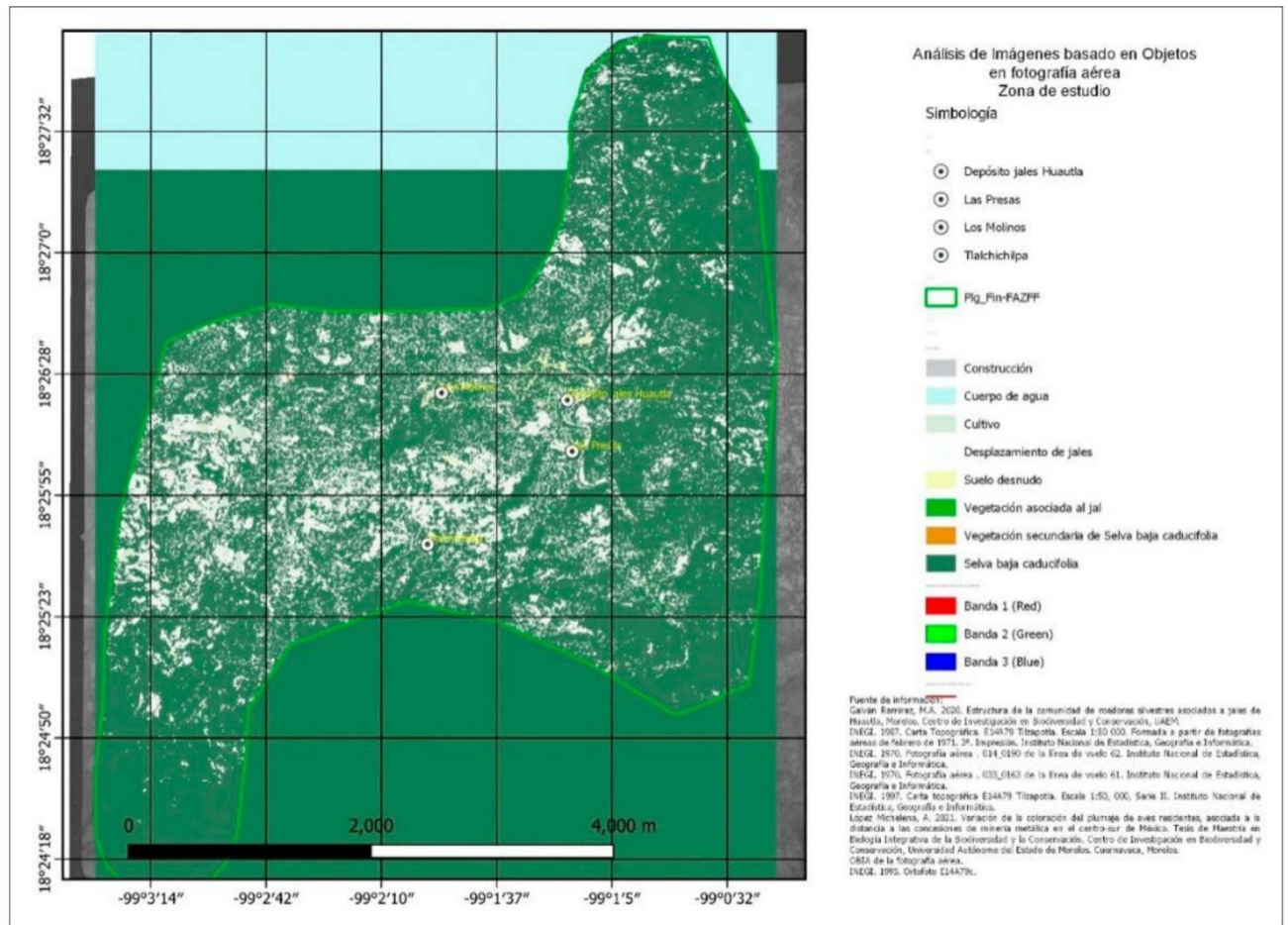


Figura 11. OBIA de la escena de la foto aérea para la zona de estudio. Fuente: INEGI (1970).

Los jales en Huautla presentaron máxima similitud con los jales potenciales 4 y 8 de la foto aérea y, 12, 26 y 36 de la ortofoto; Los Molinos presentó similitud con el jal potencial 70 de la ortofoto; Las Presas tuvo máxima similitud con los jales 1, 9 y 16 de la foto aérea.

Consulta con habitantes, representantes ejidales y verificación de campo

En los recorridos de campo se verificaron los jales conocidos, y se encontró un depósito de jales en Huautla que no había sido previamente reportado. Dicho jal fue identificado en las clasificaciones de imágenes y presentado por las autoridades ejidales. También se verificaron jales potenciales en zona de depositación en los ríos. Los jales en Tlalchichilpa fueron verificados, aunque eran desconocidos para las autoridades ejidales.

DISCUSIÓN

El uso de distintas fuentes de información resultó trascendente para la presente investigación. La integración de distintas fuentes clarificó el entendimiento de la dinámica minera y sus impactos en la zona (Cuadro 1). Distintas fuentes de información permiten identificar los cambios a través del tiempo, complementándose entre sí (Erice, 2010; SEMARNAT, 2013).

Compilación de información georreferenciada

Algunas investigaciones, narraciones históricas, tesis, reportes técnicos, entre otros, mencionan la localización y georreferencia de minas, jales e infraestructura, mencionan su origen y describen su dinámica a través del tiempo (Valle, 1991; Nieto, 1997; Esteller, 2015; Barats *et al.*, 2016). Otra parte de la literatura se enfocó a los impactos ambien-

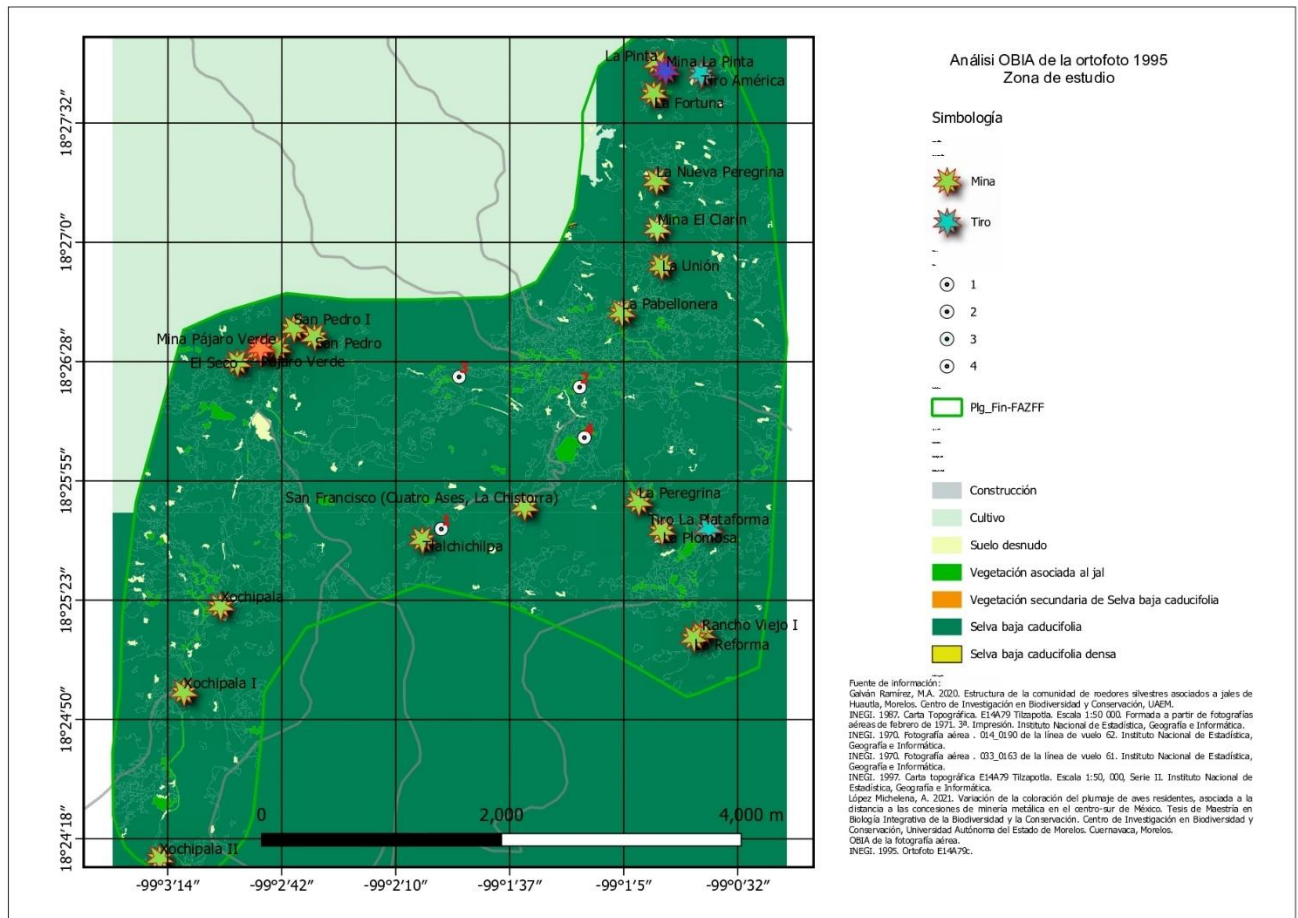


Figura 12. OBIA de la escena de la ortofoto para la zona de estudio. Fuente: INEGI (1995).

tales y ecológicos generados por los jales mineros (Tovar-Sánchez, 2012; De la Cruz, 2018; Esteves, 2018; Farfán, 2019; Galván, 2020) (Cuadro 1). La información documental es un punto de partida para cuantificar los impactos mineros y planificar su mitigación (Kussmaul, 1989; Márquez-Huitzil, 2005). Dependiendo del tipo de documento consultado es la perspectiva que nos ofrece acerca de esta actividad.

Descripción y análisis de imágenes

El reconocimiento visual permitió detectar objetos, características o fenómenos sin estar físicamente en el sitio (Dwivedi, 2019). Este análisis también puede permitir la identificación de eventos pasados no documentados, como el derrame de la presa de Jales y su dispersión a través de los cuerpos de agua o los cambios y afectaciones a las presas de Jales por el paso del tiempo, pudiendo inferir el

arrastré de miles de toneladas de jales. Los jales depositados al aire libre y no encontrarse estabilizados son arrastrados hacia los cauces (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006; Rivera, 2009). En Huautla, ocurre con los jales depositados al borde del Arroyo Chico, unido a los arroyos Juchitlán, Salitre y Atlipa, para formar el Arroyo Grande que desemboca al río Amacuzac (Santoyo *et al.*, 2020) (Figura 14). Existen antecedentes en el país sobre derrames de presas de jales como el Herrero de la Bufa, Durango o Buenavista del cobre, Sonora (Aparicio y Hernández, 2017; Luque *et al.*, 2019). La fotointerpretación también permitió observar cambios en los materiales de reserva y la morfología de las presas de jales en Los Molinos, entre 1970 y 1995. El uso de imágenes históricas de Google Earth también permitió identificar la ausencia de cambios en la vegetación asociada a los jales, entre estaciones y entre años, en una zona caracterizada

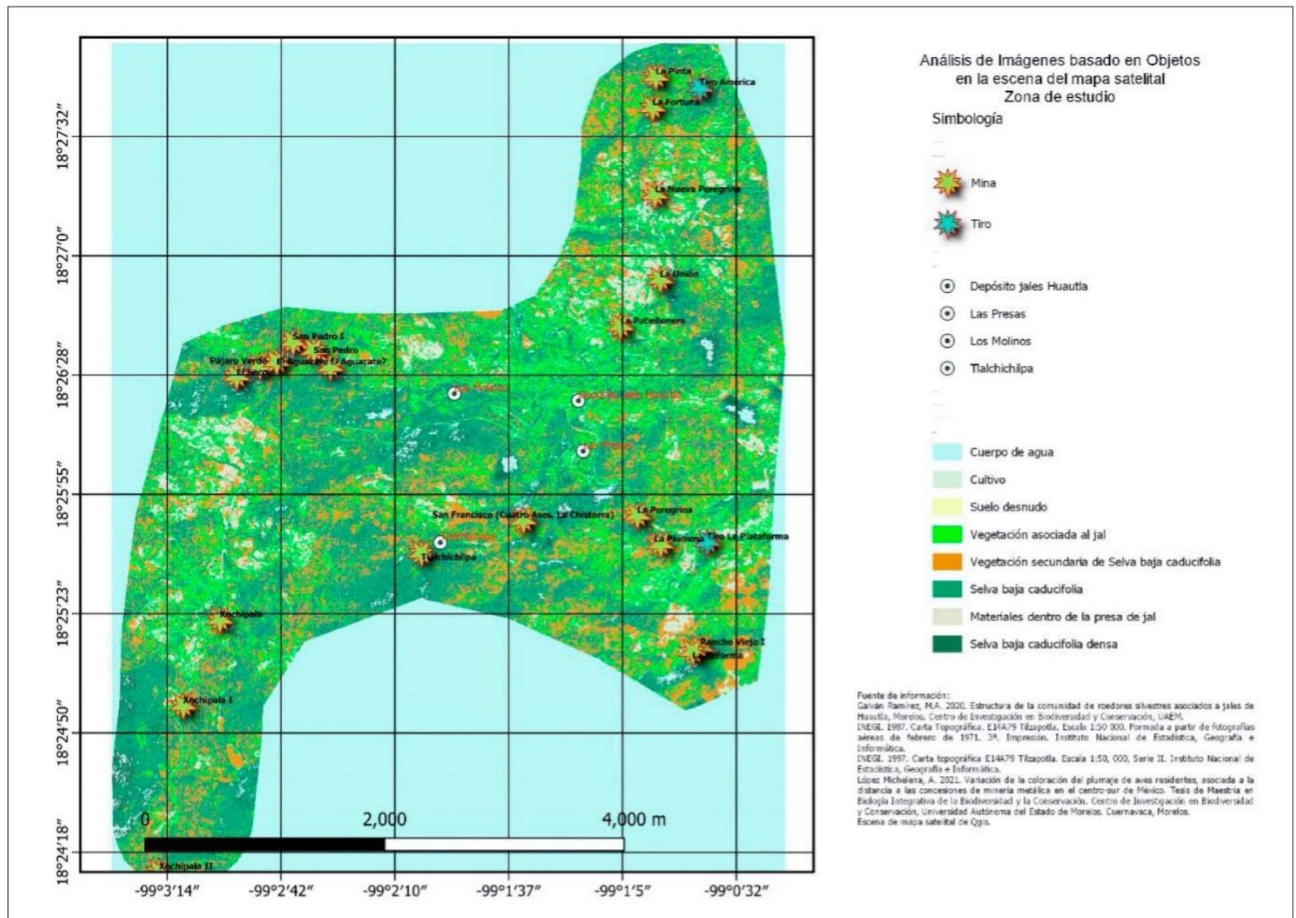


Figura 13. OBIA de la escena del mapa satelital para la zona de estudio.

por cambios contrastantes en la vegetación de selva estacional. La fotointerpretación de imágenes ayuda a caracterizar y valorar áreas afectadas por las actividades humanas, sus relaciones y patrones espaciales (Manzanares, 2005; Charou *et al.*, 2010; ELAW, 2010; Posada *et al.*, 2012; Salazar, 2016).

Las clasificaciones de imágenes por píxeles o por objetos complementan el conocimiento de los procesos y características relacionadas con la minería. La clasificación de las ortofotos y mapas satelitales permitió obtener resultados satisfactorios, a pesar de no contar con las características de las imágenes de satélite o de las imágenes VANT (Vuelos Aéreos No Tripulados) utilizadas comúnmente para estos análisis (De Luca *et al.*, 2019, Hinojosa *et al.*, 2021, Dervisoglu *et al.*, 2020). Las técnicas simples e intuitivas aplicadas directamente a una gran base de datos de píxeles como las imágenes de percepción

remota pueden ser limitadas al no lograr agrupar datos de muy alta dimensión (Olaode *et al.*, 2014). Sin embargo, en imágenes de satélite como Sentinel o Landsat de resolución de 10 o 15m no se aprecian adecuadamente los jales de esta zona. La clasificación de distintos tipos de imágenes permitió resaltar características de la vegetación asociada a los jales y otros sitios desnudos, como la ausencia de una sucesión vegetal. Las imágenes de percepción remota utilizadas en este estudio, su accesibilidad, secuencia temporal y alta resolución, permitieron generar un método accesible que brindara un panorama de la minería durante e inmediatamente al término de las actividades mineras, extrapolable a otros estudios. Entendiendo que, a pesar de que la resolución, la precisión al clasificarlas varía dependiendo del tipo de la imagen y el método de clasificación utilizado.

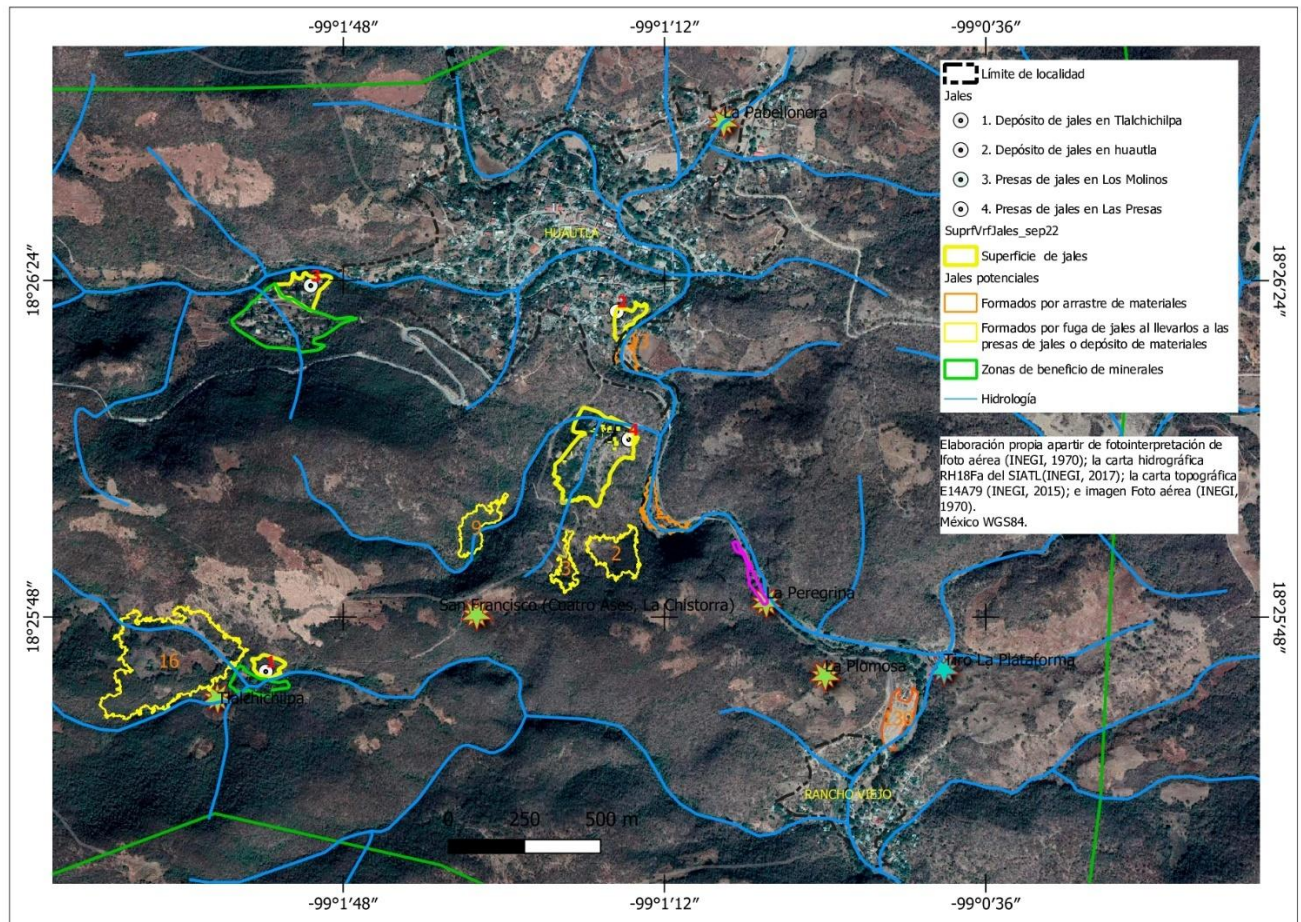


Figura 14. Distribución de los jales, jales potenciales formados por el arrastre de suelo, respecto a los ríos y arroyos en la zona, así como su distancia respecto a los asentamientos humanos en Huautla y Rancho viejo.

Lo que parecerían imprecisiones en la clasificación de imágenes al agrupar elementos como los jales y los suelos desnudo en la misma categoría, pudo explicarse con las otras fuentes de información. Entender los procesos a nivel de paisaje, la revisión documental y la comunicación con los pobladores permitió encontrar otras respuestas. Algunas explicaciones son el transporte de materiales desde las minas hacia la zona de beneficio de minerales durante la explotación minera, la manipulación fuera de algunas minas, el arrastre de los por erosión desde las zonas de depósito o las presas (Nieto, 1997; Aguirre-Salgado *et al.*, 2017), ya que se trata de tecnosuelos (Rossiter, 2007) o la conducción de los jales en forma de lodos por tuberías con fugas desde Los Molinos hacia Las Presas (P. Abarca, R. Palacios, comunicación personal, 2021);

o bien el uso local de jales para el relleno de cárcavas, el mantenimiento y nivelación de carreteras (Kiere, comunicación personal, 2021), el uso en la construcción de viviendas o el asentamiento de viviendas o las evidencias de extracción de toneladas de jales, observados durante los recorridos de campo y la fotointerpretación (Figuras 5b, 15). Pudieron observarse la zona de beneficio de minerales y las presas de jales en Los Molinos a menos de 500 m de la población de Huautla, además que los jales y las minas asentados en la vecindad de ríos que pasan a través de las poblaciones de Huautla y Rancho Viejo (Figura 14). Un uso normalizado de jales en las actividades humanas tiene un efecto en su salud por las sustancias tóxicas que contienen (Cervantes-Ramírez *et al.*, 2018). Estos aspectos explican que los impactos sociales y ecológicos de la en la zona.

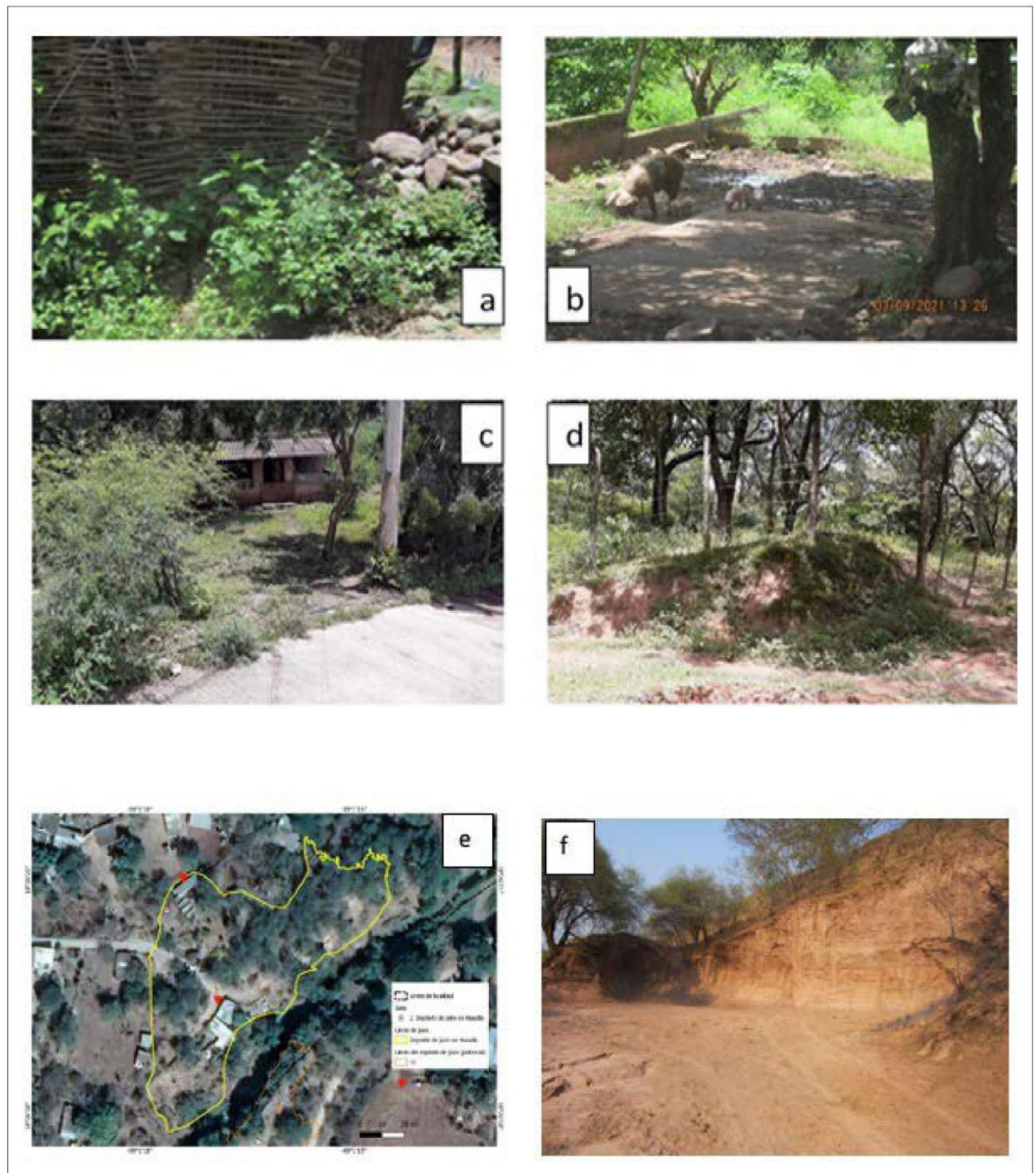


Figura 15. Usos de jales en la zona. a. Materiales para relleno de muros; b. Pastoreo sobre jales; c. Construcción sobre jales; d. Jales remanentes; e. Vivienda construida sobre el depósito de jales en Huautla (línea amarilla señala límite del jal, flechas rojas señalan viviendas); f. Extracción de jales en Las Presas, sitio señalado en la Figura 5b. Foto: Roberto Márquez Huitzil, 2017.

Las otras fuentes de información permitieron encontrar diferentes explicaciones a la clasificación de las imágenes de percepción remota. Los jales potenciales presentaron valores altos de similitud con las minas y los jales conocidos. La similitud podría explicarse por la dinámica de la actividad minera en la zona, aplicada anteriormente. Considerando la distribución de las minas y el movimiento de materiales es posible que a su alrededor se depositaran materiales producto de la apertura de minas o del transporte de materiales. Las actividades mineras en combinación con los procesos naturales como la erosión y la depositación en los ríos, podría explicar la similitud entre minas, jales conocidos y jales potenciales.

Consulta con habitantes, representantes ejidales y verificación de campo

Los representantes ejidales, algunos investigadores y habitantes, así como los recorridos de campo, generaron información importante para este estudio. Información importante como la determinación de la fecha de término de la actividad minera entre 1993 y 1995 que se concentró en el área de Los Molinos, la mina San Joaquín y El Portón (Nieto, 1997; Velasco *et al.*, 2004; P. Abarca, A. Palacios, comunicación personal, 2021; M. Alcocer, K. Morán, A. Palacios, 2022) (Figura 3); la confirmación del rompimiento de la presa de jales del lado oeste en los Molinos, entre 1968 y 1969, observada previamente en la foto aérea de 1970 (J. Palacios, comunicación personal, 2021; A. Palacios, comunicación personal, 2022) (Figuras 4). Confirmación del uso de los jales para nivelación, arreglo de caminos o cárcavas en los terrenos, la construcción de viviendas o para la introducción de tubería de agua potable y para detectar su extracción y uso (L. Kiere, comunicación personal, 2017; A. Palacios, F. Cruz, M Domínguez, comunicación personal, 2022) (Figura 5 y 15f). Algunas investigaciones resaltan la importancia de tener datos de percepción remota como contrapeso a la percepción local (y viceversa), por tanto, estos datos deben considerarse simultáneamente (Twongyirwe *et al.*, 2017). La comunicación personal enriqueció y dio mayor certidumbre a los resultados por su conocimiento y vivencia de los pobladores res-

pecto a las actividades mineras y al uso actual de jales y minas.

Las verificaciones en campo permitieron corroborar características particulares asociadas a los jales, en general y, en particular, entre estaciones del año; así como cambios a través del tiempo. Durante los recorridos de campo observamos lo siguiente: 1) características y cambios en los depósitos de jales (Figura 6); 2) verificamos depósitos de jales conocidos y potenciales; 3) evidencias de erosión y depositación de materiales (Figura 6, 7 y 14), y 4) cambios en la vegetación a lo largo del tiempo y entre estaciones de lluvias y secas, comparándolas entre áreas (Figura 8).

Del mismo modo, podemos apreciar que los costos de numerosos efectos negativos dejados por la minería no son cubiertos por las empresas, derivando en afectaciones al ambiente y a la sociedad cuya mitigación es transferida a la sociedad (Russi y Martínez-Alier, 2002). Incluso, como en este caso, las empresas pueden desaparecer abruptamente de un sitio sin cumplir ni con los compromisos laborales ni con responsabilidad socioambiental.

CONCLUSIONES

El uso de distintas fuentes de información resulta indispensable para tener un panorama completo de una actividad compleja como la minería. Pues no solo permite identificar y describir con mayor precisión los jales y las minas, sino conocer la dinámica de la actividad minera que los generó y los efectos en la sociedad y los ecosistemas. La recopilación de información documental y cartográfica permitió ubicar los jales y obtener una perspectiva histórica de la minería. El reconocimiento visual es indispensable para describir los impactos a través del tiempo y proponer soluciones para reducir los riesgos y prevenir nuevos eventos que amenacen a la sociedad y al ambiente. El uso de otro tipo de imágenes obtenidas por percepción remota, su accesibilidad, secuencia temporal y alta resolución y su análisis con métodos automatizados y semi-automatizados ofrece un panorama durante la explotación minera hasta su término, así como los cambios hasta la actualidad. La precisión al clasificar las imágenes

varía dependiendo de su tipo y el método de clasificación utilizado. Aunque en algunos casos la clasificación parecería catalogar inadecuadamente algunos elementos, como la presencia de materiales en la zona urbanizada y en las carreteras, recurrir a otras fuentes de información como la documental, la consulta a los pobladores o los recorridos de campo, permitirían confirmar o refutar los resultados de las clasificaciones. La información documental se complementa con la de percepción remota y las comunicaciones personales con los habitantes, así como con los recorridos de campo.

Un análisis a través del tiempo permite entender y predecir los cambios de los residuos mineros y sus impactos a otras escalas para prevenir, evitar o mitigar sus efectos. Esta información permite entender tanto la dinámica de estos sitios durante el período activo de la minería, así como una vez terminada dicha actividad. Esta combinación de fuentes de información permite obtener una interpretación completa de la zona y encontrar explicaciones sobre la historia de los procesos que deseamos entender.

AGRADECIMIENTOS

RMH agradece al CONACyT RMH por la beca de doctorado número 778992. Al Doctorado en Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) y a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por facilitar gran parte de la literatura para este trabajo.

REFERENCIAS

- Aguirre-Salado, C. A., Miranda-Aragón, L., Pompa-García, M., Reyes-Hernández, H., Soubervielle-Montalvo, C., Flores-Cano, J. A. y Méndez-Cortés, H. (2017). Improving Identification of Areas for Ecological Restoration for Conservation by Integrating USLE and MCDA in a GIS-Environment: A Pilot Study in a Priority Region Northern Mexico. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(262), 1-17. <https://doi.org/10.3390/ijgi6090262>
- Aparicio, A.T. y Hernández Canales, P. J. (2017). Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del Cobre de Cananea. *Investigaciones Geográficas*, 93, 1- 14. <https://doi.org/10.14350/rig.54770>
- ASGMI. (2010). *Pasivos Ambientales Mineros. Manual para el Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas. Venezuela*. Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos. XVI Asamblea General Ordinaria. Barquisimeto, Venezuela, 2010. Disponible en https://asgmi.org/wp-content/uploads/2018/05/Manual_Inventario_PAM_Completo.pdf
- Barats, A., Orani, A.M., Renac, C., Goudour, J. P., Durrieu, G., Saint-Martin, H., Esteller, M. V. y Garrido-Hoyos, S. E. (2016). Behaviour and mobility of arsenic in a Mexican hydrosystem impacted by past mining activities. *Arsenic Research and Global Sustainability*, 191-192. <https://doi.org/10.1201/b20466-93>
- CartoMinMex. (2022). Cartografía minera. Herramienta web para el Sector minero y Público en General. Dirección General de Minas. <https://portalags1.economia.gob.mx/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=1f22ba130b0e40d888bfc3b7fb5d3b1b>
- Cervantes-Ramírez, L.T., Ramírez-López, M., Patricia Mussali-Galante, M. L. Ortiz-Hernández, Sánchez-Salinas, E. y Tovar-Sánchez, E. (2018). Heavy metal biomagnification and genotoxic damage in two trophic levels exposed to mine tailings: a network theory approach. *Revista Chilena de Historia Natural*, 91. <https://revchilhistnat.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40693-018-0076-7>. <https://doi.org/10.1186/s40693-018-0076-7>
- Charou, E., Stefouli, M., Dimitrakopoulos, D., Vasiliou, E. y Mavrantza, O. D. (2010). Using Remote Sensing to Assess Impact of Mining Activities on Land and Water Resources. *Mine Water and the Environment*, 29, 45-52. <https://doi.org/10.1007/s10230-010-0098-0>
- Dávila Luna, J., Díaz Caravantes, R. E., Navarro Navarro, L.A. y Romeo Méndez, E. (2018). Las presas de jales en el noroeste del estado de Sonora: una aproximación geográfica mediante percepción remota. *Investigaciones Geográficas*, 97, 1-18. <https://doi.org/10.14350/rig.59624>
- De la Cruz Guarneros, N. (2018). *Efecto de la bioacumulación de metales en la población de Liomys irroratus (Gray 1868) que habita los jales de Huautla, Morelos: un enfoque multibiomarcadores*. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Disponible en <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/476>
- De Luca, G., Silva, J., Cerasoli, S., Araújo, J., Campos, J., Di Fazio, S. y Modica, G. (2019). Object-Based Land Cover Classification of Cork Oak Woodlands using UAV Imagery and Orfeo ToolBox. *Remote Sensing*, 11, 1238. <https://doi.org/10.3390/rs11101238>

- Dervisoglu, A., Bilgilioglu, B. B. y Yagmur, N. (2020). Comparison of Pixel-Based and Object-Based Classification Methods in Determination of Wetland Coastline. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(2), 213-220. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.713307>
- Díaz González, F. A., Quintero Torres, S. V., Triana Correa, J. S. y Morón Hernández, D.C. (2014). *Aproximación a los sistemas de Percepción Remota en satélites pequeños*. Escuela de Ingeniería, Universidad Sergio Arboleda. Bogotá, Colombia. Disponible en <https://bit.ly/3G4whBC>
- Dwivedi, R. S. (2019). *Geospatial Technologies for Land Degradation Assessment and Management*. Massachusetts, E.U.A.: CRC Press, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781315152325>
- ELAW (Environmental Law Alliance Worldwide). (2010). *Guía Para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros*. Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW). Oregon, EUA. Disponible en <https://bit.ly/2YU3482>
- Erice Gómez, M. X. (2010). *Percepciones, valoraciones e intereses de distintos actores y organizaciones sociales de Mendoza (Gran Mendoza y Malargüe)*, Argentina, en torno a las temáticas ambientales. Tesis doctoral. Universidad de Girona. Girona, España. Disponible en <https://bit.ly/3TsGVF>
- Esteller, M. V., Domínguez-Mariani, E., Garrido, S. E. y Avilés, M. (2015). Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico. *Environtal Earth Science*, 74(4), 2893-2906. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4315-9>
- Esteves Aguilar, J. (2018). *Evaluación del daño genético y la inestabilidad en el desarrollo del cráneo en la especie centinela Peromyscus melanophrys que habita en zonas mineras*. Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Disponible en <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/564>
- Farfán Estrada, E. (2019). *Evaluación del estado de conservación de las poblaciones de murciélagos insectívoros de 4 refugios cavernícolas de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, México*. Tesis de Maestría. Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. Disponible en <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/538>
- Galván Ramírez, M. A. (2020). *Estructura de la comunidad de roedores silvestres asociados a jales de Huautla, Morelos*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, UAEM. Disponible en <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/1269>
- Garrido-Hoyos, S. y L. Romero-Velázquez. (2016). Synthesis of Minerals with Iron Oxide and Hydroxide Contents as a Sorption Medium to Remove Arsenic from Water for Human Consumption. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13,69,1-9. <https://doi.org/10.3390/ijerph13010069>
- Hinojosa Espinoza, S. I., Gallardo-Salazar, J. L., Hinojosa-Espinoza, F. J. C. y Meléndez-Soto, A. (2021). Evaluación de parámetros de segmentación en OBIA para la clasificación de coberturas del suelo a partir de imágenes vant. *Revista de teledetección*, 58, 89-103, <https://doi.org/10.4995/raet.2021.14782>
- INEGI. (1970). Fotografía aérea 014_0190 de la línea de vuelo 62. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Para adquisición: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/siiv/>
- INEGI. (1970). Fotografía aérea 033_0163 de la línea de vuelo 61. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Para adquisición: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/siiv/>
- INEGI. (1987). Conjunto de datos vectoriales topográficos. Carta E14A79 Tilzapotla, 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (1995). Ortofoto E14A79C. Fotografías aéreas, 1:75 000. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/#Descargas>
- INEGI. (1997). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica E14A79 Tilzapotla, Serie II, 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/topografia/50000/#Descargas>
- INEGI. (2009). Conjunto de datos vectoriales de vegetación y uso del suelo E14A79 Tilzapotla, Serie III 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2015). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica E14A79 Tilzapotla, Serie IV, 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Jongman, R. H. G., Ter Braak, C. J. F. y Van Tongeren, O. F. R. (1997). *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511525575>
- Kiere, L. M., Osorio-Beristain, M., Sorani, V. Prieto-Torres, D. A., Navarro-Sigüenza, A. G. y Sánchez-González, L. A. (2021). Do metal mines and their runoff affect plumage color? Streak-backed Orioles in Mexico show unexpected patterns. *Ornithological Applications*, 123, 1–18. <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duab023>
- Kussmaul, S. (1989). La minería en Costa Rica y sus efectos en el ambiente. En D. Zamora (Editor), *El impacto ambiental por la actividad minera en Costa Rica*. EUNA. Heredia, Costa Rica.
- López Michelena, A. (2021). *Variación de la coloración del plumaje de aves residentes, asociada a la distancia a*

- las concesiones de minería metálica en el centro-sur de México*. Tesis de Maestría. Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. Disponible en <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/1571>
- Luque Agraz, D., Murphy, A.D., Jones, E., C Martínez-Yrizar, A., Búrquez Montijo, A., Manrique Gallardo, T. y Esquer Armienta, D. (2019). *Río Sonora: el derrame de la Mina Buenavista del Cobre-Cananea, 2014*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Disponible en <https://bit.ly/3UIKvFM>
- Mac Gregor Arroyo, F. (1992). *Ampliación de las operaciones mineras en mina Santiago, Distrito minero de Huautla*. Tesis de Ingeniería de Minas y metalurgista. Facultad de Ingeniería, UNAM. Disponible en <http://132.248.9.195/pmig2016/0175522/Index.html>
- Maldonado, J. N. (2020). *Conducta de exploración en Icterus pustulatus expuestos a un gradiente de concentración de contaminantes de los desechos mineros en Huautla, Morelos*. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.
- Manzanares Acuña, E., Vega Carrillo, H. R., Escobar León, M. C., Letechipía de León, C., Guzmán Enríquez, L. J., Hernández Dávila, V. M. y Salas Luévano, M. A. (2005). Evaluación de Riesgos ambientales por plomo en la población de Vetagrande, Zacatecas. Reporte Final: UaEN/RI-02-PbVG/INE-02/03081204. Universidad Autónoma de Zacatecas. Disponible en http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/inf_veta-grande_final_1004_e_ine_final.pdf
- Márquez-Huitzil, R. (2005). *Planificación para la restauración asociada con el aprovechamiento de los recursos naturales*. En O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (Eds.), *Temas sobre restauración ecológica*. Diplomado en restauración ecológica. SEMARNAT-INE- U.S. Fish & Wildlife Service- Unidos para la Conservación, A.C. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/291425685_Temas_sobre_Restauracion_Ecologica
- Martínez Pacheco, M. L. (2008). *Evaluación de los efectos genotóxicos de metales presentes en el agua de bebida de la población de Huautla, Morelos*. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. Disponible en https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=find-b-0&local_base=TES01
- Mussali, P. (2008). *Estudio sobre la inducción de daño al ADN en sangre periférica de individuos expuestos a metales en el agua de bebida en la población de Huautla, Morelos*. Tesis de Maestría. Ciencias Biológicas (Biología experimental). Facultad de Medicina, UNAM. Disponible en: https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=find-b-0&local_base=TES01
- Nieto Ávila, J. L. (1997). *Proyecto para la ampliación de la mina Cuatro Ases en la Unidad Huautla, de la compañía Rosario México, Huautla, Morelos*. Tesis de Ingeniería de Minas y metalurgista. Facultad de Ingeniería, UNAM. Disponible en: https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=find-b-0&local_base=TES01
- Olaode, A., Naghdy, G. y Todd, C. (2014). Unsupervised Classification of Images: A Review. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 8(5), 325-342.
- Pérez Jiménez, S. (2014). *Territorialidades contenciosas en México: El caso de la minería*. Tesis de Maestría. Posgrado en Geografía, Centro de Investigación en Geografía Ambiental, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Disponible en https://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/Premio/Tesis_2015/Tesis_Sol_Perez.pdf
- POEREM. (2013). *Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos*. Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos, Memoria técnica. SEMARNAT- Poder ejecutivo de Morelos-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Disponible en http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/metadata/morelos/poerem/doc/POEREM_PROPUESTA.pdf
- Posada, E., Ramírez Daza, H. M. y Espejo Delgado, N. C. (2012). *Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011*. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica, CIAF. Bogotá DC, Colombia. Disponible en https://www.un-spider.org/sites/default/files/ManualERDAS_web.pdf
- Qgis. (2021). Escena del mapa Satelital. Quick Map Services. Quantum Gis. Software libre. Disponible en <https://qgis.org/es/site/>
- Ramos-Arroyo, Y. R. y Siebe-Grabach, C. D.. (2006). Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23, 1, 54-74. Disponible en <http://www.rmccg.unam.mx/index.php/rmccg/issue/view/46>
- Reyes Mariano, J. M. (2014). *Propiedades mecánicas de jales para diseño de presas*. Tesis de Maestría en Ingeniería (Geotecnia). Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. Disponible en <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/6626?show=full>
- Rivera Castelo, J. A. (2009). *Diseño geotécnico para estabilización del depósito de jales mineros (Presa I), en Nacozari de García, Sonora, México*. Tesis de Ingeniería Geológica. División de Ciencias Exactas

- y Naturales, Universidad de Sonora. Disponible en <http://148.225.114.121/handle/unison/381>
- Rossiter, D.G. (2007). Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources. *Journal of Soils and Sediments*, 7(2), 96-100. <https://doi.org/10.1065/jss2007.02.208>
- Russi, D. y Martínez-Alier, J. (2002). Los pasivos ambientales. *Iconos. Revista de Ciencias Sociales*, 15, 123-131. <https://doi.org/10.17141/iconos.15.2003.1282>
- Salazar Arrieta, S. (2016). *Detección de áreas vulnerables al medio físico en la cuenca del río San Pedro-Mezquitil*. Tesis de Maestría. Ciencias en Gestión Ambiental, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integrado Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional. Durango, México.. Disponible en <https://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/23382>
- Salinas Rodríguez, J. M. y García González, J. F. (2010). Carta de Geoquímica por Zinc. Tilzapotla E14A70. Servicio Geológico Mexicano. Disponible en https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/metadatos_geol/89_GL_ciudad_de_mexico.html
- Sánchez-Núñez, J. M., Macías, J. L. Corona-Chávez, P., Martínez- Medina, M., Garduño-Monroy, V. H., Capra, L., García-Tenorio, F. y Cisneros-Máximo, G. (2015). Rompimiento y desborde de presas de jales: el caso de estudio de Tlalpujahua (27 de mayo de 1937). *Ciencia Nicolaita*, 56, 95-199.
- Sánchez Santiró, E. (2002). Plata y privilegios: el real de minas de Huautla, 1709-1821. *Estudios de Historia Novohispana*, 26, 85-123. Disponible en <https://repositorio.unam.mx/contenidos/31245>
- Santoyo Martínez, M. (2020). *Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociadas a los jales de Huautla, Morelos*. Tesis de Doctorado. Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. Disponible en <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/1270>
- SEMARNAT. 2004. NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 13 de septiembre de 2004. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=661988&fecha=13/09/2004
- SEMARNAT. 2013. Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. México: SEGOB. Diario Oficial de la Federación (DOF) del 13 de septiembre de 2013. Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SEMARNAT/Normas/Oficiales/NOM-141-SEMARNAT-2003.pdf>
- Sipriano Morales, J.A. (2016). *Impactos de la Minería Canadiense en México: Los Casos de Peñasquito en Zacatecas y Los Filos en Guerrero (2005-2013)*. Tesis de licenciatura. Colegio de Estudios Latinoamericanos, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=find-b-0&local_base=TES01
- Téllez Ramírez, I. y M.T. Sánchez-Salazar. (2018). La expansión territorial de la minería mexicana durante el periodo 2000-2017. Una lectura desde el caso del estado de Morelos. *Investigaciones Geográficas* 96, 1-18. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112018000200011
- Tovar-Sánchez, E., L.T. Cervantes, C. Martínez, E. Rojas, M. Valverde, M.L. Ortiz-Hernández y P. Musali-Galante. (2012). Comparison of two wild rodent species as sentinels of environmental contamination by mine tailings. *Environmental Science Pollution Research*, 19, 1677-1686. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-011-0680-4>
- Twongyirwe, R., M. Bithell, K. Richards, y G. Rees. (2017). Do livelihood typologies influence local perceptions of forest cover change? Evidence from a tropical forested and non-forested rural landscape in western Uganda. *Journal of Rural Studies* 50, 12-29. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.12.009>
- Valenzuela, C. (2020). *Hematocrito, morfología variante de eritrocitos y presencia de hemoparásitos en Icterus pustulatus y Molothrus aeneus: parámetros basales y relación con la proximidad de desechos mineros en Huautla, Morelos*. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Valle Mejía, C.R. (1991). *Repercusiones en el Espacio Geográfico de la Actividad Minera en Huautla, Morelos, en el Decenio 1980-1989*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Disponible en https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000168332
- Velasco Trejo, J.A., D. A. de la Rosa Pérez, G. Solórzano Ochoa y T. L. Volke Sepúlveda. (2004). *Primer Informe del Proyecto: Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales*. Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. Dirección de Investigación en Residuos y Proyectos Regionales. INE, SEMARNAT.

**CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DE LA
EROSIÓN Y DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL
DESLIZAMIENTO DE LADERA DE JALES
MINEROS EN HUAUTLA, MORELOS
(PUBLICADO: *INVESTIGACIONES
GEOGRÁFICAS*, 2025 DOI:
<https://doi.org/10.14350/rig.60920>)**

Caracterización de la erosión y de la susceptibilidad al deslizamiento de ladera de jales mineros en Huautla, Morelos

Erosion characterization and Susceptibility to landslide movement of mining tailings in Huautla, Morelos

Roberto Márquez-Huitzil,* Lorenzo Vázquez Selem,** Cristina Martínez-Garza,*** Roberto Lindig,⁺ Marcela Osorio-Beristain⁺⁺ y Eliane Ceccon⁺⁺⁺

Recibido: 29/02/2024. Aceptado: 9/10/2024. Publicado: 30/11/2024.

Resumen. Los jales son rocas trituradas y molidas mezcladas con sustancias químicas, producto de la minería. En Huautla, Morelos, México, existen depósitos de jales sin contención y confinados (presas de jales). Las superficies de los depósitos quedan expuestas lo que los vuelve susceptibles al desplazamiento por agua y viento. Este estudio analizó el desplazamiento por erosión hídrica y por deslizamiento de cinco depósitos de jales, mediante cuatro métodos: a) el cálculo de la erosión con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés) y la vulnerabilidad al deslizamiento de ladera mediante el método de Mora-Vahrson; b) la identificación de evidencias de erosión o del movimiento en masa; c) la medición de metales pesados en jales y en zonas de depósito y de inundación en el Arroyo Grande. El USLE presentó tasas de erosión mayores a 200 ton/ha⁻¹año⁻¹ en los depósitos de jales. La vulnerabilidad al

deslizamiento de ladera fue mayor en los taludes que en los bancos (zonas horizontales) de las presas de jales. Las evidencias de erosión fueron exhumación de raíces, formación de surcos y cárcavas, colapso del terreno, zonas expuestas sin vegetación y tubificación (*piping*). Tanto los jales como las zonas de depósito de inundación del Arroyo Grande, contiguo a los jales, presentaron concentraciones de metales pesados (Zn, Cd, Pb, Cu) por arriba de los límites máximos permisibles (LMP). La intensa erosión, la vulnerabilidad al deslizamiento y la concentración de metales pesados indican una alta movilización de materiales y sustancias tóxicas hacia los ecosistemas y las poblaciones humanas.

Palabras clave: relaves mineros, erosión hídrica, movimientos en masa, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), metales pesados.

* Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001, Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8947-5253>. Email: huitzil.r@gmail.com

** Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, CDMX, México. ORCID: 0000-0001-7798-6187. Email: lselem@geografia.unam.mx

*** Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Universidad 1001, Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9310-564X>. Email: cristina.martinez@uaem.mx

⁺ Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Morelia, 58190, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-7038>. Email: rlindig@iies.unam.mx

⁺⁺ Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, 62209, Cuernavaca, Morelos, México. ORCID: 0000-0001-7338-1260. Email: mosorio@uaem.mx

⁺⁺⁺ Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM. Av. Universidad Circuito II s/n, Chamilpa, 62210, Cuernavaca, Morelos, México. ORCID: 0000-0003-3219-0235. Email: eccecon61@gmail.com

Summary. Mining generates thousands of tons of tailings. Tailings are ground rock separated with chemicals from the minerals of interest during mining activity. When separated, the leftovers are deposited in tailings dams or unconfined deposits. Within the Sierra de Huautla Biosphere Reserve (REBIOSH), near the town of Huautla, mining generated five tailings deposits: three deposits confined by tailings dams (Los Molinos I and II and Las Presas) and two unconfined tailings deposits (Tlalchichilpa and Huautla). Exposure to rain and wind makes the tailings deposits prone to erosion and susceptible to landslides, a type of mass movement.

The objectives of this study were to quantify water erosion, describe the susceptibility to slope sliding by using Geographic Information Systems, verify these processes by reconnaissance of the area, and know the content of heavy metals in the tailings deposits and in the flooding zones of the river that flows into the streams surrounding these tailings deposits in Huautla, Morelos.

This study is divided into four methods: a) *Erosion* calculated using the Universal Soil Loss Equation (USLE) for four years: 1975 (2,125 mm) and 1973 (1,756 mm), years with maximum precipitation in the area; 2015 (407.7 mm), driest year; 1969 (1,131.5 mm), year of a tailings dam break; (b) *Susceptibility to slope sliding* described using the Mora-Vahrson method; (c) *Reconnaissance of the area* using remote sensing and field walks; (d) *Quantification of heavy metals in tailings deposits and in flood zones of Arroyo Grande* analyzed in laboratory.

The highest erosion ($>200 \text{ ton/ha-1 yr-1}$) occurred in the tailings dams in the years with the highest precipitation. The maximum erosion ($>200 \text{ ton/ha-1 yr-1}$) was concentrated on the steeper slopes (talus slopes) and in the area with slope close to 0 (banks) erosion was minimal (0 and $0-10 \text{ ton/ha-1 yr-1}$). In the Huautla deposit, erosion was high only in a central portion in that year ($50-200 \text{ ton/ha-1 yr-1}$). In 1969, the year of a dam break at Los Molinos (1969), the dam had the highest erosion concentrated on its slope ($50-200 \text{ ton/ha-1 yr-1}$). The oldest deposit, Tlalchichilpa, showed minimal erosion in all years ($0-10 \text{ ton/ha-1 yr-1}$).

Susceptibility to slope sliding was Very High on the slopes and Very Low on the banks of the three tailings dams. The Tlalchichilpa tailings deposit presented High and Very High susceptibility to slope sliding in its southern portion, and the Huautla deposit presented Medium susceptibility in almost the entire tailings deposit, varying only in a small area of its central portion.

The reconnaissance of the zone by remote sensing reaffirmed the mass movement due to the breakage of the Los Molinos tailings dam in the aerial photograph (1969), an event corroborated by some residents and by the field trip. The field trips allowed to understand that a hillside landslide of the Huautla deposit is improbable given that they seem to be superficial remnants of the original deposit, no deeper than 1 m on a rocky sloping hillside. While touring the tailings deposits, root exhumation and sparse vegetation were observed in the tailings dams and the Huautla deposit, and subway erosion processes by formation of tubes (tubing) and tunnels (tunneling) in the tailings dams. In addition, there were large differences in size between large tailings dams and small unconfined deposits.

The tailings deposits showed concentrations of heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu, Hg and As) above the Maximum Permissible Limits (MPL) at different depths. Only Zn, Cd, Cu and As were found slightly above the MPL in the flood zones of Arroyo Grande.

Erosion and susceptibility to slope sliding seem to be mainly determined by the slopes of the tailings deposits, the intense rainfall and the lack of vegetation cover in all the deposits. Field surveys verify, complement and/or modify the results obtained in the initial analyses. Heavy metals have different persistence in the tailings deposits, which determines their presence at different depths in the tailings deposits or their mobility towards flood zones in Huautla, Morelos. The joint analysis of the movement of tailings allows a more complete interpretation of these processes.

Keywords: mine tailings, water erosion, mass movements, Universal Soil Loss Equation (USLE), heavy metals.

INTRODUCCIÓN

La minería provoca diversos impactos ambientales. Entre los impactos ambientales que provoca, está la generación de miles de millones de toneladas de roca molida y contaminada con niveles significativos de toxinas como sustancias químicas y metales pesados (jales) que son desechados y vertidos en depósitos a cielo abierto (Oyarzun *et al.*, 2011). A nivel mundial se estima que existen 217 km^3 de jales (equivalente a 282.5 billones ton) creciendo anualmente 12.3 km^3 de jales (Le Pan, 2021). Uno de sus impactos ocurre en alrededor de 479 200 km de canales de ríos y $164\,000 \text{ km}^2$ de planicies de inundación afectadas por jales mine-

ros tóxicos, pasados y futuros, desechados por la minería metálica, afectando a cerca de 23 millones de personas que viven en sus cercanías a nivel mundial y (Macklin *et al.*, 2023). Los jales mineros amenazan socioambientalmente tanto en México como en el mundo.

Los jales son semejantes a suelos artificiales. Los jales mineros son depósitos de rocas trituradas y molidas con textura desde gruesa hasta muy fina sobrantes de la extracción mineral (Reyes, 2014). Durante el beneficio minero se adicionan compuestos químicos para separar los minerales de interés del material parental (ELAW, 2010). A pesar de su similitud con los suelos, los jales resultan tóxicos para el ambiente y la sociedad.

Los jales son propensos a la erosión y al movimiento en masa. La erosión consiste en el desprendimiento y arrastre graduales de partículas de suelo por acción de la escorrentía del agua de lluvia, que las moviliza y deposita (Morales, 2014; Castro *et al.*, 2017). La escorrentía forma surcos y cárcavas (Morgan, 2005). Cuando el subsuelo del terreno es inestable puede producir tubos (tubificación) o túneles (tunelamiento) (Scheffer y Schachtschabelm, 2016). La superficie del terreno erosionada expone elementos finos del suelo, raíces de las plantas y la roca madre (García-Rodríguez, 2015). El movimiento en masa de grandes volúmenes de materiales pendiente abajo se denomina deslizamiento de laderas (Paz *et al.*, 2017). Los jales mineros son sensibles a la erosión y al deslizamiento de ladera poniendo en peligro a los humanos y a los ecosistemas (Rana *et al.*, 2021).

Los jales dispersos en el ambiente tienen impactos negativos. La dispersión de jales provoca el azolve de ríos y presas, modifica la hidrología y contamina, amenazando a la biota y las poblaciones humanas (Musali, 2008; Arango y Olaya, 2012; Islas, 2013). Las presas construidas sobre los ríos atrapan los sedimentos contaminados con metales pesados; las zonas de inundación y los meandros llegan a ser sumideros permanentes para los sedimentos finos contaminados, cuando la inundación sobrepasa la profundidad del cauce (Vázquez-Tarrío *et al.*, 2024).

Las partículas tóxicas en los jales son arrastradas a través del paisaje. Las partículas tóxicas pueden presentarse en los lodos, suelos e incluso dispersarse por kilómetros desde los depósitos de jales (Valentin *et al.*, 2005; Rivera, 2009; Bao *et al.*, 2019). La dispersión de partículas tóxicas desde los jales es una seria amenaza (Esteller *et al.*, 2015).

Esta investigación analiza el movimiento de los jales en Huautla, Morelos (Figuras 1 y 2). Mediante el uso de SIG se calculó el movimiento por erosión utilizando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE) y estudió la Susceptibilidad al deslizamiento de ladera de los depósitos de jales. Un reconocimiento por percepción remota y en campo buscó evidencias de erosión y deslizamientos. Finalmente, los metales pesados en los jales y las zonas de inundación del arroyo contiguo se verificaron colectando y analizando muestras de suelo.

ZONA DE ESTUDIO

Huautla se ubica dentro de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (REBIOSH), al sur del estado de Morelos (Figura 1). La zona se encuentra entre los 900 y 1300 msnm (INEGI, 2015) (Figura 2). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano Aw0”(w)(e)g (García, 2004). La temperatura media anual es 24.3°C y la precipitación total es 884.2 mm (Juárez, 2017). Los suelos son tipo feozem, limitados por roca continua o material calcáreo (POEREM, 2014). Predominante la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (INEGI, 2021) (Figura 2). La zona presenta pendientes abruptas (<45°) y sistemas montañosos, destacando la Sierra de Huautla, entre Morelos, Puebla y Guerrero (Barats *et al.*, 2020).

La minería de plata empezó en la zona de Huautla a mediados del siglo XVI concentrándose alrededor de la Hacienda Tlalchichilpa y, luego cerca del poblado de San Francisco de Huautla, fundado en 1570 (Sánchez, 2002). La actividad minera terminó a principios de los años 1990 (Juárez, 2017), dejando minas y depósitos de jales abandonados (Márquez *et al.*, 2022). Originalmente, en la zona se reportaron tres jales: Las Presas, Los Molinos y Tlalchichilpa (Esteves, 2018). Recientemente, se aclaró que en Los Molinos eran dos presas de jales, a lo que se añadió otro depósito antiguo dentro del poblado Huautla (Márquez *et al.*, 2022) (Figura 1 y 2).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se dividió en cuatro partes: (a) erosión; (b) susceptibilidad al deslizamiento de ladera; (c) reconocimiento de la zona, d) cuantificación de metales pesados en los depósitos de jales y en zonas de inundación del Arroyo Grande.

El cálculo de la erosión y de la susceptibilidad al deslizamiento de ladera se realizaron mediante SIG. Los análisis utilizaron un mapa de pendientes a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) generado con curvas de nivel cada cinco m (POEREM, 2014) (Figura 3). Estos análisis se realizaron en ArcGIS ver.10.8 y se detallan a continuación.

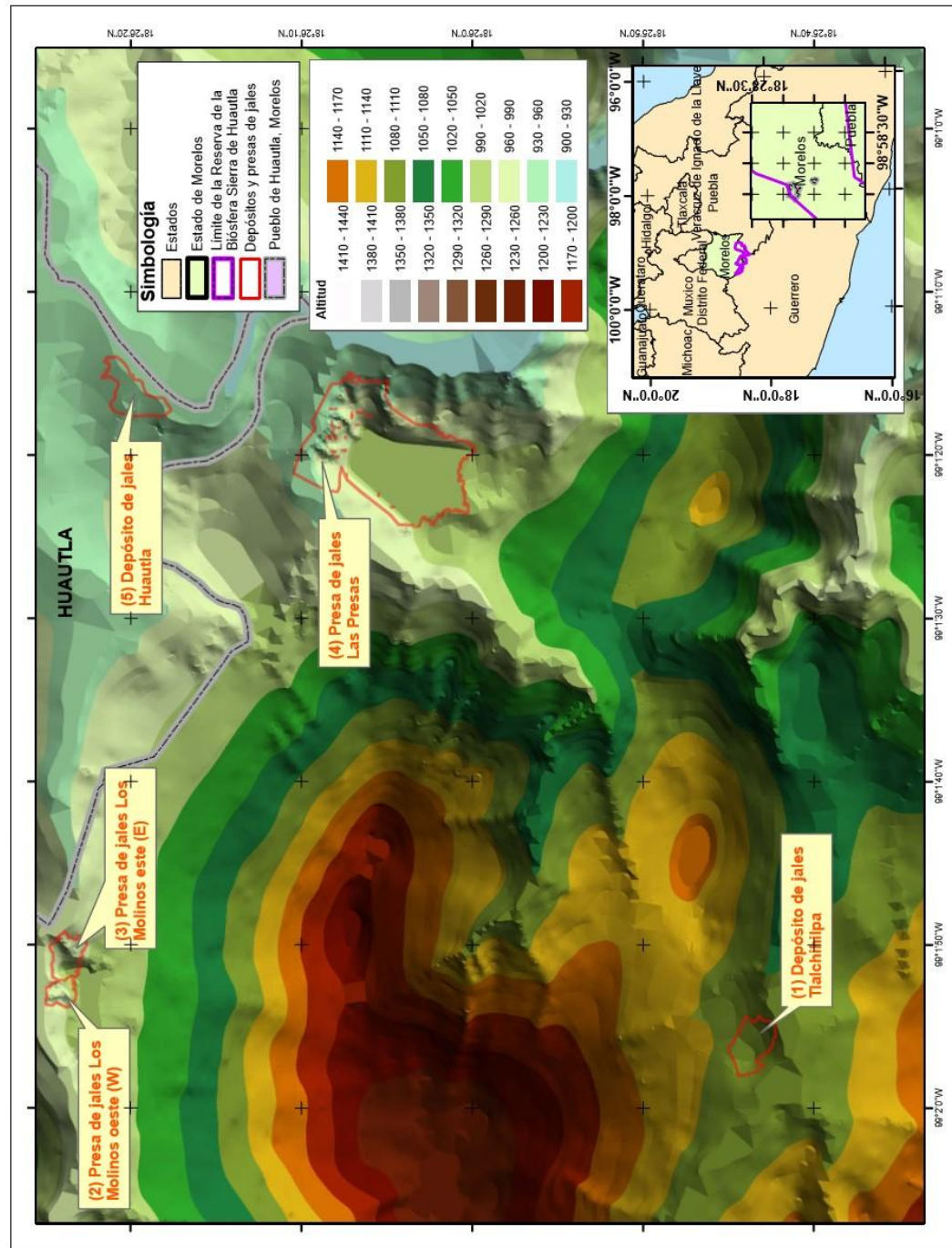


Figura 1. Localización de dos depósitos y tres presas de jales en Huautla dentro de la REBIOSH al sur del Estado de Morelos, centro de México. En figura siguiente se presentan imágenes más antiguas para cada uno de los depósitos y de las presas.

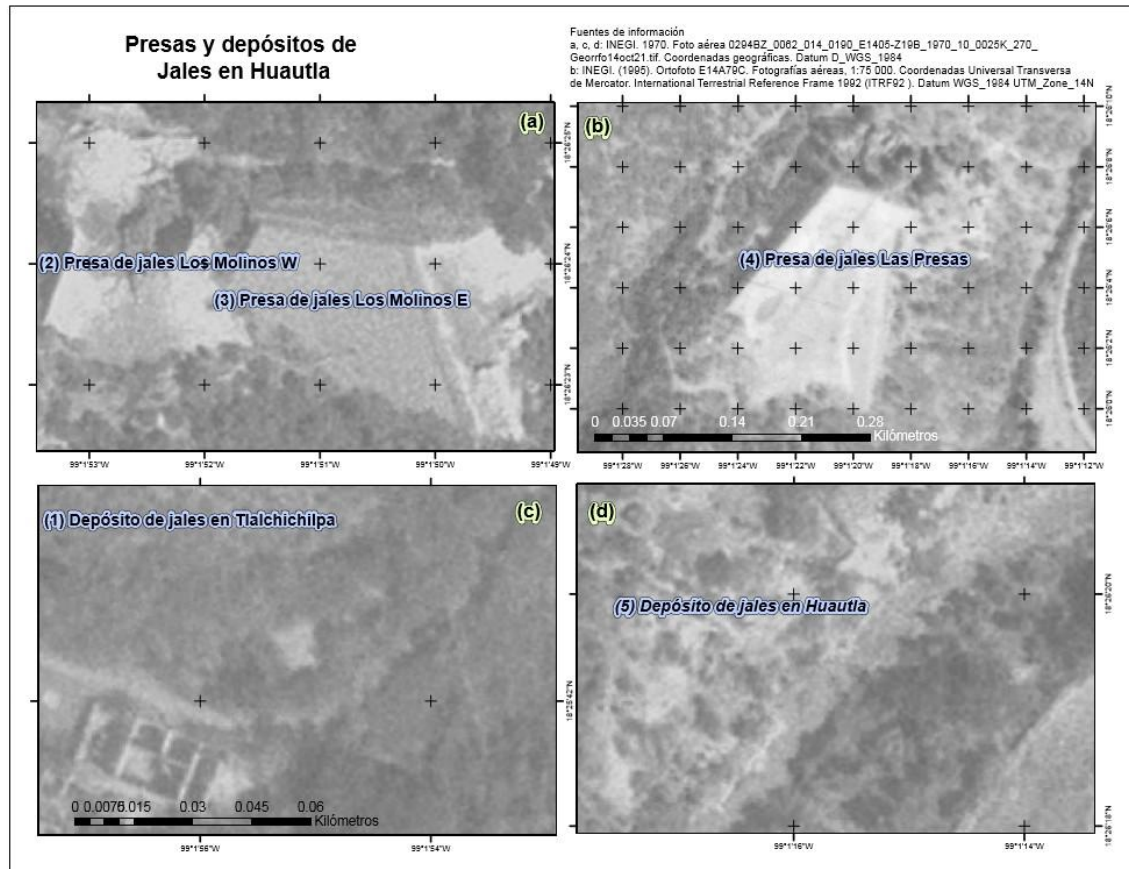


Figura 2. Imágenes de jales contenidos en presas (a y b) y depósitos sin contención (c y d). Las imágenes a, c y d comparten la misma escala, mientras que b tiene una diferente escala. Obsérvese que las presas tienen forma recta y angular; los depósitos sin contención presentan forma irregular.

(a) Erosión

La erosión se calculó con la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE, por sus siglas en inglés) por el método propuesto por Aguirre-Salado *et al.* (2017). El cálculo fue para cuatro años con distinta precipitación (CONAGUA, 2017): 1975 y 1973 (2125 mm y 1756 mm, respectivamente), años de mayor precipitación; 2015, año con mínima precipitación (407.7 mm); 1969, año del rompimiento de una presa de jales (1131.5 mm) (Márquez *et al.*, 2022).

La USLE utiliza la siguiente ecuación:

$$A = R * K * LS * C * P$$

donde A es la erosión de suelo ($\text{ton/ha}^{-1}\text{año}^{-1}$); R es el factor de erosividad por precipitación ($\text{MJ} \times \text{mm/h}^{-1}\text{ha}^{-1} \times \text{año}$); K es el factor de erosionalidad del suelo ($\text{ton} \times \text{h} \times \text{MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$) estimado en 0.026 equivalente al suelo tipo regosol de textura gruesa (Loredo-Osti *et al.*, 2007); LS es el factor topográfico longitud-pendiente e inclinación, calculado para L conforme al método puntual de Griffin *et al.* (1988) y para S por el de Moore y Wilson (1992) (Hrabalíková y Janeček, 2017); C es el factor para el uso y cobertura del suelo (sin dimensiones), asignando valores conforme a la cobertura vegetal o su ausencia, en las distintas zonas del jal (Aguirre-Salado *et al.*, 2017); P es el factor de prácticas de conservación de suelos, tomando un

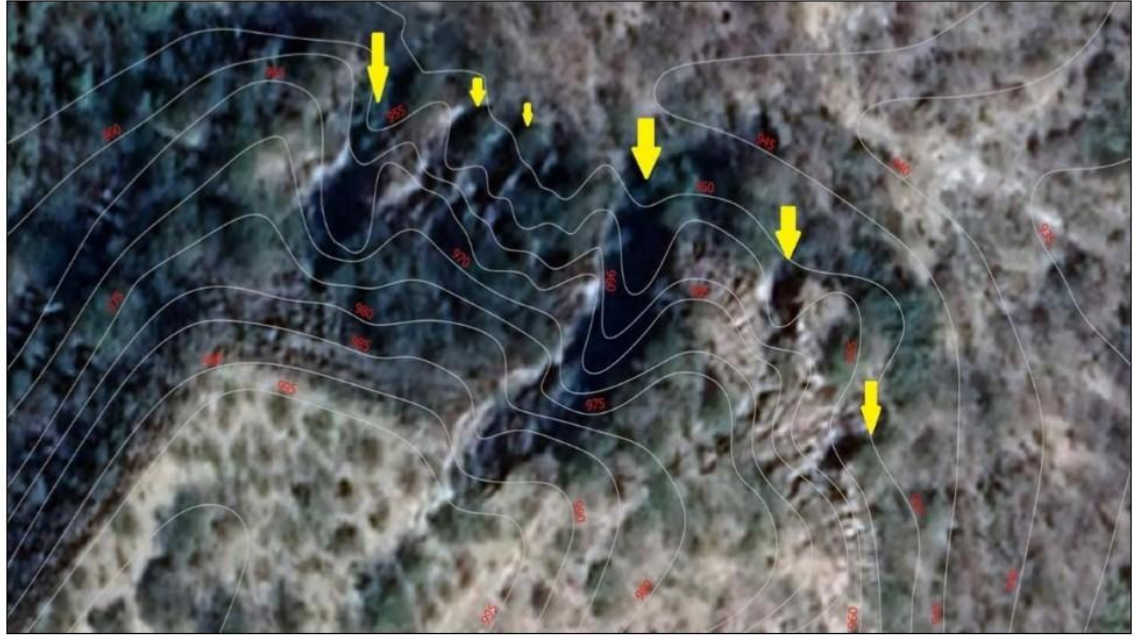


Figura 3. Cárcavas en Las Presas (flechas amarillas) con curvas de nivel (líneas color blanco). Fuentes: POEREM (2014), Google Earth (2024).

valor crítico (1), por carecer de estas. R se obtuvo con un estimador de R^2 (0.98) y un modelo de regresión del Mapa Nacional de Erosión Potencial para México para la zona de estudio (Región 8) (Loredo-Osti *et al.*, 2007):

$$Y = 1.99671x + 0.003270x^2$$

donde x = precipitación anual; $Y = EI_{30}$: EI = Índice de erosividad de la lluvia por evento (MJmm/ha hr) (Montes-León *et al.*, 2011). Los valores de precipitación utilizados corresponden a la estación meteorológica Huautla (CONAGUA, 2017). La erosión intensa observada en las cárcavas no pudo calcularse en este estudio.

(b) Susceptibilidad al deslizamiento de ladera

La susceptibilidad al deslizamiento de ladera se calcula utilizando factores fundamentales y factores desencadenantes de acuerdo con Mora *et al.* (2002) (Segura *et al.*, 2011; Lin *et al.* 2017), considerando los siguientes factores:

Factores explicativos del deslizamiento de ladera =
Factores fundamentales + Factores desencadenantes =
 (Relieve Relativo + Litología + Humedad) +
 (Sismicidad + Precipitación)

Los factores de susceptibilidad fueron: Pendiente + Tipo de suelo + Humedad del sitio, enriqueciendo el método agregando los factores: + Litología + Uso de Suelo (Du). Los factores de Disparo fueron: Zonas de debilidad (Dd) + Precipitación (Dp) (Garduño, 2013).

El álgebra de mapas para calcular la susceptibilidad al deslizamiento de ladera se realizó en SIG. Las pendientes fueron reclasificadas, asignándoles variables categóricas ordinales (Mora *et al.*, 2002). La precipitación máxima alcanzada en un día fue de 106 mm en julio de 2006 (CONAGUA, 2017). Los meses con más lluvia para esta zona tropical rebasaron los 230 mm en un mes, correspondiendo al factor 2 (Mora *et al.*, 2002). La zona se caracteriza por presentar numerosas minas abandonadas e interconectadas subterráneamente; además, presenta

evidencias de erosión superficial e interna en los jales, por lo que fue considerada de alto riesgo ante fenómenos sísmicos ($T_s = 7$). El mayor riesgo fue en las presas de jales por tener alturas mayores a 20 m, los depósitos sin confinar fueron no mayores a 2 m. El resultado es la combinación de todos los factores y no se establece una escala única de valores del indicador, pues estos se ajustan a las condiciones de cada área estudiada (Barrantes *et al.*, 2011). El rango de valores obtenidos se divide en cinco clases a las que se les asignan calificativos que representan los diferentes niveles de susceptibilidad: Muy Baja, Baja, Media, Alta, Muy Alta.

(c) Reconocimiento de la zona

El reconocimiento se realizó por percepción remota y recorridos de campo. Los cambios a través del tiempo se describieron utilizando distintos productos de percepción remota: una fotografía aérea (1970), una ortofoto (1995) y visualizando distintas estaciones del año entre 2011 a 2023 en Google Earth. En el reconocimiento visual se analizaron los cambios estructurales, evidencias de desplazamiento y colonización vegetal en los depósitos (Figura 4a-d). En los recorridos de campo se identificaron evidencias de erosión y de deslizamientos de ladera.

(d) Cuantificación de metales pesados en los depósitos de jales y en zonas de inundación del Arroyo Grande

El contenido de metales pesados se determinó en muestras compuestas de sedimento (depósito de jal). El muestreo fue aleatorio, utilizando un nucleador. Las muestras se tomaron a cada 20 cm de profundidad hasta la máxima penetración posible. Las muestras se tomaron en los bancos de los jales y en las zonas de depósito del Arroyo Grande al que convergen los cauces cercanos a los depósitos (Figuras 4a-d): meandros (Sitio 1, 2, 3) y zonas de inundación (Sitios 4, 5) (Figura 20). En Los Molinos, por seguridad, solo se muestreó la presa de jales del este. Las concentraciones de zinc (Zn), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg) y arsénico (As) se obtuvieron por el método de voltamperometría de redisolución anódica, Metrohm®, 797 VA Computrace. Los

resultados se compararon con los límites máximos permisibles (LMP) de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (Cd, Pb, Hg) (SEMARNAT, 2007) y la EPA (Cu, Zn) (U.S. EPA, 1994).

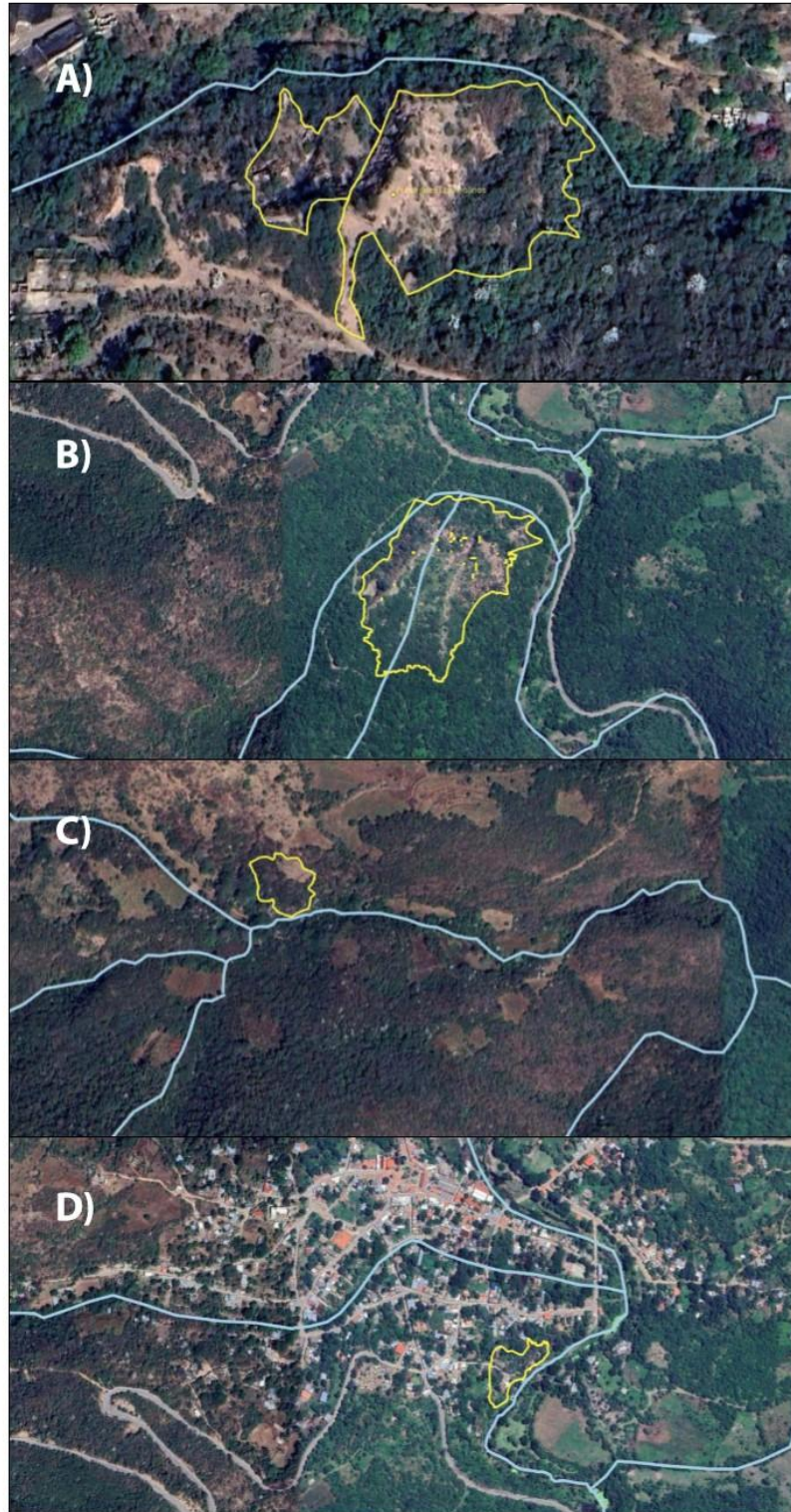
RESULTADOS

(a) Erosión

El comportamiento de la erosión de acuerdo con la USLE fue distinto entre las presas y los depósitos de jales. Los resultados de la USLE muestran que en el año con mayor precipitación (1975), en los depósitos de jales (Tlalchichilpa y Huautla) la erosión fue mínima (Figuras 5 y 8). Mientras que, en las presas de jales (Figuras 6 y 7) se presentó la máxima erosión ($> 200 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$). En el año de 1973, el segundo año como mayor precipitación (1,756 mm), la erosión fue 0 y mínima ($10 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$) en casi todo el depósito de Tlalchichilpa (Figura 5); en la presa de jales Los Molinos (Figura 6) se registró el segundo mayor intervalo de erosión en la zona entre las dos presas de jales presentes; en la presa de jales Las Presas (Figura 7), la erosión se concentró en los taludes ($50 \text{ a } > 200 \text{ toneladas/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$) y en el banco fue nula, mientras que, en Huautla (Figura 8), en general, la erosión fue $10\text{-}50$ y $50\text{-}200 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$. En el año más seco (2015), los depósitos de Tlalchichilpa y Huautla tuvieron la erosión más reducida ($0\text{-}10 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$) (Figura 5 y 8); en las presas de jales, la erosión máxima fue $10\text{-}50 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$ (Figuras 6 y 7). En 1969, año de la rotura de la presa en Los Molinos, la erosión fue $50\text{-}200 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$ en la zona de rompimiento de la presa (Figura 6); Las Presas, aún no eran construidas, pero hubieran tenido una alta erosión ($50\text{-}200 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$) (Figura 7); en los depósitos de Tlalchichilpa y Huautla, la erosión fue mínima ($0\text{-}10 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$) y baja ($10\text{-}50 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$), respectivamente (Figuras 5 y 8).

(b) Susceptibilidad al deslizamiento de ladera

La Susceptibilidad al deslizamiento de ladera fue variable en los depósitos de jales. En los bancos fue Muy Baja y Muy Alta en los taludes de las presas



Figuras 4. Imágenes de los jales. A) Los Molinos; B) Las Presas; C) Tlalchichilpa; D) Huautla. Delimitación de los depósitos de jales (línea amarilla); cauces (línea azul). Nota: la carta de INEGI está desfazada del cauce en la imagen. Fuentes: QGIS (2021). Escena de Mapa satelital; SIATL (2023). Región hidrológica RH18fa.

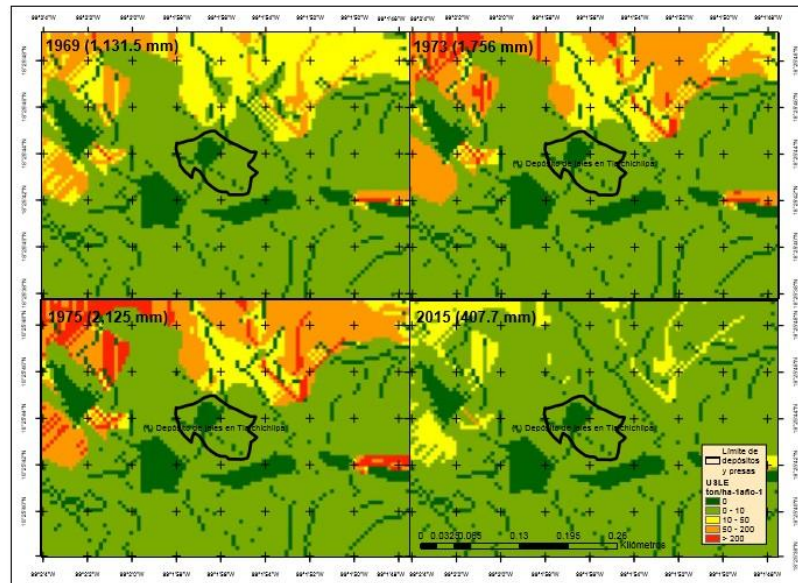


Figura 5. Estimación de la erosión de suelo de los jales basándose en el modelo USLE en el depósito de jales Tlalchichilpa. Este depósito es el más antiguo y no presentó cambios en los distintos años. En este caso, la erosión se mantuvo entre 0-10 ton/ha⁻¹/año⁻¹ y fue 0 ton/ha⁻¹/año⁻¹ en la parte central del depósito.

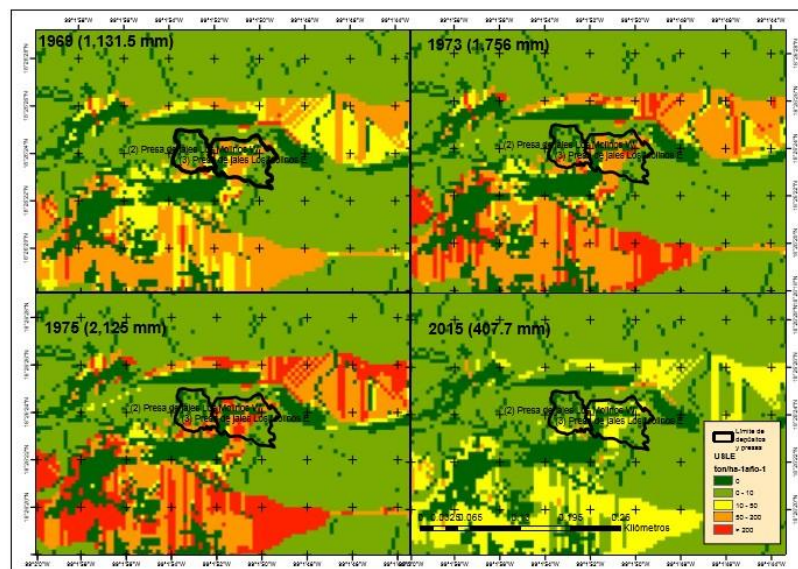


Figura 6. Estimación de la erosión de suelo basándose en el modelo USLE en las presas de jales Los Molinos (E y W). Obsérvese que, en 1975, año con mayor precipitación, la erosión se intensificó en la presa oeste (W) siendo > 200 ton/ha⁻¹/año⁻¹ en distintas porciones del jal. En los años 1973 y 1969 descendió la erosión a 50-200 ton/ha⁻¹/año⁻¹ en la mayor parte de los jales. En el año más seco (2015) la erosión tuvo un valor muy bajo (10-50 ton/ha⁻¹/año⁻¹) en la mayor parte del jal.

de jales Los Molinos y Las Presas (Figura 10). En Tlalchichilpa, la Susceptibilidad fue Muy Alta y Alta en la porción sur del depósito, Media, Baja y Nula en la parte norte. Huautla presentó susceptibilidad Media en casi todo el depósito y Baja en la parte central.

(c) Reconocimiento de la zona

En 1970 se comprueba un deslizamiento de ladera y dispersión por el arroyo (Figura 11a-d). Los materiales llegaron hasta el Arroyo Grande demostrando el movimiento en masa de los materiales. La imagen muestra el arrastre de los materiales sobre el arroyo hasta llegar al Arroyo Grande cambiando la tonalidad.

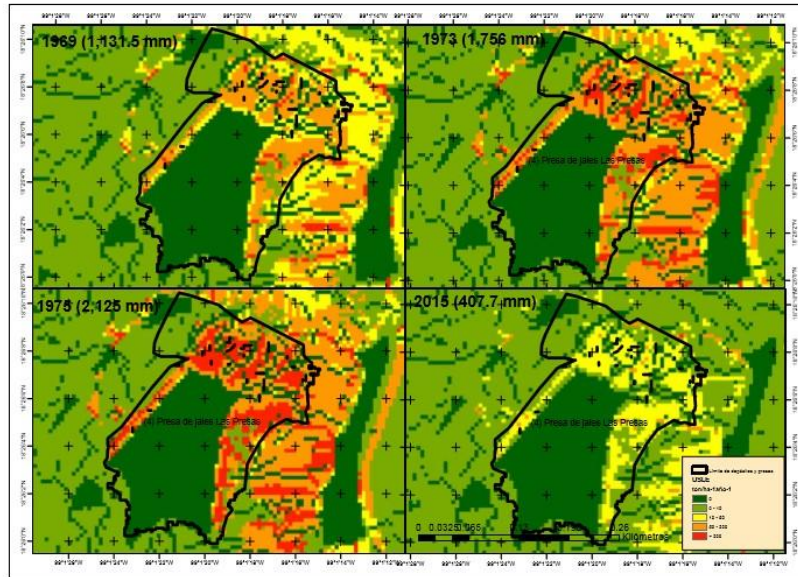


Figura 7. Estimación de la erosión de suelo de los jales basándose en el modelo USLE en la presa de jales Las Presas. En esta presa la erosión se concentra todo el tiempo en los taludes de la presa. En 1975 tuvo la mayor precipitación y la erosión sería >200 toneladas/ha-año-1, conforme descende la precipitación en 1973 y 1969, también la erosión disminuiría en casi todo el talud a 50-200 toneladas/ha-año-1. En, 2015, el año más seco, la erosión máxima fue 10-50 ton/ha-1/año-1.

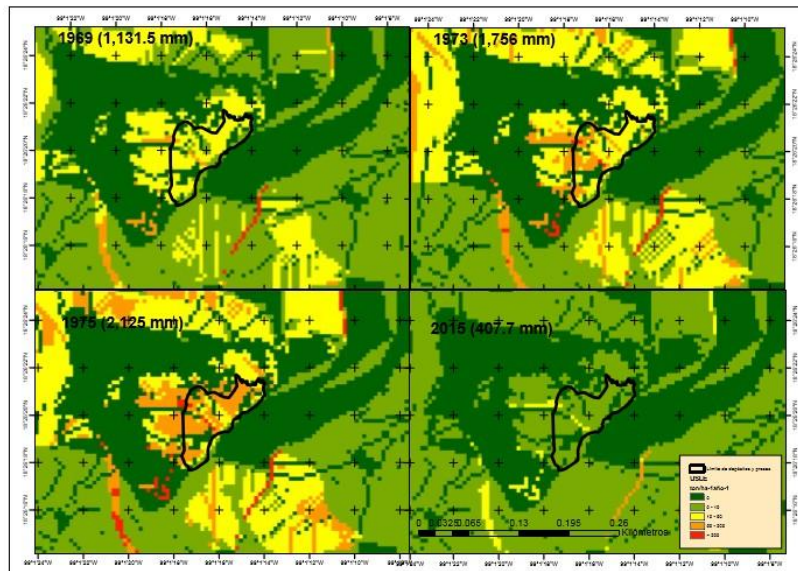


Figura 8. Estimación de la erosión de suelo de los jales basándose en el modelo USLE en el depósito de jales Huautla. En este jal la erosión descendió en los años, 1975 > 1973 > 1969 > 2015, conforme disminuyó la precipitación. La mayor erosión fue de 50-200 ton/ha-1/año-1 en casi todo el depósito en el año con mayor precipitación (1975) y la menor 0-10 ton/ha-1/año-1 en casi todo el jal en el año más seco (2015).

El análisis de las imágenes fotográficas muestra que los jales y las áreas de depósito de materiales erosionados de ellos son aledaños a los cauces (Figura 4a-d). El rompimiento fue provocado por un mal fraguado, posiblemente ocasionado por un año lluvioso. El trayecto de las escorrentías naturales cruza o es adyacente a los depósitos de jales en laderas que alimentan los jales hacia el Arroyo

Grande. Por ello, los materiales se arrastraron directamente a los cauces (Figura 11).

(d) Cuantificación de metales pesados en los depósitos de jales y en zonas de inundación del Arroyo Grande

En algunos sitios, los metales pesados presentaron valores por encima del Límite Máximo Permisible



Figura 9. Vistas oblicuas de dos presas de jales. A) Las Presas; B) Los Molinos. Los bancos son zonas superficiales y planas (flecha amarilla), el talud presenta pendientes en las presas de jales (flecha roja). Fotos: R. Márquez-Huitzil (2022, 2017).

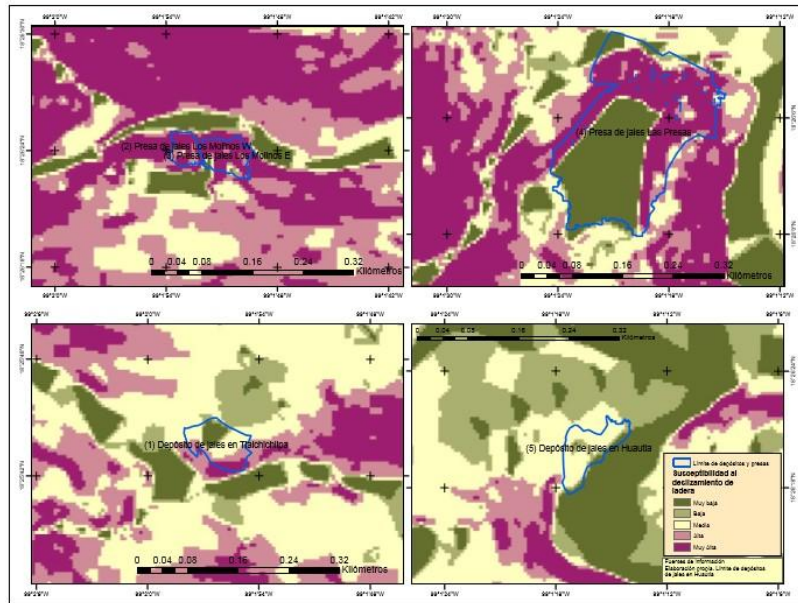


Figura 10. Susceptibilidad al deslizamiento de ladera en los cuatro depósitos de jales basándose en el método de Mora-Vahrson (Mora *et al.*, 1992). Obsérvese que en (a) Los Molinos casi toda la superficie presentó Muy Alta susceptibilidad; (b) Las Presas tuvo susceptibilidad Muy Alta en los taludes y Muy Baja en el banco; (c) Tlalchichilpa presentó susceptibilidad Muy Alta en la porción sur del depósito; (d) Huautla tuvo susceptibilidad Media en casi todo el depósito y Baja en su porción central.

(LMP): a) el zinc se presentó por arriba del LMP a diferentes profundidades en los depósitos de jales y ligeramente por arriba en las zonas de depósito del Arroyo Grande 4 y 6 (zonas de inundación) (Figura 12 y 13a); b) el cadmio se encontró por arriba del LMP en las zonas de depósito del Arroyo Grande 1 a 3 en el meandro (Figuras 12 y 13b); c)

el plomo se presentó por arriba del LMP en todos los depósitos de jales y en el cauce de Las Presas (Figuras 12 y 13c); d) el cobre presentó un comportamiento similar al plomo, pero también en las zonas de depósito del río 4 y 5 (Figuras 12 y 13d); e) el mercurio solamente se encontró por arriba del LMP en los depósitos de Tlalchichilpa y Huautla

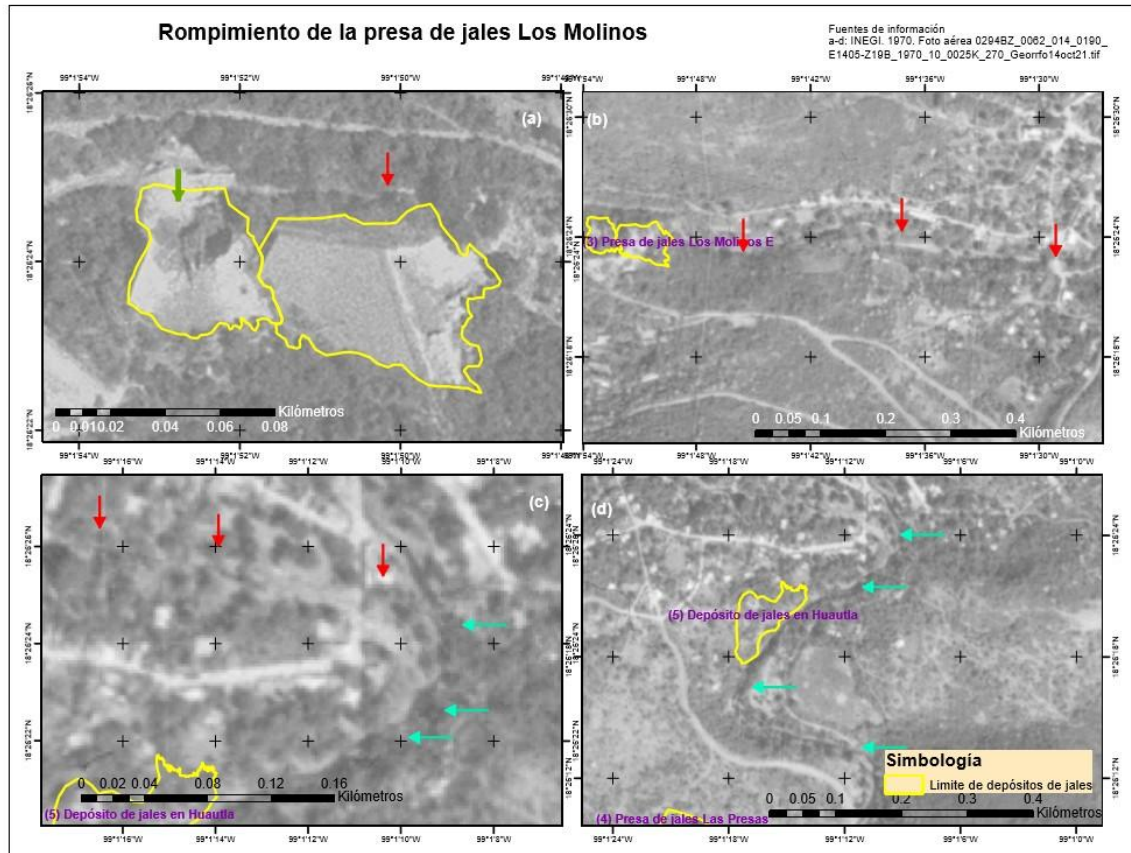


Figura 11. Rompimiento de la presa de jales en Los Molinos. (a) Rompimiento de la presa en colores claros (flecha verde); (a-c) materiales dispersos sobre el arroyo de color claro (flechas rojas); (c-d) llegada hasta el Arroyo Grande en color obscuro (flechas cyan). Foto aérea: INEGI (1970).

(Figuras 12 y 13e); f) el arsénico se presentó por arriba del LMP en todos los depósitos de jales y en la zona de depósito 4 a 6 (zona de inundación) (Figuras 12 y 13f).

DISCUSIÓN

En México, como en el mundo, la presencia de jales o relaves mineros representa un riesgo creciente para el ambiente y la sociedad. Uno de los factores que influye en la composición química de los relaves se relaciona con el grado de erosión durante el almacenamiento en la presa de jales (Kossoff *et al.*, 2014). Desde el inicio del siglo XX, la frecuencia de

falla en las presas de jales fue creciente en México y el mundo (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006; Lin *et al.*, 2022). Por tanto, el conocimiento de los factores vinculados a la dinámica de los depósitos de jales resulta de gran importancia para el diseño de estrategias de contención.

(a) Erosión

En todos los sitios donde se depositaron los jales se combinan con los factores físicos que propician su desplazamiento. La morfología de las presas y la falta de cubierta vegetal contribuyen a las altas tasas de erosión en estos sitios. En los bancos con una pendiente ligera ($< 4^\circ$) la erosión es cercana a 0, mientras que en los taludes inclinados ($> 25^\circ$) y

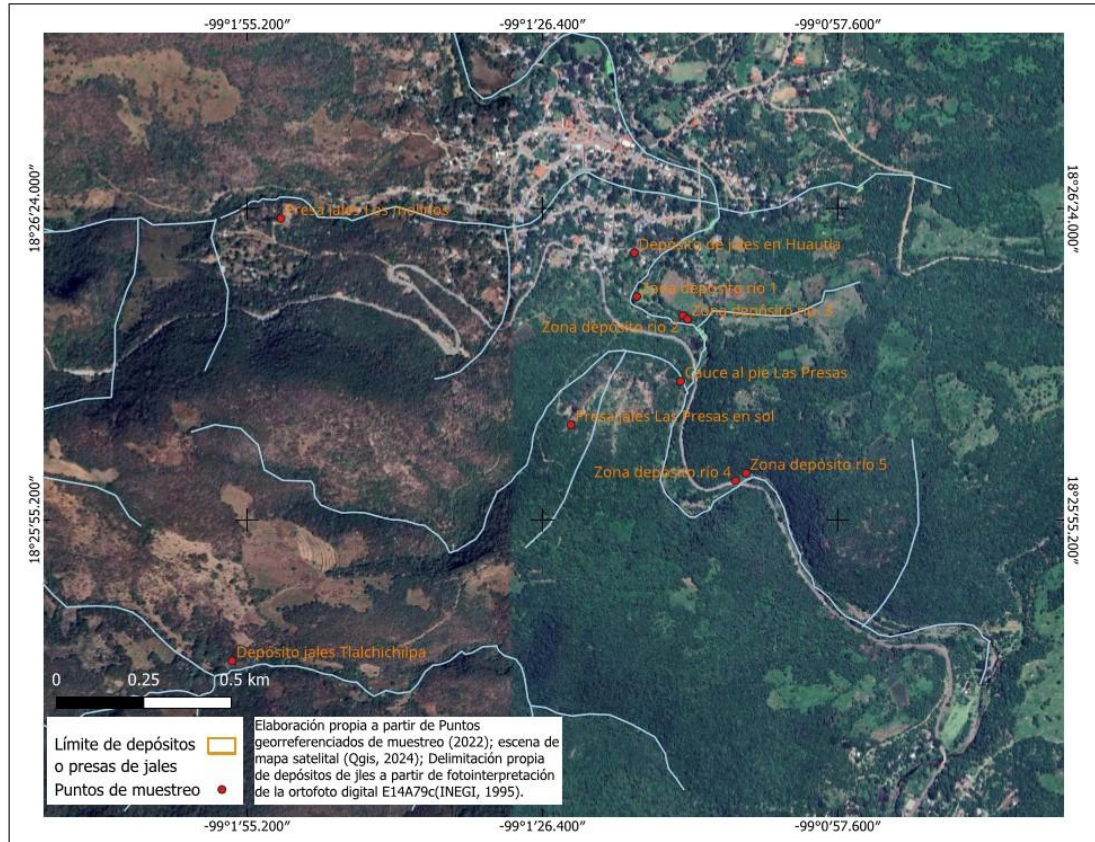
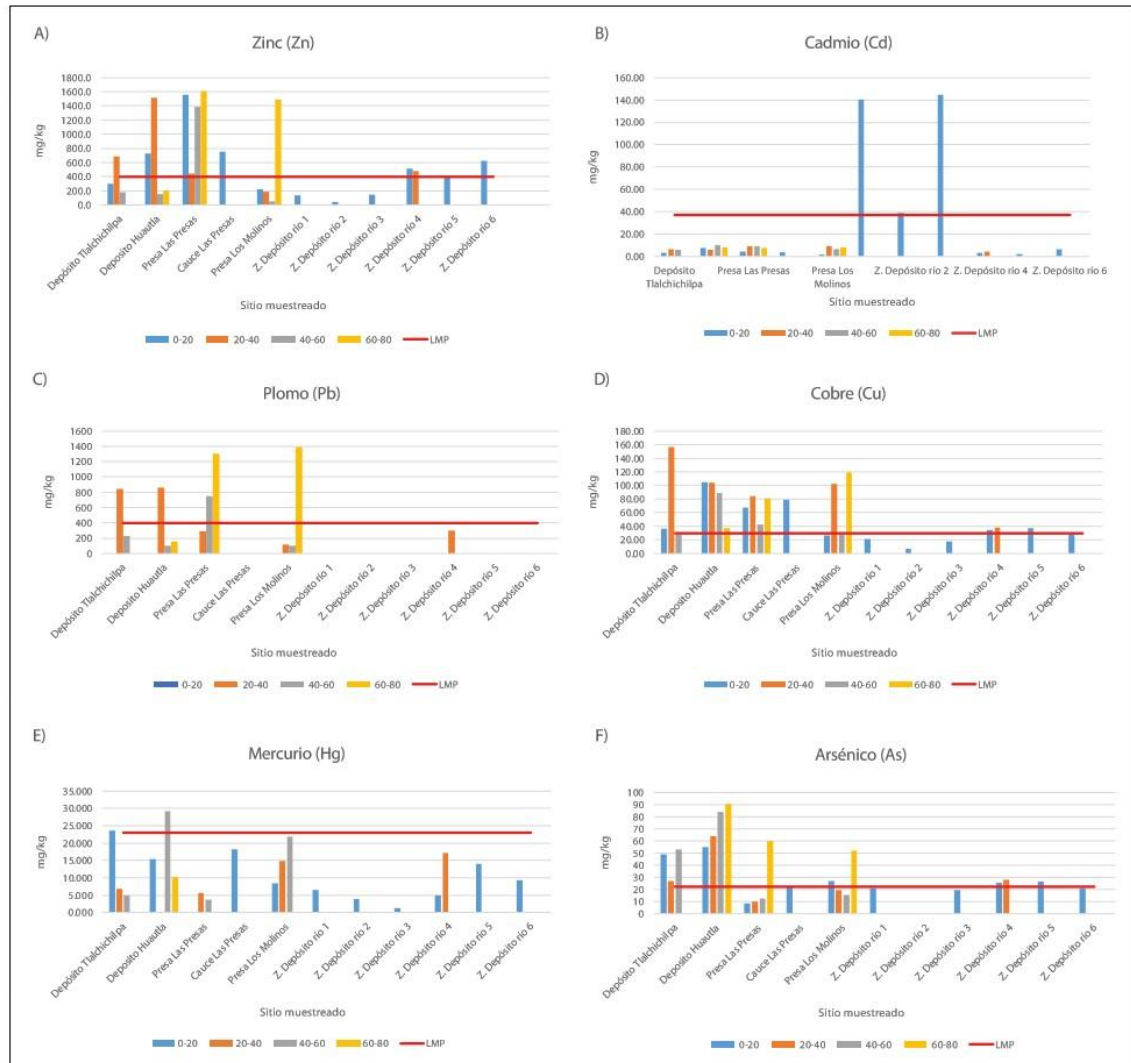


Figura 12. Zonas de depósito en el Arroyo Grande (color magenta) en Las Presas y el depósito de Huautla (color naranja). Las zonas de depósito 1, 2 y 3 corresponden a la zona de depósito de los meandros y, la 4 y 5 corresponden a la zona de inundación del Arroyo Grande. Obsérvese que todos los depósitos de jales tienen un cauce aledaño perenne o estacional que converge al Arroyo Grande, donde se encuentran las zonas de depósito muestreadas

de gran longitud ($> 15\text{m}$) con vegetación muy dispersa propiciando una erosión $> 200\text{ ton/ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Márquez *et al.*, 2022). Esto provocó que la erosión se concentrara en los taludes de las presas de jales. La mayor erosión fue en los depósitos de Huautla relacionado con una pendiente de $4\text{-}15^\circ$ en diversos puntos del depósito Huautla, además de la pendiente del propio sitio ($> 20^\circ$), pero que presentan $< 2\text{m}$ de altura en algunos puntos y escasos árboles dispersos sin arbustos ni hierbas con asentamientos humanos cercanos donde se cría ganado porcino que pastoreo libremente en el sitio; mientras que, en Tlalchichilpa, la pendiente es ligera ($4\text{ y }10^\circ$) con una cubierta vegetal casi total de árboles, arbustos y

hierbas. lo que favorecen influyen directamente en que la erosión sea prácticamente nula en este sitio. La morfología de los depósitos y presas de jales, la cobertura vegetal, el tiempo de abandono, la morfología del sitio de depósito, el escurrimiento y las actividades antropogénicas influyen claramente en la erosión.

En otros estudios sobre jales se han calculado cantidades máximas de erosión, similares a las encontradas en este trabajo ($> 200\text{ ton/ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). En zonas semiáridas del noroeste de México se calculó la erosión en tres jales: en uno se calcularon $346 \pm 9\text{ ton/ha}^{-1}\text{año}^{-1}$; en otro, $493\text{ ton/ha}^{-1}\text{año}^{-1}$; $232\text{ ton/ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para otro jal (Peña-Ortega *et*



Figuras 13a-f. Concentraciones de metales pesados (mg/kg) en las muestras de los depósitos de jales a distintas profundidades. Obsérvese que los metales pesados presentan un comportamiento distinto respecto al LMP en los depósitos de jales y en las zonas de depósito del Arroyo Grande.

al., 2019). Al sureste de España, en San Cristóbal-Perules se calcularon $150 \text{ ton/ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, valores que están de acuerdo con los calculados para otras áreas mineras (Martín *et al.*, 2015). La erosión es uno de los principales problemas que se presentan en los depósitos de jales (Amponsah-Dacosta, 2015).

(b) Susceptibilidad al deslizamiento de ladera

La antigüedad de los depósitos y las presas de jales influye en las diferencias en susceptibilidad al deslizamiento de ladera. Los depósitos de jales sin contención, entre 100 años para Huautla y 300 años para Tlalchichilpa, pueden corresponder a los últimos vestigios de presas de jales. Estos depósitos

podieron haber sido contruidos con los mismos criterios que las presas de jales actuales, pero con el paso del tiempo pudieron haber sufrido procesos de erosión y movimientos en masa como las presas actuales, siendo arrastrados los materiales directamente hacia los cauces de los ríos aledaños en lluvias. Existe multitud de presas hidráulicas en el mundo conocidas como “presas de terraplén”, es decir, fabricadas con materiales sueltos que pueden ser finos, como las presas en Huautla, a muy gruesos (escollera) (Direction Sites et Territoires, 2022). Los jales se manejan inicialmente como lodos que, al secarse se vuelven sumamente sólidos y con ellos construyen las presas. Sin embargo, el intemperismo por el agua la inclinación de los taludes, los terremotos y el sobrellenado provocan la degradación de las presas (Rivera, 2009), como demostraron las grandes cárcavas, exhumación de raíces y tubificación en las presas de jales de Los Molinos y de Las Presas. Como mostró este estudio, las presas de jales pierden decenas a cientos de toneladas de jales en años lluviosos que, mediante movimientos en masa y erosión, en cientos de años estos desplazamientos pudieron producir los pequeños depósitos de jales encontrados.

Considerando la erosión y la susceptibilidad al deslizamiento de ladera, tanto las morfología y estructura de los jales, como las características del medio físico en el que se depositan y la vegetación que se establece sobre los jales influyen en estos aspectos. Al parecer la pendiente, la estructura de la presa de jales y la del terreno son los factores que intervienen tanto en la erosión como en la susceptibilidad al deslizamiento de ladera.

(c) Reconocimiento de la zona

En Huautla, las presas de jales y los depósitos sin confinamiento fueron depositados en barrancas sobre laderas con pendientes pronunciadas. Los jales depositados en estos sitios interrumpen la escorrentía, aumentando considerablemente la erosión, la susceptibilidad al deslizamiento de ladera, así como el lixiviado de las sustancias tóxicas contenidas en estos (Hungre *et al.*, 2013; Iverson *et al.*, 2015; Bao *et al.*, 2019; Peña-Ortega *et al.*, 2019; Copaja y Muñoz, 2022). Las presas de jales de Huautla presentaban una estructura con taludes

de pendientes pronunciadas y de gran longitud confinando los jales y soportando el banco. Estos interactúan con las características físicas de los sitios donde se depositaron, aumentando su susceptibilidad al deslizamiento de ladera (Valentin *et al.*, 2005; Garduño, 2013). En los últimos años, la mayoría de las fallas en presas o en depósitos de jales se ha incrementado por las intensas lluvias o terremotos (Lin *et al.*, 2022). Las presas de jales en Huautla están muy deterioradas, ya que fueron contruidas con los mismos jales y a que la textura de los jales cambió de un contenido de arenas de 20-45% de arenas y 27-49 % de arcillas (Velasco *et al.*, 2004) a 60.4-92.4 % de arenas y 1.24-15.24% de arcillas en 2023. La pérdida de las partículas de tamaño arcillas, en los primeros años de erosión. Esas partículas permitían la cohesión de los agregados, favoreciendo la erosión e inestabilidad de los jales (Martín-Crespo *et al.*, 2020) La Muy Alta susceptibilidad al deslizamiento de ladera en los taludes de las presas y la erosión subterránea incrementan el riesgo de movimientos en masa. Una evidencia de la intensa erosión y susceptibilidad de las presas y los depósitos de jales fue el rompimiento de una presa de jales en Los Molinos (Márquez *et al.*, 2022).

(d) Cuantificación de metales pesados en los depósitos de jales y en zonas de inundación del Arroyo Grande

La concentración de metales pesados en los jales y zonas de inundación se relaciona con las propiedades del metal y su dinámica en el ambiente (Wang *et al.*, 2019). La composición química de los relaves depende de la mineralogía del yacimiento, la naturaleza de los fluidos de procesamiento utilizados para extraer los metales, la eficiencia del proceso de extracción y el grado de erosión durante el almacenamiento en el embalse represado (Direction Sites et Territoires, 2022). El zinc presentó mayor estabilidad en los jales con valores por arriba del LMP, una pequeña porción pudo lixivarse hacia dos zonas de inundación, representando un riesgo sobre todo para los niños (Barcelos *et al.*, 2020). Las diferencias en la concentración de cadmio por arriba del LMP en las zonas de inundación del Arroyo Grande podría explicarse por una mayor profundidad de

materiales y sedimentos acumulados en esas zonas podrían provenir de procesos de removilización en el río (Ciszewski y Grygar, 2016), l y podrían provenir de las minas que se encuentran aguas arriba en el Arroyo Grande (Márquez, 2022). Los valores del arsénico por arriba del LMP en los depósitos y presas de jales indican una relativa estabilidad de este metaloide en esos sitios, mientras que, en las zonas de inundación presentaron valores ligeramente arriba del LMP, indicando una relativa estabilidad de este metaloide en los jales, movilizándose un pequeño porcentaje hacia las zonas de inundación del Arroyo Grande. La concentración del mercurio por arriba de los LMP en los depósitos de jales de Huautla y Tlalchichilpa podría provenir de su uso histórico para el beneficio de algunos minerales ya que esos depósitos de jales tienen más de 100 años (Valle, 1991; Sánchez, 2002).

Los metales pesados como zinc, plomo, cobre, cadmio y arsénico con mayor concentración en los jales y zonas de depósito indican una alta persistencia después de más de tres décadas de haber finalizado la actividad minera y, en los depósitos de jales, más de 100 años de abandono. En zonas de depósito del río, los metales indican que se lixivian, transportan y acumulan diferencialmente en las zonas de inundación del Arroyo Grande.

El medio físico interactúa con los depósitos y las presas de jales provocando su erosión y el lixiviado de las sustancias tóxicas que contienen. Algunos estudios han mencionado los riesgos en cuanto a la estabilidad de los jales y su toxicidad (Martín *et al.*, 2015). Los jales erosionados también pueden afectar a las represas construidas a lo largo del río al azolvarlas con mayor rapidez (Rivera, 2009; Bao *et al.*, 2019). En los ríos, el movimiento de los materiales y de sustancias tóxicas pueden modificar la morfología de los cauces y la profundidad y, provocar el desbordamiento del río en época de lluvias, así como el depósito de contaminantes en su vecindad (Sánchez *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

La erosión y la Susceptibilidad al deslizamiento de ladera de los depósitos de jales se relaciona estrecha-

mente con las características de los jales y de la zona en Huautla, Morelos. La morfología de las presas de jales provoca que la mayor erosión se presente en las presas de jales y en el depósito Huautla. El depósito de Tlalchichilpa tiene una erosión mínima que puede relacionarse con su tamaño pequeño y un alto recubrimiento vegetal en casi todo el jal.

Los factores con mayor peso en la susceptibilidad al deslizamiento de ladera son la morfología y la vegetación. La Muy Alta susceptibilidad al deslizamiento en los taludes y Muy Baja en los bancos de las presas de jales prueba su relación con la morfología. En los depósitos sin confinamiento la susceptibilidad es Media a Muy Baja porque son viejos remanentes de jales mayores a 100 años. Los depósitos sin confinamiento pueden ser remanentes de depósitos mucho mayores erosionados por más de un siglo.

El contenido de metales pesados por arriba del límite máximo permisible muestra su persistencia en los depósitos de jales y su movilidad hacia las zonas de inundación en los ríos. Los metales Zn, Cd, Pb, Cu, Hg y As presentan alta persistencia en los jales a diferentes profundidades. Mientras que, el Zn, Pb, Cu, Hg y As se movilizan y acumulan en cantidades ligeramente por arriba del límite máximo permisible en las zonas de inundación. En conjunto, los resultados de este estudio resaltan la importancia de proponer e implementar estrategias de rehabilitación y remediación de los depósitos de jales y compensar la pérdida del ecosistema provocada por su depósito.

AGRADECIMIENTOS

RMH agradece al CONACyT por la beca de doctorado número 778992. Por el apoyo al proyecto de Ciencia de Frontera 191975 del Consejo Nacional de Ciencias Humanidades y Tecnología para realizar los análisis de metales pesados en muestras de suelo. A las biólogas Karina Matías Ocampo e Ilana Villarreal Carrión por su apoyo en la toma de muestras en campo. A la Dra. Jaqueline García Hernández y a la Técnica Daniela Aguilera Márquez del Laboratorio de Ciencias Ambientales del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Guaymas, Sonora, por realizar los análisis

de suelos. Al Doctorado en Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) y a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por facilitar gran parte de la literatura para este trabajo.

REFERENCIAS

- Aguirre-Salado, C. A., Miranda-Aragón, L., Pompa-García, M., Reyes-Hernández, H., Soubervielle-Montalvo, C., Flores-Cano, J. A. y Méndez-Cortés, H. (2017). Improving Identification of Areas for Ecological Restoration for Conservation by Integrating USLE and MCDA in a GIS-Environment: A Pilot Study in a Priority Region Northern Mexico. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(262), 1-17. <https://doi.org/10.3390/ijgi6090262>
- Amponsah-Dacosta, F. (2015). A Field-Scale Performance Evaluation of Erosion Control Measures for Slopes of Mine Tailings Dams. 10th ICARDIMWA2015. 10th International Conference on Acid Rock Drainage & IMWA Annual Conference. http://www.imwa.de/docs/imwa_2015/IMWA2015_Dacosta_262.pdf
- Arango Aramburo, M. y Olaya, Y. (2012). Problemática de los pasivos ambientales. *Gestión y Ambiente*, 15(3), 125-133. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169424893009.pdf>
- Bao, Y., Sun, X., Chen, J., Zhang, W., Han, X. y Zhan, J. (2019). Stability assessment and dynamic analysis of a large iron mine waste dump in Panzhihua, Sichuan, China. *Environmental Earth Sciences*, 78(48), 17. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8043-4>
- Barats, A., Renac, C., Orani, A.M., Durrieu, G., Saint Martin, H., Esteller, M.V. y Garrido Hoyos, S.E. (2020). Tracing source and mobility of arsenic and trace elements in a hydrosystem impacted by past mining activities (Morelos state, Mexico). *Science of The Total Environment*, (712), 135565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135565>
- Barcelos, D.A., Pontes, F.V.M., da Silva, F.A.N.G., Castro, D.C., dos Anjos, N.O.A. y Castilhos, Z. C. (2020). Gold mining tailing: Environmental availability of metals and human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, (397), 122721. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122721>
- Barrantes Castillo, G., Barrantes Sotela, O. y Núñez Roman, O. 2011. Efectividad de la metodología Moravrhson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47), 141-162. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3970>
- Castro Quintero, A.F, L. A. Lince Salazar y O. Riaño Melo. (2017). Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 17-26. <https://doi.org/10.22490/21456453.1828>
- Ciszewski, D. y Grygar, T. M. (2016). A Review of Flood-Related Storage and Remobilization of Heavy Metal Pollutants in River Systems. *Water, Air & Soil Pollution*, 227(239). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-016-2934-8>
- CONAGUA. (2017). *Red de estaciones climatológicas*. Estación Huautla, Morelos, México: Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacionclimatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Copaja, S.V. y Muñoz, F. (2022). Ecological risk assessment of trace elements in the tailings from Andacollo City, Northern Chile. *Journal of Chilean Chemistry Society*, 67(4), 5674-5681. <https://jccchems.com/index.php/JCCHEMS/article/view/2128>
- Direction Sites et Territoires. 2022. Mine tailings dam failures: review and assessment of the phenomenon. Christian, F. (Editor). French National Institute for Industrial Environment and Risks, Verneuil-en-Halatte: Ineris – 204910 - v1.0, 25/01/2022. <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Ineris-204910-2727405-mine%20tailings%20dam%20failures.pdf>
- ELAW. (2010). Guía Para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros. Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW), Eugene Oregon, EUA. <https://elaw.org/es/resource/guidebook-evaluating-mining-project-eias>
- Esteller, M. V., Domínguez-Mariani, E., Garrido, S. E. y Avilés, M. (2015). Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico. *Environmental Earth Science*, 74(4), 2893-2906. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4315-9>
- Esteves Aguilar, J. (2018). Evaluación del daño genético y la inestabilidad en el desarrollo del cráneo en la especie centinela *Peromyscus melanophrys* que habita en zonas mineras. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/564>
- FAO. (2019). *Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a268e967-a373-4a56-adac-ae1d7ab3567f/content>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta edición. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad.

- <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- García-Rodríguez, M. (2015). Erosión y exhumación de bloques graníticos en La Pedriza del Manzanares (España). Evolución histórica a partir de dataciones relativas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(3), 492-500. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1026-87742015000300492&script=sci_abstract
- Garduño Sanabria, A. E. (2013). Susceptibilidad ante los movimientos de ladera en el pueblo Santa Cruz Ayotuxco, Municipio de Huixquilucan, Estado de México. [Tesis de Licenciatura en Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/21778>
- Google Earth. (2024). Google Earth versión 9.176.0.1. Mountain View, USA. Recuperado el 15 de enero de 2024 de <https://earth.google.com/web/search/Huautla,+Morelos,+Morelos/@18.43600193,-99.02224671,973.35284868a,494.2521082d,35y,-90.02465741h,44.98902875t,-0r/data=CigiJgokCVsjHfYtozNAEVYjHfYtozPAGctrLb9amjJAIXHwDjsDjl-TA>
- Griffin M.L., Beasley, D. B., Fletcher, J. J. y Foster, G. R. 1988. Estimating soil loss on topographically non-uniform field and farm units. *Journal of Soil and Water Conservation* (43), 326-331. <https://www.jswconline.org/content/43/4/326>
- Hrabalíková, M. y Janeček, M. 2017. Comparison of Different Approaches to LS Factor Calculations Based on a Measured Soil Loss under Simulated Rainfall. *Soil & Water Research*, 12(2), 69-77. DOI: 10.17221/222/2015-SWR
- Hungr, O., Leroueil, S. y Picarelli, L. (2013). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, (11), 167-194. DOI: 10.1007/s10346-013-0436-y
- INEGI. (1970). Fotografía aérea 014_0190 de la línea de vuelo 62. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (1995). Ortofoto E14A79C. Fotografías aéreas, 1:75 000. Recuperado en <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/#Descargas>
- INEGI. (2015). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica E14A79 Tlaxapotala, Serie IV, 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado en <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- INEGI. (2021). Carta de Uso del suelo y vegetación. Serie VII. Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. Recuperado en <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- Islas Vargas, M. 2013. Extractivismo de enclave y minería a cielo abierto: impactos y consecuencias socio-ambientales. [Tesis de Licenciatura en Sociología, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://repositorio.unam.mx/contenidos/extractivismo-de-enclave-y-mineria-a-cielo-abierto-impactos-y-consecuencias-socio-ambientales-139652?c=pjKXnn&d=false&q=*&i=1&v=0&t=search_0&as=0
- Iverson, R. M., George, D. L. y Allstadt, K. (2015). Landslide mobility and hazards: implications of the 2014 Oso disaster. *Earth and Planet Science Letters*, 412(15), 197-208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.12.020>
- Juárez Mondragón, A. (2017). Prácticas de aprovechamiento en Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) del sur de Morelos. [Tesis de Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, Universidad Nacional Autónoma de México]. 348 p. <https://libros.crim.unam.mx/index.php/lc/catalog/book/36>
- Kossoff, D., Dubbin, W. E., Alfredsson, M., Edwards, S. J., Macklin, M. G. y Hudson-Edwards, K. A. (2014). Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*, (51), 229-245. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>
- Le Pan, N. (2021, 15 de mayo). Visualizing the size of the world's mine tailings. Elements Newsletter. <https://elements.visualcapitalist.com/visualizing-the-size-of-mine-tailings/>
- Lin, L., Lin, Q. y Wang, Y. (2017). Landslide susceptibility mapping on a global scale using the method of logistic regression. *Natural Hazards Earth System Science*, (17), 1411-1424. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1411-2017>
- Lin, S.-Q., Wang, G.-J., Liu, W.-L., Zhao, B., Shen, Y.-M., Wang, M.-L. y Li, X.-S. (2022). Regional Distribution and Causes of Global Mine Tailings Dam Failures. *Metals*, 12(6), 905. <https://doi.org/10.3390/met12060905>
- Loredo-Osti, C., Beltrán López, S., Moreno Sánchez, F. y Casiano Domínguez, M. (2007). *Riesgo a la Erosión Hídrica y Proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí*. Libro Técnico 3. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, México. <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre31.pdf>
- Macklin, M. G., Thomas, C. J., Mudbharkal, A., Brewer, P. A., Hudson-Edwards, K. A., Lewin, J., Scussolini, P., Eilander, D., Lechner, A., Owen, J., Bird, G., Kemp, D. y Mangalaa, K. R. (2023). Impacts of metal mining on river systems: a global assessment. *Science*, 381(6664), 1345-1350. <https://doi.org/10.1126/science.adg6704>
- Madebwe, V., Munodawafa, A., Mugabe, F. y Madebwe, C. (2015). Predicting toxic heavy metal movements

- in upper sanyati catchment in the midlands province in Zimbabwe. *Ethiopian Journal of Environmental Studies & Management*, 8(5), 556-569. DOI: [10.4314/ejesm.v8i5.9](https://doi.org/10.4314/ejesm.v8i5.9)
- Márquez Huitzil, R., Martínez-Garza, C., Hinojosa-Espinoza, S. I. y Sorani, V. (2022). Identificación de minas y jales en Huautla, Morelos, México. *Investigaciones Geográficas*, (109), 1-23. <https://doi.org/10.14350/rig.60633>
- Martín Duque, J.F., Zapico, I., Oyarzun, R., López García, J.A. y Cubas, P. 2015. A descriptive and quantitative approach regarding erosion and development of landforms on abandoned mine tailings: New insights and environmental implications from SE Spain. *Geomorphology*, (239), 1-16. https://digital.csic.es/bitstream/10261/113396/1/G_2015_239_1_pp.pdf
- Martín-Crespo, T., Gómez-Ortiz, D., Martín-Velázquez, S., Martínez-Pagán, P., de Ignacio-San José, C., Lillo, J., y Faz, A. (2020). Abandoned Mine Tailings Affecting Riverbed Sediments in the Cartagena-La Union District, Mediterranean Coastal Area (Spain). *Remote Sensing*, (12), 2042. DOI:10.3390/rs12122042. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/12/2042>
- Montes-León, M.A.L., Uribe-Alcántara, E.M. y García-Celis, E. (2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(1), 5-17. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v2n1/v2n1a1.pdf>
- Moore, I.D. y Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, (47), 423-428. Recuperado: <https://www.jswconline.org/content/47/5/423>
- Mora, R., Vahrson, W. y Mora, S. (1992). Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica. Ciudad de Guatemala, Guatemala: CEPREDENAC.
- Mora, R., Chaves, J. y Vázquez, M. (2002). Zonificación de la Susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson (Mora, R. et al., 1992). *III Curso Internacional sobre Microzonificación y su aplicación en la mitigación de desastres*, 38-43. <https://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc15359/doc15359-a.pdf>
- Morales Ascarrunz, M. C. (2014). *Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud- Haití*. [Tesis de Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Institucional - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing. 3a Ed. Massachusetts, EUA. <https://es.everand.com/book/144404237/Soil-Erosion-and-Conservation>
- Musali Galante, P. (2008). Estudio sobre la inducción de daño al ADN en sangre periférica de individuos expuestos a metales en el agua de bebida en la población de Huautla, Morelos [Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional- Universidad Nacional Autónoma de México.
- Oyarzun, R., Higuera, P. y Lillo, J. (2011). *Minería Ambiental. Una introducción a los Impactos y su Remediación*. Ediciones GEMM.
- Paz Tenorio, J. A., González Herrera, R., Gómez Ramírez, M. y Velasco Herrera, J. A. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*, (92), 1-16. <https://doi.org/10.14350/rig.52822>
- Peña-Ortega, M., Del Río-Salas, R., Valencia-Sauceda, J., Mendivil-Quijada, H., Minjarez-Osorio, C., Molina-Freaner, E., De la O-Villanueva, M. y Moreno-Rodríguez, V. 2019. Environmental assessment and historic erosion calculation of abandoned mine tailings from a semi-arid zone of northwestern Mexico: Insights from geochemistry and unmanned aerial vehicles. *Environmental Science and Pollution Research*, (26), 26203-26215. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05849-w>
- POEREM. (2014). Sistema Estatal de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Documentación Ordenamiento Ecológico. Programa de Ordenamiento Ecológico regional del estado de Morelos. Curvas de nivel (altimetría) 5 m (Esc. 1:5000). Tlaquiltenango. http://obum.zmucuernavaca.morelos.gob.mx/metadatos/morelos/POEREM/Metadatos_Morelos_OET.htm
- Qgis. (2021). Escena del mapa Satelital. Quick Map Services. Quantum Gis. Software libre. <https://qgis.org/es/site/>
- Ramos-Arroyo, Y. R. y Siebe-Grabach, C. D. (2006). Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(1), 54-74. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742006000100004
- Rana, N. M., Ghahramani, N., Evans, S. G., McDougall, S., Small, A. y Take, W. A. (2021). Catastrophic mass flows resulting from tailings impoundment failures. *Engineering Geology*, (292), 106262. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106262>
- Reyes Mariano, J. M. (2014). *Propiedades mecánicas de jales para diseño de presas* [Tesis de Maestría en Ingeniería (Geotecnia), Benemérita Universidad

- Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Rivera Castelo, J.A. (2009). *Diseño geotécnico para estabilización del depósito de jales mineros (Presa I), en Nacozari de García, Sonora, México* [Tesis de Maestría en Ciencias- Geología, Universidad de Sonora]. Repositorio Institucional - Universidad de Sonora.
- Sánchez Santiró, E. (2002). Plata y privilegios: el real de minas de Huautla, 1709-1821. *Estudios de Historia Novohispana*, (26), 85-123. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/31245>
- Sánchez, L. E., Barbosa, F. A. R., Brito, M. C. W., May, P., Maroun, C., Renshaw, J. y Kakabadse, Y. (2022). The environmental impacts of a major mine tailings spill on coastal and marine environments. Lessons and recommendations for ex post impact assessment. Rio Doce Panel Thematic Report NO. 5. IUCN, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.11.en>
- Scheffer, F. y Schachtschabelm, P. (2016). *Soil Science*. Springer-Verlag.
- Segura, G., Badilla, E. y Obando, L. 2011. Susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba. *Revista Geológica de América Central*, (45), 101-121. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i45.1908>
- SEMARNAT. (2007). NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Diario Oficial de la Federación*, México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4964569&fecha=02/03/2007#gsc.tab=0
- SIATL. (2023). Simulador de Flujos de Agua de Cuenclas Hidrográficas. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/
- U.S. EPA. (1994). "Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry," Revision 4.4. Cincinnati, OH, Estados Unidos de América. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-200.7.pdf>
- Valentin, C., Poesen, J. y Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, (63), 132-153. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816205000883>
- Valle Mejía, C. R. M. (1991). Repercusiones en el Espacio Geográfico de la Actividad Minera en Huautla, Morelos, en el Decenio 1980-1989. [Tesis de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000168332>
- Vázquez-Tarrío, D., Ruiz-Villanueva, V., Garrote, J., Benito, G., Calle, M., Lucía, A. y Díez-Herrero, A. (2024). Effects of sediment transport on flood hazards: Lessons learned and remaining challenges. *Geomorphology*, (446), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108976>
- Velasco Trejo, J. A., de la Rosa Pérez, D. A., Solórzano Ochoa, G. y Volke Sepúlveda, T. L. (2004). Primer Informe del Proyecto: Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. Dirección de Investigación en Residuos y Proyectos Regionales. INE, SEMARNAT.
- Wang, P., Sun, Z., Hu, Y. y Cheng, H. (2019). Leaching of heavy metals from abandoned mine tailings brought by precipitation and the associated environmental impact. *Science of the Total Environment*, (695), 133893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133893>

ANEXO

La siguiente información fue eliminada de la publicación en el artículo publicado por Investigaciones Geográficas. El artículo fue acortado para ajustarse a los criterios editoriales de la revista. Esta información complementa la sección de reconocimiento en campo para los resultados y la discusión. En este complemento se aportan imágenes e información que pueden ser complementarias para los lectores.

2) Reconocimiento de la zona

Métodos

(ii) *Reconocimiento en campo*

La erosión en los jales se identificó mediante recorridos. Las evidencias de erosión consideradas fueron las siguientes: exhumación de raíces, formación de columnas, cárcavas, surcos, tubificación, colapso del terreno y deslizamiento. Adicionalmente, se caracterizó la vegetación sobre los jales (FAO, 2019).

Resultados

(ii) *Reconocimiento en campo*

En Las Presas y Los Molinos se observaron múltiples evidencias de erosión en forma de surcos, cárcavas, derrumbe de materiales, exhumación de raíces y tunelamiento (Figuras A-F). En los depósitos de Tlalchichilpa y de Huautla estos procesos no fueron evidentes. Las cárcavas presentaron longitud considerable, algunas mayores a los 17m del banco al sustrato original (Figura B). En ambas presas de jales, la erosión pluvial modificó la morfología formando grandes “pedestales” en los taludes (Figura A). Sólo en época de lluvias, se observó un

recubrimiento con pastos, pero se perdieron gradualmente por la ganadería. Sin embargo, a pesar de la posible toxicidad, se observó un corral y caballos amarrados sobre el jal, evidencia de la presencia de ganadería extensiva observada en diferentes visitas. La densidad vegetal fue mayor en los taludes que en los bancos; sin embargo, esto no disminuyó significativamente su erosión, pues se observó la formación de pedestales, la presencia de cárcavas, exhumación de raíces y tunelamiento masivo.

En ambos sitios se presentaron grandes cárcavas. La longitud de las cárcavas llegó hasta 17m (Figura B). La erosión provocó la exhumación de raíces en las presas de jales (Figura C). En el caso de Las Presas fue más evidente la presencia del proceso de tubificación y de tunelamiento (Figura Da), aunque en Los Molinos el proceso empieza a ser evidente de forma superficial (Figura Db). Otro proceso observado fue un hundimiento del banco en Las Presas (Figura E). A lo largo del lecho del cauce estacional, al pie del depósito de Los Molinos, se presentó el manchado de la roca por la reacción de los lixiviados con la roca caliza (Figura F).

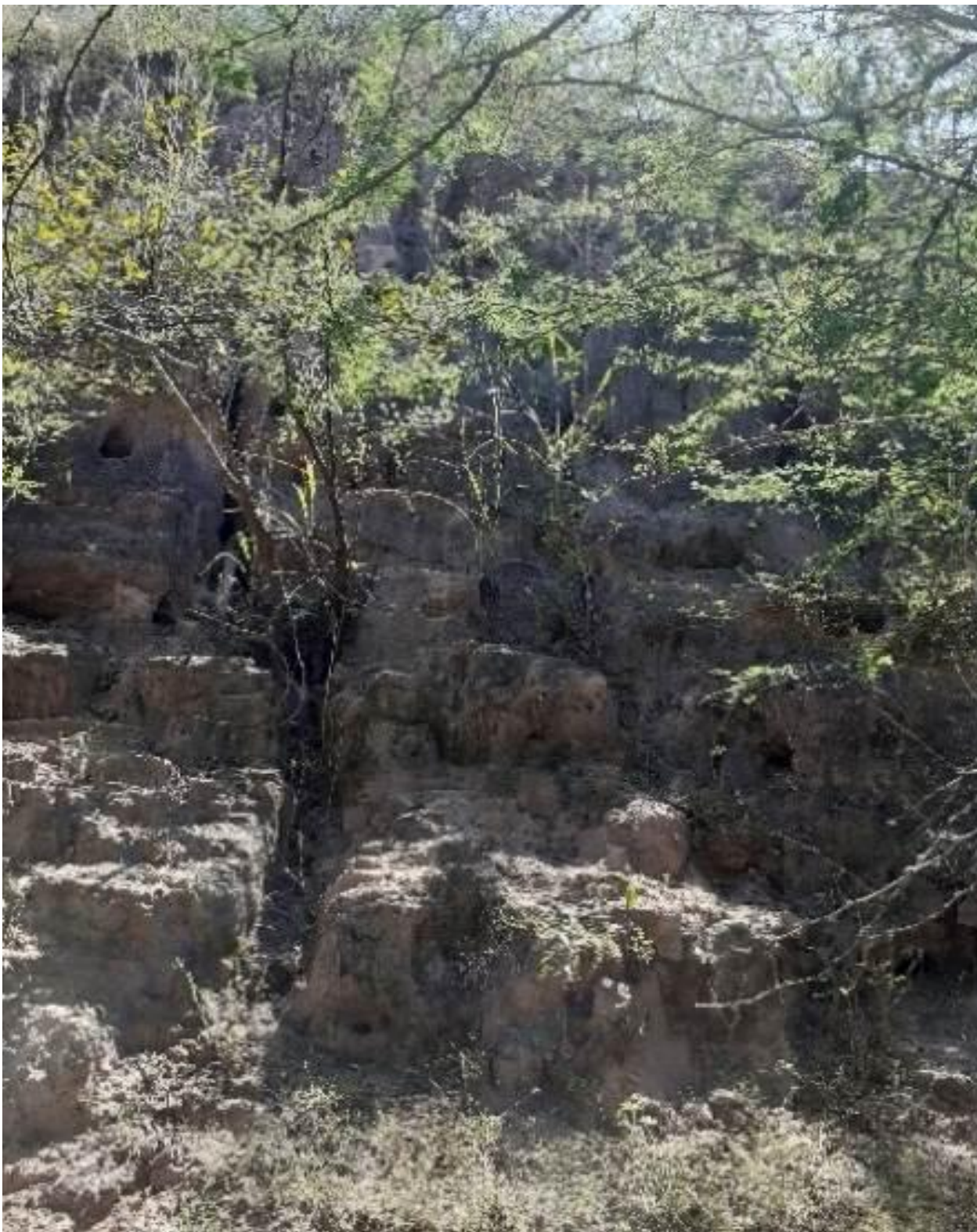


Figura A. Formación de “pedestales” en Las Presas (Foto: Márquez-Huitzil, R., 2021).

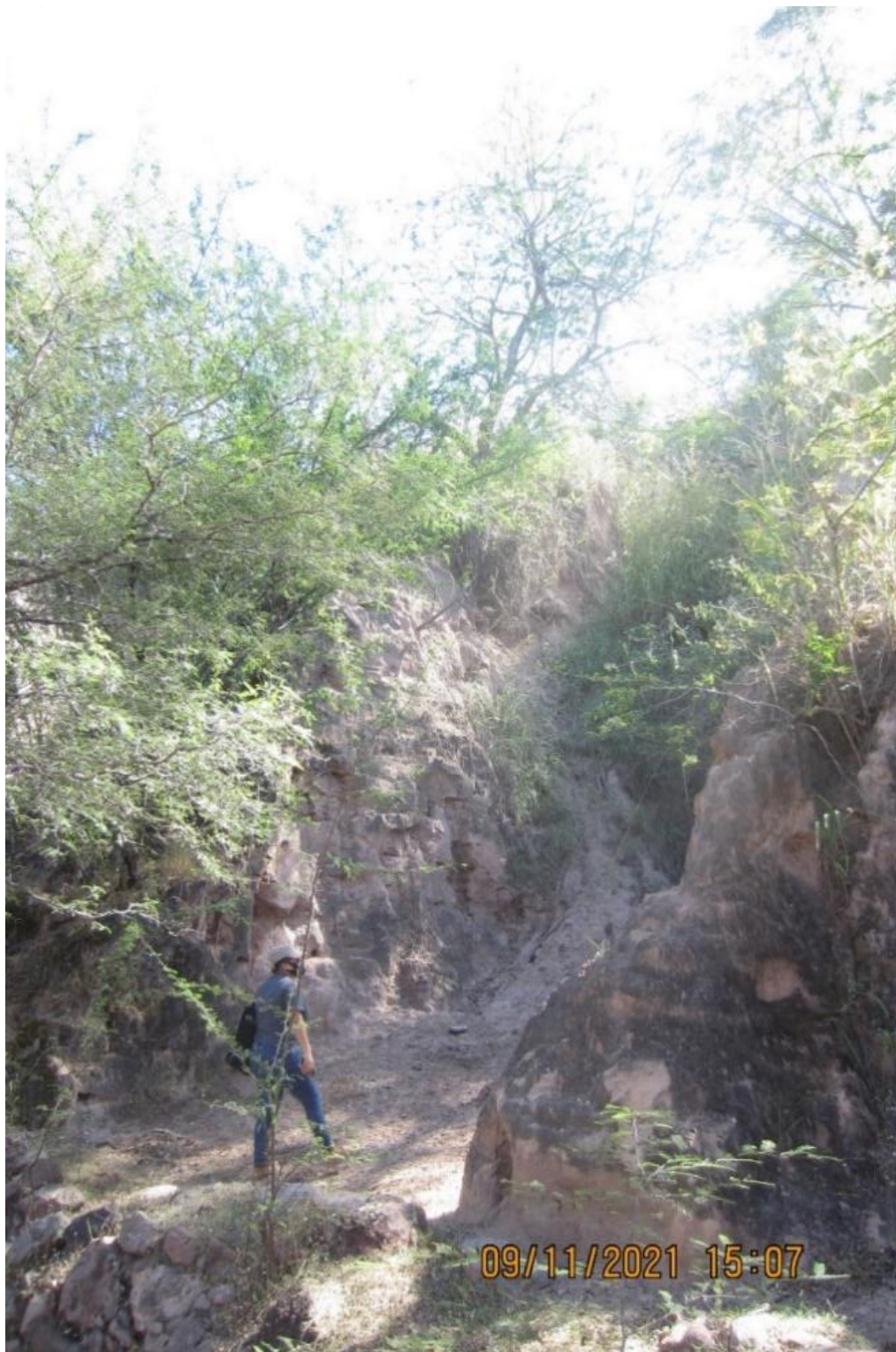


Figura B. Cárcava encontrada en Las Presas. Obsérvese el espesor del depósito de jal excavado verticalmente por la cárcava (Foto: Márquez-Huitzil, R., 2021).



Figura C. Exhumación de raíces por erosión laminar en uno de los taludes de Las Presas (Foto: Márquez-Huitzil, R., 2021).



Figura D. Proceso de tunelamiento en las presas de jales. a. Tubificación (orificios pequeños que abren tubos) y tunelamiento (orificios grandes que abren túneles) en el talud de Las Presas; b. Tunelamiento y colapso de túneles en el banco de Los Molinos (Fotos: Márquez-Huitzil, R., 2022).



Figura E. Hundimientos del terreno en el banco de Las Presas (Foto: Márquez-Huitzil, R., 2022).



Figura F. Manchado de rocas calizas en el lecho de un arroyo seco por reacción de la caliza con el drenaje ácido de los jales (flechas azules) (obsérvese la coloración semejante a la de los jales) y jales depositados el arroyo (flecha amarilla) (Foto: Márquez-Huitzil, R., 2022).

Discusión

Reconocimiento en campo

La exhumación de raíces y los hundimientos del terreno en las presas de jales en Huautla y en la presa denominada Las Presas pueden explicarse por la erosión superficial y por la erosión subterránea, respectivamente. En las tres presas de jales se establecieron escasas especies vegetales, principalmente especies arbóreas, encontrando numerosos casos de exhumación de raíces durante la verificación en campo (Figura 16). Aunque esto no fue analizado en este estudio, la exhumación de raíces es otra evidencia de la erosión en los jales (Stoffel *et al.*, 2013). Los hundimientos del terreno son producto del colapsarse de los conductos de tubificación o erosión interna (Vázquez-Selem y Zinck, 1994; Fernández, 2015). La intensa erosión superficial e interna (subterránea) en conjunto con una muy alta susceptibilidad de los taludes al deslizamiento de ladera, así como la escasa vegetación establecida, favorecen la erosión y aumentan la probabilidad de un movimiento en masa de las presas de jales de Huautla (López y Torcal, 1986; Valentin *et al.*, 2005; Rivera, 2009; Fernández y López, 2016; Osorio, 2017; Iverson *et al.*, 2015).

RECOMENDACIONES

Las características de erosión y Susceptibilidad al deslizamiento de ladera de los depósitos de jales son importantes. Los depósitos de jales tienen valores altos de erosión en sus taludes y Muy alta Susceptibilidad al deslizamiento de ladera. Los

materiales que forman los jales y la estructura de los depósitos de jales deben considerarse al mitigar sus impactos

Los metales pesados continúan presentes en los jales. La persistencia de metales pesados en el ambiente y en las zonas de inundación de los cuerpos de agua amenaza a la biodiversidad de la zona incluidas las poblaciones humanas. La atención a la toxicidad presentada por los depósitos de jales es indispensable para disminuir el riesgo que representan para la biodiversidad

Los depósitos de jales presentan al menos tres riesgos para el ambiente. La estructura de los depósitos favorece una muy alta Susceptibilidad al deslizamiento de ladera. Las partículas que forman los jales van cambiando representan un riesgo por su desplazamiento hacia zonas vecinas. La estructura, los materiales y sustancias que componen los depósitos de jales en combinación con factores físicos como el escurrimiento, las lluvias o el viento deben tomarse en cuenta para atender el riesgo que representan para el medioambiente, la biodiversidad y los seres humanos.

Referencias bibliográficas

Fernández Lavín, A.A. y N.P. López Acosta. (2016). Fuerzas de filtración en depósitos de relaves mineros. XXVIII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.

Iverson, R.M., D.L., George y K. Allstadt. (2015). Landslide mobility and hazards: implications of the 2014 Oso disaster. Earth and Planet Science Letters 412(15):197–208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.12.020>

- López Bermúdez, F. y L. Torcal Sáinz. (1986). Proceso de erosión en túnel (piping) en cuencas sedimentarias de Murcia (España). Estudio preliminar mediante difracción de rayos X y microscopio electrónico de barrido. Papeles de Geografía Física 11:7-20
- Osorio Berrío, X.Y. (2017). Evaluación del fenómeno de erosión interna en presas de tierra: una revisión a las presas de Antioquia. Tesis de Magister en Ingeniería-Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. 92pp.
- Rivera Castelo, J.A. (2009). Diseño geotécnico para estabilización del depósito de jales mineros (Presa I), en Nacozari de García, Sonora, México. Tesis de Maestría en Ingeniería Geologica. Universidad de Sonora. 122pp.
- Stoffel, M., Corona, C., Ballesteros-Cánovas, J.A. y Bodoque, J.M. (2013). Dating and quantification of erosion processes based on exposed roots. Earth-Science Reviews 123: 18–34
- Valentin, C., J. Poesen y Yong Li. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. Catena 63:132–153. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816205000883>
- Vázquez-Selem, L. y J.A. Zinck. (1994). Modelling gully distribution of volcanic terrains in the Huasca area, central Mexico. ITC Journal 3: 238-251

CAPÍTULO IV. PERSPECTIVA SOCIAL Y RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN HUAUTLA, MORELOS

INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental está relacionada con el impacto de las actividades humanas en la naturaleza. Los problemas ambientales afectan diversos procesos en el agua, suelo aire, tierra y los organismos, lo cual, lleva a la degradación ambiental (Sadiku *et al.*, 2020). La mayoría de los problemas ambientales diagnosticados en México no han sido resueltos y se relacionan con las actividades económicas (Sarukhán *et al.*, 2017). La resolución de los problemas ambientales requerirá de la acción colectiva de los individuos, las comunidades y los gobiernos, para reducir el impacto de las actividades humanas sobre la naturaleza (Duchaeva y Magomadov, 2023).

En México la problemática ambiental representa nuevos retos. El país presenta más del 50% de su territorio con algún grado de degradación, afectando la salud de los ecosistemas y provocando la pérdida de biodiversidad (Ceccon *et al.*, 2015). Incluso, la degradación llega hasta las Áreas Naturales Protegidas (Bollo-Manent *et al.*, 2014, Ceccon *et al.*, 2015). Como producto del deterioro ambiental han aparecido nuevos riesgos para la salud (Riojas-Rodríguez *et al.*, 2013). Desde otro punto de vista, la revisión y actualización de programas, políticas y grupos para la investigación de la problemática ambiental ha tenido grandes avances, pero aún son insuficientes (Merino y Navarro, 2024). La gran variedad de problemas ambientales que se presentan en México requiere avanzar con mayor rapidez en la

implementación de distintos programas relacionados con sus gestión y manejo para resolver la problemática ambiental.

Una de las actividades económicas más antiguas y polémica en México es la minería (León-Portilla et al., 1978). En México, durante la Colonia (1521-1821), la minería fue considerada por los españoles como una actividad “noble” (Salas, 2020). Desde 1982 con la crisis de la deuda externa, los gobiernos de México apostaron por la apertura de la economía nacional, la reducción del Estado y la privatización de distintas empresas estatales y, por la desregulación de diferentes actividades económicas, entre ellas la minería (García-Zamora, 2018). Entre 1988 y 2018, los gobiernos neoliberales promocionaron a la minería como una actividad estratégica, permitiendo un crecimiento desproporcionado de las concesiones mineras (Beltrán et al., 2024). Puede decirse que desde el sexenio del expresidente Carlos Salinas de Gortari (1988-1994) se inició una transformación profunda en la actividad minera (Núñez-Rodríguez, 2015). La historia de la minería en México va desde la simple extracción, hasta la preparación de políticas públicas que favorecieran su crecimiento desproporcionado, además del incremento poco evaluado de los impactos y riesgos ambientales que conlleva.

Las concesiones mineras en México crecieron desproporcionadamente durante los gobiernos neoliberales. En México, durante los sexenios de Vicente Fox, Felipe Calderón y Enrique Peña Nieto se otorgaron miles de concesiones mineras que cubren casi la mitad del territorio (Núñez- Rodríguez, 2015). Durante el sexenio

de Vicente Fox Quesada (2000-2006) se entregaron 25'130,000 ha en concesiones mineras y, en el sexenio de Felipe Calderón Hinojosa (2006-2012) se entregaron 35'802,000 ha (Calderon-Hinojosa, 2012). Durante el sexenio de Enrique Peña Nieto (2012-2018), la minería fue declarada una actividad estratégica para la nación por la diversidad de minerales que se extraen (Núñez-Rodríguez, 2015). Los impactos ambientales reales y potenciales de la minería crecieron desproporcionadamente en México gracias a los gobiernos neoliberales que eliminaron las restricciones legales para su ejecución.

La minería ha sido promocionada en México como una actividad muy próspera. El país es el primer lugar mundial en exportación de plata, pero también se extraen otros minerales como bismuto, fluorita, wollastonita, celestita, cadmio, sulfato de sodio, diatomita, molibdeno, plomo, sal, zinc, barita, grafito, oro, yeso, arena silícea, cobre y manganeso, lo que lo coloca entre los diez principales países productores del planeta (Núñez-Rodríguez, 2015). A pesar de esto, la minería metálica no llegó a ser un sector económico estratégico, ya que representaba poco menos del 1% del PIB; la generación de empleo apenas alcanzó el 0.21% de la población económicamente activa; en cuanto al agua utilizada por la minería, se otorgaron 397,593 títulos, que amparaban concesiones de extracción de aguas por casi 266,695 mill/m³ (Guzmán-López, F. 2016.). En el sexenio de Enrique Peña Nieto (2012 a 2018) se realizó una serie de reformas estructurales para favorecer a la minería y, aun con eso, durante el año 2017, el sector minero solamente aportó

el 1.5 % del Producto Interno Bruto (PIB) (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2018). Por otra parte, la minería también provocaba distintas afectaciones socioambientales, creando fuentes temporales de empleo y la formación de pueblos fantasma al terminar la minería, así como tierras degradadas al cierre de la minería (Pérez-Jiménez, 2014; Núñez-Rodríguez, 2015). La minería resulta ser una actividad polémica por los beneficios económicos que promocionaban y los problemas ambientales y sociales que generaba que, aun cuando la actividad ya no estaba legalmente activa, los problemas ambientales persisten.

En el sexenio pasado (2018-2024) se dieron grandes cambios al sector minero. En el gobierno del expresidente Andrés Manuel López Obrador, aunque la contribución de la minería no alcanzó más del 1.13% en 2022, año con mayor aporte al PIB, en su sexenio (UCAE, 2024), la enorme diferencia fue que los impactos socioambientales ocasionados por la minería disminuyeron drásticamente. Por ejemplo, en el sexenio de López Obrador se dieron distintos cambios como la prohibición de la minería a cielo abierto; no se concedieron más concesiones mineras, incluso, algunas concesiones mineras fueron devueltas al Estado mexicano; la minería en Áreas Naturales Protegidas fue prohibida; se hizo obligatoria la consulta a las poblaciones que pudieran ser afectadas por actividades mineras; se prohibió la minería en zonas con escasez de agua; las concesiones disminuyeron su vigencia a 40 años, entre otros cambios en favor de la población y del medio ambiente (DOF, 2023). Aun con estas modificaciones, México ha llegado

a ocupar el lugar número 15 de la producción minera mundial con una participación total de 108,657 (millones de dólares), equivalente a una participación porcentual de 1.45 de la producción mundial (World Mining Data, 2024). La minería en el último sexenio se empezó a ejercer de una forma socioambientalmente más responsable y, a pesar de esto, no hubo un descenso significativo en los beneficios económicos para el país.

El pueblo de Huautla, Morelos cuenta con varios siglos de historia minera. En Huautla, Morelos, dentro de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (REBIOSH), se inició la actividad minera entre 1531 y 1558 con el descubrimiento de plata y, permaneció hasta la década de los 1990's, presentando distintos períodos de actividad e inactividad (Valle-Mejía, 1991; Nieto-Ávila 1997). En 1570, el pueblo fue fundado con el nombre de San Francisco de Huautla (actualmente Huautla) (Sánchez-Santiró, 2002). El poblado fue el centro del Real de Minas de Huautla en la alcaldía Cuautla de Amilpas, en las épocas de mayor auge minero, desde 1774 hasta 1811 (Sánchez-Santiró, 2002). La minería requirió mano de obra proveniente de pueblos aledaños (Mondragón-Morales, 1986). La población de Huautla se destacó por su prosperidad económica en distintos períodos de mayor actividad minera durante el siglo XVII (Sánchez-Santiró, 2002). Desde el inicio de la minería hasta el siglo XX, la minería fue intermitente con períodos de apertura y cierre de la actividad minera, tanto por compañías nacionales como por sociedades con compañías extranjeras (Mac Gregor-Arroyo, 1992; Nieto-Ávila, 1997). A principios

de la década de los 90's, la empresa El Rosario Co. se declaró en quiebra, cerrando la actividad, aparentemente, en forma definitiva (Juárez-Mondragón, 2017). La minería fue la principal actividad económica para la población de Huautla desde hace siglos hasta hace tres décadas, pero en períodos intermitentes.

Perspectiva social y reconstrucción histórica de la problemática ambiental

Los seres humanos y sus procesos son moldeados por el medioambiente (Ávila y Scheuren, 2005). La compleja dinámica resultante de la interacción de la sociedad con la naturaleza origina diversos problemas ambientales (Méndez-Vasconcelos *et al.*, 2014). Para resolver los problemas ambientales, algunos programas buscan fomentar actitudes y valores ambientales en la población con la finalidad de promover el interés en estos temas (Dorado *et al.*, 2014). Los seres humanos interactúan de forma compleja con la naturaleza, generando gran cantidad de problemas ambientales, por lo que la búsqueda de soluciones a los mismos debería involucrar el conocimiento de estas interacciones.

La resolución de la problemática ambiental requiere involucrar a la sociedad. Para involucrar a los diversos grupos sociales en el manejo de los recursos y, resolver los problemas ambientales es necesario entenderlos desde su propia perspectiva, mediante estudiando sus puntos de vista, percepciones, creencias, valores y conocimientos de la población (Berger y Luckmann, 2001; Mostert, 2003). Las perspectivas individuales están determinadas tanto por el entorno inmediato de las personas como por las condiciones estructurales, así como por las dinámicas

económicas y sociales y la forma como cada uno apreciaba su entorno (Durand, 2000). La resolución de los problemas ambientales requiere comprender las perspectivas, dinámicas e interacciones de la sociedad con su entorno y su participación.

La perspectiva social respecto a los problemas ambientales es importante en su resolución y, está determinada por diversos factores. El conocimiento de lo que hace la gente y su punto de vista (perspectiva) sobre sus propias prácticas son complementados con normas, supuestos, valores y razonamientos resultantes de la vivencia del entorno socioambiental (Durand, 2000, 2008). La perspectiva social e individual debe incluir el contexto histórico donde se desarrollan los asentamientos humanos, permitiendo abordar este fenómeno social y comprenderlo (Ímaz *et al.*, 2015; Restrepo, 2016; Guber, 2001). El conocimiento de las perspectivas permitirá replantear la forma de actuar antes de implementar estrategias para afrontar las problemáticas ambientales y/o evaluar esfuerzos que pueden resultar ineficaces (Arias *et al.*, 2014; Dorado *et al.*, 2014). Desafortunadamente, las perspectivas ambientales locales muchas veces son descartadas y consideradas como anecdóticas por quienes buscan conservar sólo basándose en evidencias (Bennett, 2016).

La edad o es un factor que también influye en la perspectiva ambiental. La edad se relaciona con diferentes etapas de la vida reproductiva y postreproductiva de las personas (Daltabuit *et al.*, 1994), influyendo en su perspectiva personal. A lo

largo de la vida, los individuos pasan a través de distintos estadios psicosexuales y psicosociales (Bordignon, 2005). Las diferencias de edad pueden influir en la perspectiva social debido a diferentes experiencias de vida y a la forma cómo se percibe el entorno y los problemas que presenta.

Los medios a través de los cuales se informan las personas influyen en su perspectiva. Indirectamente, la información obtenida de como personas, medios de comunicación, medios de divulgación científica, etcétera, enriquece la percepción (Daltabuit *et al.*, 1994.). La información obtenida a través de distintos medios influye en la perspectiva ambiental integrando el conocimiento externo con la historia, la influencia social en la forma como se concibe al ambiente y los razonamientos personales.

Como se dijo anteriormente, el contexto histórico es de gran importancia para entender la perspectiva social. La reconstrucción histórica permite documentar los diversos cambios provocados por la incesante actividad de sucesivas generaciones humanas en la naturaleza, acumulándose y transformando al ambiente y a los ecosistemas (Aguilar *et al.*, 2019). Estos momentos históricos son trascendentales en la configuración de formas de imaginar, individual y colectivamente y, cómo estas van caracterizando a esos mismos momentos históricos (Baeza, 2006). La reconstrucción histórica permite aproximarse a las percepciones de distintos actores sobre eventos locales, a través de entrevistas y de la revisión de documentos escritos sobre las comunidades (Mena *et al.*, 2022). La reconstrucción histórica es

parte de la perspectiva social y su descripción permite ampliar el panorama de la problemática ambiental.

El conocimiento de la problemática ambiental debe acompañarse por la búsqueda de posibles soluciones. Las intervenciones diseñadas para apoyar la gestión de los recursos naturales, el desarrollo sostenible y la conservación del paisaje son el resultado de decisiones tomadas en conjunto con los habitantes locales, por lo que deben involucrarse las perspectivas sociales (Torres-Tobón et al., 2022). Al conocer la problemática ambiental debe considerarse la búsqueda de soluciones consensuadas en las que participe la comunidad afectada (Ávila-Ackenberg y González-Martínez, 2016).

Huautla, Morelos presenta una problemática ambiental que ha sido relacionada principalmente con la minería. En Huautla, los estudios se han enfocado a los efectos producidos en su población por el uso de una mina abandonada (Pájaro Verde), como almacenes de agua contaminada con arsénico y, por los impactos que tienen los metales pesados presentes en los jales mineros sobre los ecosistemas (Musali-Galante, 2008; Martínez-Becerril, 2009; Esteller *et al.*, 2015; Castañeda-Bautista, 2016; Santoyo-Martínez, 2016; Cobarrubias-Escamilla, 2017; De la Cruz-Guarneros, 2018; Rosa-Ramírez, 2018; Barats *et al.*, 2020; Galván-Ramírez, 2020; Muro-González, 2020; Santoyo-Martínez, 2020; Kiere *et al.*, 2021). En esta investigación se buscó describir los problemas ambientales en Huautla, Morelos, desde la perspectiva de su población en combinación con la reconstrucción

histórica del pueblo y, su relación con la actividad minera. La perspectiva social consideró, por un lado, la perspectiva general de la población y, por el otro, la de tres grupos de habitantes con diferentes edades: niños, jóvenes y adultos.

METODOLOGÍA

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS. La zona de estudio en Huautla, Morelos, se ubica entre las coordenadas 18°26'51" - 18°25'38" latitud norte y los 99° 2'0"- 99° 0'54" longitud oeste. El pueblo de Huautla se asienta en una cañada con alturas de entre 1,000 y 1,400 msnm con, pendientes abruptas mayores a 45° (Mondragón-Morales, 1986). La zona presenta algunos sistemas montañosos, entre los que destaca la Sierra de Huautla, perteneciente a la subprovincia sur de Puebla (Valle-Mejía, 1991). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano Aw0''(w)(e)g, siendo el más seco de los subhúmedos (García, 2004). La temperatura media anual es de 24.3°C y tiene 884.2 mm de precipitación (Argote-Cortés, 2002). Los suelos tienen poca profundidad y gran pedregosidad, limitados por roca continua o material calcáreo con profundidad no mayor a 3 cm y, son clasificados como del tipo feozem, que son suelos poco desarrollados (POEREM, 2013). La vegetación predominante es la llamada selva estacionalmente seca (Bullock et al., 1995) o bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 2006). Las condiciones ambientales en la zona son limitantes y los suelos son poco favorables para las actividades económicas.

CARACTERÍSTICAS SOCIALES. La Sierra de Huautla era considerada la región más pobre de Morelos y muchas de sus comunidades fueron catalogadas como de alta

marginalidad (Ávila et al., 2002). La población total de Huautla en 2020 era de 860 habitantes (CONAPO, 2021). Los indicadores socioeconómicos, los índices y el grado de marginación se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de características socioeconómicas de la población de Huautla, Morelos.

INDICADOR	ÍNDICE	COMENTARIOS	FUENTE
Población analfabeta de 15 años o más	10.13 %	No saben leer, ni escribir	CONAPO, 2020
Población sin educación básica de 15 años o más	44.93%	Personas sin trabajo	CONAPO, 2020
Ocupantes en viviendas particulares habitadas sin drenaje ni excusado	3.84 %	Habitantes en viviendas sin drenaje	CONAPO, 2020
Ocupantes en viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica	1.51 %	Habitantes en viviendas sin luz	CONAPO, 2020

INDICADOR	ÍNDICE	COMENTARIOS	FUENTE
Ocupantes en viviendas particulares habitadas sin agua entubada	11.98 %	Habitantes en viviendas sin agua potable	CONAPO, 2020
Ocupantes en viviendas particulares habitadas con piso de tierra	6.86 %	Habitantes en casas particulares sin piso cementado	CONAPO, 2020
Ocupantes en viviendas particulares habitadas con hacinamiento	30.81%	el número de ocupantes de una vivienda excede la capacidad del espacio disponible	CONAPO, 2020
Población ocupan viviendas particulares habitadas sin refrigerador	8.02 %	Habitantes en viviendas sin refrigerador	CONAPO, 2020
Índice de marginación a nivel localidad	22.43	diferencia las localidades según el impacto global de	CONAPO, 2021

INDICADOR	ÍNDICE	COMENTARIOS	FUENTE
		las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes	
Grado de marginación	Bajo	intensidad de las carencias que padece una población	CONAPO, 2021
Índice de marginación normalizado a nivel localidad	0.86 (en 2020)	Valor que permite las comparaciones en diferentes tiempos del grado de marginación (Peláez-Herreros. 2023)	CONAPO, 2021

INDICADOR	ÍNDICE	COMENTARIOS	FUENTE
Índice de Desarrollo Humano	0.705	evalúa el nivel de desarrollo de los países. Para el año 2019, para el Municipio de Tlaquiltenango, al que pertenece Huautla. El IDH combina tres factores generales: 1. la longevidad, mediante la esperanza de vida al nacer; 2. el logro educativo, medido a través de los niveles de alfabetización de adultos y la matrícula en varios	Gobierno del Estado de Morelos, 2019

INDICADOR	ÍNDICE	COMENTARIOS	FUENTE
		niveles educativos; 3. el nivel de vida, medido por el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita anual ajustado (PNUD, 2011).	
Ingreso per cápita anual	9,920.23	dólares PPC (Producto per Cápita, producto Bruto por persona). Este indicador explica la distribución de la riqueza y evaluar el nivel socioeconómico de una población. Para calcular la renta per	Gobierno del Estado de Morelos, 2019

INDICADOR	ÍNDICE	COMENTARIOS	FUENTE
		cápita de una familia, simplemente hay que sumar los ingresos totales de todos los miembros de la familia y dividirlo por el número total de miembros. Este valor se obtuvo para el municipio de Tlaquiltenango, no para la población de Huautla.	
Grados de escolaridad	7.34	años promedio de escolarización (equivalente al primero de secundaria)	PNUD, 2011

INDICADOR	ÍNDICE	COMENTARIOS	FUENTE
Índice de educación	0.593	equivalente al sexto de primaria	Gobierno del Estado de Morelos, 2019
Tasa de mortalidad infantil	10.2	fallecimientos/1,000 niños/año	Gobierno del Estado de Morelos, 2019
Índice de ingreso	0.658	Mide la desigualdad de los ingresos en la población, sería de 0 cuando la desigualdad es nula y de 1 cuando la desigualdad económica es máxima	CEPAL, 2024
Índice de Salud	0.89	involucra a la morbilidad y mortalidad de la población	Gobierno del Estado de Morelos, 2019

El estudio tuvo un enfoque cuali-cuantitativo, lo que permite comprender el mundo social desde el punto de vista de los actores, acercándose al contexto en el que el sistema de significados se construye y cobra sentido (Martínez-Salgado, 1996). El enfoque cuantitativo ofrece una descripción porcentual de la forma como la sociedad entiende esa problemática ambiental, permitiendo describir, identificar y analizar visiones de distintos actores, articulando procesos, experiencias y textos, para conocer las perspectivas sociales (Durand, 2000; Restrepo, 2016; Katzer, 2018). Mientras que, los métodos cualitativos pueden ser diversos para explicar varios fenómenos y que, posteriormente, podrán relacionarse y permitir encontrar nuevas interacciones (Blásquez-Martínez, 2016). El enfoque cuali-cuantitativo de este estudio aplicó entrevistas semiestructuradas, que combinan preguntas cerradas y abiertas. Las preguntas abiertas fueron complementadas con información documental, ya que permiten mayor flexibilidad para el análisis cualitativo; empiezan con una pregunta, pero la entrevista puede adaptarse conforme a las respuestas que fueron dando los entrevistados para no perder información valiosa para la investigación (Troncoso-Pantoja y Amaya-Placencia, 2017). En el análisis cuantitativo de la información se utilizaron preguntas cerradas. Las entrevistas siguieron una misma guía estandarizada con preguntas cerradas de opción múltiple y falso-verdadero, asociadas con preguntas abiertas (Anexo 1 y 2). El uso de una misma guía permitió triangular la información entre distintos

entrevistados o fuentes, asegurando que no se trate de una interpretación individual de un informante (Blázquez, 2019).

Los entrevistados pertenecían a tres grupos de edad: (i) niños (6 a 12 años de primero a sexto grado de Primaria), (ii) adolescentes (12 a 15 años de primero a tercer grado de Secundaria) y (iii) adultos (18 años en adelante). Tanto a los niños como a los adolescentes se les aplicaron entrevistas impresas; mientras que las entrevistas a los adultos fueron orales (Calixto-Flores, 2004). Durante las entrevistas orales, el entrevistador dio confianza a las personas tomando en cuenta lo que decían, absteniéndose de emitir su opinión; una vez que se contaba con el material de las entrevistas, este fue convertido en un documento analizable (Calixto-Flores, 2004). Todas las respuestas a los cuestionarios impresos y a las entrevistas orales fueron transcritas para su análisis. Las respuestas a preguntas cerradas (falso-verdadero y opción múltiple) fueron graficadas en Excel y, las respuestas a preguntas abiertas fueron transcritas y analizadas para rescatar la información de mayor trascendencia para el estudio. Algunas de las respuestas abiertas fueron de gran utilidad en los capítulos II y III.

Las preguntas aplicadas a los habitantes se centraron en tres ejes principales: a) la Perspectiva social sobre la problemática ambiental en Huautla, Morelos; b) la Problemática ambiental y su relación con los jales mineros en Huautla, Morelos; c) la participación social en la resolución de los problemas ambientales

(Anexo 1). La revisión documental complementó la información para la reconstrucción histórica (Flick, 2015).

El acercamiento inicial a los pobladores se realizó por medio de los contactos de los psicólogos: Aída Elizondo García y Christian Giovani Curiel Guerrero, quienes realizaban estudios sobre el efecto de los metales pesados en el aprendizaje de los habitantes en la zona. A partir de los primeros adultos contactados se siguió el método de bola de nieve que consiste en pasar de un caso al siguiente, preguntando a los entrevistados por otras personas recomendadas que pudieran ser relevantes para el estudio y, solicitándoles responder a la entrevista (Flick, 2015). Para el caso de los niños y los adolescentes, el acercamiento fue a través de las respectivas directoras de la primaria y la secundaria para solicitar permiso de aplicar los cuestionarios a los alumnos.

En total, se realizaron 127 entrevistas a los habitantes de Huautla. Este grupo representó equitativamente a ambos géneros (64 mujeres, 50.4%; 63 hombres, 49.6%). Las entrevistas escritas fueron aplicadas a 75 niños, alumnos de la Primaria local, 29 adolescentes de la Telesecundaria y 23 adultos. Las entrevistas con respuestas escritas fueron aplicadas a todos los estudiantes presentes en cada escuela el día que se realizó (5 de julio de 2022 en primaria y 6 de julio de 2022 en secundaria). Las entrevistas a los adultos fueron orales y se realizaron en más de 5 días, debido a que fue necesario ubicarlos en sus domicilios (Gráfica 1, Anexo 2).

Complementariamente, este capítulo y los dos anteriores se apoyaron tanto en testimonios ampliados de algunos entrevistados, como en información documental. La información documental complementó a las preguntas abiertas, no sólo para comprender la problemática ambiental sino para reconstruir la historia del pueblo de Huautla. La investigación documental se realizó en tres momentos del estudio: antes, durante y después del trabajo de campo (Blásquez, 2016). Después del análisis de toda la información se elaboraron diagramas que sintetizan la historia de Huautla y su relación con la problemática ambiental (Anexo 3).

RESULTADOS

Del total de habitantes entrevistados (n=127), poco más de la mitad (54%) fueron originarios de Huautla, mientras que el resto nació en otras localidades y, un mínimo nació fuera de México (Anexo 2, Gráfica 1).

a) Perspectiva social sobre la problemática ambiental en Huautla, Morelos

En esta sección se describe la perspectiva social en torno a la naturaleza y algunos de los factores que influyen en el conocimiento sobre la problemática ambiental en Huautla. En lo que respecta a la importancia que la sociedad de Huautla da a la naturaleza, poco menos de la mitad de los entrevistados (48%) consideraban que la naturaleza era muy importante para los seres humanos y, para la tercera parte (31%) era indispensable. Entre los grupos, para casi todos los niños la naturaleza tenía un cierto grado de importancia (98.64%), para 53.33% era muy importante (Figura 1), para 18.67%, importante, pero solamente 26.67% la consideró

indispensable (Figura 1). Todos los adolescentes consideraron que tenía cierto grado de importancia (100%), para 44.83% era muy importante, 37.93% la consideraron indispensable y para 17.24% era importante. La mayoría de los adultos también consideraron que tenía un cierto grado de importancia (92.65%), para 39.13% era indispensable, 34.78% la consideró muy importante y 21.74% importante. Entre los grupos, la importancia que daban a la naturaleza fue similar, la mayoría pensó que la naturaleza era muy importante o indispensable.

En cuanto al límite de los recursos naturales, tres cuartas partes (76.38%) de los entrevistados estuvieron de acuerdo en que la tierra, el agua, el oxígeno, las plantas y los animales se encuentran en una cantidad limitada en el planeta. Dos terceras partes de los niños (66.67%), casi la totalidad de los adolescentes (89.66%) y de los adultos (91.30%) estuvieron de acuerdo (Figura 2).

Respecto a la capacidad de la naturaleza de contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos, un poco más de la mitad de los entrevistados (56.69%) consideró que la naturaleza no puede contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos; una cuarta parte (24.41%) consideró que podía contrarrestarlo y, para una quinta parte (18.9%) dependía del caso. En los distintos grupos los porcentajes fueron distintos. En los niños, más de la mitad (64%) pensaba que era falso y, para dos porciones cercanas a quintas partes que era cierto (18.67%) o, que dependía del caso (17.33%) (Figura 3). Para los adolescentes

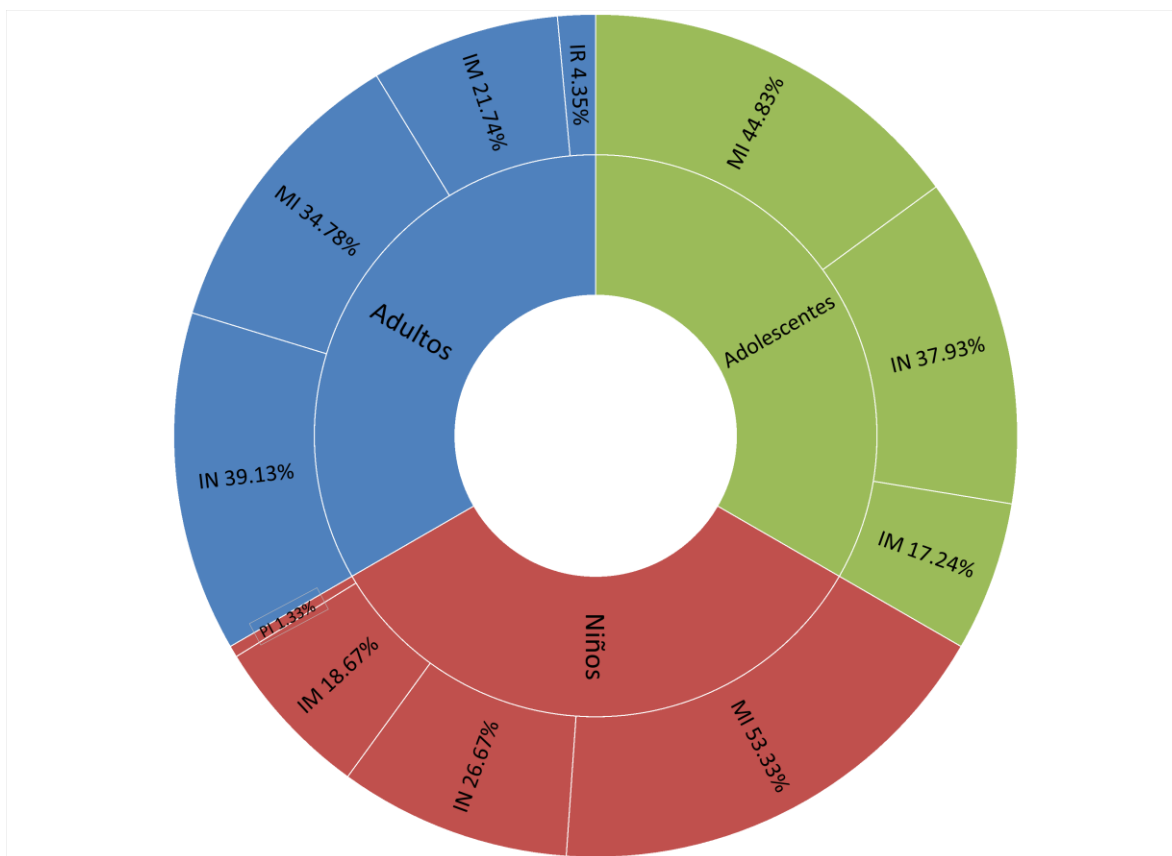


Figura 1. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿Cómo piensas que es la naturaleza para los seres humanos? Las posibles respuestas fueron (i) Indispensable [IN]; (i) Muy importante [MI]; (ii) Importante [IM]; (iv) Poco importante [PI]; (v) Irrelevante [IR].

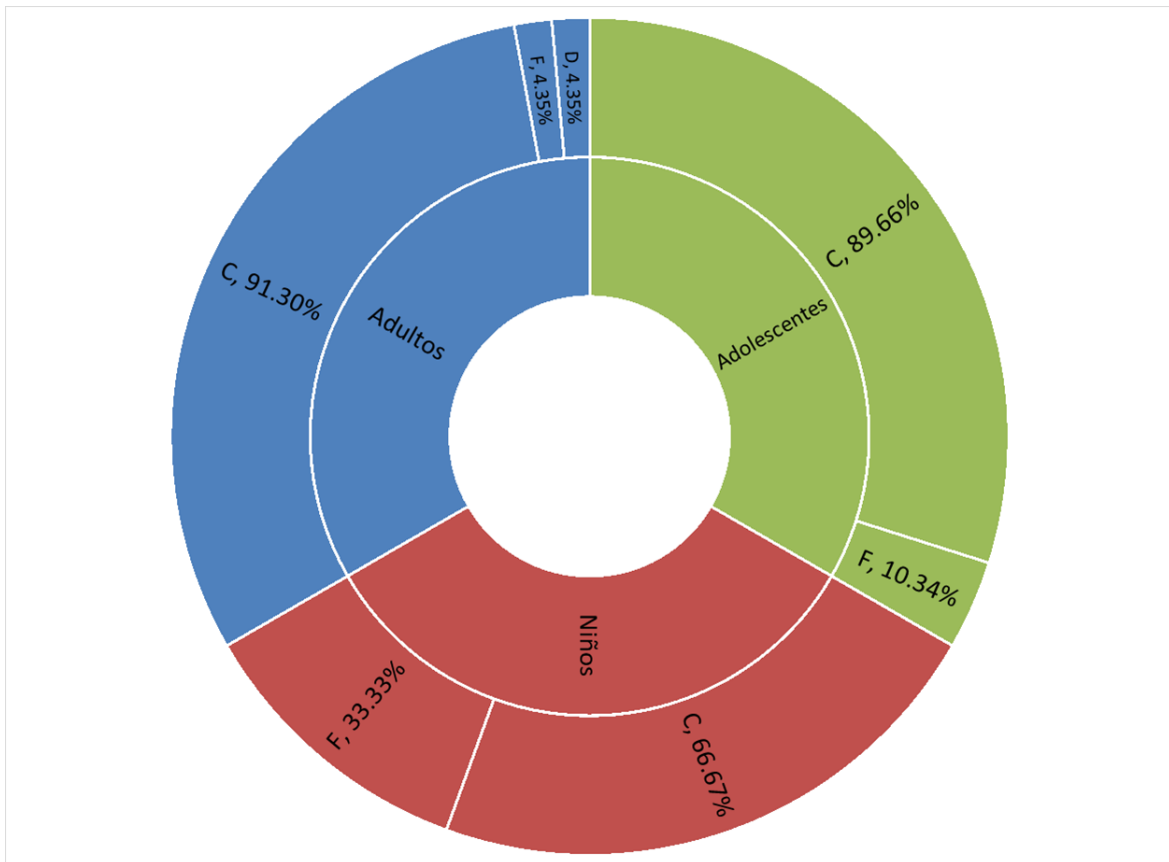


Figura 2. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿la tierra, el agua, el oxígeno, las plantas y los animales se encuentran en una cantidad limitada en el planeta? Las posibles respuestas fueron (i) Cierto (C), (ii) Falso (F), (iii) Depende (D).

casi la mitad (48.28%) lo tomaron como cierto, una proporción menor a dos quintas partes (37.93%) lo consideraron falso y, poco más de la décima parte (13.79%) que dependía del caso. En los adultos, un poco más de la mitad (56.52%) lo consideró falso, para una tercera parte (30.43%) dependía del caso y para poco más de una décima parte (13.04%) fue cierto. Una de las explicaciones fue la siguiente: “la naturaleza no se puede "regenerar" sola sin la ayuda de nosotros” (Entrevistado de primaria 58). En otros casos pensaban que dependía del caso: “porque si le hace uno mucho daño, siento que es muy difícil que vuelva a su normalidad” (Entrevistado adulto 13; “si, cuidándola pues, pero si nos ponemos a destruirla, pues no la acabamos. Pero hay muchos que tumbaban para terrenos de yunta. Pero hay gente que año con año van desmontando para sembrar y van destruyendo el campo” (Entrevistado adulto 22). La mayor proporción de los habitantes en cada grupo consideró que la naturaleza no puede contrarrestar los impactos provocados por los seres humanos.

Casi la mitad (48.82%) de los entrevistados no sabían si existe un riesgo de que la humanidad enfrente una crisis global en materia ambiental, sin embargo, poco menos de la otra mitad (42.52%) consideró la existencia de este riesgo. En los niños, más de dos terceras partes (73.33%) no sabía si existe un riesgo de que la humanidad se enfrente a una crisis global en materia ambiental; la quinta parte (21.33%) pensó que este riesgo era falso (Figura 4). Dos terceras partes (65.52%)

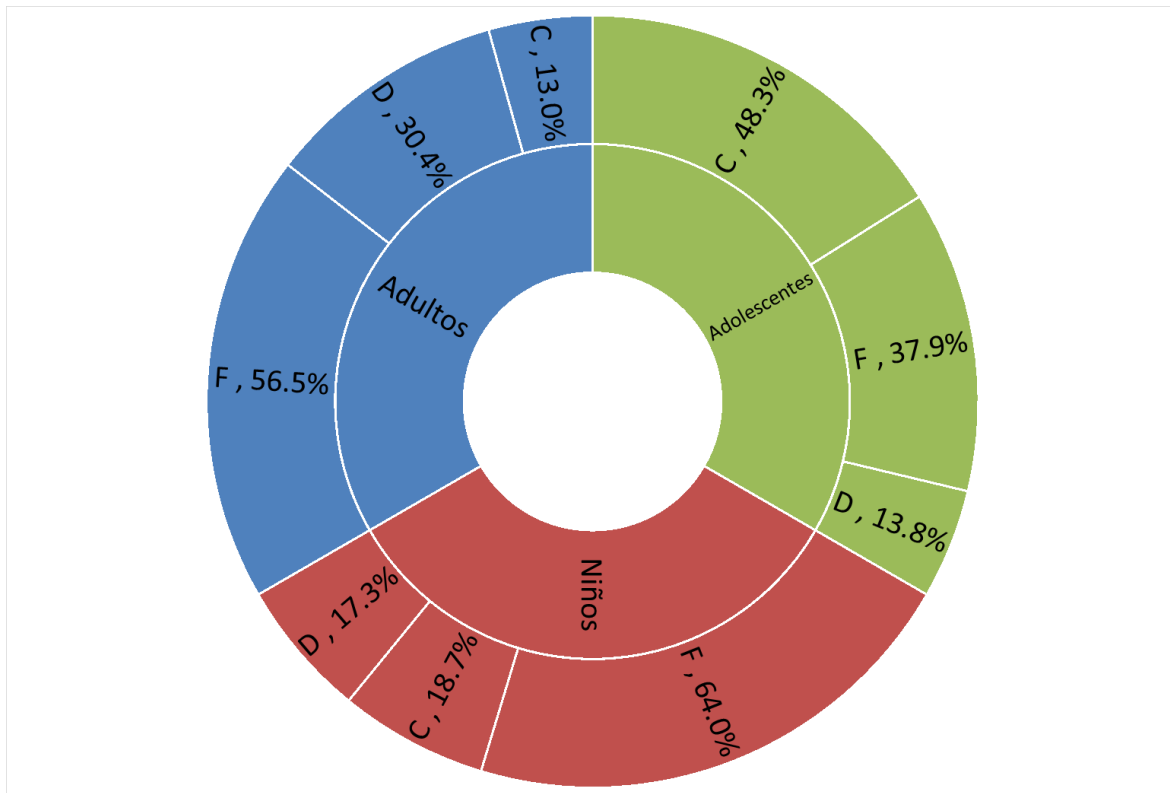


Figura 3. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la afirmación: “La naturaleza puede contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos sobre ella”. Las posibles respuestas fueron (i) Cierto (C); (ii) Falso (F); (iii) Depende (D).

de los adolescentes estuvo de acuerdo en el riesgo de una crisis ambiental y casi una quinta parte (17.24%) que dependía del caso. En los adultos, cuatro quintas partes (82.61%) lo consideró cierto. En los adolescentes y adultos, la mayoría en cada grupo coincidió en los riesgos de una crisis ambiental.

Más de la mitad (62.20%) de los entrevistados pensaban que se desperdician los recursos que nos provee la naturaleza, y solamente para una quinta parte (18.11%) esto no ocurría. Dentro de los grupos se dieron respuestas similares. Poco más de la mitad (54.67%) de los niños consideraron que se desperdiciaban y, una cuarta parte (26.67%) que esto no ocurría (Figura 5). En los adolescentes, más de la mitad (65.52%) consideraron que se desperdiciaban los recursos y, una décima parte (10.34%) que no ocurría. La mayoría (82.61%) de los adultos consideraron que ocurría un desperdicio de los recursos y una décima parte (13.04%) no supo que responder. Conforme aumentó la edad de los grupos, también aumentaron quienes consideraban que existe un desperdicio de los recursos.

Casi todos (92.91%) los entrevistados habían escuchado sobre los problemas ambientales y, un mínimo (5.51%) no lo había hecho. Dentro de estos, la mayoría (88%) de los niños habían escuchado sobre los problemas ambientales y todos (100% en cada grupo) los adolescentes y adultos (Figura 6). En las respuestas abiertas, los entrevistados mencionaron problemas ambientales locales como “matar a los pajaritos” o “cazar animales”, pero también mencionaron problemas globales como: “el cambio climático”, “el derretimiento de los polos”.

Específicamente, en la localidad también mencionaron: “la basura”, “los drenajes mal planificados”, entre mucho otros. Independientemente de su edad, los miembros de cada uno de los tres grupos estaban actualizados en el conocimiento de gran variedad de problemas ambientales.

Una tercera parte (30.71%) de los entrevistados utilizaban distintos medios para informarse sobre los problemas ambientales, una quinta parte (22.83%) los escuchaba por TV y, poco más de la décima parte (14.17%) el internet (Figura 7). Para los niños, poco más de la tercera parte (32%) se informaba por diversos medios, poco más de la quinta parte (21.33%) por la TV, el resto se informaba por distintos medios o no estaban enterados (Figura 8). En los adolescentes, poco más de una tercera parte (31.03%) se informaron por diversos medios, una cuarta parte (24.14%) por TV, otra cuarta parte (24.14%) por el internet. Un poco más de la cuarta parte (26.09%) de los adultos se informan por varios medios, otra cuarta parte (26.09%) por la TV, una quinta parte (17.39%) por internet, el resto (13.04%) utilizaba todos los medios o no los habían escuchado.

Un poco más de la tercera parte (37%) pensaba que los problemas ambientales son más graves de lo que se escucha en el radio, la televisión, el internet y, otra tercera parte (30%) no había escuchado hablar de ellos; poco menos de la quinta parte (18%) pensaba que no eran más graves; para una sexta parte (15%) dependía del caso. Para los niños, poco menos de la mitad (45.33%) desconocía si los problemas eran más graves que lo informado por los medios,

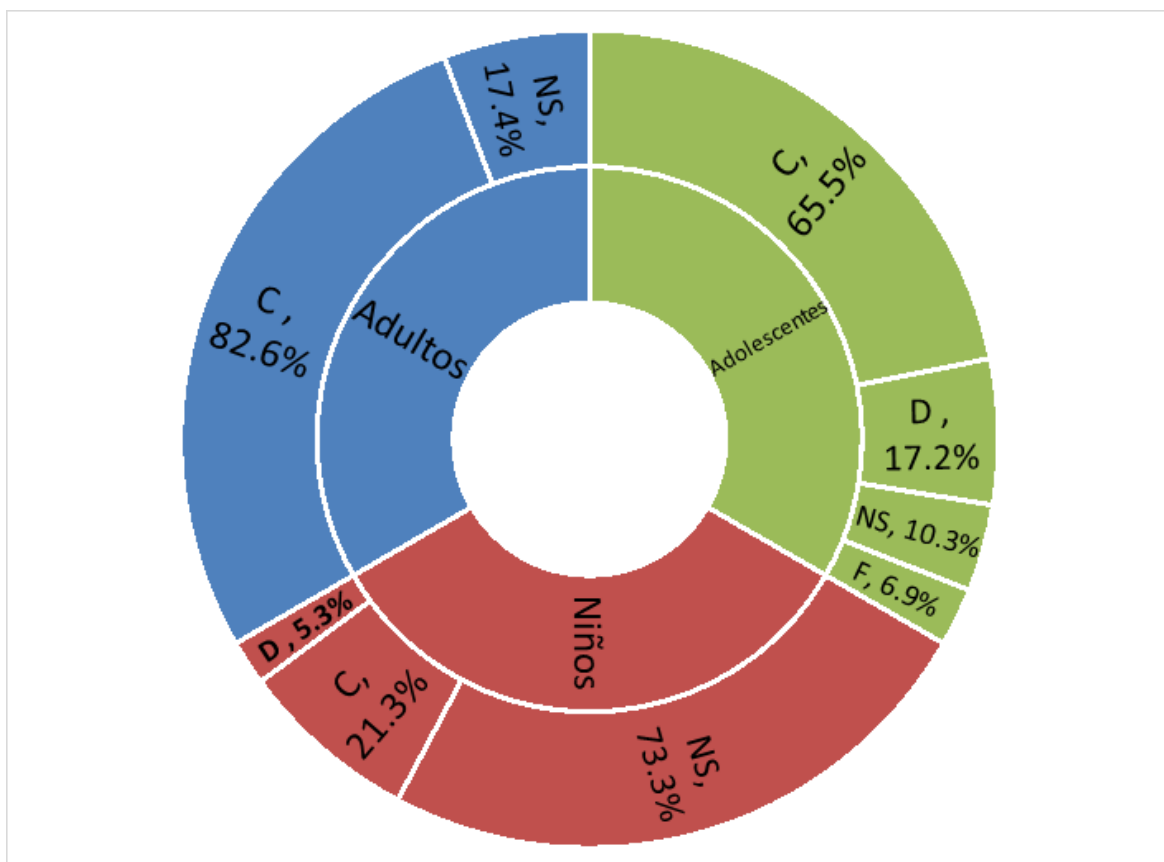


Figura 4. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿Existe un riesgo de que la humanidad se enfrente a una crisis global en materia ambiental? Las posibles respuestas fueron (i) Cierto (C); (ii) Falso (F); (iii) Depende (D); (iv) No sé (NS).

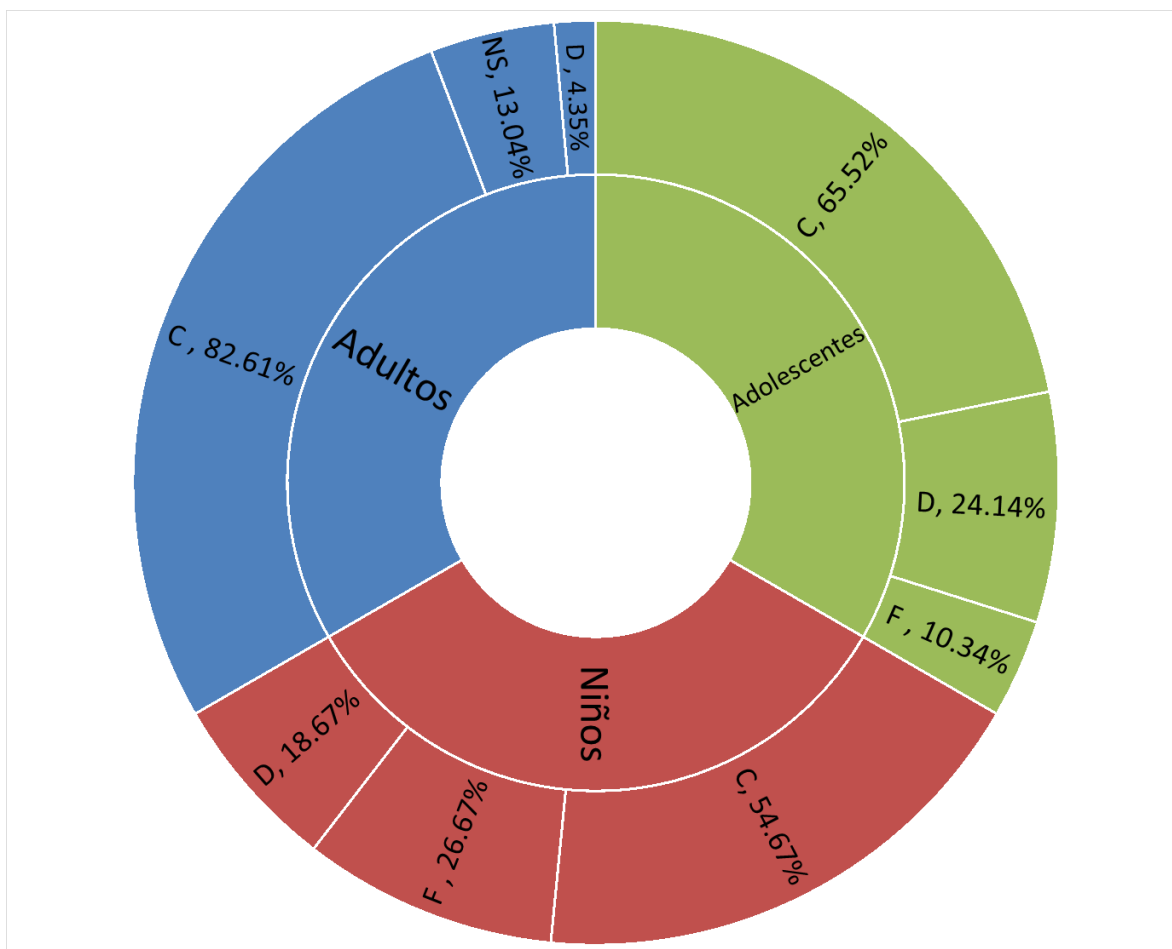


Figura 5. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿Muchas personas desperdician los recursos que nos ofrece la naturaleza? Las posibles respuestas fueron (i) Cierto (C), (ii) Falso (F), (iii) Depende (D), (iv) No sé (NS).

mientras que casi una cuarta parte (24%) pensaba que era falso y poco menos de una quinta parte (18.67%) lo consideraba cierto (Figura 9). Poco más de la mitad (51.72%) de los adolescentes pensó que era cierto y, poco más de la cuarta parte (27.59%) pensaba que dependía del caso. Para la mayoría de los adultos (78.26%) era cierto y, dependía del caso para menos de la décima parte (8.7%) o no lo sabían (8.70%). Al ampliar las respuestas por las que los entrevistados que no creían en la información de los medios dieron distintas explicaciones como: “Es más grave, nada más que nos hacen creer ...nada más los que quieren sacan...” (Entrevistado adulto 16). Incluso dentro del grupo de primaria dieron respuestas interesantes: “...no investigan a fondo y sólo dicen "el lugar inundado", pero no saben quién lo hizo o qué lo causó” (Entrevistado de primaria 65).

En su mayoría (91.34%), la población de Huautla consideró que existen problemas ambientales en su comunidad. Entre los grupos se dieron respuestas similares. El mayor porcentaje (89.3%) de los niños, los adolescentes (89.7%) y la totalidad (100%) de los adultos consideraron que existían problemas ambientales en su comunidad (Figura 10).

Menos de la mitad (43.31%) de los entrevistados consideró que eran pocos los problemas en su comunidad, poco más de la tercera parte (35.43%) que eran moderados; para una décima parte (11.02%) eran severos; para otra (8.66%) no había problemas ambientales en su comunidad; sólo un mínimo (1.57%) creía que eran muy severos. Entre los niños, casi la mitad (48%) consideraron que fueron

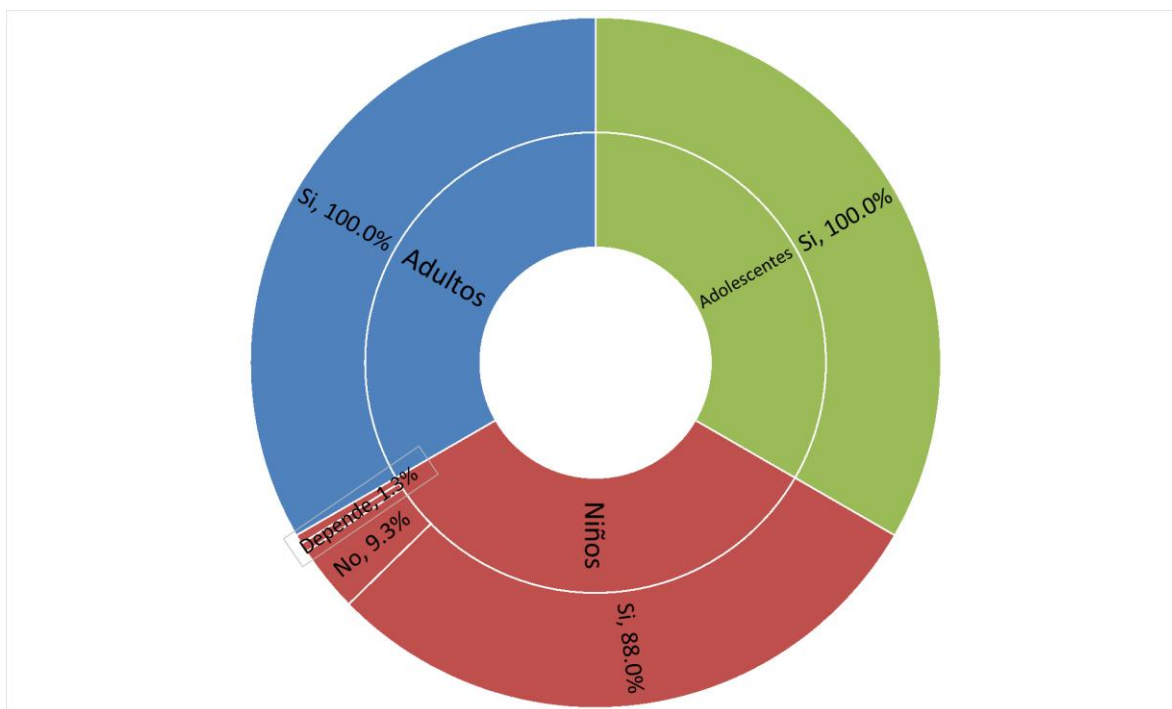


Figura 6. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿has escuchado de problemas ambientales? Las posibles respuestas fueron (i) Si, (ii) No, (iii) Depende (D), (iv) No sé (NS).

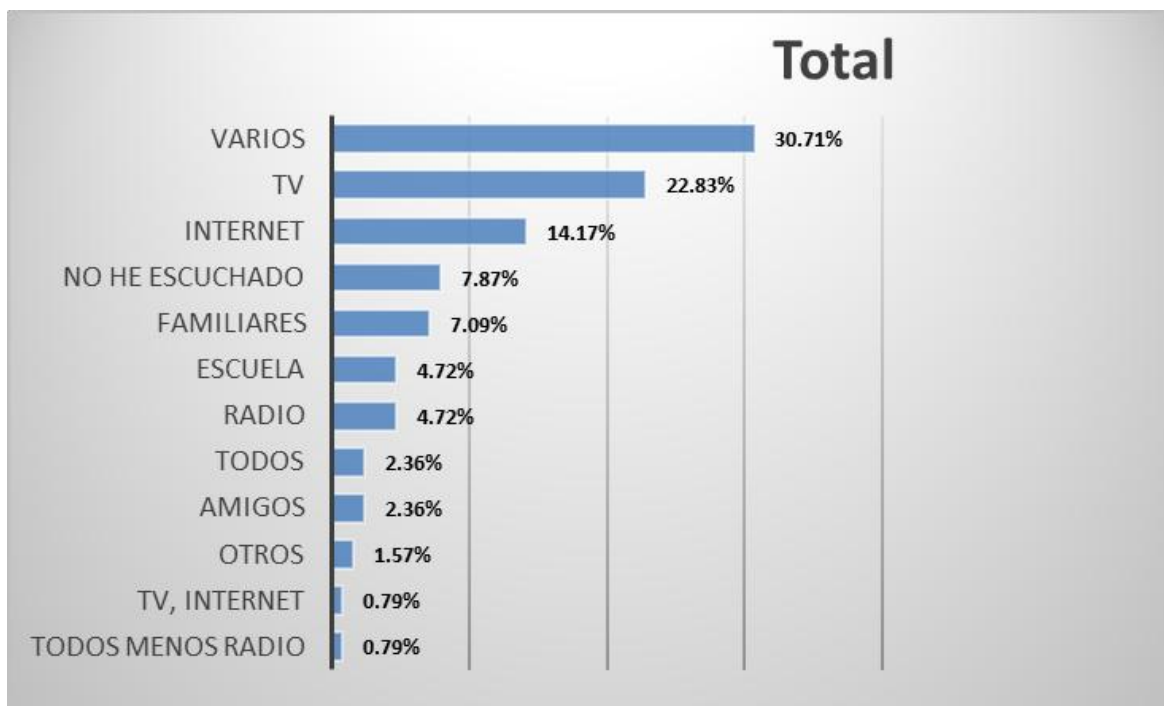


Figura 7. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos en general (N= 127) respecto a los medios por los que se informan sobre la problemática ambiental. Las alternativas donde podía elegirse más de una respuesta fueron (i) Escuela, (ii) Amigos, (iii) Familiares, (iv) Internet, (v) No he escuchado, (vi) TV, (vii) Radio, (viii) Todos, (ix), Otros, Especifica [En esta respuesta se pedía que anotara algún medio o aclaración].

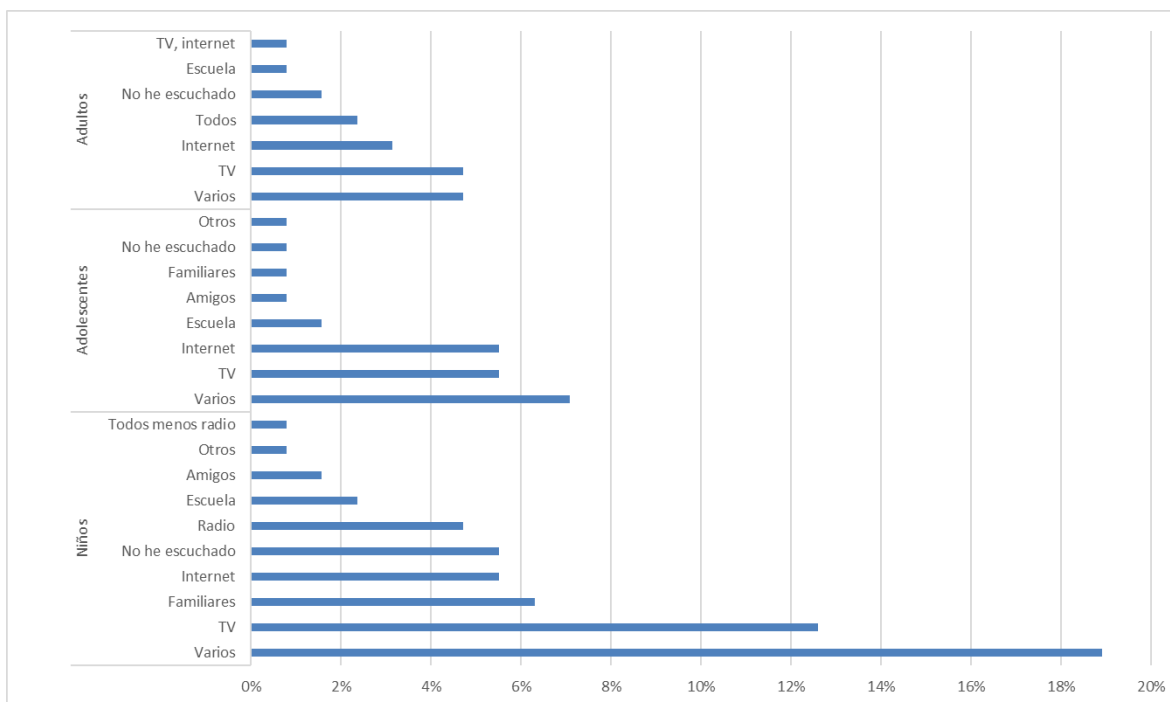


Figura 8. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿En dónde lo escuchaste? (acerca de los problemas ambientales). Las alternativas donde podía elegirse más de una respuesta fueron (i) Escuela, (ii) Amigos, (iii) Familiares, (iv) Internet, (v) No he escuchado, (vi) TV, (vii) Radio, (viii) Todos, (ix), Otros, Especifica ____ [En esta respuesta se anotaba algún medio o aclaración].

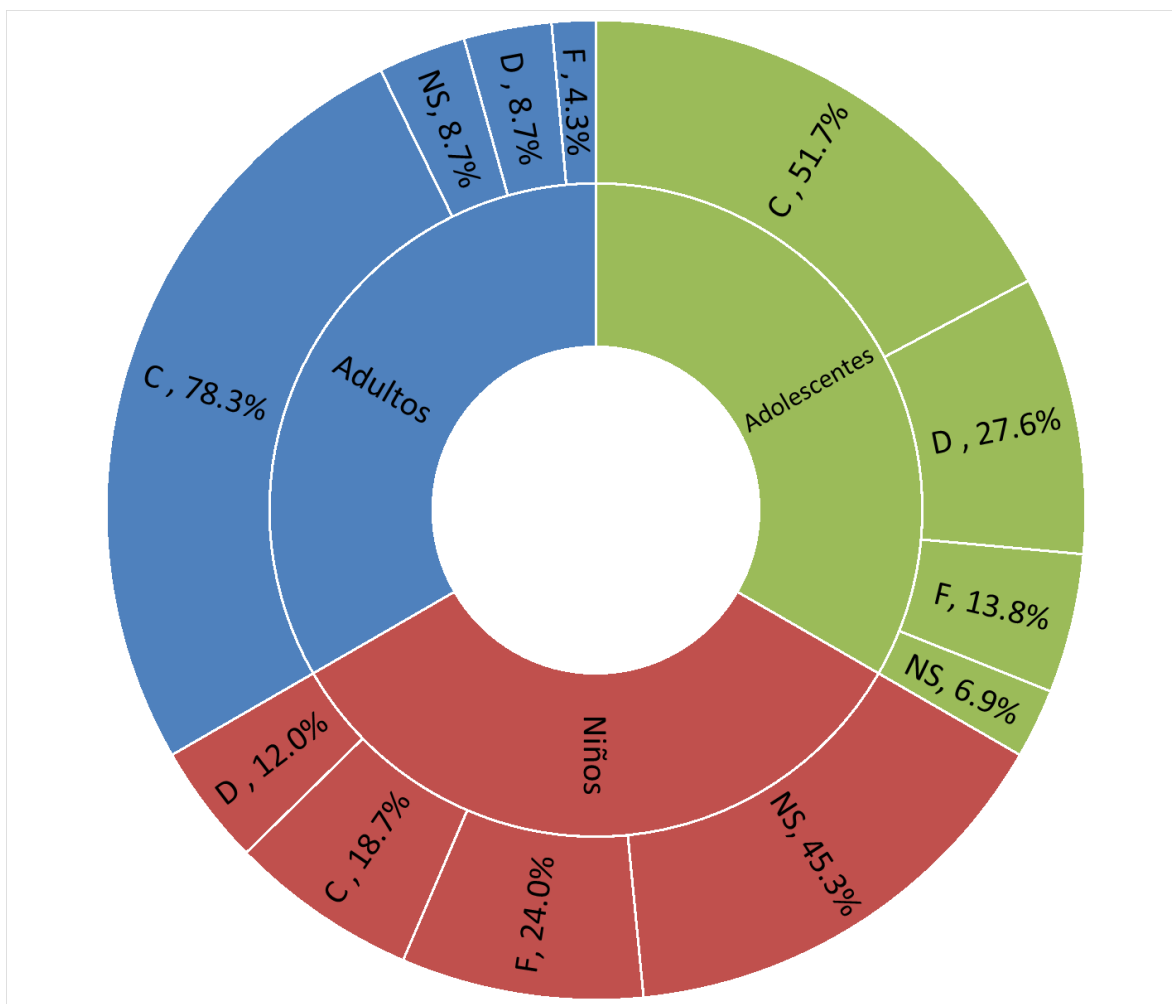


Figura 9. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿crees que los problemas ambientales son más graves de lo que informan los medios? Las posibles respuestas fueron (i) Cierto (C), (ii) Falso (F), (iii) No sé (NS), (iv) Depende (D).

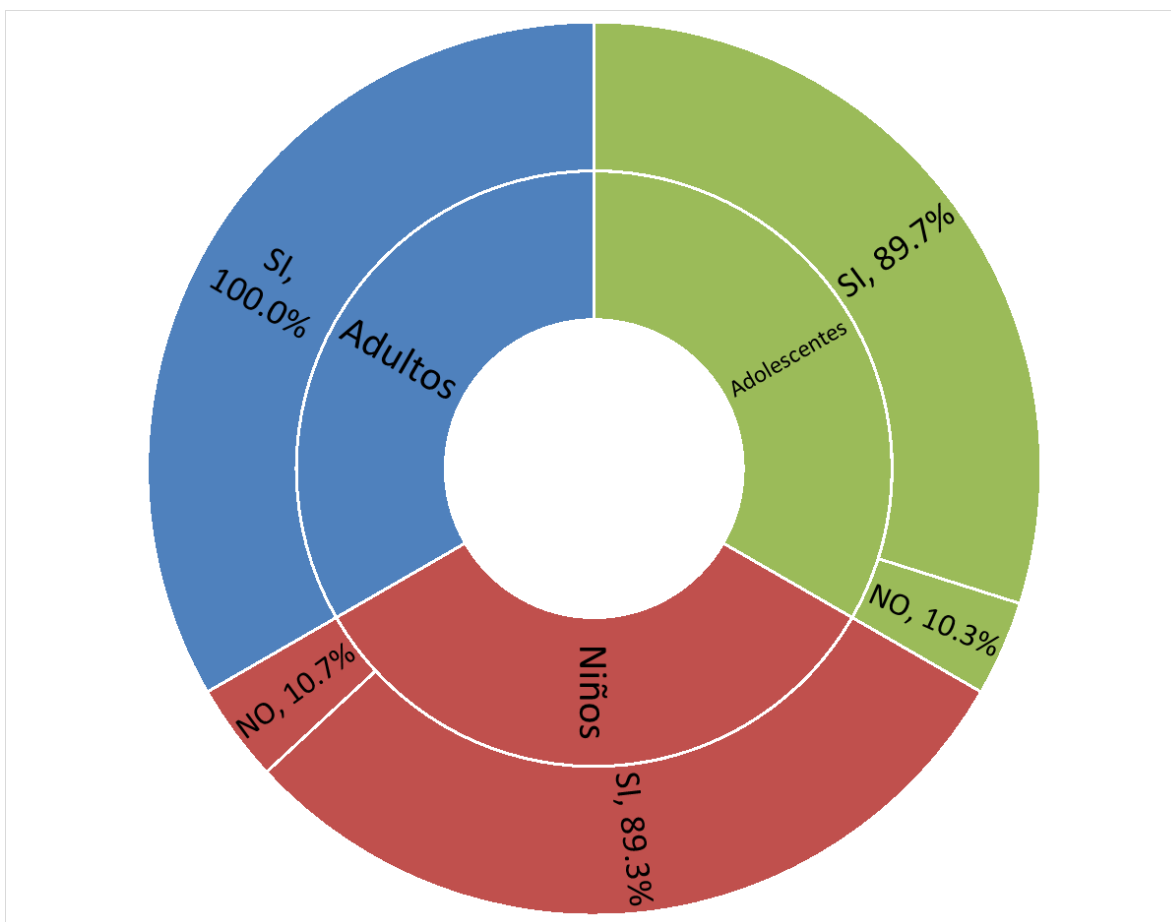


Figura 10. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿piensas que hay problemas ambientales en tu comunidad? Las posibles respuestas fueron (i) Si, (ii) No.

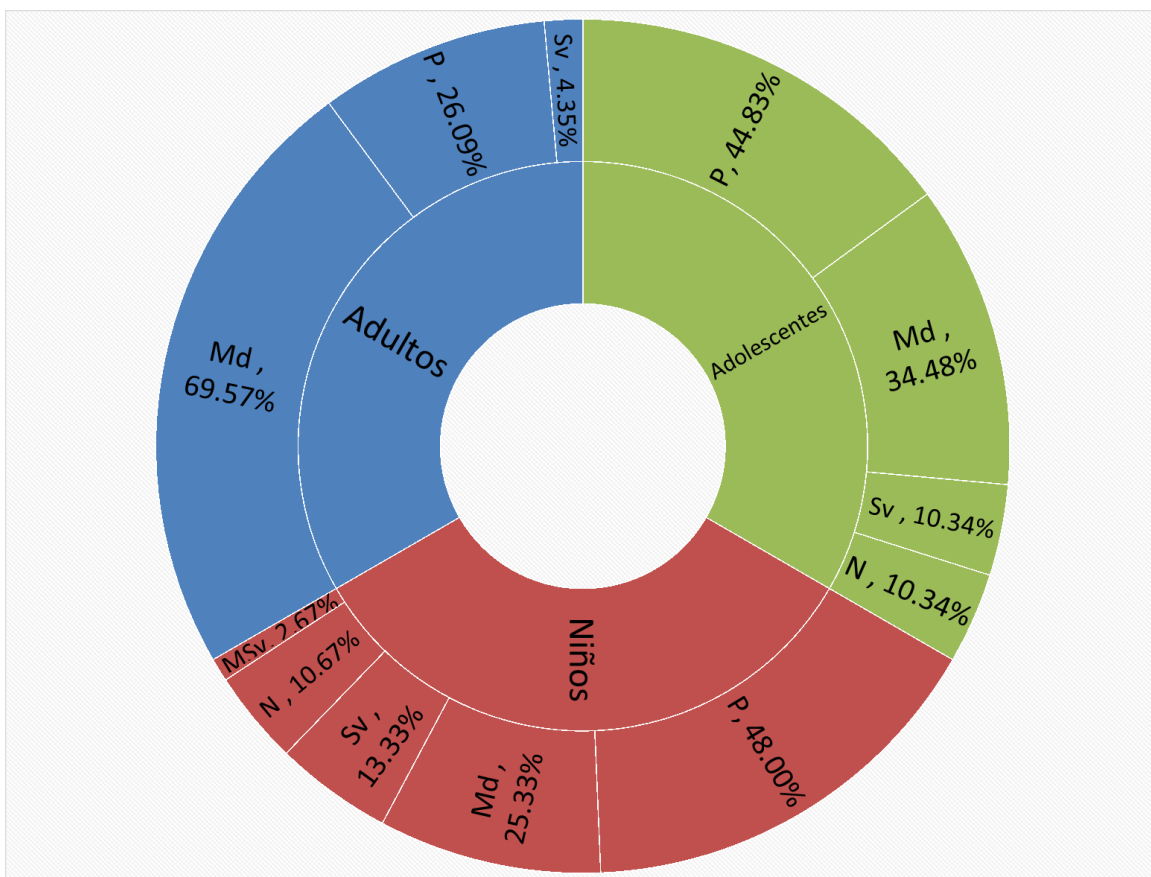


Figura 11. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron al preguntar sobre la gravedad de los problemas ambientales en su comunidad. Las posibles respuestas fueron (i) Muy Severos (MSv), (ii) Severos (Sv), (iii) Moderados (Md), (iv) Pocos (P), (v) Ninguno (N).

pocos; una cuarta parte (25.33%) los consideró moderados (Figura 11); dos décimas partes pensaba que eran severos (13.33%) o ninguno (10.67%); muy pocos (2.67%) pensaron que eran muy severos. En los adolescentes, casi la mitad (44.83%) creían que eran pocos y para una tercera parte eran moderados (34.48%). Los adultos, en su mayoría (69.57%) atestiguaron que los problemas ambientales son moderados, para la cuarta parte (26.09%) son pocos y, un mínimo (4.35%) piensa que son severos. Cabe resaltar que, algunos entrevistados primero contestaban que no existían problemas ambientales en su comunidad, pero más adelante, daban ejemplos en las preguntas relacionadas con los mismos. Los problemas ambientales mencionados por los entrevistados fueron la contaminación, el cambio de uso del suelo, los incendios, la cacería, entre otras afectaciones que implican un manejo inadecuado de los recursos.

La problemática ambiental genera distintos sentimientos entre los entrevistados. En la mitad (55.91%) de los entrevistados, la problemática ambiental produce un sentimiento de tristeza; una quinta parte (18.90%) siente enojo; a poco más de la décima parte (14.96%), no les interesaba. En los niños, poco más de la mitad (53.33%) sintieron tristeza, una quinta parte (18.67%) dijo no estar interesada y, una décima parte (13.33%) se sentían enojados (Figura 12). En los adolescentes, la mitad (51.72%) sintió tristeza, una tercera parte (34.48%) sentía enojo y, para una décima parte (10.34%) fue indiferente. Para los adultos, más de la mitad (69.57%) sintieron tristeza, poco menos de la quinta parte (17.39%) sentían enojo. La tristeza

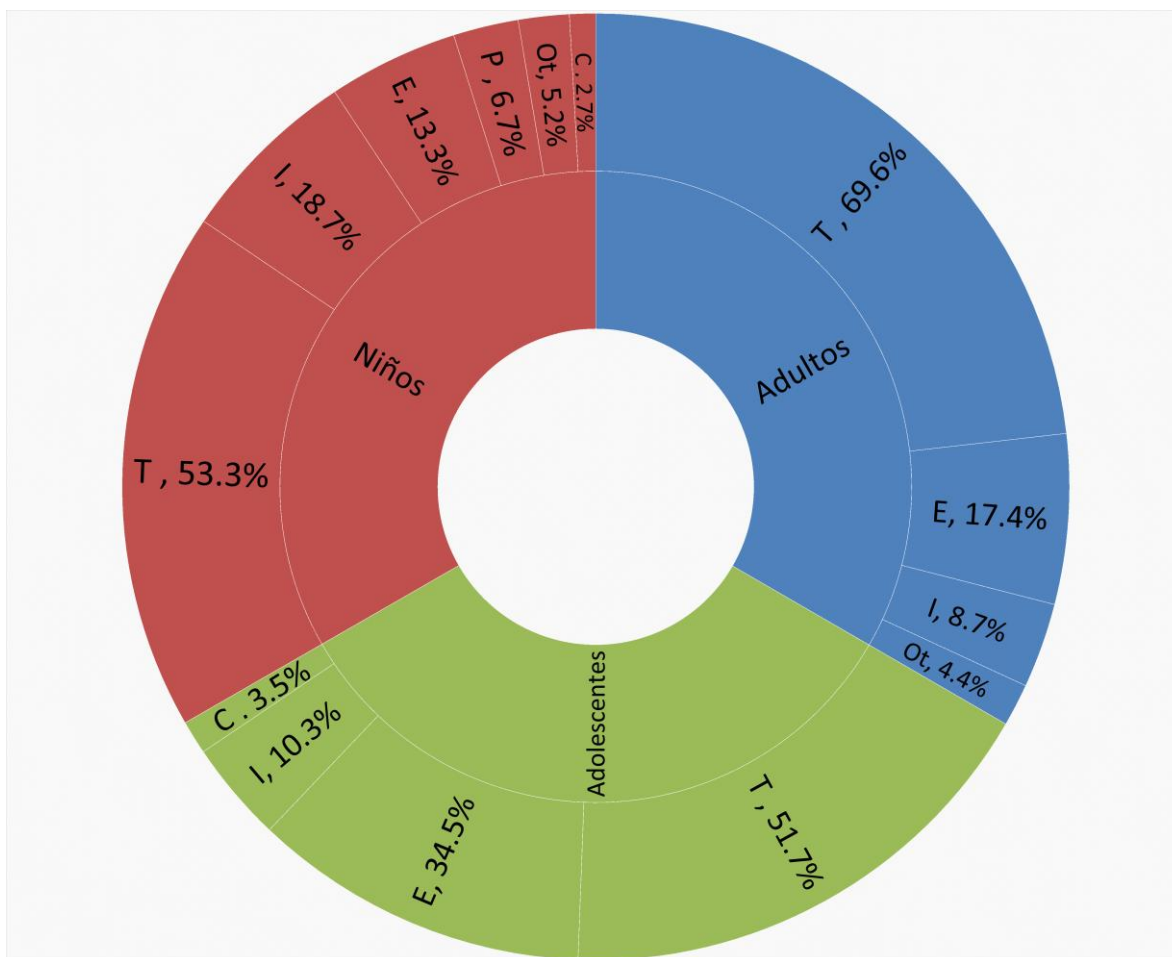


Figura 12. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿cómo te sientes respecto a los problemas ambientales? Las posibles respuestas donde algunos eligieron más de una opción fueron (i) Triste (T); (ii) Enojado (E); (iii) Contento (C); (iv) Indiferente (I); (v) Preocupado (P); (Ot) Otros.

fue el sentimiento más abundante en los entrevistados en los tres grupos, seguido del sentimiento de enojo ante los problemas ambientales. Las explicaciones sobre los sentimientos fueron diversas.

b) Problemática ambiental y su relación con los jales mineros en Huautla, Morelos

Para conocer la relación entre la problemática ambiental con los jales y la minería, se preguntó sobre la existencia de depósitos de jales o, sobre “la tierra de los jales”, entre los grupos. Más de la mitad (59.06%) de los entrevistados dijo no conocer los jales mineros en Huautla. Más de la mitad (57.33%) de los niños, no conocía los jales. Para la mayoría (79.31%) de los adolescentes los jales eran desconocidos. En el caso de los adultos, más de la mitad (60.87%) dijo conocerlos (Figura 13).

La mayoría (70.08%) de los entrevistados sabía sobre el uso de los jales en Huautla, mientras que, casi una tercera parte (27.56%) pensaba que no se utilizaban. Hay que resaltar que, esta respuesta resulta contrastante con la anterior, pues es mayor el porcentaje de la población que sabía sobre su uso, que el que dijo conocerlos. Más de la mitad (61.33%) de los niños sabía que los jales se utilizaban en su comunidad y, menos de la mitad (38.67%) no sabía de algún uso. La mayoría (82.76%) de los adolescentes sabían de su uso y, menos de la quinta parte (17.24%), dijo no saber. Para la mayoría de los adultos (82.61%) si había un uso, poco más de la décima parte (13.04%) no sabía y, una mínima parte (4.35%) dijo que no se utilizaban. Los resultados en cuanto al conocimiento del uso por cada

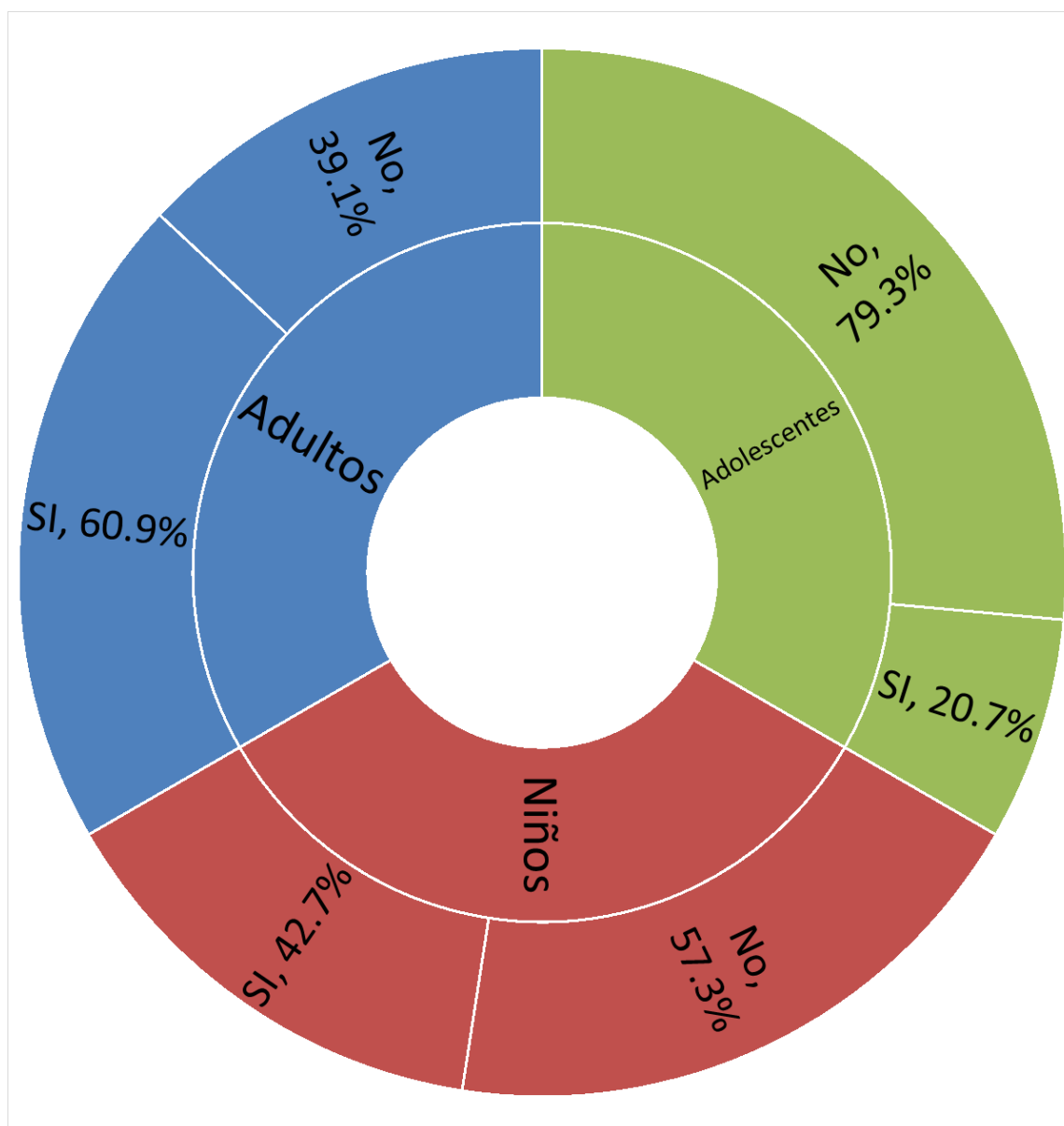


Figura 13. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿Sabes o conoces si hay tierra de las minas (jales o relaves) en tu comunidad?

grupo contrastan con la pregunta anterior, donde se preguntó sobre el conocimiento de los jales, pues los porcentajes en el conocimiento de los usos fueron mayores en cada grupo.

En cuanto a la cantidad de tierra de los jales que se utilizaba en algunas actividades (como construcción, relleno de baches, relleno de terrenos) en la zona, casi dos terceras partes del total consideraron que se utilizaba entre poca a mucha cantidad (65.7%) y una quinta parte (19.4%) de los entrevistados respondieron que no sabían. Entre los grupos, casi dos terceras partes (58.7%) de los niños consideraban que se utilizaba alguna cantidad, para un 22.6% mucho material, 17.33% una cantidad moderada y para 16% poca cantidad (Figura 14). Cuatro quintas partes (83%) de los adolescentes consideraron que se utilizaba alguna cantidad; para 34.48% poca cantidad, 20.69% una cantidad moderada, 20.69% mucho material y para 6.9% cantidades inmensas. La mayoría (82.61%) de los adultos consideraron que se utilizaba una cantidad moderada. El conocimiento fue distinto entre los grupos sobre la cantidad de jales utilizada en distintas actividades. Cada grupo dio ejemplos de los usos como: el “rellenamiento” de baches y terrenos, la construcción y elaboración de mezcla, en bardas, como abono, en carreteras, entre otros usos. Un par de testimonios interesantes fueron que “Lo usaron cuando hicieron una red potable de agua y, tuvieron que romper la banquetta y tuvieron que rellenar con ese mismo material. Y sirve para hacer mezcla con el cemento, pero es muy molido... Los soldados hicieron mezcla de ese material y lo mezclaron con

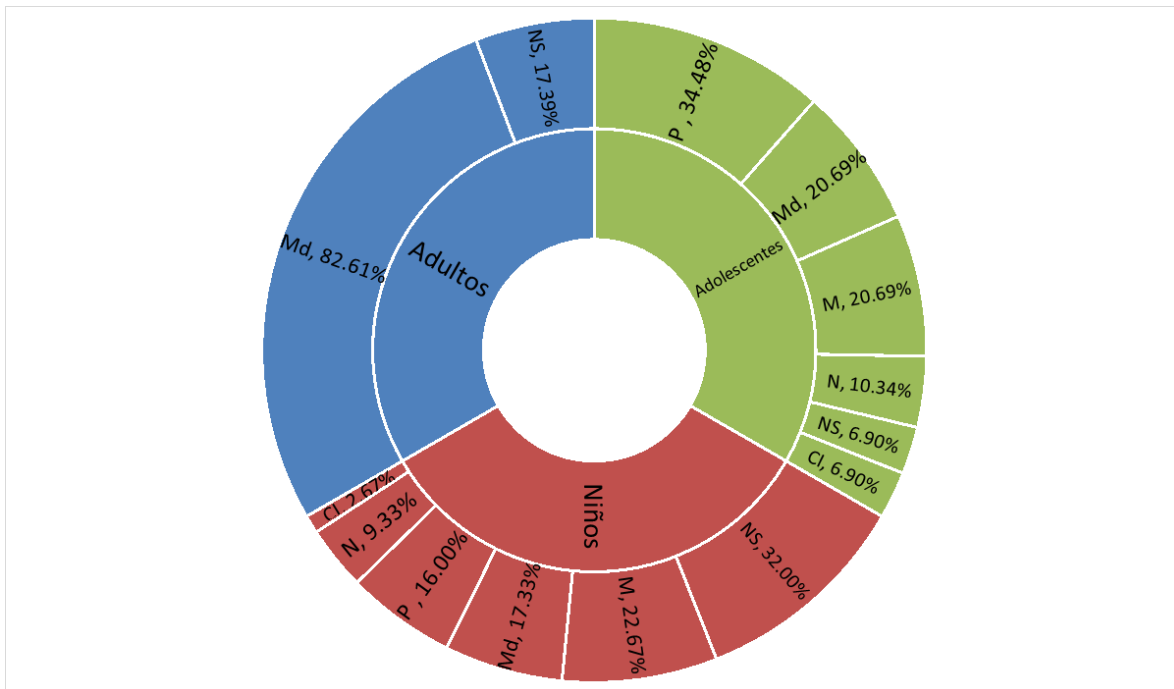


Figura 14. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿Qué cantidad de tierra de jales se ocupa en tu comunidad en algunas actividades? Las posibles respuestas fueron (i) Nada (N); (ii) Poca cantidad (P); (iii) Cantidad moderada (Md); (iv) Mucho material (M); (v) Cantidades inmensas (CI); (vi) No sé (NS).

cemento e hicieron tabique e hicieron una construcción, hicieron una casa...” (Entrevistado adulto 18); “Hace poco, nos vinieron a hacer una tubería de plástico, de manguera para la red de la presa del pochote hicieron los canales para poner la manguera, la pusieron de base...eso es peligrosísimo por los metales que contienen” (Entrevistado adulto 19).

Poco más de la mitad (53%) había observado o intuía que la tierra de los jales se movía con la lluvia y, menos de la mitad (47%) de los entrevistados no lo había observado. En general, casi una cuarta parte (26.77%) de los entrevistados pensaba que la lluvia movía una cantidad moderada de jales; una quinta parte (21.26%) consideraba que poca cantidad; porcentajes menores a la décima parte (7.09%) consideraron que se movía mucho material, que no se desplaza (6.30%) o, que eran cantidades inmensas (5.51%). Poco menos de la mitad (40%) de los niños no podía calcular la cantidad de material (Figura 15); la quinta parte (20%) consideró que era una cantidad moderada; poco menos de una quinta parte (18.67%) pensó que poca cantidad; una décima parte (9.33%) que no se desplaza material; sólo cerca de la veinteava parte (6.67%) de los niños consideraban que se movía mucho material o, que se movían cantidades inmensas (5.33%). Para los adolescentes, casi dos quintas partes (37.93%) consideró que se movía una cantidad moderada y una tercera parte (27.59%) poca cantidad; cerca de una décima parte (13.79%) respondieron que mucho material y cantidades inmensas (10.34%). En los adultos, menos de la mitad (43.48%) no tenía una respuesta, casi un tercio (34.78%)

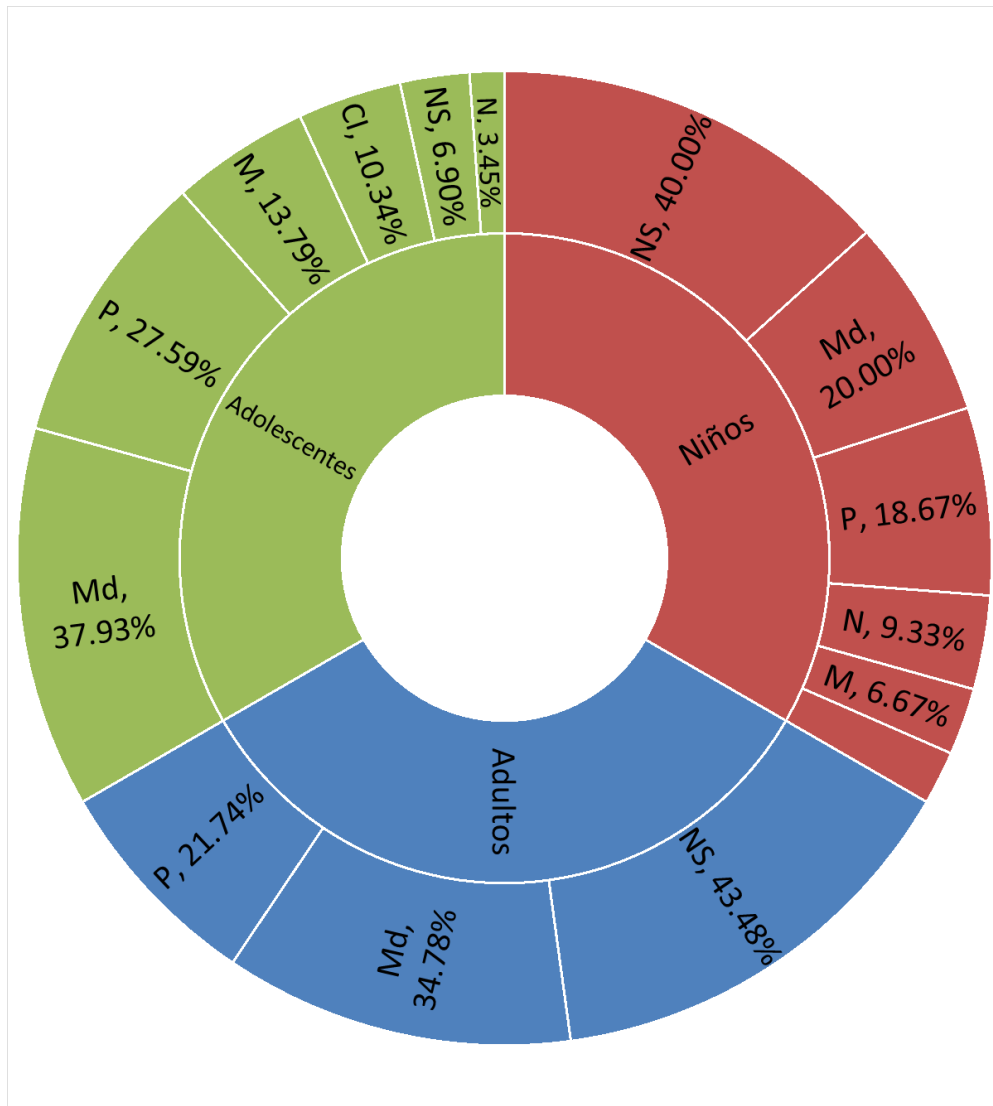


Figura 15. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿En qué cantidad consideras que el material de los jales se desplaza con el viento y la lluvia? Las posibles respuestas fueron (i) Cantidades inmensas (CI); (ii) Mucho material (M); (iii) Una cantidad moderada (Md); (iv) Poca cantidad (P); (v) No sé desplaza (NS).

contestó que una cantidad moderada y la quinta parte (21.74%) contestó poca cantidad. Quienes consideraron que, si había un desplazamiento con las lluvias o el viento, reconocieron que el movimiento de los jales es hacia las barrancas o hacia las partes más bajas y, eso los lleva hacia los ríos. Algunos testimonios son interesantes: “Millones de toneladas, que viene el agua y se las lleva...” (Entrevistado adulto 15); “Con las lluvias fuertes el agua arrastra los jales hacia la carretera de Huautla-Rancho Viejo” (Entrevistado de secundaria 13); “La tierra crece en la barranca. Llueve y cae el agua, se va la barranca” (Entrevistado de primaria 14); “hacía un río color café” (Entrevistado de primaria 47); “antes, cuando había minería, el agua se ponía más anaranjada y tenía olor...” (Entrevistado adulto 10). El arrastre y la cantidad de materiales desplazado hacia las barrancas son percibidos por una parte de la población. Los testimonios de los observadores complementaron las investigaciones de los Capítulos II (Figura 4) y III (Figuras 3, 4a-d y 11) de esta tesis. La dinámica del movimiento de los jales es analizada con detalle en el Capítulo III.

Algunos adultos que estuvieron involucrados o presenciaron los procesos de generación de los jales aportaron información importante. Los testimonios sobre el movimiento de los jales y su composición fueron los siguientes: “...los jales están contaminados.... se les ponía dos clases de Xantato: Xantato amílico de sodio y Xantato amílico de potasio y SuperFlo 45; otro ácido que si cae en la mano da alergias, cristansol; aeroflo 45. ... colecta todas las partículas de plata y un poco de

zinc... lleva otro ingrediente ... lo que sobre se va al jal. El jal todavía tiene ... plata y los reactivos, esos no se acaban, esos no porque el sol no los extrae...” (Entrevistado adulto 15); “Hay escurrimientos de agua que nomás sale rojizo el color de los jales. Ese color rojizo que queda son residuos del mineral y llegaban al arroyo, aquí a la barranca y corría a veces hasta el agua...” (Entrevistado adulto 19).

Una parte de los entrevistados consideraron un efecto de los jales en la salud. Casi la mitad de los entrevistados (46.46%) pensaba que había poca relación con algunas enfermedades; una tercera parte (29.92%) consideró que no había ninguna relación; la sexta parte (14.17%) consideraba que estaban muy relacionados; para una mínima parte (3.15%) estaban completamente relacionados. En el grupo de los niños, poco menos de la mitad (41.33%) consideró que había poca relación, poco más de una tercera parte (32%) que no había una relación, cerca de la décima parte (13.33%) que había mucha relación y, un mínimo (5.33%), los relacionaba completamente (Figura 16). En los adolescentes, más de dos terceras partes (68.97%) consideró que había poca relación, poco menos de la quinta parte (17.24%) que había mucha relación y una décima parte (10.34%) que no había relación. Para casi la mitad (47.83%) de los adultos tampoco había una relación; cerca de una tercera parte (34.78%) consideró que había poca relación; solamente poco más de la décima parte (13.04%) consideró que estaban muy relacionados. Quienes consideraron que había relación entre las enfermedades y los jales dieron distintas respuestas interesantes. Entre los testimonios dijeron lo siguiente: “... las

personas se mueren” (Entrevistado de primaria 52); “La tierra anaranjada afecta a los pulmones” (Entrevistado de primaria 56); “Tos y cáncer, calentura” (Entrevistado de primaria 61); “cáncer de pulmón?” (Entrevistado de primaria 65); “Por lo que sé, pueden enfermar y si les entra a los ojos infección” (Entrevistado de primaria 71); “Infecciones de la piel” (Entrevistado de Secundaria 10); “puede perder la audición, puede darles fiebre” (Entrevistado de secundaria 17) “Porque contienen metales. Por ejemplo, el agua de la mina, muchas personas ahorita como ya está saliendo, pues de ahí acarrean para los trastes o para bañarse y como contiene metales nos contamina ...también la utilizan para los animales y, como luego esos animales los matan por la carne, puede también que la carne también contenga el metal” (Entrevistado adulto 8); “Si, puede producir alergias. Puede producir como tos, como el EPOC” (Entrevistado adulto 15); “...que algunas personas presentaban como alergias o algo, porque algunas personas se bañaban en lo que es la barranquita esta y tenían como una alergia y, pensaban que era debido a los jales...” (Entrevistado adulto 23).

Además de las enfermedades, los entrevistados mencionaron otros problemas ambientales en Huautla relacionados con los jales y las minas abandonados. Entre los testimonios se mencionó: "Antes cuando yo trabajaba...era una especie de lodo de agua rojiza que se iba depositando ... llevaba partículas de químicos ... partículas de Ag de todos los minerales que se extraían de la mina...

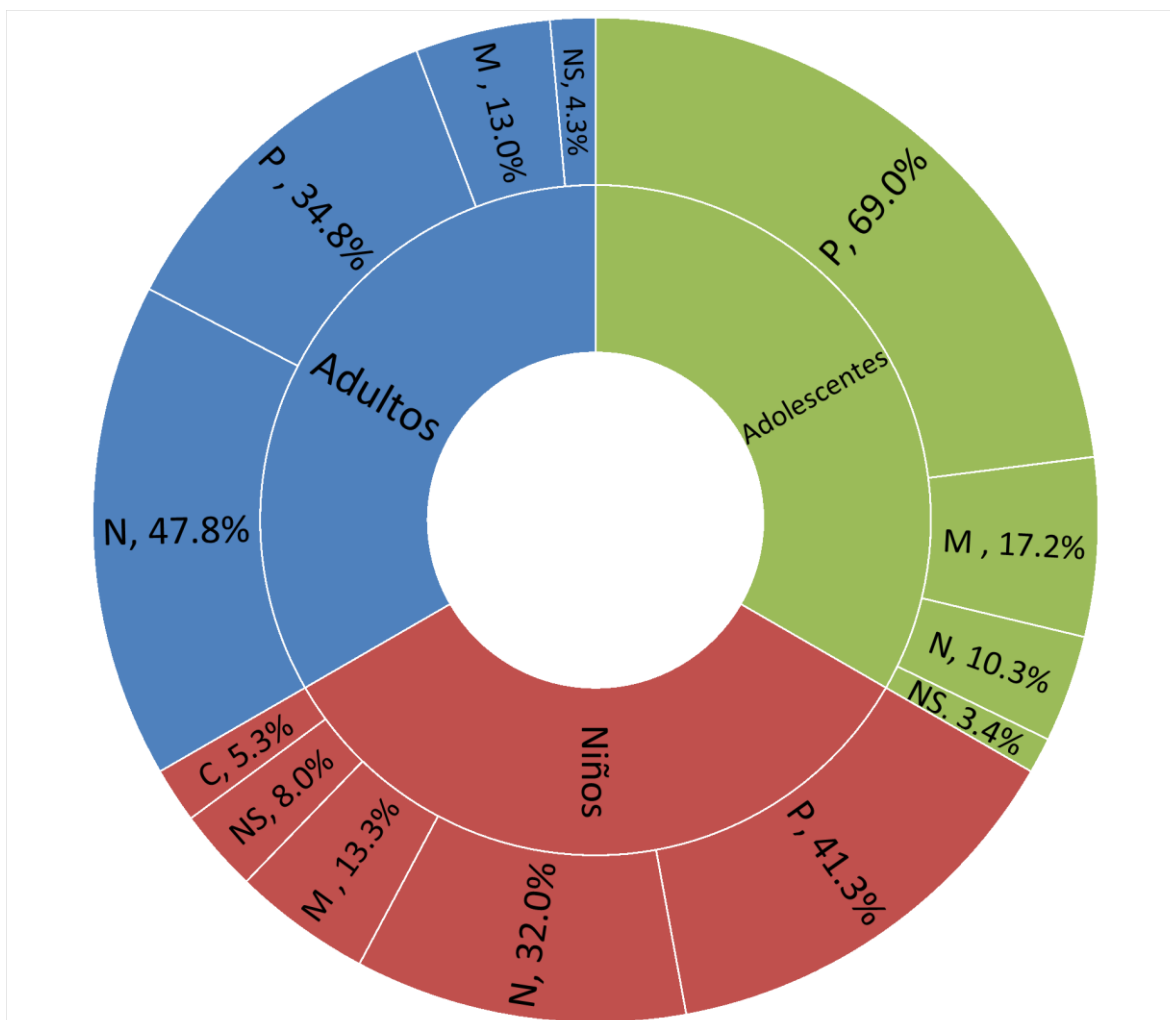


Figura 16. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿Crees que algunas enfermedades en tu comunidad se relacionan con los jales? Las posibles respuestas fueron (i) Completamente (C); (ii) Mucho (M); (iii) Poco (P); (iv) Nada (N); (v) No sé (NS).

esos minerales que eran partículas y era de color rojizo... hay partículas de Ag, Pb, Cu... la universidad está haciendo algunos exámenes para ver si tenemos Pb o algunos minerales pesados en nuestra sangre, en nuestro cerebro, todo eso...” (Entrevistado adulto 23); “Hicieron un trabajo en la red de agua potable...el gobierno...supuestamente toda la manguera tenía que llevar arena, pero por economizarse el contratista, metió jales. Y eso es bien delicadísimo para la manguera...con la temperatura extrae un arco, como cuando está soldando...porque lleva metales...ahí dice no usarlos” (Entrevistado adulto 15). Los entrevistados también reportaron que, en el futuro se busca dar usos a los jales, que podrían beneficiar económicamente al pueblo, por esta transacción. Los problemas ambientales mencionados se relacionaron con el arrastre del agua de lluvia, la contaminación y el deslave de material y, con el uso de los jales.

Otros problemas ambientales del pueblo de Huautla fueron mencionados por los entrevistados o rescatados de la revisión documental. Por ejemplo, el pueblo de Huautla data de 1570 sin ninguna planificación para disminuir sus impactos ambientales. Huautla tiene problemas de contaminación por drenajes de las casas que vierten directamente a las barrancas o por el depósito de basura (Entrevistado adulto 17), problemas que ocurren en otras poblaciones asentadas al borde de las barrancas, (Secretaría del Medio Ambiente, 2012).

Otros problemas ambientales y sociales en Huautla no se vinculan con la minería, sino con el manejo de los recursos. Un ejemplo de esto es la creación de

la UMA Huautla que, por una parte, ha permitido la recuperación de selva en aproximadamente 6.5% (Condori Cordero, 2022; Condori-Cordero *et al.*, 2022). No obstante, por otra parte, la participación en las decisiones de la UMA es muy baja por los pobladores y, algunos habitantes hablan de un incumplimiento en los acuerdos y del mal uso de los cintillos para el aprovechamiento regulado de vida silvestre (Juárez Mondragón, 2017). En campo pudo observarse la cacería de iguanas verdes cerca del poblado, una especie catalogada en Protección especial por la NOM 059 (DOF, 2010). La presencia de una UMA es benéfica para la población y la vida silvestre, pero algunos pobladores incumplen los acuerdos y frustran estos esfuerzos.

La reconstrucción histórica permitió identificar otros problemas ambientales en la zona de Huautla, Morelos. Por ejemplo, la producción de alimentos también genera distintos problemas ambientales en la zona. No se puede catalogar a Huautla como una zona agrícola, considerando las perspectiva físico-geográfica, por lo que presenta cultivos semipermanentes y, no más del 15% del suelo es útil para las actividades agrícolas (Valle-Mejía, 1991). Otra limitante notable es la estacionalidad, ya que sólo hay humedad en determinadas épocas del año, de junio a septiembre, el resto del año todo es seco (Valle-Mejía, 1991; POEREM, 2013). La escarpada topografía local también limita que haya zonas extensas dedicadas al cultivo (Valle-Mejía, 1991), con una fuerte susceptibilidad a la erosión. Aunado a esto, la porción norte de Huautla no tiene posibilidades de ningún tipo de utilización

agrícola (Mondragón-Morales, 1986). Por estos motivos, solamente una parte de la población realiza actividades ganaderas (Juárez-Delgado *et al.*, 2018) (Anexo 4). Las condiciones ambientales de la zona provocan una limitada producción agropecuaria de alimentos y, el cambio de uso de suelo tiene un impacto considerable en los ecosistemas.

c) Participación social en la resolución de los problemas ambientales

En cuanto a la responsabilidad personal de los problemas ambientales, poco más de la mitad (55.12%) dijo no sentir mayor responsabilidad por los problemas ambientales locales, que por los problemas ambientales globales; para una quinta parte (22.83%) dependía del caso; sólo una quinta parte (21.26%) consideró que esto era cierto. Entre los tres grupos: cuatro quintas partes (80%) de los niños no sentían mayor responsabilidad por los problemas ambientales locales que por los globales; sólo poco más de una décima parte (12%) consideró cierta esta afirmación (Figura 17). Poco menos de la mitad (48.28%) de los adolescentes consideraron que era cierto y poco más de la tercera parte (34.48%) que era falso. Un poco más de cuatro quintas partes (82.61%) de los adultos consideraron que dependía del caso y menos de la quinta parte (17.39%) que era cierto. La perspectiva respecto a la responsabilidad individual en los problemas globales cambió conforme se incrementó la edad de los entrevistados.

Poco más de tres cuartas partes (76%) consideraron que “Lo que cada uno de nosotros hace por el ambiente es de gran importancia para su cuidado.”; poco

más de la décima parte (11%) consideró que dependía del caso; sólo un pequeño porcentaje (6%) pensaba que era falso. La mayoría (80%) de los niños estuvo de acuerdo con esta sentencia y sólo una décima parte (10.67%) no estuvo de acuerdo o que dependía del caso (8%) (Figura 18). Poco más de la mitad (65.52%) de los adolescentes consideraron que era cierta la sentencia y una quinta parte (17.24%) consideraron que dependía del caso. En los adultos, la mayoría (76.2%) estuvo de acuerdo y, 14.3% consideró que dependía de la situación.

En cuanto a quienes deben participar en la resolución de los problemas ambientales, las respuestas fueron similares en la mayoría de los habitantes. Más de cuatro quintas partes (85.83%) consideró que “debemos participar todos y los expertos participar con su conocimiento” en la resolución de los problemas ambientales. Cerca de la décima parte (9.45%) consideró que “debe participar la sociedad” y una mínima parte (4.72%) que “debe dejarse a los expertos”. Casi la totalidad (90.67%) de los niños consideró que debemos participar todos y los expertos participar con su conocimiento; solamente cerca de la veinteava parte (4%) mencionó que deben dejarse a los expertos (Figura 19). Más de dos terceras partes

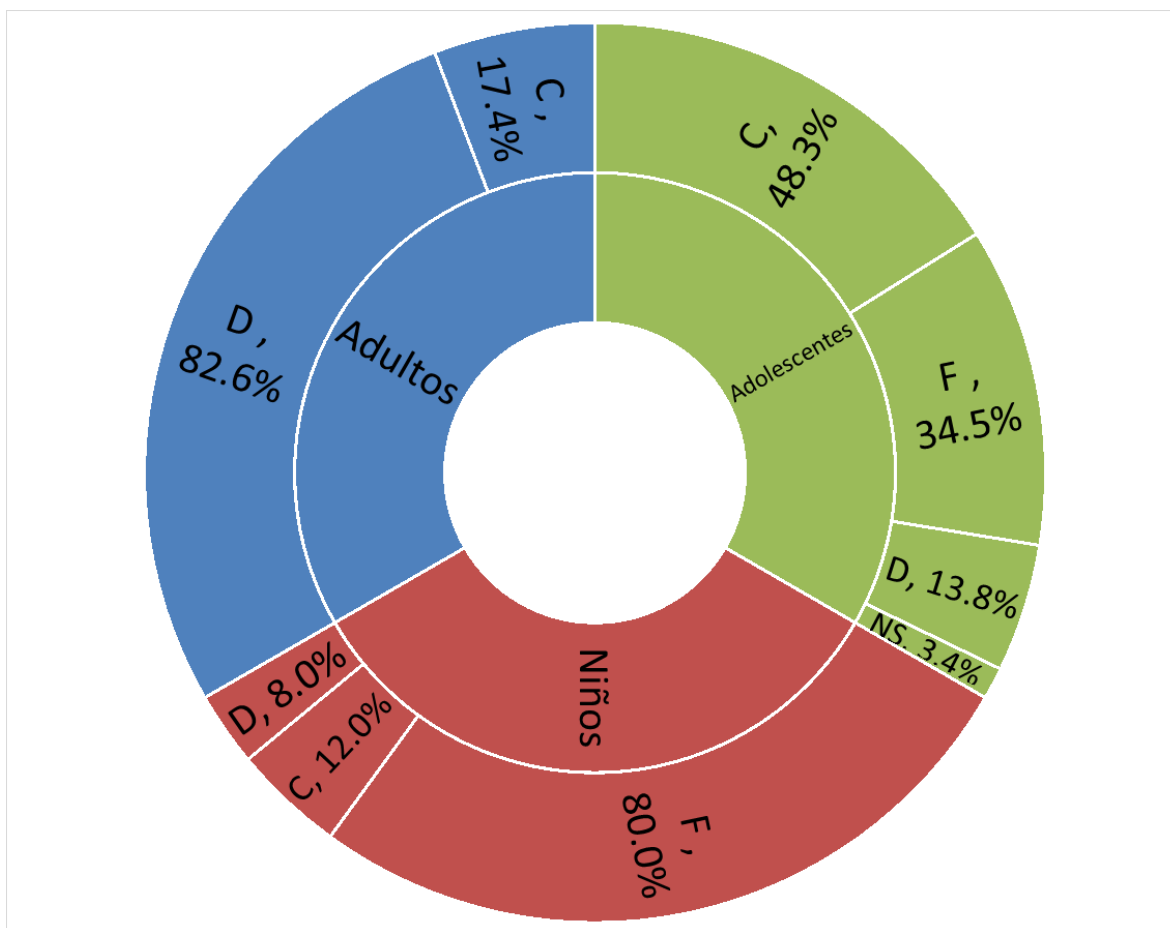


Figura 17. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la afirmación: “Me siento más responsable de los problemas ambientales locales que de los problemas globales”. Las posibles respuestas fueron (i) Cierto (C); (ii) Falso (F); (iii) Depende (D); (iv) No sé (NS).

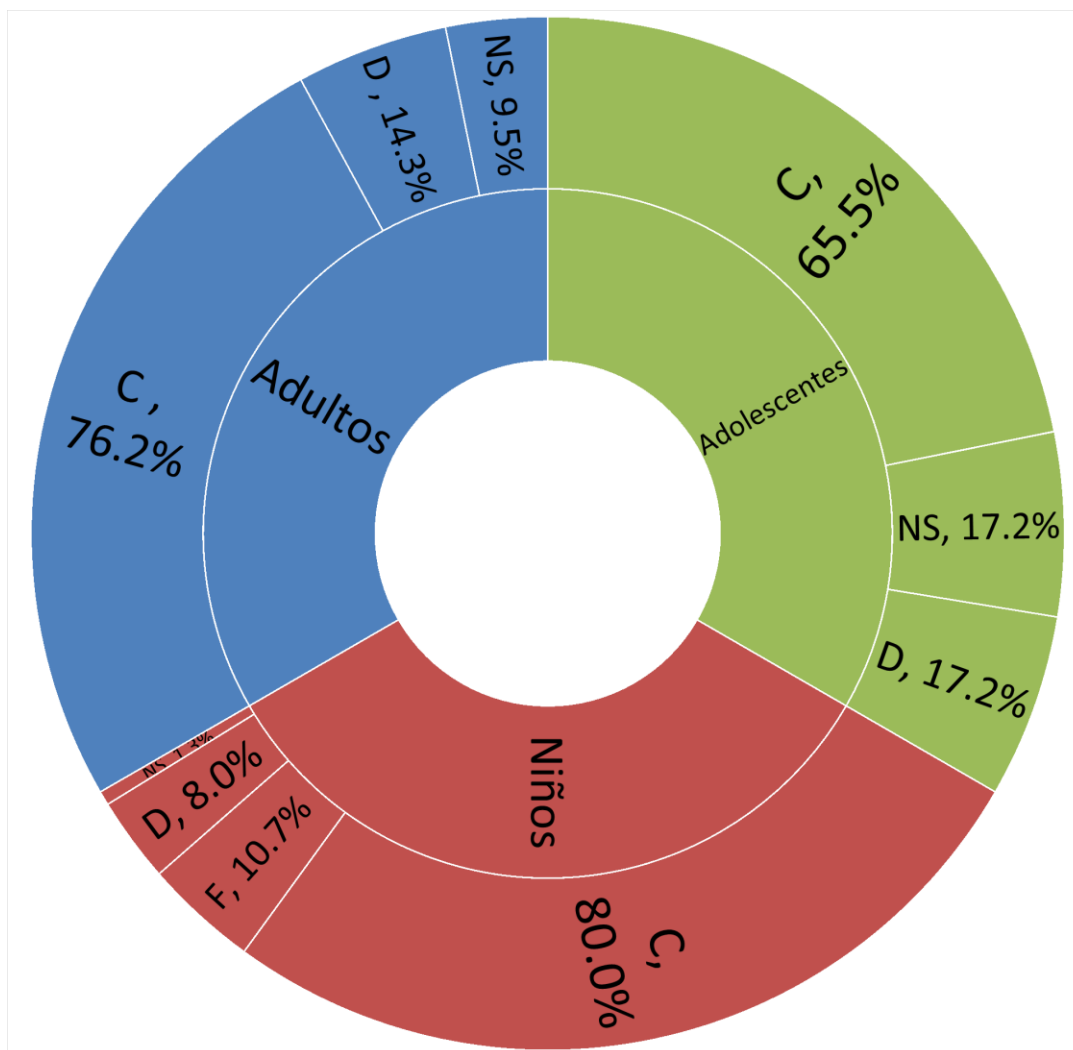


Figura 18. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: “Lo que cada uno de nosotros hacemos por el ambiente es de gran importancia para su cuidado:”. Las posibles respuestas fueron (i) Certo (C); (ii) Falso (F); (iii) Depende (D); (iv) No sé (NS).

(68.97%) de los adolescentes consideraron que debemos participar todos y, los expertos participar con su conocimiento en la resolución de los problemas ambientales; una cuarta parte (24.14%) pensaba que sólo debe participar la sociedad y, poco más de una veinteava parte (6.90%) que debe dejarse a los expertos. Casi la totalidad (91.30%) de los adultos consideró que debemos participar todos y los expertos participar con su conocimiento; una parte cercana a la veinteava parte (4.35%) consideró que debe dejarse a los expertos; otra veinteava parte (4.35%) que sólo debe participar la sociedad.

En cuanto a la pregunta: Si tuvieras algunas opciones para mejorar un lugar afectado, ¿cuál de estas escogerías? la mayoría de los habitantes respondió de forma similar. La mayor parte (83.46%) de los entrevistados contestaron que, *recuperarían las características originales del sitio (selva)*; porcentajes menores (13.39%) manifestaron que *colocarían un parque con vegetación, aunque no fuera de la región*; un mínimo (3.15%), *lo dejaría como estuviera*. La mayoría (81.33%) de los niños contestaron que *recuperarían las características originales del sitio (selva)*; menos de una sexta parte (16%) *colocaría un parque con vegetación, aunque no fuera de la región*; un mínimo (2.67%), *lo dejaría como estuviera* (Figura 20). En los adolescentes, la mayoría (86.21%) contestó que *recuperaría las características originales del sitio (selva)* y, poco más de la décima parte (13.79%), *colocaría un parque con vegetación, aunque no fuera de la región*. En los adultos, la mayoría (86.96%) *recuperaría las características originales del sitio (selva)*; mínimos

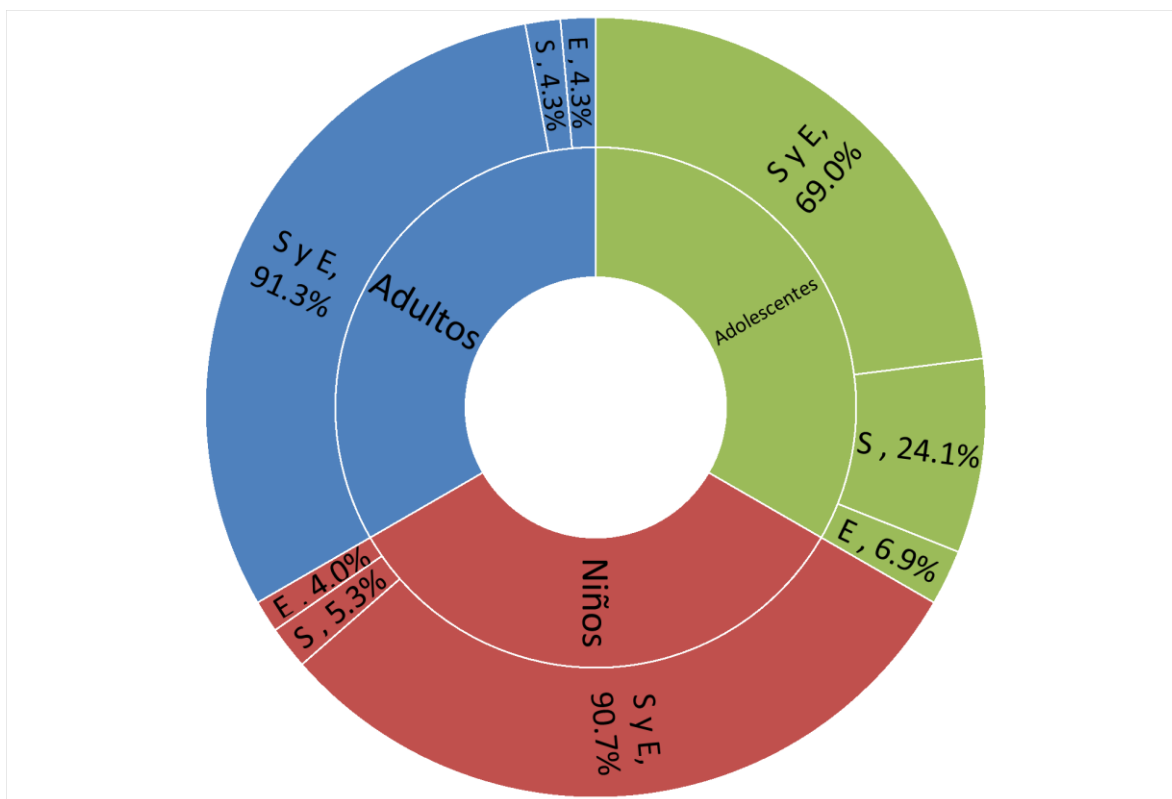


Figura 19. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿a quién le corresponde resolver los problemas ambientales en el planeta? Las posibles respuestas fueron (i) Debemos participar todos y los expertos con su conocimiento [S y E]; (ii) Debe participar la sociedad [S]; (iii) Debe dejarse a los expertos [EE].

porcentajes (4.35%) contestaron que colocarían un parque con vegetación, aunque no fuera de la región o, lo dejaría como estuviera (8.70%). Para los distintos grupos de edad, la recuperación de la vegetación original es la mejor opción al recuperar un sitio degradado. Al explicar el por qué seleccionaron esta opción, sobresalieron las siguientes respuestas: “Me gustan los animales y los quiero cuidar y, ayudar” (Entrevistado de primaria 1); “Debemos cuidar la selva, todo lo que nos da” (Entrevistado de primaria 3); “Para que estén los animales y estén protegidos” (Entrevistado de primaria 6); “esa es la naturaleza que había antes” (Entrevistado de primaria 16); “un parque no va a dar millones de animales, ni árboles, ni oxígeno puro” (Entrevistado de primaria 65); “Porque tienen las funciones de las aves” (Entrevistado de primaria 69); “Me gustaría que estuviera igual que cómo estaba” (Entrevistado de secundaria 2); “Porque si se restaura todo se puede recuperar las especies o lo que se esté terminando. Creo que sería una forma de reforestar o con los animales que hay dejarlos que se reproduzcan para que no se termine esa especie” (Entrevistado adulto 5).

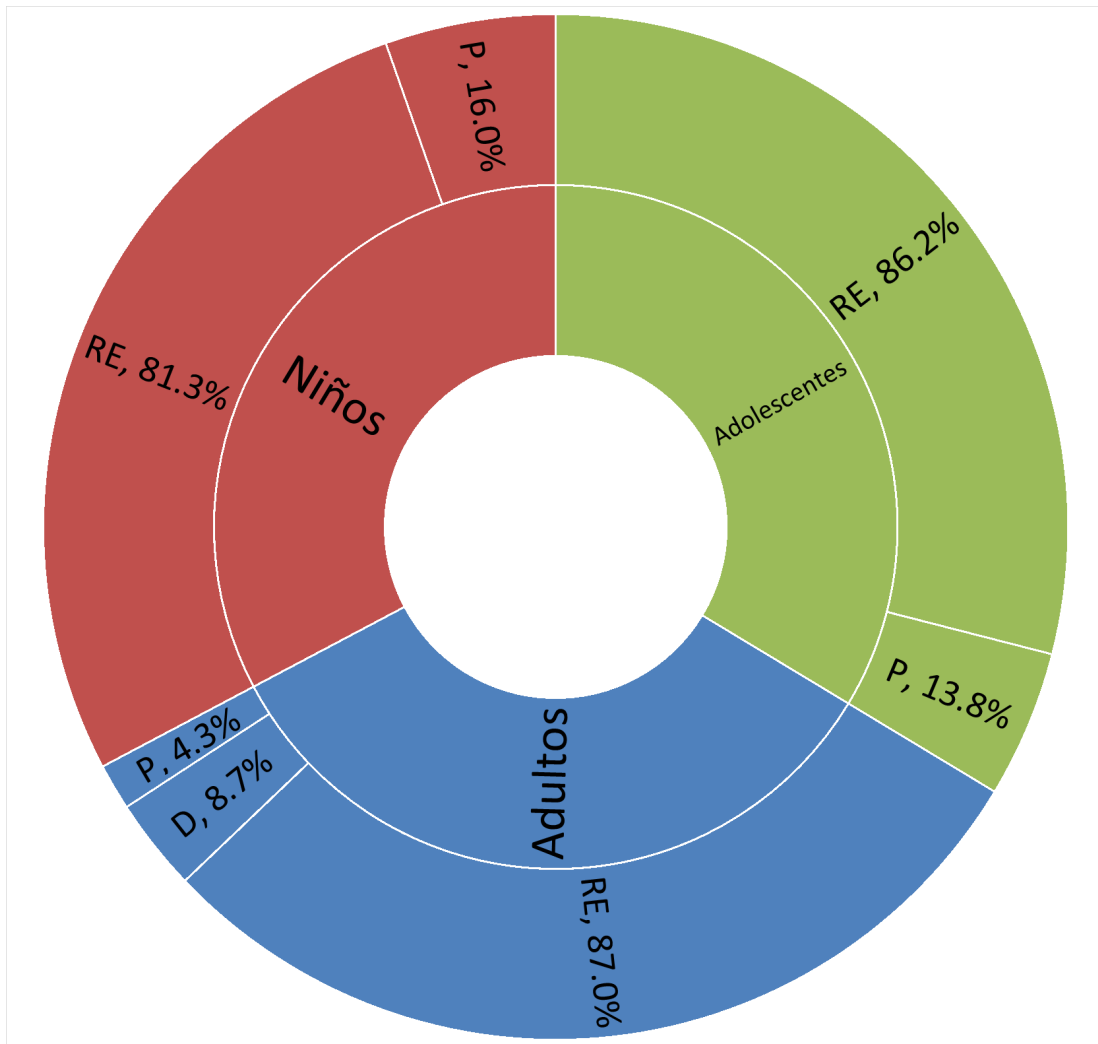


Figura 20. Porcentajes de respuestas de personas entrevistadas en Huautla, Morelos por grupo de edad (niños [6-12 años; n=75], adolescentes [12-15 años; n=29], adultos [>18 años; n= 23]) que respondieron a la pregunta: ¿qué acción tomarías respecto a un área afectada? Las posibles respuestas fueron (i) Recuperaría las características originales del sitio (selva) [RE]; (ii) Colocaría un parque con vegetación, aunque no fuera de la región [P]; (iii) Lo dejaría como estuviera [D].

Discusión

a) Perspectiva social sobre la problemática ambiental en Huautla, Morelos

Desde la perspectiva social en Huautla se reconoce la importancia de la naturaleza para los seres humanos. El grado de importancia que le dieron a la naturaleza se incrementó con la edad entre los grupos de entrevistados, lo que podría relacionarse con la madurez y el conocimiento que adquieren los individuos al desarrollarse y adquirir más experiencias y conocimientos. Así mismo, conforme aumentó la edad, los individuos pudieron atestiguar cambios negativos que originaron los problemas ambientales, así como las consecuencias que implicaron hacia los seres humanos. Así mismo, conforme los individuos hacen mayor uso de los elementos y procesos de la naturaleza, pueden cambiar su perspectiva respecto a su importancia, conforme cambian o se pierden los recursos. Esto podría generar mayor sensibilidad de los entrevistados, pasando de considerarlos importantes a considerarlos indispensables. La importancia que se da a los recursos naturales por parte de la población, en un determinado contexto, depende en gran medida del conocimiento sobre el verdadero valor que le den a la naturaleza (Calle et al., 2019).

Los recursos como la tierra, el agua, el oxígeno, las plantas y los animales tomados de la naturaleza tienen un límite desde la perspectiva social. Aunque entre los adolescentes y los adultos parece haber mayor conciencia sobre el límite de los recursos naturales; mientras que, para los niños podría ser más difícil concebir un límite sobre los recursos naturales. La perspectiva sobre el límite de los elementos

obtenidos de la naturaleza cambió conforme aumentó la edad de los grupos. Puede considerarse que, respecto al límite de los recursos naturales, en general, la perspectiva social en Huautla coincide con los postulados por Brundland en 1987, acerca de los límites que impone la naturaleza al desarrollo económico y social (Rodríguez- Becerra, 2020).

En Huautla, la perspectiva social acerca de la capacidad de la naturaleza para contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos no fue uniforme. En general, las diferencias en la perspectiva social respecto a la recuperación de la naturaleza ante los impactos ambientales podrían derivarse de los conocimientos y experiencias adquiridos por los individuos. Al analizarlo por grupo, los adultos y los niños consideraron que no es posible que la naturaleza contrarreste los impactos producidos por los humanos, pero en los adolescentes, solamente menos de la mitad consideraron que no puede recuperarse. Las diferencias con los adolescentes podrían relacionarse con que, en esta etapa de la vida, existen distintos cambios en la forma de concebir el entorno y buscan reformar a la sociedad donde se va a insertar con una construcción propia de teorías o explicaciones que podrían ser correctas bajo ciertos contextos (Moreno, 2007). En cambio, en los niños posiblemente su claridad mental, al encontrarse aquí y ahora, les permita ser más objetivos con algunos temas debido al desarrollo de su inteligencia intuitiva; mediante la aplicación de conocimientos previos y consistentes o por la interacción con el medio, ellos construyen su conocimiento (Moreno, 2007;

Villarroel-Dávila, 2012). Mientras que, para los adultos, la experiencia juega un papel especialmente importante (Fernández-Sánchez, 2012), mostrándoles que no siempre es posible la recuperación de la naturaleza. La capacidad de la sociedad para conservar al ambiente dependerá del tipo de desarrollo que se dé en una región o país y de la comprensión sobre los límites que impone su disponibilidad (Rodríguez, et al., 2019).

Respecto al riesgo de que la humanidad enfrente una crisis global en materia ambiental, la perspectiva social no fue uniforme, ya que sólo fue considerado por la mitad de la sociedad de Huautla. Al analizarlo entre los grupos podemos sugerir que, conforme los grupos tenían mayor edad también aumentaba el porcentaje que consideraba el riesgo de que pudiera ocurrir una crisis ambiental. Los niños tuvieron el porcentaje más bajo, incrementándose considerablemente en los adolescentes y, más aún, en los adultos, lo que podría relacionarse con la madurez que van adquiriendo los individuos, al recibir más información, aumenta la capacidad de analizarla y, posiblemente, de aceptar la angustia que genera la realidad de una crisis de este tipo. En Huautla, la sociedad reconoce que podemos enfrentarnos a una crisis ambiental global, un hecho que se considera vigente por los expertos desde hace años y, dependiente del modelo actual de desarrollo económico en el planeta (Rodríguez-Becerra, 2020).

La perspectiva social, en general, respecto al desperdicio de los recursos que nos provee la naturaleza mantuvo una tendencia similar entre grupos. En ambos

casos, más de la mitad dentro de cada grupo consideraron que existe un desperdicio de los recursos. Dentro de los grupos, conforme se incrementó la edad pareció incrementarse la conciencia del desperdicio de los recursos, incrementándose, desde poco más de la mitad en los niños, hasta poco más de cuatro quintas partes en los adultos. La madurez de los distintos individuos puede darles una mayor conciencia y, permitirles entender mayor cantidad de casos que implican el desperdicio de los recursos obtenidos de la naturaleza. En este caso, la educación y la comunicación podrían jugar un papel indispensable, ayudando a definir las estrategias a seguir con el fin de brindar alternativas, para concientizar y evitar el desperdicio de los recursos obtenidos de la naturaleza, aprovechando la sensibilidad de los habitantes (Gutiérrez-Pérez et al., 2020).

Los problemas ambientales son un tema muy difundido entre la sociedad de Huautla. Posiblemente como consecuencia de mecanismos de comunicación cada vez más eficientes, tanto en general como entre los grupos en Huautla, se conocía sobre los problemas ambientales. Esta tendencia es similar a lo que ocurre incluso en el valle de México, donde los distintos grupos de edad al enfrentarse a distintas actividades que dañan su entorno muestran mayor conocimiento sobre la problemática ambiental (Ávila-Akerberg y González-Martínez, 2016). Así mismo, al vivir dentro de un área natural protegida como la REBIOSH, los habitantes podrían haber desarrollado una mayor sensibilidad en cuanto a los factores que modifican su entorno, ya sea dentro de la reserva de la biósfera o en el contexto global. Las

distintas formas como se relaciona la sociedad con su entorno contribuyen a estructurar diversos modelos de sociedad y modos de relacionarse entre quienes la habitan y entre éstos con la naturaleza (Zavaro-Pérez y Stampella, 2023).

Actualmente, los medios de comunicación tienen un papel muy importante en la información, aún en las comunidades más aisladas, como en Huautla, Morelos. Desde hace tiempo, los medios de comunicación social han sido imprescindibles en la sociedad actual con un protagonismo cada vez mayor (Almuiña, 1995). En general, la sociedad de Huautla se informa por distintos medios y, la televisión aún tiene un papel muy importante en la comunicación, seguida por el internet. La televisión continúa siendo un medio importante de comunicación y, actualmente, de la transmisión de los problemas ambientales (Zabala y Villalobos, 2010). La comunicación, que es cada vez más accesible a través del internet, poco a poco va alcanzando e incluso desplazando a la televisión como medio predominante de información. Después de los medios, la forma como los habitantes de Huautla se informan de los problemas ambientales es a través de la comunicación de los familiares o, por la educación en la escuela. Los niños son el grupo que tiene mayores diferencias entre el uso de distintos medios, posiblemente por la influencia que tiene la tecnología en las generaciones más jóvenes. Desde hace décadas, en los países que integran la OCDE, la concepción del medio ambiente aplicada en las escuelas dejó de limitarse al entorno natural y, la educación ambiental empezó a involucrar la transmisión de conocimientos para el ambiente constituido por

sistemas complejos (Giolitto, 1997), lo que podría influir en la perspectiva de los grupos más jóvenes en Huautla. Los medios de comunicación social constantemente difunden grandes acontecimientos naturales que se dan en la actualidad, pero con efectos sociales adversos; por tanto, estos medios también deberían promover la educación ambiental, en donde se promueva a un espectador crítico que promueva el cambio social y ambiental (Santiago-Rivera, 2008). La TV puede llegar a ser de gran importancia en la educación ambiental (Zabala y Villalobos, 2010)

En general, la perspectiva social se encuentra dividida acerca de la credibilidad en los medios de comunicación, como la televisión o la radio en cuanto a la gravedad de los problemas ambientales. La perspectiva social de Huautla, en general, podría estar influenciada por habitar dentro de un Área Natural Protegida. Solamente poco más de la tercera parte de la población consideró que los problemas ambientales eran más graves de lo que se escucha. A mayor edad, aumentó la desconfianza en que las noticias son más graves de lo que se ve en la televisión o se escucha en el radio, entre los grupos. Actualmente, los medios de comunicación juegan un papel trascendente en la construcción social de la realidad. Para algunos, los medios de comunicación “reflejan” una realidad exterior o la “manipulan” y “distorsionan”; mientras que, para otros, las noticias ayudan en la construcción de una parte de la realidad social, permitiéndole informarse sobre ciertos acontecimientos fuera de su alcance inmediato (Califano, 2015).

Posiblemente, la historia reciente de México donde la explosión de noticias falsas (fake news), que fueron difundidas en los medios sobre temas políticos (Santiago-Juárez et al., 2019), podría contribuir a una desconfianza generalizada en las noticias provenientes de los distintos medios de comunicación, incluso en temas ambientales. Los medios de comunicación influyen en la perspectiva social, pero la manipulación de la información y la visualización de la misma pueden influir en la desconfianza sobre la veracidad de las noticias ambientales.

Desde la perspectiva social, tanto en general como entre los grupos de edad, consideran que existen problemas ambientales en su comunidad. Al vivir dentro de un área conservada es posible que, esto permita a los habitantes de Huautla adquieran una mayor sensibilidad respecto a los cambios que alteran o destruyen a la naturaleza y al medio ambiente en su comunidad. Además, la población de Huautla tiene una perspectiva muy completa de la naturaleza, de sus limitaciones y de los riesgos a los que se enfrenta. Al reflexionar sobre la gravedad del impacto ambiental de los problemas ambientales en su comunidad y reconocer sus consecuencias dañinas, los individuos pueden tomar mayor conciencia sobre lo que está sucediendo en nuestro entorno (Ugarte-Caviedes, 2007).

La perspectiva social respecto a la intensidad de los problemas ambientales en Huautla no fue uniforme. La perspectiva social general no fue uniforme en cuanto a la intensidad de los problemas ambientales en su comunidad, el habitar dentro de una zona conservada podría influir en que la mayoría considere que aún son pocos

los problemas en su comunidad, pero la información obtenida por otros medios de comunicación podría influenciar la perspectiva de los otros porcentajes de la población. Dentro de los grupos de edad, el incremento en edad podría cambiar su perspectiva respecto a la gravedad de los problemas ambientales, ya que, a mayor edad con mayor madurez y experiencias, las personas podrían dar mayor peso a los problemas ambientales o percibir una mayor cantidad de estos. Cuando el daño al ambiente percibido por la población es muy grave, las personas pueden sentir mayor inseguridad sobre el futuro para su comunidad (Ugarte-Caviedes, 2007), por lo que, parte de la sociedad de Huautla podría cambiar su perspectiva respecto a la intensidad de los problemas ambientales.

La problemática ambiental tiene un efecto en los sentimientos de la sociedad de Huautla. En general, la tristeza y el enojo respecto a la problemática ambiental podrían ser los primeros sentimientos generados por la pérdida de la naturaleza. De manera innata, los seres humanos aprecian su entorno y la pérdida de este puede generar tristeza, o bien una molestia hacia quienes lo destruyen. Por ejemplo, entre los grupos, la tristeza fue el sentimiento en más de la mitad de los niños y adolescentes y, en el caso particular de los adultos, el porcentaje se incrementó a tres cuartas partes. Posiblemente, la impotencia ante la problemática ambiental o ante los cambios y pérdida del entorno natural pueden incrementar estos sentimientos en la población conforme avanza la edad. La madurez puede ocasionar que los individuos tomen mayor conciencia de las implicaciones de los

problemas ambientales. El único grupo que mostró un pequeño porcentaje de indiferencia (cerca de la quinta parte) fueron los niños, lo que podría relacionarse con la edad, con menor conciencia de las implicaciones de esta pérdida o simplemente por diferir del sentimiento generalizado, como una especie de rebeldía ante los sentimientos del grupo. El sentimiento de enojo en los adolescentes podría ser generado por atestiguar y tener mayor conciencia de los problemas ambientales que los grupos de niños y la conciencia de la dificultad para detenerlos. Algo interesante fue que, en los niños y adultos, las tendencias fueron similares en cuanto al sentimiento de enojo, que en los adolescentes se incrementó entre el doble y el triple respecto a estos grupos, lo que podría relacionarse con cambios temperamentales ocurridos en esta etapa del desarrollo o, por una mayor conciencia o, por tener más información sobre estos temas. En un estudio se encontró que, los grupos estudiados manifestaron sentimientos como pena, miedo y desagrado respecto a los problemas ambientales, sentimientos similares a los encontrados en este estudio respecto a la problemática ambiental (Karatekin, 2013). La visión pesimista con respecto al futuro de la humanidad, especialmente en el largo plazo, predomina entre las personas respecto a los problemas ambientales, ya que pone en riesgo la propia existencia, la de los seres queridos y la de otras formas de vida en el planeta (González-Anleo Sánchez, 2023).

Esta sección del estudio permitió conocer la perspectiva social acerca de la problemática ambiental de la población de Huautla. Tanto en general como entre

grupos se considera que la sociedad cuenta con una perspectiva muy completa sobre la problemática ambiental local y global. Los medios de comunicación y los cambios en la educación escolar podrían ser los que favorecieran el enriquecimiento de la perspectiva social acerca de los problemas ambientales. Posiblemente, al establecerse en la REBIOSH en condiciones naturales podría favorecer una mayor sensibilidad en la población que abona al enriquecimiento de su perspectiva sobre los problemas ambientales. La combinación de factores que influyen la perspectiva social en Huautla permite tener una perspectiva completa de la problemática ambiental, así como una mayor sensibilidad ante esta.

b) Problemática ambiental y su relación con los jales mineros en Huautla, Morelos

El cierre de la actividad minera desde hace aproximadamente 34 años pudo influir en la perspectiva social. Entre los grupos, posiblemente, la migración de gran parte de los adultos en busca de ingresos que contribuyeran al gasto familiar, hacia otros estados de México o al extranjero, provocó la falta de transmisión directa de conocimientos sobre la historia minera. Esto pudo influir en que solamente una pequeña parte de la población tenga mayor conocimiento sobre esta actividad. Algunos niños y adultos que conocían los jales mencionaron que trabajaban continuamente en el campo, lo que podría ponerlos en contacto con los sitios mineros. La falta de conocimiento sobre los jales en más de la mitad de los entrevistados puede deberse a que el cierre de esta actividad ocurrió desde hace

poco más de tres décadas. Así mismo, la falta de transferencia en el conocimiento histórico entre las familias, la migración y la pérdida de los relatos de quienes estuvieron involucrados directamente en la actividad minera, pudieron ocasionar la falta de transferencia en el conocimiento. Al confrontar los problemas ambientales generados por la minería existen instrumentos de los cuales puede echarse mano como: los saberes, las experiencias y la historia (López-Bárcenas, 2013), pero al carecer de estos, puede ser difícil establecer esta relación. En Huautla, al parecer, este tipo de conocimiento está desapareciendo en lo referente al tema de la minería.

El conocimiento sobre el uso de los jales en algunas actividades de Huautla fue variable. Al parecer, el uso de los jales está bien difundido entre la comunidad y, entre los grupos se mantuvo una tendencia similar, aunque los adolescentes presentaron el mayor porcentaje de conocimiento. A pesar de que, un alto porcentaje de los entrevistados mencionaron que no conocían los jales, el porcentaje que respondió conocer sobre su uso fue mayor. La explicación respecto a esta tendencia podría ser una confusión entre los entrevistados, interpretando el verbo “conocer” como equivalente a “haber visitado” o “haber observado directamente” los depósitos de jales, ya que, también se les llega a denominar jales.

Los distintos grupos presentaron una variación considerable respecto al conocimiento de la cantidad de jales utilizada en su comunidad. En general, la mayoría consideraba que había un uso de los jales. La población podría saber del uso de los jales por un uso directo, por anécdotas o por experiencias compartidas

por otras personas. El conocimiento de los adolescentes sobre la cantidad de jales utilizada no era uniforme, pero la mayoría coincidía en que los jales se utilizaban, es posible que se aventuraran a estimar una cantidad de material a pesar de no tener una certeza. En la adolescencia nace la competencia personal para la futura identidad profesional (Bordignon, 2006), lo que podría llevarlos a aventurarse a responder una cifra, a pesar de no conocer realmente la cantidad utilizada. A diferencia de los niños y los adultos que respondieron no tener una idea sobre la cantidad utilizada. A pesar de no conocer los jales o no saber las cantidades utilizadas, la mayoría de los entrevistados ofreció ejemplos sobre su uso, lo que apoya la explicación anterior, los entrevistados, aunque no conocían directamente los depósitos de jales, si habían escuchado u observado sobre su uso.

Desde la perspectiva social, los jales se movían con la lluvia o el viento. Los entrevistados que afirmaron el movimiento de los jales pudieron haberlo observado; pudieron deducirlo si conocían los depósitos de jales debido a las evidencias de erosión que presentan; también pudieron deducirlo por los cambios de coloración que presentan el agua en los arroyos en época de lluvias, que es similar al color de los jales; o bien, por el depósito de jales en la orilla de los arroyos (Capítulo III de esta investigación). La literatura menciona que, en época de lluvias, los escurrimientos y ríos transportan gran cantidad de compuestos tóxicos desde los jales y las minas a través de la zona (Arango Aramburo y Olaya, 2012; Esteller *et*

al., 2015; Elizondo *et al.*, 2016; De la Cruz Guarneros, 2018; Esteves Aguilar, J. 2018; Kiere *et al.*, 2021).

Respecto a la cantidad de jales movilizado por la lluvia, las cantidades reportadas no fueron homogéneas entre los entrevistados. La falta de uniformidad en las respuestas podría deberse a un desconocimiento de los entrevistados, a una dificultad para calcularlos o, simplemente, a una respuesta aleatoria. Un pequeño porcentaje de los entrevistados ofreció estimaciones más cercanas a la realidad, posiblemente por haber analizado empíricamente este proceso con mayor detalle. En los grupos de niños y de adultos sólo un pequeño porcentaje se acercó a la realidad, pudo haberse tratado de algunos observadores de este fenómeno. Los cálculos en la cantidad arrastrada por las lluvias podrían tener explicaciones semejantes a las del párrafo anterior. A pesar de que todos los individuos comparten un mismo espacio, no todos atienden de la misma forma a los fenómenos. Algunos de los individuos podrían tener una mejor percepción de los procesos ocurridos en los depósitos de jales o analizar el proceso de una forma más completa.

La mayoría de la población parece conocer o inferir los efectos de los jales en la salud. Esto podría relacionarse con que algunos trabajadores observaron la preparación de los jales, así como sus características como el color, el olor o las sustancias químicas que les eran adicionadas, de lo que podrían deducir sus efectos negativos en la salud. También el desarrollo de enfermedades como el EPOC en algunos extrabajadores mineros o, su mortalidad por enfermedades como el cáncer

después de haber trabajado en las minas. Entre los grupos, se mantuvo esta relación, en el caso de los niños y los adolescentes es posible que la comunicación con los familiares o con amigos podría favorecer este conocimiento, así como la propia observación sobre la mortalidad o enfermedades en algunos adultos o, incluso, la observación del movimiento de los jales les puede permitir establecer estas relaciones. En el caso de los adultos, los testimonios ya establecían una relación de los jales con las enfermedades o con la mortalidad de personas que hubieran trabajado en la minería. El grupo de los adolescentes parecería tener mayor idea de los problemas en la salud y en los ecosistemas, ocasionados por los depósitos de jales. Posiblemente, la educación media superior o, el uso de medios como el internet, les permitió acceder a información que podría enriquecer su conocimiento.

La reconstrucción histórica permitió explicar algunos de los problemas ambientales que se presentan en la zona como consecuencia de la minería y de los jales. Los pobladores pueden reconocer muchos de los problemas ambientales que se presentan en la zona, pero paradójicamente, sólo porcentajes menores los relacionan con la minería, con los jales o con la historia de la minería en la zona. Barraza (2002) reconoce que el entendimiento de la historia y, el contexto en el cual se desarrolla la educación ambiental es de gran utilidad para poder desarrollar un sentido de responsabilidad y respeto hacia un mejoramiento ambiental en los jóvenes y, aún más, si se trabaja con todos los miembros de la comunidad. En el

caso de Huautla es posible que sea necesaria la implementación de programas de educación ambiental para incrementar el conocimiento sobre los efectos de la minería y los jales en los pobladores.

La reconstrucción histórica a partir de información documental y de entrevistas aporta información importante sobre la problemática ambiental. Problemas ambientales como los relacionados con la creación de la UMA Huautla, Morelos, la contaminación por verter la basura y los drenajes hacia las barrancas, la cacería, la tala, la quema o la ganadería, entre otras, fueron visualizados gracias a estos mecanismos. Los testimonios de los entrevistados permitieron reconocer otros problemas ambientales en Huautla, que son resultado del aislamiento en los que se establecen los pueblos asociados a la minería y, que luego son abandonados al término de la actividad (Pérez-Jiménez, 2014). La reconstrucción histórica y las entrevistas permitieron reconocer otros problemas ambientales y sociales en Huautla, que no se limitan a la minería, sino que se relacionan con el manejo de los ecosistemas.

c) Participación social en la resolución de los problemas ambientales

La perspectiva social sobre la resolución de los problemas ambientales fue similar, tanto en general como entre los grupos de edad en Huautla. Para casi la mitad de los entrevistados, la responsabilidad sobre la problemática ambiental local es tan importante como sobre la global. Podemos sugerir que existe una conciencia de la importancia de ambos tipos de problemas ambientales en casi la mitad de la

población. Mientras que, la otra mitad de la población considera que no tienen la misma importancia o, depende del caso. Entre los grupos, podríamos considerar que los niños tienen una visión más completa de los problemas ambientales que los jóvenes y los adultos. Desde la perspectiva de los niños, la responsabilidad es tanto de lo local como global por los problemas ambientales, lo que podría deberse a una mayor sensibilidad ante los mismos. Mientras que, en los adolescentes existe una menor consideración y cuestionamiento acerca de la responsabilidad por ambos problemas ambientales. La heterogeneidad en las respuestas de los adultos podría ser por cuestionarse acerca de la responsabilidad individual sobre los problemas ambientales y, considerar una responsabilidad es compartida con otros sectores de la sociedad en su conjunto. Acorde con lo planteado por García-Gómez y Moreno-Fernández (2015) es importante replantearse nuevas fórmulas acerca de los problemas socioambientales que sufre el planeta, a partir de una perspectiva local, para así incidir de manera global.

La perspectiva social de la mayoría consideró que, lo que cada uno hacemos por resolver los problemas ambientales es de gran importancia, posiblemente por una mayor conciencia sobre las propias acciones sobre la naturaleza. Entre los grupos, la mayoría de los niños, más de la mitad de los adolescentes y tres cuartas partes de los adultos consideraron la importancia de las acciones individuales para resolver los problemas ambientales. Sin embargo, tanto los niños como los adultos parecen tener mayor conciencia respecto a las acciones individuales; mientras que,

los adolescentes parecen cuestionarse más la importancia de las acciones individuales. Entre las estrategias que se sugieren para enfrentar la resolución de los problemas ambientales, algunas van desde una fuerte intervención del Estado hasta la ausencia total de su participación, promoviendo en su lugar una mayor participación de la comunidad (Acheson, 1991). En Huautla, la perspectiva social predominante reconoce la relevancia de las acciones individuales en la solución de los problemas ambientales.

Respecto a la resolución de los problemas ambientales, la perspectiva social fue homogénea. En general, desde la perspectiva social general para la mayoría, la problemática ambiental es un asunto que compete tanto a la sociedad como a los expertos. Puede decirse que, la sociedad de Huautla es consciente de la importancia de su participación en la resolución de los problemas ambientales, pero también reconoce que el conocimiento de expertos puede ayudar en la resolución de estos. Entre los grupos, los adolescentes tuvieron el porcentaje más bajo en considerar que debemos participar todos en la resolución de la problemática ambiental que, en los grupos de niños y de adultos. La perspectiva social en Huautla podría reforzarse con programas de educación ambiental para todos, que afronte los problemas ambientales con objetivos como el conocimiento, las actitudes, las destrezas, la participación y la concientización frente a la destrucción de la naturaleza, así como incluyendo la interdisciplinariedad (Gómez-Galán, 2019). La propuesta de involucrar a diversos actores y a la sociedad en la recuperación de la

naturaleza que ha sufrido daños, alteraciones o destrucción, así como en la exclusión de actividades que impactan negativamente al medio ambiente, constituye un objetivo fundamental de la restauración ecológica (Gann et al., 2019).

La perspectiva social respecto a las características que se buscaría recuperar en un sitio degradado es acorde con los objetivos de una restauración ecológica. Desde la perspectiva social, en general, la mayoría consideró que, en un sitio degradado debe recuperarse la vegetación original, lo que implica la solución más completa y adecuada para cualquier sitio degradado (Meffe y Carrol, 1994). Las respuestas abiertas a esta pregunta, mediante observaciones sencillas dejaron ver con que la población tiene claridad sobre la importancia de la vegetación original en un sitio degradado, al explicar las interacciones que tendría como ecosistema. Así también, la sociedad entendía que la recuperación de la vegetación original es sostenible a largo plazo, al contar con especies nativas que pudieran regenerarse y adaptarse a las condiciones ambientales de la zona. Por una parte, los entrevistados pueden entender empíricamente el papel del sitio restaurado como parte del ecosistema que sirve a otros organismos nativos y, por la otra, complementar su perspectiva con la información obtenida actualmente por medios como el internet o la televisión. La recuperación de la vegetación original (selva baja caducifolia) fue entendida por la mayor parte de la sociedad de Huautla, como la estrategia más adecuada para recuperar un sitio degradado.

Este trabajo muestra la perspectiva social de los habitantes de Huautla en torno a la problemática ambiental, la relación con la minería y la factibilidad de restaurar ecológicamente los sitios degradados, como los jales. Esta investigación permitió reconocer una perspectiva social bien informada y analizada de la problemática ambiental de los habitantes de Huautla. Desde la perspectiva social se conciben a otros problemas ambientales a partir de la relación de la población con la naturaleza y, solamente una pequeña fracción los relaciona con la minería y con los jales. La sociedad reconoce la importancia de su participación en la resolución de los problemas ambientales, pero también considera que deben participar los expertos con su conocimiento. Al mismo tiempo, la perspectiva social considera a la recuperación del ecosistema original (restauración ecológica) como la mejor opción para recuperar un sitio degradado por las actividades humanas, lo cual incluye también a los jales y a las minas.

Esta investigación sugiere la importancia de fortalecer los conocimientos sobre el medio ambiente y sobre la problemática ambiental para parte de la población de Huautla. La educación ambiental podría ser una herramienta de gran utilidad ante la problemática ambiental actual, ya que apoya a la libertad y al desarrollo individual y social (Martínez-Castillo, 2010). La implementación de talleres participativos y programas de educación ambiental podrían ser de gran ayuda en esta tarea (Camacho-Cruz et al., 2022). Existe una apertura de la sociedad de Huautla que resalta la importancia de recuperar la vegetación original en sitios

degradados en la zona, abriendo la oportunidad para implementar proyectos de restauración ecológica en sitios como los jales mineros en los que se enfoca esta tesis en su conjunto.

CONCLUSIONES

La problemática ambiental desde la perspectiva social es mucho más compleja que la generada solamente por la presencia de jales mineros. Aunque la perspectiva social sobre la problemática ambiental es compartida por una parte de la población, esta no es homogénea para todos. La naturaleza resulta ser muy importante desde la perspectiva de la mayoría de la población. La población reconoce la presencia de diversos problemas ambientales en su comunidad, pero solamente para algunos, la minería y los jales se relacionan con dicha problemática. La población reconoce como principales problemas ambientales, aquellos que se generan a partir del desarrollo de las actividades comunes del poblado en una zona rural (deforestación, incendios, cambio de uso de suelo, cacería furtiva, entre otros). Esto se agrava aún más, al considerar el establecimiento del poblado en condiciones ambientales limitantes y, a la falta de planeación ambiental en el establecimiento del poblado. Los habitantes consideran que la resolución de los problemas ambientales requiere de la participación social y científica. Desde la perspectiva social, la mejor alternativa para la recuperación de los sitios degradados es la recuperación de la cubierta vegetal original, en este caso, de una selva estacionalmente seca. Este estudio permitió ampliar el conocimiento sobre la

problemática ambiental en Huautla, apoyado principalmente en la perspectiva social y en la reconstrucción histórica. Así como reconocer que el poblado de Huautla presenta otros problemas ocasionados por una falta de planificación debida a su antigüedad. El estudio respalda el conocimiento sobre el panorama completo de la problemática ambiental y, puede servir como base para plantear soluciones integrales mediante la participación social, científica y gubernamental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre Palma, B. y A. Argüello Mejía, 2014. Cosmovisión de la minería en la Mitad del Mundo. *Revista Economía y Negocios* 5(2)

Aguilar Robledo, M., H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez. 2019. Introducción. La historia ambiental mexicana: una disciplina en construcción. En: Aguilar Robledo, M., H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez (Eds). *La Historia Ambiental en México: Estudios de Caso*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P, México. 9- 11pp.

Almuiña, C. 1995. Medios de Comunicación Social: Poder de manipulación y capacidad de transformación. *Anales de Historia Contemporánea* 11: 13-28pp.

Anta-Fonseca S., J. Carabias, A. Díaz de León, C. Isley, C. López, D. Robinson, *et al.* 2008. Consecuencias de las políticas públicas en el uso de los

ecosistemas y la biodiversidad. Pages 87–153. En: Capital natural de México, vol. III: políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. CONABIO, Ciudad de México, México

Arango Aramburo, M. e Y. Olaya. 2012. Problemática de los pasivos ambientales. *Gestión y Ambiente* 15(3): 125-133

Aretano, R., I. Petrosillo, N. Zaccarelli, T. Semeraro, y G. Zulini. (2013). People perception of landscape change effects on ecosystem services in small Mediterranean islands: A combination of subjective and objective assessments. *Landscape and Urban Planning*: 112: 63– 73.

Arias, D. M., C. Barona, O. Dorado y K. López. 2014. I. Introducción. En: Arias, D. M., C. Barona y O. Dorado (Coords.) Una mirada a la biodiversidad y conservación de Morelos desde un enfoque educativo. Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Juan Pablos Editor. 8-25p.

Ávila J.L., C. Fuentes y R. Tuirán. 2002. Índices de Marginación a Nivel Localidad-2000. Morelos. CONAPO/SEDESOL. México. 237 pp.

Ávila-Ackenberg, V. y T. González-Martínez. 2016. Participación social y educación ambiental para la conservación. Un estudio de caso con niños y jóvenes de una zona rural periurbana. *Teoría y Praxis* 19: 119-136. DOI:10.22403/UQROOMX/TYP19/06

- Barats, A., C. Renac, A.M. Orani, G. Durrieu, H. Saint Martin, M.V. Esteller y S.E. Garrido Hoyos. (2020). Tracing source and mobility of arsenic and trace elements in a hydrosystem impacted by past mining activities (Morelos state, Mexico). *Science of The Total Environment* 712, 135565, 14pp.
- Barraza, L. 2002. Environmental Education: a comparison between English a Mexican school children. *Environmental Education Research* 8(2): 171-186
- Barraza, L. y M.P. Ceja-Adame. 2003. Los niños de la comunidad: su conocimiento ambiental y su percepción sobre “naturaleza”. En: Velázquez, A., A. Torres y G., Bocco. *Las enseñanzas de San Juan, investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*. México. INE-SEMARNAT. 371-398p.
- Baeza, M. 2006. Carl Gustav Jung y la teoría de los imaginarios sociales. Conferencia dictada en el Simposio Integración Psico-Neuro-Inmuno-Endocrinológico: Hacia una coherencia mente y cuerpo. Universidad de Concepción, Chile.
- Beltrán, G. R. 1998. Generalidades sobre la historia de Tlaquiltenango, Tlayehualco y Xoxocotla. Dirección General de Culturas Populares, PACMYC. 55 p.
- Beltrán, V., B. Olivera, C. Flores, M. Llano y C. Navarro. 2024. Minería: ni impuestos, ni empleos, ni desarrollo, ni sustentabilidad. En: Merino, L. y C. Navarro (Coords.). 2024. *Agenda socioambiental 2024: Diagnósticos y propuestas*. Universidad Nacional Autónoma de México. 69- 84.

- Bennett, N. J. Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. *Conservation Biology* 30(3): 582–592
- Berger, P. L. y T. Luckmann. 2001. La construcción social de la realidad. Amorrortu editores. 17ª reimpresión. Buenos Aires, Argentina. 233p.
- Bi, J., Zhang, Y., y B. Zhang. 2010. Public perception of environmental issues across socioeconomic characteristics: A survey study in Wujin, China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 4(3), 361–372.
- Blázquez Ochando, M. 2019. El problema de las noticias falsas: detección y contramedidas. En: Torres Vargas, G.A. y M.T. Fernández Bajón (Coords.). Verdad y falsedad de la información Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas y de la Información, Universidad Nacional Autónoma de México. 13-43pp.
- Bollo-Manent, M.B., J.R.H. Santana y A.P.M. Linares. 2014. The state of the environment in Mexico. *Central European Journal of Geosciences* 6: 219–228
- Bordignon, N. A. 2005. El desarrollo psicosocial de Eric Erikson. El diagrama epigenético del adulto. *Revista Lasallista de Investigación* 2(2): 50-63
- Broda, J. 2001. Cosmovisión, ritual e ideología. En: Broda, J. y F. Báez-Jorge (Coord.). Cosmovisión, ritual e identidad de los pueblos indígenas de México. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes Fondo de Cultura Económica. México. 16-18p.

- Bordignon, N.A. 2005. El desarrollo psicosocial de Eric Erikson. El diagrama epigenético del adulto. *Revista Lasallista de Investigación* 2(2): 50-63
- Bullock, S. H., H. A. Mooney y E. Medina (eds.). 1995. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 439 pp.
- Calderón Hinojosa, F. 2012. *Sexto Informe de Gobierno (2006-2012)*. Presidencia de la República, México.
- Calixto Flores, R. 2004. Medio ambiente, ciudad y género. Percepciones ambientales de educadoras *Tiempo de Educar*, vol. 5, núm. 9, enero-junio, 2004, 49-86 pp.
- Califano, B. 2015. Los medios de comunicación, las noticias y su influencia sobre el sistema político. *Revista Mexicana de Opinión Pública*, julio – diciembre: 61-78
- Calle, M.P., C.A. Lazo y E. Lazo. 2019. Percepción social de los recursos naturales, desde el enfoque de procedencia. *Revista Espacios* 40 (14): 6-21
- Camacho Cruz, A., L. Galindo Jaimes y R. Hernández Cortés. 2022. Conservación del patrimonio biocultural en el Ejido La Abarrada, SCLC, Chiapas. En: *Academia Nacional de Educación Ambiental. II Congreso Nacional de Educación ambiental. Maestría en Educación Ambiental*, Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 878- 888.

- Campa Madrid, A. K. 2020. Implicaciones socioambientales de la minería a cielo abierto en Álamos, Sonora. Tesis de Maestría en Administración Integral del Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte. Tijuana, Baja California, México. 101 p.
- Carabias J., V. Arriaga y V. Cervantes-Gutiérrez. 2007. Las políticas públicas de la restauración ambiental en México: limitantes, avances, rezagos y retos. Boletín de la Sociedad Botánica de México 80: 85–100.
- Cárdenas, J. 2013. La minería en México: Despojo a la nación. Revista mexicana de Derecho Constitucional 28: 35-74
- Carrillo Ramírez, H.S. y D.A. Muñoz Orjuela. 2018. La percepción en las personas del cambio del ser humano a partir del avance de la tecnología durante los últimos 20 años. Comunicación Social – Periodismo, Facultad de las Ciencias de la Comunicación. Bogotá D.C., Colombia. 23p.
- Casa, M., L. Cusi y L. Vilca. 2019. Percepciones sobre contaminación ambiental y actitudes en estudiantes universitarios. Revista Innova Educación (3): 391-399
- Casado Izquierdo, J.M. y M.T. Sánchez Salazar. 2019. Los mineros en el México neoliberal. Investigaciones Geográficas 98, 2448-7279, 20p.
- Castañeda-Bautista, J. A. (2016). Estudio ecotoxicológico de los jales mineros de Huautla, Morelos: El caso de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Beth. (Fabaceae).

Tesis de Maestría. Centro de investigación en biodiversidad y conservación.
Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 73p citado por
Santana Flores 2020

Ceccon, E. 2020. Experiencias de las organizaciones de la sociedad civil ambientalistas. En: Cruz-Angón, A., K.C. Nájera Cordero, D. López-Higareda, E. D. Megarejo, L. González Flores, C. Maldonado Krinis, M.E. Flores Ceniceros y L. Fuentes Vargas. La Biodiversidad de Morelos. Estudio de Estado 2. Volumen I. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México. 219-226

Ceccon, E. 2013. Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. CRIM UNAM-Díaz de Santos, Ciudad de México, México.

Ceccon E. y E. Martínez-Garza. 2014. Memorias del I Simposio Nacional de Restauración de Ecosistemas.
[http://www.crim.unam.mx/restauramexico2014/sites/default/files/2014-Memorias I Simposio Restauracion.pdf](http://www.crim.unam.mx/restauramexico2014/sites/default/files/2014-Memorias_I_Simposio_Restauracion.pdf) (accesado 18 jun 2023)

Ceccon, E., J.I. Barrera-Cataño, J. Aronson y C. Martínez-Garza. 2015. More than half of the Mexican territory is in very critical condition in terms of loss of biodiversity and ecosystem health, and almost all protected natural areas are

under potential threat of invasive species. *Restoration Ecology* 23(4): 331-336. <https://doi.org/10.1111/rec.12228>

Centro de Derechos Humanos Miguel Agustín Pro-Juárez, A. C. 2014. Manual Anti minero. Área de Educación, Centro de Derechos Humanos Miguel Agustín Pro-Juárez, A. C. Primera edición: México, D. F. 147 pp.

Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. 2018. El Sector Minero y su Importancia en las Finanzas Públicas de México, 2007-2017. CEFEP/034/3018. Poder Legislativo Federal, Cámara de Diputados, Estados Unidos Mexicanos. 46p.

CEPAL. 2024. CEPALSTAT, Portal de desigualdades en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Consultado el 7 de enero de 2025.

<https://statistics.cepal.org/portal/inequalities/incomes.html?lang=es&indicador=3289>

Cervantes V., J. Carabias y V. Arriaga. 2008. Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental. Pages 155–226. En: *Capital Natural de México*, vol. III: políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. CONABIO, Mexico City, Mexico

Cobarrubias Escamilla, D. L. 2017. Evaluación del daño genotóxico y cambios morfológicos de *Wigandia urens* expuesta a metales pesados en presas de

jales abandonados. Facultad de Ciencias Biológicas, UAEM. Cuernavaca, Morelos.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015. Compensación Ambiental. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/compensacionambiental/> (accesado 2 jul 2023)

CONAPO. 2021. Índice de marginación por localidad 2020. Nota técnico-metodológica. Secretaría de Gobernación- Consejo Nacional de Población. 14p.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/685308/Nota_tecnica_IML_2020.pdf

Condori Cordero, S. 2022. Evaluación de Sistema de Unidades de Manejo de Fauna Silvestre en la zona oriental de REBIOSH. Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales. CIByC–UAEM. Cuernavaca, Morelos. 114pp.

Condori-Cordero, S., V. Sorani-Dalbón, D. Valenzuela-Galván y X. López Medellín. 2022. Conservación de la vegetación en ocho unidades de manejo de vida silvestre en una reserva protegida al sur de Morelos, México. Revista de Geografía Norte Grande, 81: 331-359

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2010. Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social.

Tlaquilténango, Morelos. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). México. 2pp.

Daltabuit, M., L.M. Vargas, E. Santillán y H. Cisneros. 1994. Mujer rural y medio ambiente en la Selva Lacandona. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM. Cuernavaca, Morelos. 163pp.

De la Cruz Guarneros, N. 2018. Efecto de la bioacumulación de metales en la población de *Liomys irroratus* (Gray 1868) que habita los jales de Huautla, Morelos: un enfoque multibiomarcadores. Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Delgado Ramos, G. C. (Coordinador). 2010a. Ecología Política de la minería en América Latina. Aspectos socioeconómicos, legales y ambientales de la megaminería. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. 520pp.

Delgado Ramos, G. C. 2010b. La gran minería en América Latina, impactos e implicaciones. Acta Sociológica (54): 17-47

Dorado, O., D.M. Arias, K. López y J.M. de Jesús-Almonte. 2014. II. Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla. En: Arias, D.M., C. Barona y O. Dorado (Coord.). Una mirada a la Biodiversidad y Conservación de Morelos desde un enfoque educativo. Juan Pablos Editor-Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Trópico Seco Ediciones. Cuernavaca, Morelos. 8-25 pp.

- DOF. 2010. NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Jueves 30 de diciembre de 2010. Diario Oficial de la Federación.
- DOF. 2023. DECRETO por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Minera, de la Ley de Aguas Nacionales, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en materia de concesiones para minería y agua. Lunes 8 de mayo de 2023. Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos
- Duchaeva, R. y S. Magomadov. 2023. Current Environmental Problems and their Solutions with the Help of New Technologies. BIO Web of Conferences 63, 12p. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236307012>
- Durand, L. 2000. La colonización en la Sierra de Santa Marta: perspectivas ambientales y deforestación en una región de Veracruz. Tesis de Doctorado en Antropología. Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. 199pp.
- Durand, L. 2008. De las percepciones a las perspectivas ambientales. Una reflexión teórica sobre la antropología y la temática ambiental. Nueva Antropología XXI (68): 75-87

- Durand, L. 2010. Pensar positivo no basta. Actitudes en torno a la conservación en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México. *Interciencia* 35(6): 430-436
- Durand, L. y L.B. Vázquez. 2011. Biodiversity conservation discourses. A case study on scientists and government authorities in Sierra de Huautla Biosphere Reserve, Mexico. *Land Use Policy* 28: 76-82.
- Elizondo, C., M. A. Márquez-Linares, M. L. Marín-García y P. J. Gutiérrez-Yurrita. 2016. Flora que crece naturalmente en presas de jale minero abandonadas susceptibles de ser utilizadas en reclamación, Zimapán, Hidalgo, México. *Interciencia* 41 (7): 492-498
- Escobar, A. 2001. Culture sits in places: reflections on globalism and subaltern strategies of localization. *Political Geography*, 20(2): 139–174.
- Eslava Galicia, M.M. y F. López Bárcenas. 2013. El mineral o la vida. Legislación y políticas mineras en México. Editorial Itaca. México, D.F. 128 p.
- Esteller, M. V., E. Domínguez-Mariani, S. E. Garrido y M. Avilés. 2015. Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico. *Environ Earth Sci.*(2015) 74:2893-2906.
- Esteves Aguilar, J. 2018. Evaluación del daño genético y la inestabilidad en el desarrollo del cráneo en la especie centinela *Peromyscus melanophrys* que habita en zonas mineras. Tesis de Maestría en Biotecnología del Centro de

Investigación en Biotecnología (CEIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.

Fernández Moreno, Y. 2008. ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad* XV (43): 179-202

Fernández Sánchez, N. 2012. Características de desarrollo psicológico del adulto. Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México. 46pp. Documento obtenido desde www.e-continua.com

Flick, U. 2015. El diseño de Investigación Cualitativa. Colección Investigación Cualitativa. Ediciones Morata, S.L. Madrid, España. 166 pp.

Freire, H. (2011) Educar en verde. Ideas para acercar a niños y niñas a la naturaleza. *Educatio Siglo XXI*, 30(1): 347-349. Disponible en: <https://revistas.um.es/educatio/article/view/149341/132321>

Furtado, C. 1974. El mito del desarrollo y el futuro del tercer mundo. *El Trimestre Económico* 41(162).

Gann, G.D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J.G. Hallett, C. Eisenberg, M. R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decler y K. W. Dixon. 2019. International principles

and standards for the practice of ecological restoration. Second edition.
Restoration Ecology Vol. 27(S1): S1–S46.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Quinta edición. Comisión nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO). 91pp.

García Canclini, N. 1989. Culturas Híbridas. Estrategias para entrar y salir de la modernidad. Editorial Grijalbo, SA de CV. México, D.F. 391p.

García Gómez, I. y O. Moreno Fernández. 2015. El alumnado de primaria participante en el programa educativo Ecoescuelas ante las problemáticas socio-ambientales. De la perspectiva local a la glocal. Investigación en la Escuela 87: 91-104

García Zamora, R. (Coord.). 2018. Política pública sobre minería, medio ambiente y soberanía nacional. En: Merino Pérez, L. y A.Velázquez Montes. (Coords). Agenda Ambiental 2018, Diagnóstico y propuestas. SUSMAI-UNAM. Seminario Universitario de Sustentabilidad, Medio Ambiente e Instituciones. 63-67pp.

Garibay Orozco, C. 2010. Paisajes de acumulación minera por desposesión campesina en el México actual. En: Delgado Ramos, G. C. (Coordinador). Ecología Política de la minería en América Latina. Aspectos socioeconómicos, legales y ambientales de la megaminería. Centro de

Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. 133- 182p.

Gerten, D., V. Heck, J. Jägermeyr, B.L. Bodirsk, I. Fetzer, M. Jalava, M. Kummu, W. Lucht, J. Rockström, S. Schaphoff y H.J. Schellnhuber. 2020. Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability* 3: 200–208

Giolitto, P. (Coord.). 1997. Educación ambiental en la Unión Europea. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. 162p.
<https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/1168d16b-e998-4ff9-a864-606268b15cb6/language-es>

Gobierno del Distrito Federal. 2010. Gaceta Oficial del Distrito Federal. Ciudad de México, Capital en Movimiento. 10 de septiembre de 2010. 115 pp.

Gobierno del Estado de Morelos. 2019. Síntesis Estadística Municipal 2019, Tlaquilenango. Gobierno del Estado de Morelos, México. 55pp.

Gómez Galán, J. 2019. Perspectiva social y globalizadora de la educación ambiental: transformación ética y nuevos retos. *Andamios* 16(40): 299-325.
<http://dx.doi.org/10.29092/uacm.v16i40.708>Galván Ramírez, M.A. 2020. Estructura de la comunidad de roedores silvestres asociados a jales de Huautla, Morelos. Tesis de Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación. Centro de Investigación en Biodiversidad y

Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos

González-Anleo Sánchez, J.M^a., I. Lema-Blanco y A. Pérez Coutado. 2023. Jóvenes y Medioambiente. Dossier de Prensa. Fundación SM-Observatorio de la Juventud en Iberoamérica. 20pp. <https://oji.fundacion-sm.org/>

González-Jiménez, R. 2017. Estudio sobre la conciencia ambiental en niños de educación primaria en un entorno rural. Trabajo fin de grado en Educación Primaria. Universidad de Valladolid. Valladolid, España. 48pp.

Gowland, N.B. y A.H. Treviño. 2000. Participación Social en Comunidades Rurales. SEMARNAP. 126pp.

Graizbord, B. 2010. Objetivos del Milenio, Pobreza y medio ambiente. En: Lezama, J.L. y B. Graizbord (coords.). Los grandes problemas de Mexico. IV Medio Ambiente. El Colegio de México. 295- 336 p.

Guber, R. 2001. La etnografía, método, campo y reflexividad. Grupo Editorial Norma. Bogotá, Colombia. 146p.

Guber, R. 2016. La etnografía: Método, campo y reflexividad. Siglo Veintiuno Editores, Buenos Aires, Argentina. 105p.

- Gutiérrez Pérez, J., P. A. Meira Cartea, y E. J. González Gaudiano. 2020. Educación y comunicación para el cambio climático. *Revista Mexicana de Investigación Educativa* 25(87): 819-842.
- Holahan, C.J. 2012. *Psicología Ambiental, Un enfoque general*. Editorial Limusa. D.F., México. 468 pp.
- Ímaz Gispert, M.A., M. González Vivanco, J.L. Gutiérrez Padilla, P. Vargas Pellicer, R. Camacho Lomelí, D. Ayala Islas, M, Anglés Hernández, R. Ibarra Sarlat y A. G. Beristain Aguirre. 2015. Presentación. En: Ímaz, M.A. (Coord.). *La dimensión ambiental en los albores del siglo XXI. Miradas desde la diversidad*. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Jurídicas, Distrito Federal, México. 29-32 p.
- Islam, M.S., M. M. P. Rana y R. Ahmed. 2014. Environmental perception during rapid population growth and urbanization: a case study of Dhaka city. *Environmental Development Sustainability* 16: 443–453
- Islas Vargas, M. 2013. *Extractivismo de enclave y minería a cielo abierto: impactos y consecuencias socioambientales*. Tesis de licenciatura en Sociología. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 129p.
- Jacobson, D. 1991. *Reading Ethnography*. Buffalo, Suny Press.

- Juárez Delgado, J.C., R. Monroy Martínez, H. Colin Bahena, R. Monroy Ortiz, y O. Dorado Ramírez. 2018. Los subsidios de las unidades productivas tradicionales a la ganadería extensiva en Huautla Morelos, México. *Polibotánica* 46: 327-340. DOI: [10.18387/polibotanica.46.21](https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.21)
- Juárez Mondragón, A. 2017. Prácticas de aprovechamiento en Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) del sur de Morelos. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. 348 p.
- Karatekin, K. 2013. Perception of environmental problems in elementary students' mind maps. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 93: 868-872.
- Katzer, L. 2018. Etnografías desérticas. Reflexiones desde una antropología del nomadismo. *Revista Temas Sociológicos* 23: 115 – 145
- Kiere, L. M., M. Osorio-Beristain, V. Sorani, D. Prieto-Torres, A. Navarro-Sigüenza y L. A. Sánchez-González. 2021. Do metal mines and their runoff affect plumage color? A regional scale study of streak-backed orioles in south-central Mexico. *Ornithological Applications* 123(3): 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duab023>
- Kossoff, D., W.E., Dubbin, M. Alfredsson, S.J. Edwards, M.G. Macklin y K.A. Hudson-Edwards. 2014. Mine tailings dams: characteristics, failure,

environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry* 51: 229–245.

<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>

León-Portilla, M. 1978, Minería metalúrgica en el México Antiguo. En: León-Portilla, M., J. Gurría Lacroix, R. Moreno y E. Madero Bracho. La minería en México. Universidad Nacional Autónoma de México. 5-36 pp.

López Bárcenas. F.L. 2013. La vida o el mineral. Los cuatro ciclos del despojo minero en México. Tesis de Doctorado en Desarrollo Rural. Universidad Autónoma Metropolitana. 360p.

López-Medellín, X., L.B. Vázquez, D. Valenzuela-Galván, E. Wehncke, B. Maldonado-Almanza y L. Durand-Smith. 2017. Percepciones de los habitantes de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla: Hacia el desarrollo de nuevas estrategias de manejo participativo. *Interciencia* 42(1): 8-16

Malacara-Velázquez, M., L. Durand Y X. López-Medellín. 2023. Conservando al venado cola blanca: percepciones ambientales de dos comunidades de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos. *Biología Integrativa y Conservación* 1(1): 3-17. DOI: [10.30973/byc/2023/1/1.2](https://doi.org/10.30973/byc/2023/1/1.2)

Mac Gregor Arroyo, F. (1992). Ampliación de las operaciones mineras en mina Santiago, Distrito minero de Huautla. Tesis de Ingeniería de Minas y metalurgista. Facultad de Ingeniería, UNAM.
<http://132.248.9.195/pmig2016/0175522/Index.html>

- Malkus, A. J., y L. M. Musser. 1997. Environmental concern in school -age children. Reports Research presented at Biennial Meeting of the Society for Research in Child Development (62nd, Washington, DC). 16 pp.
- Márquez Caraveo, M.E., L. Hernández Guzmán, J, Aguilar Villalobos, V. Pérez Barrón y M. Reyes Sandoval. 2007. Datos psicométricos del EMBU-I ¿Mis memorias de crianza? Como indicador de la percepción de la crianza en una muestra de adolescentes de la ciudad de México. Salud mental 30(2):58-66
- Márquez Huitzil, R., C. Martínez-Garza, S. I. Hinojosa-Espinoza y V. Sorani. 2022. Identificación de minas y jales en Huautla, Morelos, México. Investigaciones Geográficas 109, e60633, 1-23. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.60633>
- Martínez-Becerril. 2009. Efecto de los metales pesados en jales mineros sobre la comunidad vegetal de la microcuenca de Huautla y el daño genotóxico en su herbívoro dominante *Peromyscus levipes* (Rodenta: Muridae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Querétaro. 96 pp
- Martínez Castillo, R. 2010. La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual. Revista Electrónica Educare XIV (1): 97-111.
- Martínez-Garza, C., E. Ceccon y M. Méndez-Toribio. 2022. Ecological and Social Limitations for Mexican Dry Forest Restoration: A Systematic Review. Sustainability 14, 3793, 23pp. <https://doi.org/10.3390/su14073793>

- Martínez Rider, R.M., C.M. Cárdenas y M.A. Reyes Arellano. 2019. Las noticias falsas en la academia. En: Torres Vargas, G.A. y M.T. Fernández Bajón (Coord.). Verdad y falsedad de la información Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas y de la Información, Universidad Nacional Autónoma de México. 221-237pp.
- Martínez-Salgado, C. 1996. De la vida cotidiana femenina en un contexto popular urbano. *Sociológica* 31:159-182
- Martínez-Salgado, C. 2012. El muestreo en investigación cualitativa: principios básicos y algunas controversias. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro 17(3): 613-619. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000300006>
- Matus Ruiz, M. y R. Ramírez Autrán. 2012. Acceso y uso de las TIC en áreas rurales, periurbanas y urbano-marginales de México: Una perspectiva antropológica. Fondo de Información y Documentación para la Industria, Centros públicos CONACYT. 329pp.
- Meffe, G. K., C. R. Carroll, and contributors. 1994. *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts. 729p
- Mena García, P., Ávila Artavia, A., Vargas Venegas, A. y Ortega Ortega, A. (2022). La reconstrucción histórica como herramienta de diagnóstico: saberes y sentires desde un enfoque de comunicación. +E: Revista de Extensión

Universitaria, 12(16), e0011. doi: [10.14409/extension.2022.16.Ene-Jun.e0011](https://doi.org/10.14409/extension.2022.16.Ene-Jun.e0011)

Méndez Vasconcelos, M. E., E. Alanís Rodríguez, E. Jurado Ybarra y O. A. Aguirre Calderón. Percepción social de problemas ambientales en una comunidad estudiantil del norte de México. CIENCIA UANL 17(65): 42- 49

Merino, L. y C. Navarro (Coords.). 2024. Agenda socioambiental 2024: Diagnósticos y propuestas. Universidad Nacional Autónoma de México. 144pp.

Mondragón Morales, R. 1986. El proceso de proletarización en la Sierra de Huautla, Morelos (1982). Tesis de licenciatura en Sociología. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. 196p.

Morán, R. 2001. Algunos ejemplos en Estados Unidos y Canadá: Aproximaciones al costo económico de impactos ambientales en la minería. Ambiente y Desarrollo XVII (1): 59 – 66

Moreno, A. 2007. La adolescencia. Editorial UOC. Barcelona, España. 95p.

Mostert, Eric. 2003. The Challenge of Public Participation, Water Policy, 5, U. S., IWA Publishing: 179–197. <https://doi.org/10.2166/wp.2003.0011>

Muro González, D. A. 2020. Caracterización de especies vegetales para fitorremediar suelos contaminados con metales pesados en jales mineros.

Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Musacchio, L.R. 2013. Cultivating deep care: integrating landscape ecological research into the cultural dimension of ecosystem services. *Landscape Ecology* 28: 1025–1038 <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9907-8>

Musali Galante, P. 2008. Estudio sobre la inducción de daño al ADN en sangre periférica de individuos expuestos a metales en el agua de bebida en la población de Huautla, Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, UNAM. 74pp.

Nieto Ávila, J. L. (1997). Proyecto para la ampliación de la mina Cuatro Ases en la Unidad Huautla, de la compañía Rosario México, Huautla, Morelos. Tesis de Ingeniería de Minas y metalurgista. Facultad de Ingeniería, UNAM. Disponible en: https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=find-b-0&local_base=TES01

Núñez Rodríguez, V.R. 2015. Minería en México en el marco de la Acumulación por Desposesión. *REVISTA NERA* 18(28): 132-148. ISSN: 1806-6755

Núñez Rojo, M.P. 2019. Percepciones ambientales y formación de capital social para la gestión de los recursos naturales en la comunidad de Teotlalcingo, Puebla. Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México.

Campo de Conocimiento: Vulnerabilidad y Respuesta al Cambio Global. 198 pp.

Padilla y Sotelo, L.S. y A. M. Luna Moliner. 2003. Percepción y conocimiento ambiental en la costa de Quintana Roo: una caracterización a través de encuestas. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 52: 99-116

Pantoja Suárez, P.T., Y. E. Loaiza Zuluaga y R.P. Posada López. 2014. Ecos del Ayer, el Hoy y el Mañana: la conciencia histórica como concepto y propuesta en la formación de licenciados en Ciencias Sociales. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia) 10(1):136-157

Peláez Herreros, O. 2023. El Índice de Marginación del Conapo transformado en indicador cardinal: 50 años de marginación comparada en el tiempo. EconoQuantum 20(1): 59-82. DOI: <https://doi.org/10.18381/eq.v20i1.7294>

Peña Mata, J.C. 1988. Proyecto para el cambio de sistema de explotación en la Unida Huautla, Edo. Morelos. Tesis de Ingeniería de minas y metalurgista. Facultad de Ingeniería, UNAM. 105 pp.

Pérez Jiménez, S. 2014. Territorialidades contenciosas en México: el caso de la minería. Tesis de maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México. 296 pp.

- Pineda Juárez, A.D. 2018. La minería trasnacional de origen canadiense y sus impactos en territorios indígenas: Los casos de Takla Lake First Nation en Canadá y San José del Progreso en México, en el período de 2000 a 2016. Tesis de Licenciatura en Relaciones Internacionales. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. 156 p.
- Piñar-Álvarez, M.A., A. Wojtarowski-Leal y M.L. Martínez-Vázquez. 2017. Dunas costeras en Veracruz, México. Conservación y uso para la cohesión social desde la percepción local. *Regions & Cohesion* 7(1): 40–68
- Poder Ejecutivo de Morelos. 2017. Diagnóstico Municipal 2017. Tlaquiltenango. Gobierno del Estado de Morelos
- POEREM. 2013. Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos. Nueva Visión-Secretaría de Desarrollo Sustentable- Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 943pp.
- Requena Mora, M. y J.M. Rodríguez Victoriano. 2018. Capitalismo y medio ambiente: otra vuelta de tuerca. En: Martínez Paricio, J. y J.M. Moreno Carrillo (coord.). *Comprender el presente, imaginar el futuro: nuevas y viejas brechas sociales*. Congreso Nacional de Sociología en Castilla-La Mancha (2017, Valdepeñas). CORISCO Edizione. 913-932p.
- Restrepo, E. 2016. *Etnografía: alcances, técnicas y éticas*. Envió Editores. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 100pp.

- Riojas-Rodríguez, H., A. Schilman, L. López-Carrillo y J. Finkelman. 2013. La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México* 55(6): 638-649
- Rodríguez, E. y A.L. Quintanilla. 2019. Relación ser humano-naturaleza: Desarrollo, adaptabilidad y posicionamiento hacia la búsqueda de bienestar objetivo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 23(3) ISSN: 0188-7890
- Rodríguez Becerra, M. 2020. Los límites impuestos por la naturaleza y el desarrollo. 15 Cuadernos de la Transformación. Friedrich-Ebert-Stiftung. 31p.
- Roeschel, L., F. Graef, O. Dietrich y M. P. Schaefer. 2016. Individual Perception of Environmental Change as Supplement to Big Data*. Policy Brief for GSDR – 2016 Update. Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development, United Nations.
- Romero Plana, V. 2015. Etnografía y trabajo social: vivencias, perspectivas e intervención. *Savia* 14: 11-13. <https://doi.org/10.36794/savia.vi14.18>
- Rosas-Ramírez, M.E. (2018). Relación entre la bioacumulación de metales pesados y la concentración de clorofila en *Sanvitalia procumbens*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 68 pp citado por Santana Flores 2020.

- Ruíz Cedillo, J. 2008. El valor de la biodiversidad: un estudio en comunidades rurales de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, Morelos. Tesis de Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 102pp.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Sacher, W. 2015. Megaminería y desposesión en el Sur: un análisis comparativo. Revista de Ciencias Sociales 51: 99-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.17141/iconos.51.2015.1475>
- Sadiku, M. N. O., T. J. Ashaolu, A. Ajayi-Majebi y S. M. Musa. 2020. Environmental Studies: An Introduction. International Journal of Scientific Advances 1(3): 153-158. ISSN: 2708-7972. Disponible en línea: www.ijscia.com
- Salas Hernández, S.E. 2020. La minería en Mazapil: panacea española y depredación ambiental. En: Aguilar Robledo, M., H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez (Eds). La Historia Ambiental en México: Estudios de Caso. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P., México. 43- 54pp.
- Sánchez, J., R. Domínguez, M. León, J.L. Samaniego y O. Sunkel. 2019. Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. 70 años de pensamiento de la CEPAL. CEPAL, Naciones Unidas-Cooperación alemana, Deutsche Zusammenarbeit.

- Sánchez Salazar, M.T. 2010. La estructura territorial de la minería mexicana al inicio del tercer milenio. En: Delgado-Ramos, G.C. (Coord.) Ecología Política de la Minería en América Latina. Colección Universidad Nacional Autónoma de México. El mundo actual. 97-131.
- Sánchez Santiró, E. 2002. Plata y privilegios: el real de minas de Huautla, 1709-1821. Estudios de Historia Novohispana, 26, 85-123. Disponible en <https://repositorio.unam.mx/contenidos/31245>
- Santiago Juárez, R., C.A. Adame Bravo y C.I. Palacios Farfán. 2019. Reporte sobre las campañas de desinformación, “Noticias falsas (Fake news)” y su impacto en el derecho a la libertad de expresión. Comisión Nacional de los Derechos Humanos. México. 80p.
- Santiago Rivera, J.A. 2008. La problemática del ambiente, la educación ambiental y el uso didáctico de los medios de comunicación social. Investigación y Postgrado 23(2): 1-12
- Santoyo-Martínez, M. (2016). Bioacumulación, daño genotóxico y cambios en la estructura y morfología foliar de *Acacia farnesiana* en los jales de Huautla, Morelos. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 63 pp.
- Santoyo Martínez, M. 2020. Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociada a los jales de Huautla,

Morelos. Doctorado en Ciencias Naturales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos citado por Santana Flores 2020.

Sarukhán J., P. Koleff P, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta, J. de la Maza, I. Pisanty, T. Urquiza Haas, S. P. Ruiz González y G. García Méndez. 2017. Capital natural de México. Síntesis (Actualizada a 2017): Evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 126pp.

Searle, J. R. 1997. La construcción de la realidad social. Editorial Paidós. D.F., México. 236 pp.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012. Barrancas urbanas del sur poniente del Distrito Federal, Áreas de Valor Ambiental. Libros blancos, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal. 64pp

Sipriano Morales, J.A. 2016. Impactos de la minería canadiense en México: Los casos de Peñasquito en Zacatecas y Los Filos en Guerrero (2005-2013), Tesis de Licenciatura en Estudios Latinoamericanos. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Estudios Latinoamericanos, Universidad Nacional Autónoma de México. CdMx, México. 112p.

- Soberón, J. 2010. La diversidad biológica: Importancia y actores sociales. En: Lezama, J.L. y B. Graizbord (coord.). Los grandes problemas de México. IV Medio Ambiente. El Colegio de México. 165-192 p.
- Suárez, G. 2019. Minera San Xavier en Cerro de San Pedro: ilegalidad, despojo y destrucción ambiental. <https://www.ccmss.org.mx/minera-san-xavier-en-cerro-de-san-pedro-ilegalidad-despojo-y-destruccion-ambiental/>
- Tafari R., G. Chiesa, R. Caminati y N. Gaspio. 2014. Capitalismo, medio ambiente, desigualdad y salud. Revista de Salud Pública XVIII (2): 29-41
- Tetreault, D. 2013. La megaminería en México. Reformas estructurales y Resistencia. Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales 14: 214-231
- Torres-Tobón, D. A, A. Fernández Crispín y M.C. López Téllez. 2022. Análisis de juicios morales sobre la problemática de manejo del agua del río Atoyac (Puebla, México). Memoria del III Congreso nacional de Educación Ambiental. Educación Ambiental para la Sustentabilidad. Zapopan, Jalisco. 320- 330pp.
- Troncoso-Pantoja, C. y A. Amaya-Placencia. 2017. Entrevista: guía práctica para la recolección de datos cualitativos en investigación de salud. Revista de la Facultad de Medicina 65 (2): 329-332. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v65n2.60235>

- Trujillo, S. 2002. Participación Local, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.
- PNUD. 2011. Informe sobre Desarrollo Humano 2011. Sostenibilidad y equidad: Un mejor futuro para todos. Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). EUA. 195pp,
- UCAE. 2024. Prontuario Estadístico de la Minería (enero – diciembre 2024). Cifras preliminares (última actualización a junio de 2024). Unidad de Coordinación de Actividades Extractivas, Gobierno de México. 39p.
- Ugarte Caviedes, A. M. 2007. Impacto de una problemática ambiental en la calidad de vida de una comunidad: el caso de rinconada de Maipú. Memoria para optar al título de Psicólogo, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. 56p.
- UNESCO. 1968. UNESCO, Biosphere Conference. Paris, Francia.
- Valenzuela, C. 2020. Hematocrito, morfología variante de eritrocitos y presencia de hemoparásitos en *Icterus pustulatus* y *Molothrus aeneus*: parámetros basales y relación con la proximidad de desechos mineros en Huautla, Morelos. Tesis de Biología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Biológicas

- Valle Mejía, C.R.M. 1991. Repercusiones en el Espacio Geográfico de la Actividad Minera en Huautla, Morelos, en el Decenio 1989-1989. Lic. en Geografía, FFyL, UNAM
- Villarroel Dávila, P. 2012. La construcción del conocimiento en la primera infancia. Sophia, Colección de Filosofía de la Educación 13: 75-89
- World Mining Data. 2024. World Mining Data, <https://www.world-mining-data.info/> 2024
- Yang, Y., Y. Zhu, X. Wang, X. y Y. Li. 2022. The Perception of Environmental Information Disclosure on Rural Residents' Pro-Environmental Behavior. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19, 7851. 22pp.
- Zabala, J. y K. Villalobos. 2010. Las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la educación ambiental: una perspectiva societal. Telos 12(2): 175-185
- Zavaro Pérez, C. y P.C. Stampella. 2023. Las relaciones sociedad-naturaleza: una síntesis en perspectiva historiográfica. Jandiekua: Revista Mexicana de Educación Ambiental 7(9): 22-30
- Zobrist, J., M. Sima, D. Dogaru, M. Senila, H. Yang, C. Popescu, C. Roman, A. Bela, L. Frej, B. Dold y D. Balteanu. 2009. Environmental and socioeconomic assessment of impacts by mining activities—a case study in the Certej River

catchment, Western Carpathians, Romania. Environmental Science Pollution
Research 16 (1): S14–S26. DOI: [10.1007/s11356-008-0068-2](https://doi.org/10.1007/s11356-008-0068-2)

ANEXOS

ANEXO 1. Cuestionarios base para las entrevistas

Preguntas cerradas y opción múltiple

Perspectiva social sobre la problemática ambiental en Huautla, Morelos

1. ¿Cómo piensas que es la naturaleza para los seres humanos?
☐ Indispensable ☐ Muy importante ☐ Importante ☐ Poco importante ☐ Irrelevante
2. ¿La tierra, el agua, el oxígeno, las plantas y los animales se encuentran en una cantidad limitada en el planeta?
☐ Cierto ☐ Falso ☐ Depende
3. ¿Muchas personas desperdician los recursos que nos ofrece la naturaleza?
☐ Cierto ☐ Falso ☐ Depende ☐ No sé
4. La naturaleza puede contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos sobre ella:
☐ Cierto ☐ Falso ☐ Depende
5. ¿Has escuchado de problemas ambientales? ☐ Si ☐ No
6. ¿En dónde lo escuchaste? (Puedes señalar más de una opción)
☐ TV ☐ Internet ☐ Radio ☐ Escuela ☐ Familiares ☐ Otros (especifica)

7. ¿Piensas que hay problemas ambientales en tu comunidad?

☐ Si ☐ No

8. En caso afirmativo, ¿qué tan abundantes son los problemas ambientales en tu comunidad?

☐ Inexistentes ☐ Pocos ☐ Moderados ☐ Severos ☐ Muy severos

9. Existe un riesgo de que la humanidad se enfrente a una crisis global en materia ambiental

☐ Cierto ☐ Falso ☐ Depende ☐ No sé

10. Respecto a los problemas ambientales locales, ¿cómo te sientes?

☐ Enojado ☐ Triste ☐ Indiferente ☐ Impotente ☐ Preocupado ☐ Contento

Historia de la minería en Huautla

1. ¿Tus padres, abuelos, parientes u otra persona te han contado como era la zona minera y como cambio?

☐ Si ☐ No

2. ¿Sabes o conoces si hay tierra de las minas (jales o relaves) en tu comunidad?

☐ Si ☐ No

3. ¿Se utiliza la tierra de los jales en tu comunidad?

☐ Si ☐ No

4. ¿Cuánta tierra de los jales crees que se utiliza en esas actividades?

☐ Nada ☐ Poca cantidad ☐ Una cantidad moderada ☐ Mucho

☐ Material ☐ Cantidades inmensas ☐ No sé

5. ¿Qué cantidad de tierra de los jales consideras que se utiliza en algunas actividades en la zona? ☐ Nada ☐ Poca cantidad ☐ Una cantidad moderada ☐ Mucho material ☐ Cantidades inmensas ☐ No sé

Problemática ambiental en Huautla, Morelos y su relación la historia del pueblo minero

1. ¿Crees que algunas enfermedades en tu comunidad se relacionan con los jales?
☐ Mucho ☐ Poco ☐ Nada ☐ No sé
2. ¿En qué cantidad consideras que el material de los jales se desplaza con el viento y la lluvia?
☐ No se desplaza ☐ Poca cantidad ☐ Una cantidad moderada ☐ Mucho material ☐ Cantidades inmensas ☐ No sé

Participación social en la resolución de los problemas ambientales

1. Es difícil que una persona como yo pueda hacer algo por los problemas ambientales:
☐ Cierto ☐ Falso ☐ Depende ☐ No sé
2. Si tuvieras algunas opciones para mejorar un lugar afectado, ¿cuál de estas escogerías?
☐ Recuperaría las características originales del sitio (selva)
☐ Colocaría un parque con vegetación, aunque no sea de aquí

☐ Lo dejaría como estuviera

3. En la resolución de los problemas ambientales en el planeta:

☐ Debe dejarse a los expertos

☐ Debe participar la sociedad

☐ Debemos participar todos y los expertos participar con su conocimiento

4. Lo que cada uno de nosotros hacemos por el ambiente es de gran importancia para su cuidado:

☐ Cierto ☐ Falso ☐ Depende ☐ No sé

5. Si tuvieras algunas opciones para mejorar un lugar afectado, ¿cuál de estas escogerías?

☐ Recuperaría las características originales del sitio (selva)

☐ Colocaría un parque con vegetación, aunque no sea de aquí

☐ Lo dejaría como estuviera

Preguntas abiertas sobre la perspectiva ambiental de los pobladores de Huautla

Cabe aclarar que, en casi todos los casos, la pregunta abierta estuvo asociadas a las preguntas cerradas para facilitar su aplicación.

Ejemplo: La naturaleza puede contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos sobre ella. Explica (¿por qué la naturaleza puede contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos sobre ella?

Perspectiva social sobre la problemática ambiental en Huautla, Morelos

1. ¿Muchas personas desperdician los recursos que nos ofrece la naturaleza?
Explica tu respuesta
2. ¿Qué has escuchado hablar sobre los problemas ambientales?
3. ¿Crees los problemas ambientales son más graves de lo que se observa en el radio, la televisión, el internet? Si dijiste que sí, explica porqué
4. ¿Piensas que hay problemas ambientales en tu comunidad? En caso afirmativo, ¿de qué tipo son los problemas ambientales en tu comunidad?
5. Respecto a los problemas ambientales locales, ¿cómo te sientes? Explica
6. La naturaleza puede contrarrestar cualquier impacto provocado por los seres humanos sobre ella. Explica
7. Existe un riesgo de que la humanidad se enfrente a una crisis global en materia ambiental. Explica

Historia de la minería en Huautla

1. ¿Tus padres, abuelos, parientes u otra persona te han contado como era la zona minera y como cambio? Si contestaste que sí, cuéntanos que te dijeron
2. En caso de que conozca alguna actividad que utilice jales, por favor, descríbela

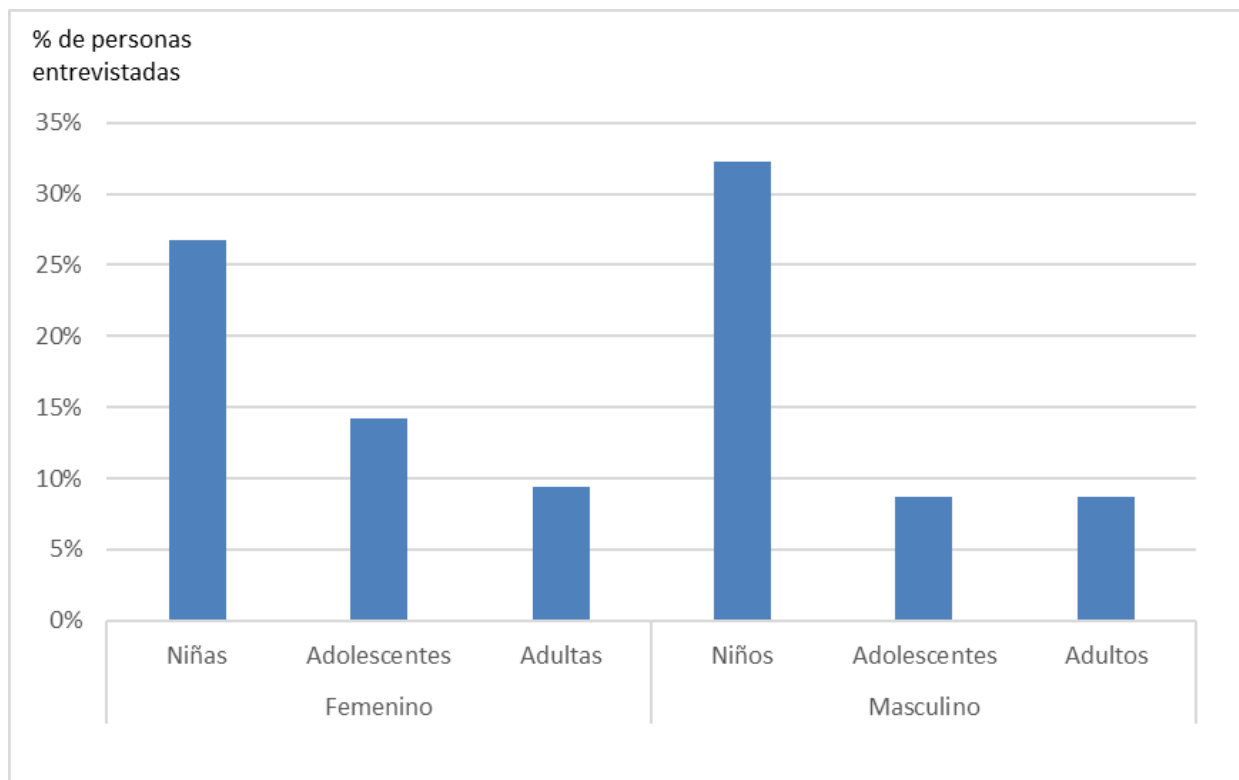
Problemática ambiental en Huautla, Morelos y su relación la historia del pueblo minero

1. ¿Puedes describir algunos de los problemas ambientales relacionados con la minería o con los jales?
2. ¿Crees que la minería o a los jales pueden causar problemas a las personas, las plantas, los animales, el cerro o el rio? En caso de responder afirmativamente, ¿Cómo cuáles?
3. ¿Has observado que la tierra de los jales se mueve con la lluvia? Si es así, ¿hacia dónde crees que se va esa tierra

Participación social en la resolución de los problemas ambientales

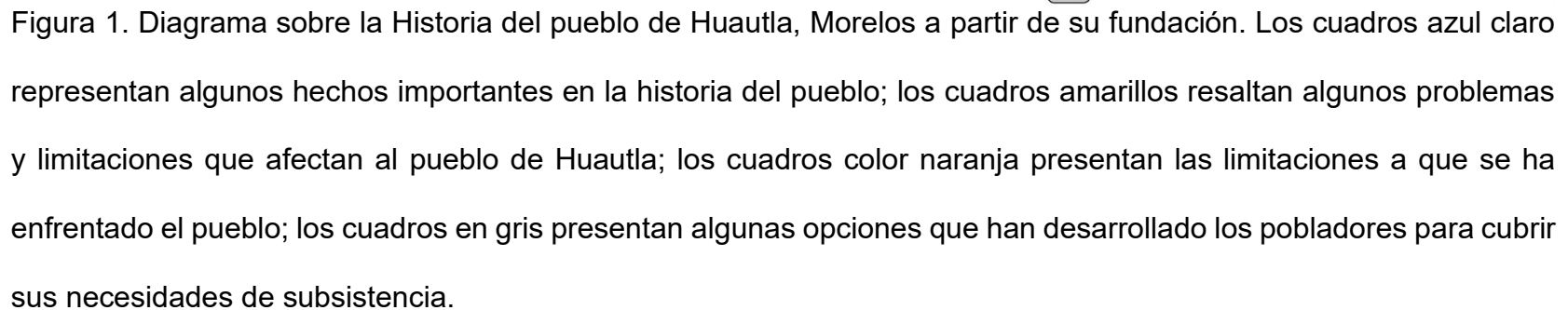
1. Es difícil que una persona como yo pueda hacer algo por los problemas ambientales. Explique su respuesta anterior.
2. Si tuvieras algunas opciones para mejorar un lugar afectado, ¿cuál de estas escogerías? ¿Por qué seleccionaste la respuesta anterior?

ANEXO 2. GRÁFICAS COMPLEMENTARIAS



Gráfica 1. Porcentaje de personas entrevistadas por grupo de edad y género en Huautla, Morelos (N= 127 entrevistados). Los niños fueron alumnos de primaria (6-12 años) y los adolescentes estudiantes de la secundaria (12-15 años).

ANEXO 3. DIAGRAMAS SOBRE LA RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA Y LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL
EN HUAUTLA, MORELOS



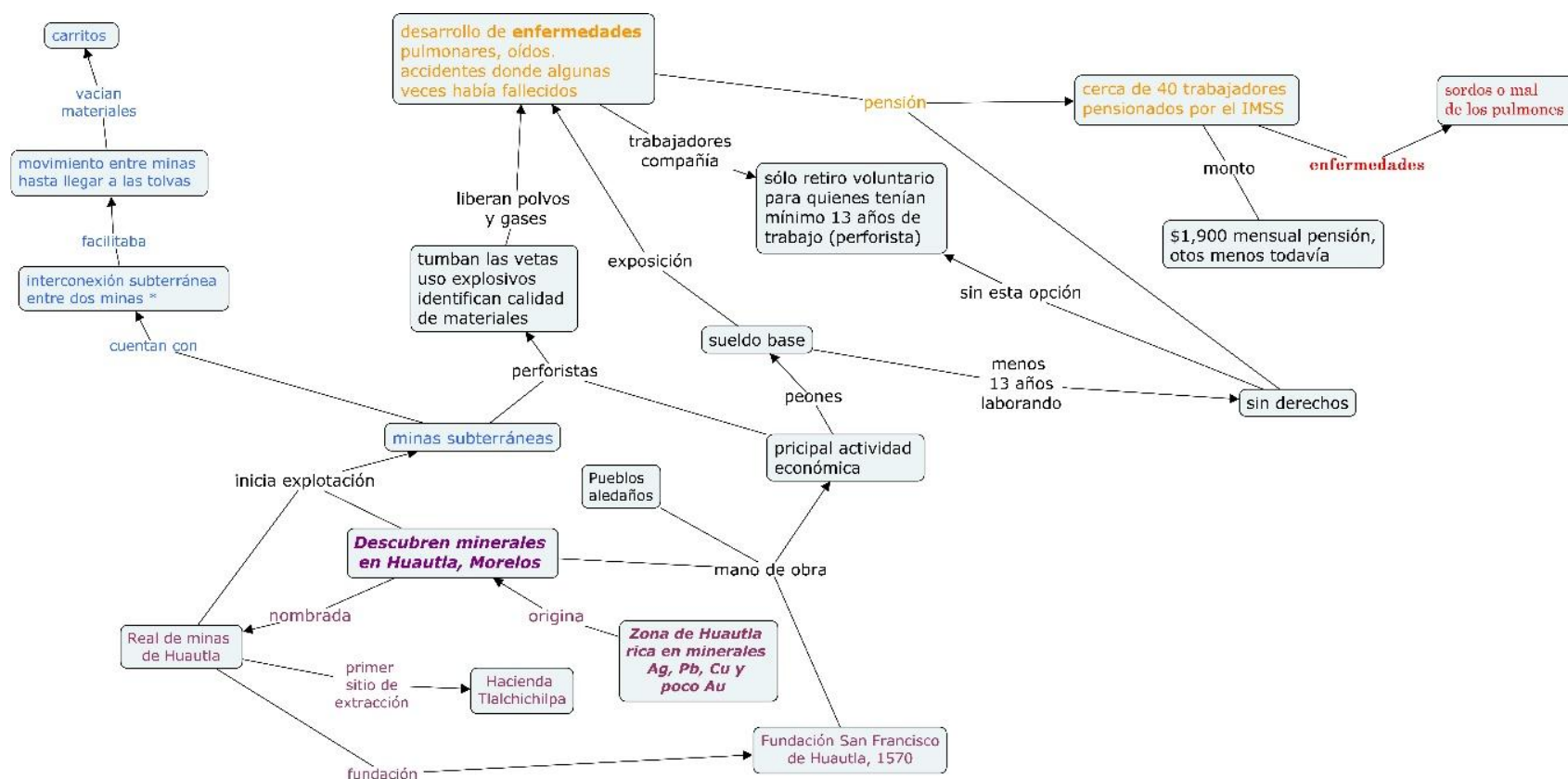


Figura 2. Diagrama sobre el origen de la minería y la fundación de Huautla a partir del descubrimiento de minerales, la logística de la mina (azul), la relación con los trabajadores (negro), los efectos de la actividad en la salud de estos (amarillo y rojo) en Huautla, Morelos.

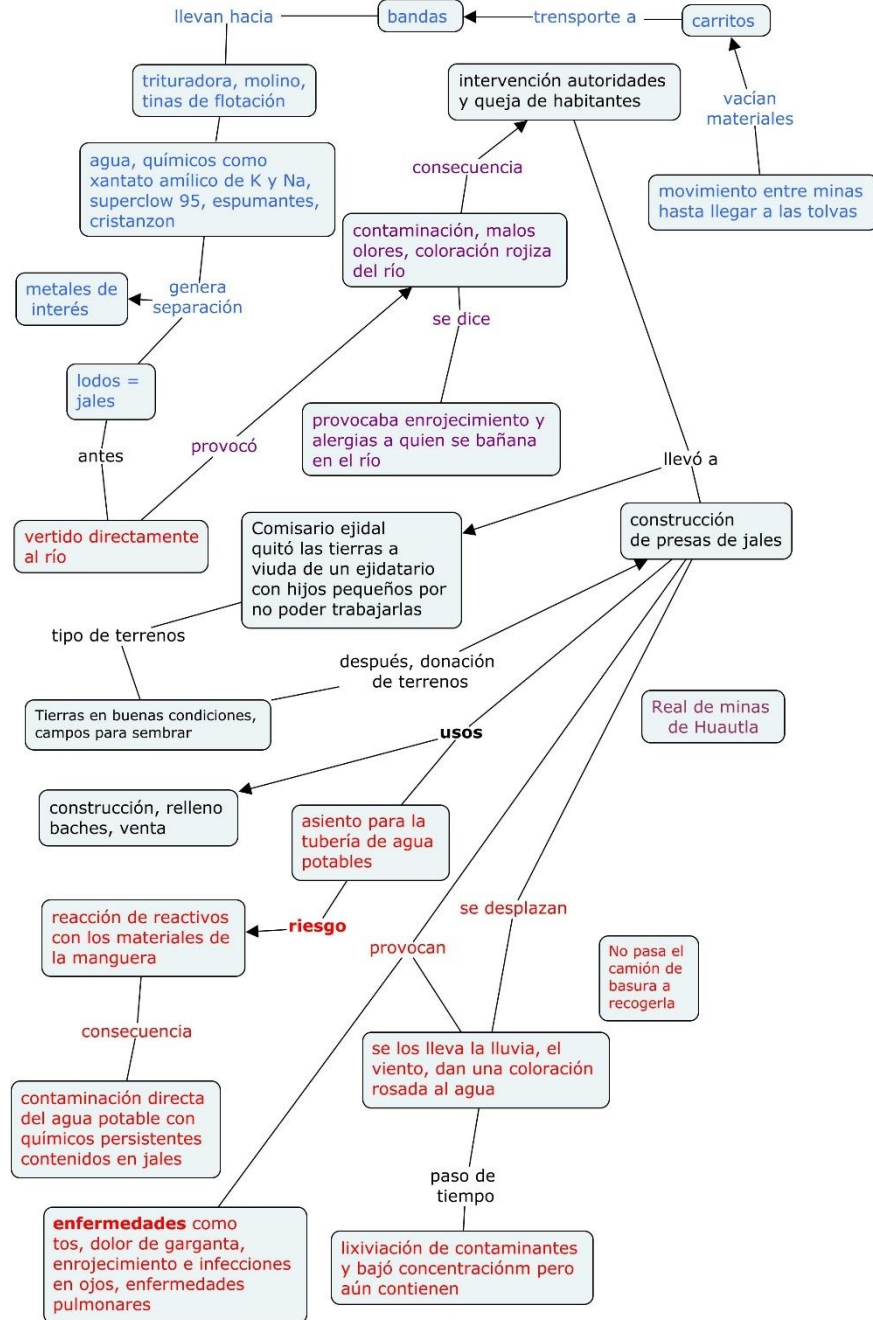


Figura 3. Diagrama sobre el movimiento de materiales, los problemas ambientales asociados (rojo y morado) y las consecuencias para algunos pobladores de que la autoridad ejidal ayudara a la minera a resolver el problema de contaminación por los jales (negro) en Huautla, Morelos.

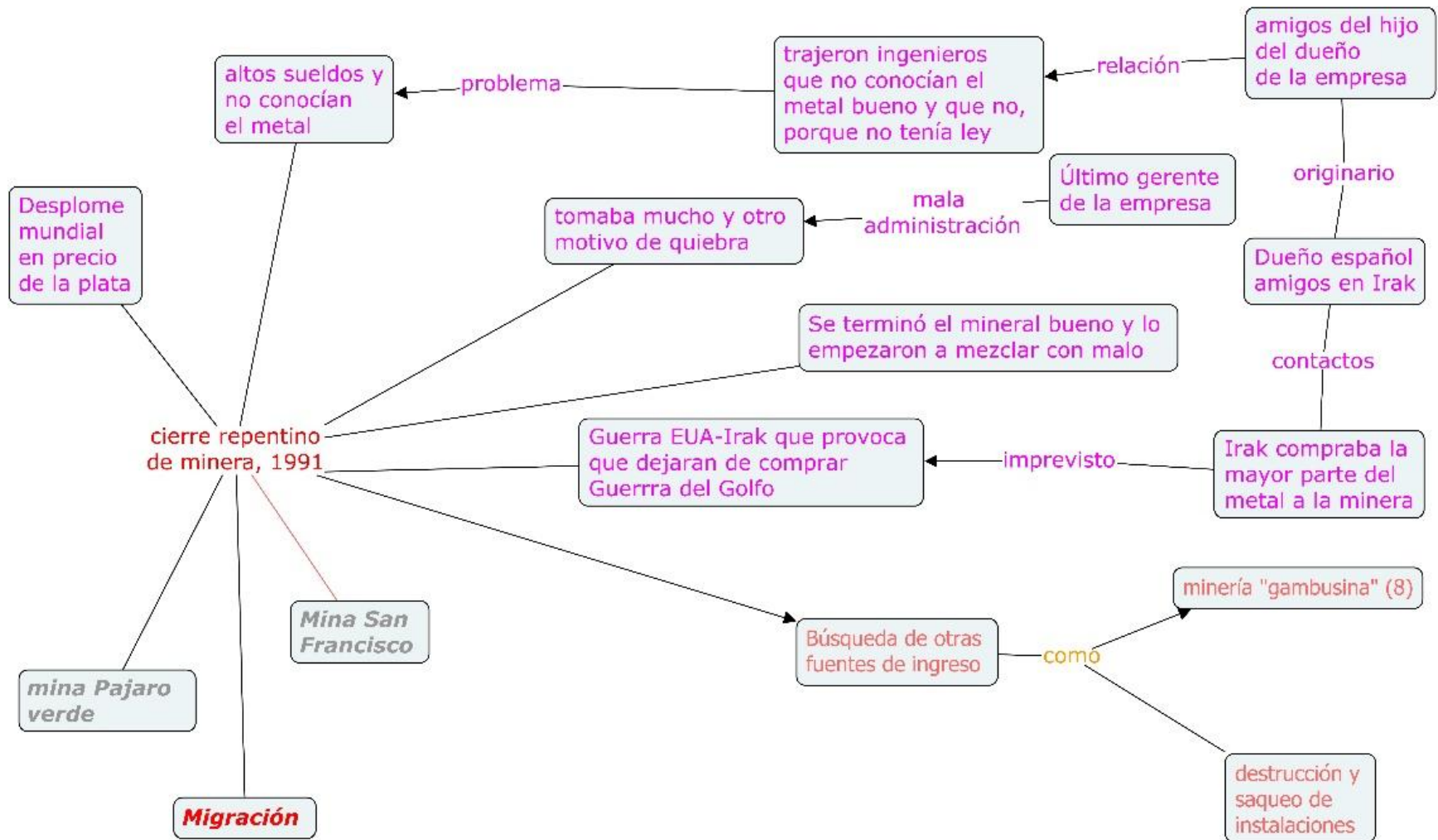


Figura 4. Diagrama sobre las causas del cierre de la última empresa minera y algunas alternativas económicas para los trabajadores (naranja) en Huautla, Morelos.

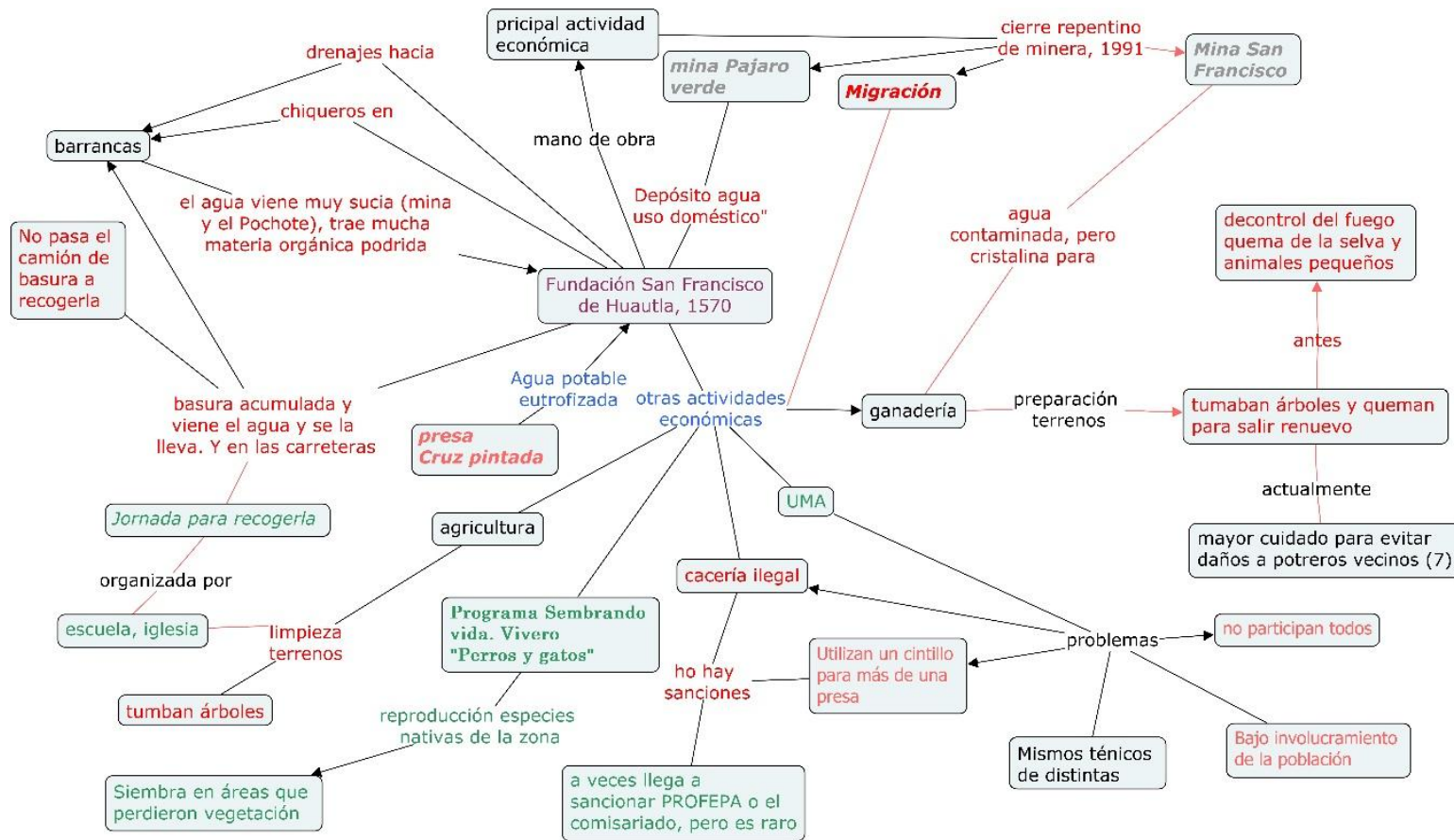


Figura 5. Diagramas sobre los efectos en el ambiente y en los mineros por el cierre repentino de la minería, las causas y consecuencias de esto en Huautla, Morelos.

ANEXO 4. Descripción de la actividad ganadera en Huautla. Tomado de Juárez-Delgado *et al.* (2018).

La ganadería extensiva es otra actividad económica realizada en la zona de Huautla. Esta actividad utiliza tanto a la selva baja caducifolia como a la agricultura de temporal. Esto ocurre porque el ganado pastorea en los potreros y aprovecha los esquilmos de la agricultura de temporal. Gran parte de los productos son utilizados para subsistencia e ingresos económicos de la comunidad. Parte del año el ganado se mantiene de granos producidos por los ganaderos, complementándolo temporalmente mediante subsidios, confiriéndole una proporción de sostenibilidad al proceso económico a venta de los productos ganaderos durante todo el año. Esto permite un ingreso económico para que el ganadero pueda adquirir mercancías producidas fuera del ejido, así como el autoabasto. Existen aportes por parte de la caza de fauna silvestre, pesca y recolección de plantas silvestres y sus partes, lo que sostiene la subsistencia y la reproducción social del grupo campesino, logrando un aprovechamiento comunitario de la diversidad biocultural, complementando los ingresos de la comunidad e incidiendo en la reproducción social.

Anexo 5. Transcripción de la sección Minería del trabajo de Mondragón-Morales (1986) donde describe las condiciones y características de la minería y las condiciones de trabajo en la última etapa en que se realizó esta actividad.

“La explotación de la mina data de la colonia. El antecedente más lejano es a mediados del siglo XVIII en que los españoles descubrieron el mineral (dato que contrasta con Sánchez Santiró (2002), quien menciona que la fundación de San Francisco de Huautla fue en 1570, después de encontrar minerales en la zona).

Según información obtenida de la sección 199 del Sindicato Minero Similares y Conexos de la República mexicana, en enero de 1982, el número de trabajadores de la región que se empleaba en los trabajos de la mina era de 300 aproximadamente, siendo de Huautla principalmente, le sigue el ejido Rancho Viejo y en forma mínima Xochipala. Los trabajadores de confianza eran originarios de otros centros mineros como Zacatecas, Guanajuato y Taxco. El promedio de edad de los trabajadores era de 24 años, lo que refleja la juventud de quienes se emplean, explicándose además por ser la edad en que se aporta más energía, ya que los trabajadores no llegan a cumplir 20 años en este empleo, en la gran mayoría de los casos, debido a enfermedades que se contrae entre ellas principalmente: silicosis, silicotuberculosis y en forma minoritaria tuberculosis, así, a los 15 años de trabajo, optan por su “medio retiro”, esto es, una compensación que les “da” la empresa minera y con lo que la mayoría se vuelve a trabajar la tierra, invirtiendo en mejoras en sus apuros de labranza o comprando ganado y algunos -los menos- incluso

llegan a poner algún tendajón de venta de algunos productos. En cuanto a la organización para el trabajo, la mina cuenta con un escalafón de 32 categorías que inicia con el “ayudante de patio”; que es el puesto más bajo, y a la que siguen los demás hasta alcanzar el puesto de “perforista” esto es, quien hace los trabajos de barrenación de la roca para colocar dinamita, y es el puesto de más alto nivel de las plazas tabuladas. En estos niveles “los más altos”, los trabajadores no están ya sujetos a la jornada, sino que hacen trabajos a destajo lo que implica una mayor explotación. La forma para incorporarse al trabajo es presentándose a través del Sindicato a los exámenes médicos que la empresa hace a los candidatos. Quien es considerado apto inicia desde la plaza más baja para ascender, incluso, cuando un trabajador se retira del trabajo ocupando un nivel intermedio del escalafón y quiere volver, tiene que seguir el procedimiento mencionado, iniciando nuevamente desde la plaza tabulada más baja. El patrón decía cumplir completamente con las especificaciones del Contrato Colectivo de Trabajo, mientras que los trabajadores a través de su organización es que las especificaciones del Contrato, apenas si se aplicaban en un 60%.

Mencionan, como casos en que no se cumple el Contrato, el aspecto del aire que se inyecta con suficiencia y todos los socavones, o sea, los distintos túneles que conforman la estructura interna de la mina, como tampoco se han tomado medidas para reducir la concentración de polvo, carecen de mascarillas que los protejan de esto, asimismo, para aminorar el ruido de las máquinas requieren

tapones para los oídos puesto que no han sido acondicionadas las máquinas con silenciadores.

Para quienes están en los rebajes, esto es, los lugares en que descargan la roca para su transportación no son provistos de cinturones de seguridad a semejanza de los utilizados por los trabajadores electricistas. Así en su conjunto las condiciones de trabajo son insalubres e inseguras por lo que se contraen las enfermedades mencionadas, aunado a las actividades de gran riesgo, han ocasionado accidentes de mucha con sideración y aún casos de defunción.

Tocante a su salario, se revisa anualmente y el contenido del contrato Colectivo de trabajo cada dos años. El salario se asigna tomando en cuenta el salario mínimo del campo en la región, al que se incrementa un porcentaje para fijar el mínimo en la mina; a partir de éste se va incrementando paulatinamente hasta establecer los salarios de los niveles que contempla el tabulador. En cuanto a otras prestaciones, cuentan únicamente con asistencia médica para ellos y su familia, en una clínica levantada para el caso en la misma población. No cuentan con seguro de vida al ser sujetos del régimen del Seguro Social. Así mismo, cuando el trabajador fallece en ejercicio de sus funciones, sus deudos solamente tienen la indemnización de ley, esto es, el pago correspondiente a un cierto número de días por año laborado. Han logrado que la mina ponga una tienda en donde los productos de primera necesidad se vendan a un precio un poco inferior al medio, pero, en general, las prestaciones de que gozan son raquíticas.

Labores seis días a la semana por uno de descanso y les van rotando el turno, esto es, que, si en una semana tienen el primer turno, el de la mañana, a la semana siguiente les tocará el segundo turno, o sea, el turno de la tarde y la tercera semana trabajarían el turno de la noche, el tercero; y así se va el rol de trabajo.

En cuanto a descanso solamente algunos días muy específicos como el primero de mayo, 16 de septiembre, 12 y 25 de diciembre, el primero de enero. Así como el día que celebran al Sindicato, por lo demás, sus inasistencias son justificadas, siempre y cuando sean prescritas incapacidades por parte del médico de la clínica de la propia compañía.

Cuentan con vacaciones a partir del primer año de trabajo, cinco días, que se van incrementando un día por año hasta alcanzas los diez días, tomándolos durante el año, en la fecha que ellos quieran, con la característica de que no les paga la mina, sino que es a través del Sindicato y de un fondo de ahorros que han establecido, como obtienen unos centavos, correspondientes al salario de su período vacacional.

Los principales lugares de trabajo son los túneles de donde se extrae la roca que contiene el mineral. En estos socavones, andan en pareja, pero con muy poca comunicación entre ellos debido al ruido que hacen las distintas máquinas que emplean.

Así, aunado a la poca comunicación están expuestos durante toda la jornada al ruido y peor aún, al polvo que sale al hacer las perforaciones en las rocas, en la búsqueda del mineral. Los menos trabajan en la superficie, pero lo mismo, expuestos al ruido de los molinos, al polvo; haciendo muy insalubres las condiciones de trabajo, y de mucho riesgo físico, pese a lo que la gerencia de la Compañía afirme.

Debido a las condiciones de trabajo y a decir del gerente de la empresa, anualmente se hace un examen exhaustivo a todos los trabajadores para vigilar su estado de salud.

En opinión de los trabajadores, efectivamente se hace un examen médico anual, pero no con la profundidad que debiera, así, al cumplir 15 años de labores, la empresa les pone la opción de un “medio retiro” esto es, una indemnización por los años laborados o seguir laborando; como los trabajos son muy pesados, la mayoría de los trabajadores al término de este lapso de tiempo, optan por el retiro. Volviendo a las labores agrícolas o de otra índole para subsistir.

En cuanto a la producción, el objetivo principal es la plata, pero también se obtiene oro, cobre y zinc; procesando la planta ubicada en el lugar un promedio de 300 toneladas de roca diariamente de las que queda el concentrado, reducido en un 60%, cuyo destino final para fundición y separación de los productos es la ciudad de Torreón, Coahuila; en donde se obtiene el producto final.

La importancia local de la mina podría resumirse en que es la fuente de trabajo de tres cuartas partes de los 392 ejidatarios de Huautla, pues fuera de eso no hay otra cosa significativa salvo que en la zona es bastante escasa y los trabajadores de la mina requieren mucho líquido, ante lo cual la población ha tenido que pasar privaciones del mismo al serle racionado.

La concesión minera es otorgada por el gobierno federal a una empresa particular que explota los yacimientos en el ejido de Huautla, pagando sus impuestos en la cabecera municipal que es Tlaquiltenango, por lo que la población de Huautla no ha obtenido ningún beneficio proveniente de la empresa. De tal manera que la importancia de la mina radica en que emplea durante todo el tiempo a la mayoría de los trabajadores de Huautla en los mejores días en que pueden aportar su fuerza de trabajo, relegándolos cuando esto ya no es posible, dificultando en términos de Ley, alcanzar el momento en que deba jubilarlos.

Su función específica es entonces que, al posibilitar el empleo de los trabajadores durante todo el año, permite la ampliación del mercado interno, con lo que llega asimismo el consumismo a esta o zona de la Sierra de Morelos, conocida como Sierra de Huautla.”

**CAPÍTULO V. ADOPTAR LOS OBJETIVOS DE
LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA COMO
META CRUCIAL AL MITIGAR DESECHOS
MINEROS: UNA PROPUESTA
METODOLÓGICA (PUBLICADO: *ACTA
BOTÁNICA MEXICANA*, 2022 DOI:
<https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2019>)**



Acta Botanica
Mexicana

Adoptar los objetivos de la restauración ecológica como meta crucial al mitigar desechos mineros: una propuesta metodológica

Adopting ecological restoration goals as a critical goal in mining tailings mitigation: a methodological proposal

Roberto Márquez-Huitzil^{1,2} , Cristina Martínez-Garza¹ , Marcela Osorio Beristain¹ 

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: México presenta acumulaciones de materiales tóxicos e inestables desechados por la minería, llamados jales, representando un riesgo potencial y efectivo para los ecosistemas y la sociedad. La restauración ecológica en combinación con otras estrategias de mitigación ofrece una alternativa para disminuir estos impactos ambientales y revertir la degradación del ecosistema por los jales. Este trabajo plantea algunas consideraciones y propone una metodología para aplicar la restauración ecológica a los jales.

Métodos: Se describieron las afectaciones y riesgos ocasionados por el depósito de jales a partir de las características de los materiales y del ecosistema donde se depositan, aplicando y adecuando criterios como los utilizados en la Evaluación del Impacto Ecológico. A partir de esto, se plantearon algunas consideraciones para mitigar los jales. También se analizaron las limitaciones de algunas técnicas de mitigación con organismos o materia orgánica, por sus impactos colaterales potenciales.

Resultados clave: La propuesta metodológica considera acciones de mitigación de un jal que integren al ecosistema y su funcionamiento, dirigidos hacia una restauración ecosistémica. Por una parte, estos lineamientos consideran aspectos relacionados con la toxicidad y estabilidad de los jales y, por la otra, características y procesos ecosistémicos afectados por su depósito. Esta propuesta considera diez pasos que incorporan distintos aspectos que deben abordarse para la restauración en los depósitos de jales.

Conclusiones: Mediante un enfoque ecosistémico, como en la restauración ecológica, se resuelven los problemas ambientales de contaminación e inestabilidad de los jales. Evitando también los impactos colaterales de las propias estrategias de mitigación como la creación de trampas ecológicas o haciendo biodisponibles los contaminantes, introduciéndolos a la cadena trófica sin compensar los impactos ecosistémicos provocados por su depósito.

Palabras clave: efectos colaterales, jales, metales pesados, restauración de ecosistemas, trampa ecológica.

Abstract:

Background and Aims: In Mexico there are accumulations of toxic and unstable materials discarded by mining, called tailings, which represent a potential and effective risk for ecosystems and society. Ecological restoration in combination with other mitigation strategies offer an alternative to mitigate these environmental impacts and reverse the ecosystem degradation caused by tailings. This work raises some considerations and proposes a methodology to apply the ecological restoration to tailings.

Methods: The effects and risks caused by the deposit of tailings in the open pit were described based on the characteristics of the materials and the ecosystem in which they are deposited, applying and adapting criteria such as those used in the Evaluation of the Ecological Impact. Based on this, some guidelines and considerations were proposed to mitigate tailings. The limitations of some mitigation techniques with organisms or organic matter were also analyzed, due to their potential collateral impacts.

Key results: The methodological proposal considers actions to mitigate a mining tailing that integrate the ecosystem and its functioning, directed towards an ecosystem restoration. On the one hand, these guidelines consider aspects related to the toxicity and stability of tailings and, on the other hand, the characteristics and ecosystem processes affected by their deposit. This proposal considers ten steps that incorporate different aspects that must be addressed to achieve restoration in tailings deposits.

Conclusions: Through an ecosystem approach, as in ecological restoration, the environmental problems of contamination and instability of the tailings are solved. Also avoiding the collateral impacts of the mitigation strategies themselves, such as the creation of ecological traps or making contaminants bioavailable, introducing them into the food chain without compensating for the ecosystem impacts caused by their deposit.

Key words: collateral effects, ecosystem restoration, ecological trap, heavy metals, mining tailings.

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIByC), Avenida Universidad No. 1001, Chamilpa, 62209 Cuernavaca, Morelos, México.

²Autor para la correspondencia: huitzil.r@gmail.com

Editor de sección: Moisés Méndez Toribio.

Recibido: 1 de febrero de 2022.

Revisado: 1 de junio de 2022.

Aceptado por Moisés Méndez Toribio: 15 de noviembre de 2022.

Publicado Primero en línea: 9 de diciembre de 2022.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 129 (2022).



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Citar como: Márquez-Huitzil, R., C. Martínez-Garza y M. Osorio Beristain. 2022. Adoptar los objetivos de la restauración ecológica como meta crucial al mitigar desechos mineros: una propuesta metodológica. Acta Botanica Mexicana 129: e2019. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2019>

e-ISSN: 2448-7589



Introducción

La actividad minera es de importancia económica, pero los distintos procesos que se le asocian generan diversos impactos ambientales. Una de las afectaciones que resultan de la actividad minera es la eliminación de la vegetación en los sitios donde se busca obtener los minerales de interés (Sipriano Morales, 2016). Con esta actividad se han extraído miles de millones de toneladas de distintos minerales metálicos (Delgado Ramos, 2010; Uc Peraza, 2014; Pueblos y Comunidades de Oaxaca, 2018), desechando cantidades aún mayores de rocas molidas provenientes del subsuelo; estos materiales no son útiles para la minería y, en México, se denominan relaves, colas o jales (Reyes Mariano, 2014). En este trabajo el término a utilizar es el de jales. Los jales contienen niveles significativos de toxinas combinados con materiales generados durante el beneficio o concentración de minerales residuales y son depositados en forma de tiraderos (Nieto Ávila, 1997; Ramos-Arroyo et al., 2004; SEMARNAT, 2010; Anglés Hernández et al., 2021): a cielo abierto (Rivera Castelo, 2009; Ahumada Mexía, 2017), en barrancas (Corder, 2006), como relleno de tajos abiertos o de túneles en minas subterráneas (ELAW, 2010; Ambrocio Rosales, 2017). Personalmente, se ha observado que algunos jales pueden estar confinados, otros solo se depositan a cielo abierto sin una contención; en ambos casos, estos son arrastrados por la lluvia o por el viento. El depósito de materiales desechados por la minería representa una amenaza para el medio ambiente (Kiere et al., 2021), ya que existe una modificación considerable del relieve a nivel local y del paisaje en donde se realiza esta actividad (Islas Vargas, 2013; Pineda Juárez, 2018).

A pesar de los graves impactos ambientales provocados por los jales, en México se han establecido miles de jales clandestinos por todo el país, ocasionando graves daños ambientales (Rivera Castelo, 2009; Ahumada Mexía, 2017; SEMARNAT, 2021). Estos daños son consecuencia de la tardía e ineficiente regulación ambiental en esta materia. Entre 1995 y 1997, el Instituto Nacional de Ecología reportó en 18 estados de la República, 161 sitios contaminados y abandonados por la minería (Volke Sepúlveda y Velasco Trejo, 2002). Sin embargo, el número real de empresas que desechan sus residuos clandestinamente es incierto, pero el número potencial de depósitos de jales podría ser mayor

a 100,000 (Rivera Castelo, 2009). Fundar, Centro de Análisis e Investigación, A.C. (Fundar, 2021) denuncia que aún en 17 Áreas Naturales Protegidas Federales y Estatales (ANPs) existen 65 presas de jales mineros y, que otras 157 se ubican a una distancia de entre 1 y 5 km de las ANPs. Por ello, urge que el Senado apruebe la Reforma al artículo 46 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), para prohibir la minería en estas zonas, mismo que ya fue aprobado en la Cámara de Diputados (Fundar, 2021).

En torno al mismo tema del vacío regulatorio respecto a los jales mineros, en octubre de 2019, el Gobierno Federal puso en marcha una página de información y una plataforma donde la sociedad puede reportar los jales mineros en el país (SMG, 2019). Desafortunadamente, la sociedad no participa activamente o la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) no actualiza la información con la regularidad suficiente, dado que, hasta el 3 de agosto de 2022, en esta plataforma, solo se habían registrado 585 jales a nivel nacional (SEMARNAT, 2022). Lamentablemente, los mayores esfuerzos para ubicarlos y evaluar los impactos de la actividad minera han provenido principalmente de las instituciones de investigación (Ahumada Mexía, 2017; Armendáriz, 2016). Antes de 2018, las administraciones gubernamentales en México se enfocaron principalmente a desarrollar una legislación que incentivara la minería en el país (Cárdenas, 2013; Pérez Jiménez, 2014). Del mismo modo, se otorgaron miles de concesiones mineras en los sexenios de los presidentes Fox y Calderón; estas administraciones concesionaron 52 millones de hectáreas del territorio nacional para exploración incluyendo la de bienes minerales, lo que ha generado millones de toneladas de residuos mineros (Vargas Mergold, 2016; Moreno Montemayor, 2017). Un número menor de concesiones se dio en el sexenio de Peña Nieto, pero tan solo para el estado de Morelos, la superficie concesionada se triplicó en cuatro años de gobierno (Escobar Salazar, 2021). Al final, las administraciones de México han privilegiado la explotación minera sobre la conservación y manejo sostenible de la naturaleza.

En lo que se refiere a la regulación ambiental para el depósito de jales es muy limitada y, por lo regular, se enfoca a la mitigación de los aspectos de contaminación





y contención de los materiales. La principal Norma que se relaciona directamente con los jales es la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004), que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales, pero se limita a describir los aspectos técnicos para preparar el sitio y construir presas que contienen jales (SEMARNAT, 2004). También existe la NOM 147 (SEMARNAT, 2007), NOM-155-SEMARNAT-2007 (SEMARNAT, 2010) y la NOM-157-SEMARNAT-2009 (SEMARNAT, 2011). Aunque existe una ley que regula la protección del ambiente como la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, esta se limita a la etapa de exploración en la minería y no regula el destino de los jales, ni protege a la naturaleza durante la explotación y el cierre de las minas (SEMARNAT, 2012). La legislación mexicana es sumamente insuficiente para la protección del ambiente en cuanto a la disposición que se hace de los jales mineros y la forma como se puede compensar el daño por esta actividad.

Un problema adicional, relacionado con el descrito anteriormente, es el año en que los jales fueron depositados en un sitio. El año de depósito influye en sus impactos al ambiente por dos motivos: i) los jales depositados clandestinamente incumplen con las especificaciones establecidas en la NOM-141-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004) y ii) los jales creados antes de la promulgación de dicha Norma incumplen con las especificaciones y medidas de mitigación mínimas para mantener su estabilidad y reducir las condiciones de toxicidad. Algunos ejemplos de estos jales son los siguientes: 1) presas y depósitos a cielo abierto en Huautla, Morelos (Figs. 1, 2); 2) los que se encuentran en Real del Monte, cercanos a la ciudad de Pachuca, Hidalgo (Lizárraga-Mendiola et al., 2014); 3) los de presas en Nacozari de García, Sonora (Rivera Castelo, 2009); 4) los acumulados en diversas localidades de Zacatecas y San Luis Potosí (Romero y Gutiérrez-Ruiz, 2010), como el Valle de Guadalupe (Zetina Rodríguez, 2012) y Villa de la Paz, Cerro de San Pedro, Charcas, Cedral y Real de Catorce, Zacatecas, que se han explotado desde hace siglos (Montes Rocha, 2016); 5) zonas mineras implementadas a partir de la época de la Conquista; 6) zonas mineras existentes desde la época virreinal y que

han sido productoras de oro, plata, plomo, zinc y cuentan con almacenamientos de jales en el noroeste y el sur del país, asociados a la producción de metales tradicionales, al cobre y al grafito, óxido de titanio, hierro y fosfatos (Rivera Castelo, 2009). Por tanto, resulta indispensable conocer la distribución de todos los depósitos de jales, tanto registrados oficialmente como clandestinos y verificar si han aplicado estrategias integrales para mitigar todos los impactos ecológicos y ambientales provocados por su depósito.

La alta toxicidad de los jales mineros no es la única amenaza ambiental, sino también la inestabilidad ocasionada por la falta de estructura de los materiales que contienen (Fig. 1) (Rico, 2016). Al carecer de una estabilidad estructural, en combinación con los factores ambientales como los escurrimientos pluviales, pueden ocurrir los siguientes incidentes: i) el deslizamiento en masa de jales durante lluvias o sismos severos, ii) rotura del talud del almacenamiento por flujo interno del agua a través de la superficie exterior de jales no protegidos adecuadamente (Reyes Mariano, 2014; Figs. 1, 2). Existen antecedentes de incidentes relacionados con el deslizamiento de residuos mineros en México, debido a la inestabilidad producida por insuficiente regulación de escurrimientos pluviales y rotura de conductos que transportan o están en contacto con los jales, provocando derrames de estos residuos (Reyes Mariano, 2014). Como resultado, en nuestro país se ha reportado el derrame accidental de jales hacia los cauces de los ríos cuando menos una vez al año, causando impactos ambientales y pérdida de vidas humanas (Ramírez Rodríguez, 2001). La toxicidad e inestabilidad de los depósitos de jales representa un riesgo para la biota local y las comunidades humanas establecidas en su vecindad o hacia donde se desplazan (Luque Agraz et al., 2019). Cuando esto ocurre a cielo abierto, destruye los ecosistemas y también puede afectarlos al dispersar sus contaminantes en la formación de polvaredas (Tamayo, 2014; Vargas Mergold, 2016), haciendo necesaria la mitigación de sus impactos ambientales (Manzanares Acuña et al., 2005; Dávila Luna et al., 2018).

La mitigación es el proceso de prevenir, evitar o minimizar los impactos negativos; se puede actuar de distintas formas (Treweek, 1999): 1) evitando realizar una acción particular, 2) limitando el grado de una acción, 3) reparando, rehabilitando o restaurando el ambiente degradado y





Figura 1: Jal minero en Huautla, Morelos, México, depositado hace 30 años con una presa que se disolvió con la lluvia. Foto: Márquez-Huitzil, R. 2021.

4) suministrando recursos sustitutos. Las estrategias de mitigación se pueden diferenciar de acuerdo con la recuperación de un ecosistema degradado respecto a su estado original (Meffe y Carroll, 1994; Fig. 3); entre ellas se encuentran la *remediación*, la *rehabilitación* y la *restauración ecológica*. Estas estrategias de mitigación pueden diferenciarse por el grado de recuperación del ecosistema y por los factores de deterioro que atienden (Bradshaw, 1983; Gann et al., 2019).

Las dos primeras son consideradas como restaurativas, ya que reducen las causas y efectos de la degradación, favoreciendo la recuperación del ecosistema al disminuir los impactos ecológicos y en la sociedad (Gann et al., 2019). La *remediación* agrupa distintas técnicas para controlar los efectos provocados por los contaminantes (Volke Sepúlveda y Velasco Trejo, 2002), y la *rehabilitación* busca restable-

cer el funcionamiento del ecosistema para la provisión de algunos servicios ecosistémicos que podrían incluso derivarse de ecosistemas no nativos, ya que su objetivo final no es recuperar al ecosistema nativo (Gann et al., 2019). Por otro lado, la *restauración ecológica* tiene como meta lograr una recuperación sustancial del ecosistema en relación con un modelo de referencia apropiado, independientemente del tiempo necesario para lograrla (Gann et al., 2019). Al buscar una restauración ecológica su meta es la autosostenibilidad del sistema, que sea armónico ecológicamente con el paisaje natural y que brinde la mayor cantidad de servicios ecosistémicos (Gann et al., 2019).

La restauración ecológica es la estrategia de mitigación que permite recuperar autosuficiencia del ecosistema (Fig. 3). Las distintas actividades e intervenciones (estrategias de mitigación), cuando son aplicadas para recuperar



Figura 2: Depósito de jales “Las Presas” en Huautla, Morelos, retenido por presas de jales elaboradas con los mismos materiales. Las flechas señalan montículos de materiales dispersos formados por el daño de la erosión hídrica a la antigua presa de jal. Imagen: Google Earth, 2021.

los elementos estructurales y funciones del ecosistema, deben tener una interconexión entre ellas para formar parte de un continuo restaurativo; durante la interconexión se deben reconocer las características de la localidad a restaurar, lo que permitirá la recuperación de los servicios ecosistémicos en calidad y cantidad (Gann et al., 2019). Por lo anterior, la restauración ecológica resulta ser una estrategia adecuada para recuperar las características originales del ecosistema en sitios afectados por el depósito de jales.

El objetivo de esta revisión es presentar las consideraciones que fueron la base en las que se apoya la propuesta metodológica de restauración ecológica en jales mineros. Se plantearon once consideraciones que buscan ampliar los límites encontrados en la literatura científica y técnica abordando la problemática de los jales e integrar una sola metodología que sea accesible a todo lector. Así mismo, se trata de combinar el análisis de la información científica desde diferentes puntos de vista con la visión técnica con que se revisan y cuestionan los proyectos que tienen un impacto ecosistémico y/o de restauración, buscando la restauración ecológica como meta. Se consideran aspectos como la ecología, la ecología de la restauración, la restauración ecológica, la estadística en cuanto al diseño experimental y sus limitaciones, el manejo de ecosistemas

y la toma de decisiones en el sector ambiental para apoyar esta propuesta. Las consideraciones presentadas son la base y justificación del camino que toma esta propuesta metodológica y del por qué no solamente se habla de remediación o rehabilitación en términos generales, sino de una selección de técnicas dentro de cada una de estas estrategias, apoyada en la Evaluación del Riesgo Ecológico (ERE, Trewick, 1999). Así mismo, este documento permite compartir con el lector algunas de las investigaciones y metodologías que existen en la literatura y en las que se pueden apoyar, tratando de sugerir, advertir, pero no apegarse a un estudio en particular para plantear e implementar un proyecto de restauración ecológica en jales. La propuesta surge del interés por hacer una síntesis entre la información científica y la realidad, evaluando y cuestionando el impacto ecosistémico que puede tener la implementación de proyectos. El objetivo es lograr que la restauración del ecosistema vaya más allá de las propuestas que se limitan a un aspecto como la contaminación o la inestabilidad particulares para la resolución a los problemas ambientales generados por los jales. Se discuten las limitaciones y omisiones detectadas en estudios y propuestas que se hacen para mitigar los impactos ecológicos y ambientales de los jales mineros, tratando de integrar los aspectos mencionados anteriormente para apoyar esta propuesta.

Materiales y Métodos

La presente propuesta surge de la integración de distintas perspectivas en la mitigación de los procesos de degradación y en la restauración del ecosistema (Fig. 4). Se toma como base la experiencia en la rehabilitación de una mina de roca caliza con la generación de un modelo propuesto para la restauración de canteras (Márquez-Huitzil et al., 1998; Márquez-Huitzil, 1999). Toma en consideración también el entendimiento del papel de la remediación en la descontaminación ambiental y del uso de distintas técnicas para lograrlo; la forma como la rehabilitación mitiga los procesos de erosión, inestabilidad de los sitios, contando con distintas técnicas para hacerlo (Brown et al., 1986, por mencionar una fuente). Primeramente, desde los materiales revisados que incluyen literatura sobre restauración ecológica y ecología de la restauración (Holl y Aide, 2011; Temperton et al., 2004; Sánchez et al., 2005; Márquez-Huitzil, 2005; Palmer et al.,

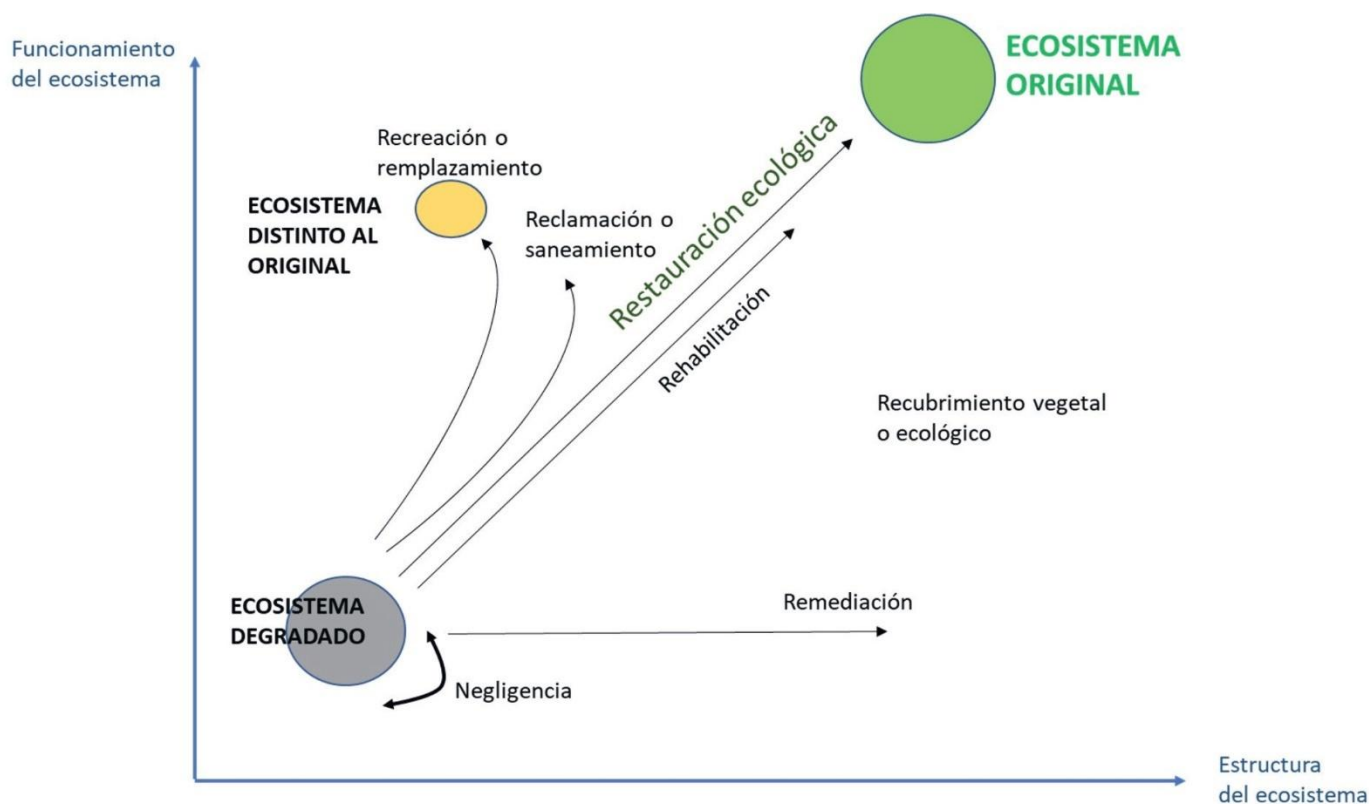


Figura 3: Diagrama que muestra la relación entre las estrategias de mitigación con la recuperación del ecosistema original. Modificado de Bradshaw (1983).

2016; Chazdon y Uriarte, 2016; Gann et al., 2019); revisión de la literatura básica de Ecología (Begon et al., 2005) (Fig. 4). Con base en el análisis sobre la restauración de minas publicado en Bradshaw y Chadwick (1980), donde definen a la restauración ecológica como la estrategia que busca recuperar las características de un ecosistema degradado, dañado o destruido, así como la relación de esta con otras estrategias de mitigación. Considerando el planteamiento anterior, en nuestro trabajo se desarrolló una metodología que involucró lo siguiente: conocimientos adquiridos en la revisión y generación de opiniones técnicas sobre proyectos con un impacto ambiental, en temas como la liberación de insectos como controles biológicos, la introducción de especies fuera de su rango de distribución original, la experiencia en la restauración de selvas, ríos, manglares, y proyectos de infraestructura con un impacto a nivel de paisaje o de cambio de uso del suelo y la capacitación a funcionarios públicos y sociedad civil en el tema de restauración ecológica, durante el período de 2001 a 2010 en el Instituto Nacional de Ecología (ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático).

Entre los temas revisados se incluye el análisis de las descripciones de los impactos socioambientales de los jales mediante Sistemas de Información Geográfica y de percepción remota, las descripciones de los impactos de los jales al ambiente físico descritos en la literatura (Rivera Castelo, 2009; Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006; Ahumada Mexia, 2017), el uso de estrategias utilizadas para su remediación y rehabilitación (Moriarty, 1999; Volke et al., 2005); la integración y síntesis de información que se forma al revisar e interactuar con especialistas de distintas áreas para la resolución de problemas ambientales con un enfoque ecosistémico. Revisamos adicionalmente, reportes técnicos de minería, mitigación, remediación y de rehabilitación de minas y jales obtenidos al colaborar en la restauración de una mina a cielo abierto en Cuautlapan, Veracruz (Márquez-Huitzil, 1999). Toda la información fue compilada de bibliotecas, haciendo búsquedas en internet, o compartidas directamente por investigadores trabajando en el tema, desde 1995 a diciembre de 2021.

Tomando como base la información recopilada se plantean algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta

no se consideran los riesgos por su toxicidad y presencia de elementos potencialmente tóxicos (EPT). Desafortunadamente, quienes convencen a las comunidades de vender los jales no profundizan con los propietarios acerca de los impactos ambientales asociados al procesamiento de los jales, ni que esos daños pueden quedarse sin mitigarse. Antes de iniciar un proceso de restauración ecológica es indispensable la autorización de las comunidades y tomadores de decisiones en donde se pretende implementar el proyecto (Gann et al., 2019). Los métodos de investigación participativa permiten resaltar las prioridades y perspectivas locales; buscando el involucramiento de la población en las investigaciones y la planeación, fortaleciendo su efectividad y ahorrando tiempo y dinero en el largo plazo (Cornwall y Jewkes, 1995). Durante la toma de decisiones debe involucrarse a los representantes legales y a la población en general relacionados con la tenencia de la tierra y legalidad a la toma de decisiones (Pahl-Wostl, 2002). Las comunidades no solo deben involucrarse como fuerza laboral para implementar los proyectos, sino teniendo un papel activo en la confección de decisiones críticas en todas las partes del proceso y aportando recomendaciones para fortalecer los esfuerzos junto con los tomadores de decisiones (Ortega-Álvarez et al., 2021).

Por otra parte, el espacio ocupado por los jales forma parte de un ecosistema y los jales crean nuevas condiciones (Azamar Alonso et al., 2021) que, si se rehabilitan o remedian, permiten la colonización natural en estos jales contaminados. Por tanto, en el Cuadro 1 se enlistan algunas consideraciones que se tomaron en cuenta en la elaboración de esta propuesta metodológica.

La propuesta metodológica se detalla a continuación, junto con sus componentes principales (Fig. 5). (1) Inicialmente se realiza una evaluación rápida de la zona a dos niveles (Sayre et al., 2000): de manera local (1a) se planifican las estrategias de mitigación sobre el jal en base a las características del sitio (1.1a), considerando sus relaciones a nivel de paisaje como pueden ser la zonas que potencialmente podrían afectarse por el desplazamiento de los materiales, las afectaciones a zonas aledañas como vegetación nativa, humedales, escurrimientos, asentamientos humanos o infraestructura, basados en lo que hay en el ecosistema de referencia (1.1b), así como en sitios natura-

les (1.1c) y sitios transformados por las actividades humanas (1.1d). En el sitio se describen características (2a) como la toxicidad (2ac), inestabilidad (2aa), y condiciones de los materiales o si estos se movilizan con el viento o el agua (2ab). También se describe si se encuentran descubiertos de vegetación, y las especies vegetales y animales que interactúan con el jal y entre sí, así como las interacciones con aves, polinizadores, vegetación establecida, especies buscando madrigueras, entre otros (1aa) o en el medio físico (1ab). Las características microclimáticas y ecológicas en el ecosistema de referencia se describen; esta descripción puede incluir información sobre la composición de las especies, la estructura de la vegetación, la diversidad, las poblaciones vegetales, y la edafofauna (indicador biológico de la fertilidad del suelo) en las áreas naturales (1.1b). A escala del paisaje (1b), se describen las características del relieve, escurrimientos, infraestructura cercana, asentamientos humanos, el grado de fragmentación y conectividad espacial, entre otros componentes: características en sitios conservados (1.1c) y en sitios transformados por el hombre (1.1d).

Tomando como base la evaluación rápida anterior, se hace una planeación en donde se consulta a los poseedores de la tierra; se identifican los procesos a mitigar y son seleccionadas las técnicas dentro de cada estrategia de mitigación (3). Los trabajos se orientan para favorecer la sucesión natural de plantas y animales (3b). Finalmente, se pueden reintroducir especies nativas que no arriben a la zona por sí mismas (4).

A continuación, se describe detalladamente el diagrama con los puntos propuestos para la restauración de un jal, los cuales pueden sustituirse de acuerdo con las necesidades de cada caso particular:

(I) Caracterización estructural y de la composición del jal

Los jales o relaves mineros son clasificados por Rossiter (2007) como tecnosuelos o tecnosoles, ya que son depósitos de materiales cuyas propiedades y funcionamiento están dominados por las actividades humanas técnicas; dentro de este grupo se incluyen a los materiales excavados desde la profundidad de la pedósfera donde no fueron influenciados previamente por procesos superficiales, con propiedades sustancialmente distintas a las del ambiente



Cuadro 1: Consideraciones utilizadas para el planteamiento de la propuesta y parte de la literatura en la que se apoya. Hay que resaltar que las consideraciones no solamente toman en cuenta la literatura sino también análisis, síntesis y reflexión sobre cada una de las consideraciones que se enlistan. La literatura es para dar una base a cada consideración en el contexto de la restauración de ecosistemas.

#	Consideración	Fuente
1	Al mitigar los jales debe adoptarse como objetivo principal la recuperación del ecosistema de forma integral, buscando que las estrategias aplicadas recuperen la totalidad o la mayor cantidad de elementos y procesos del ecosistema original.	Bradshaw, 1983; SER, 2004; Gann et al. 2019
2	Los jales están formados de rocas trituradas y molidas, cuyas partículas son semejantes a las partículas de arenas, arcillas y limos de un suelo que fue formado por procesos naturales como el intemperismo, pero su origen es distinto, por lo que son clasificados como tecnosoles.	MacGregor Arroyo, 1992; Nieto Ávila, 1997; Ramos-Arroyo et al., 2004; Volke et al., 2005; Rossiter, 2007; Haldar, 2018
3	Antes de aplicar una técnica de mitigación, deben evaluarse los impactos ecológicos potenciales asociados a la misma.	Treeweek, 1999
4	La restauración de un jal implica el uso de una o más técnicas agrupadas dentro de la remediación o de la rehabilitación (i.e., remediación de suelos, estabilización de materiales, rehabilitación de suelos).	Meffe y Carrol, 1994; Bradshaw, 1983; Bradshaw y Chadwick, 1980; Brown et al., 1986
5	El depósito de jales ocupa un lugar dentro de un ecosistema e interactúa con los procesos a nivel de paisaje.	Aguirre-Salado et al., 2017; Ahumada Mexía, 2017; Buczyńska, 2020
6	La mitigación de jales, por lo regular, se limita a controlar la toxicidad de los materiales y sus metales, pero no considera que, al ser depositados a cielo abierto, la problemática en el ecosistema es mucho más compleja.	Ortega, 2014; Camarillo Reyes, 2014; Naidu et al., 2015; Annable et al., 2020
7	En el caso de los elementos potencialmente tóxicos (EPT), incluidos los metales pesados, el factor que genera mayor peligro es su biodisponibilidad.	Castañeda-Bautista, 2016; Cervantes-Ramírez et al., 2018
8	El uso de organismos vivos o materiales orgánicos en la rehabilitación o en la remediación de un jal contaminado con metales pesados o EPT, atrae a la biota nativa, pero puede impactar al ecosistema a distintos niveles, creando una trampa ecológica, es decir, un ambiente que puede ser percibido por la biota de la zona como un nuevo hábitat.	Battin, 2004; Robertson y Hutto, 2006
9	La colonización de los jales por especies nativas tolerantes a la toxicidad puede introducir los contaminantes a la cadena trófica por las interacciones con otras especies como herbívoros, polinizadores o frugívoros.	Battin, 2004; Robertson y Hutto, 2006
10	Los tratamientos probados en laboratorio o para resolver problemas particulares en los jales deberían extrapolarse solo a condiciones similares a las del sitio donde fueron obtenidos o para el problema para el que fueron planteado, considerando incluso los supuestos del modelo utilizado para el diseño experimental, perdiendo su validez al extrapolarse a condiciones de campo.	Méndez Ramírez et al., 1996; Méndez Ramírez, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014
11	Los jales a cielo abierto interactúan con los factores abióticos (i.e., suelo, agua, viento, geomorfología, fenómenos meteorológicos, pendientes, hidrología) y bióticos (i.e., bacterias, hongos, protozoarios, plantas y animales), incluidas las interacciones entre estos y en distintas escalas geográficas (local, de paisaje, regional, global), por lo que las estrategias para mitigarlos deberían de considerar esta complejidad.	Treeweek, 1999; Sanderson y Harris, 2000; Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006; Rivera Castelo, 2009; Siebe et al., 2016

donde son depositados. Sugerimos subdividir esta descripción de la siguiente forma: i) la descripción del tecnosuelo y, ii) la descripción de los jales como un suelo contaminado.

Se considera que la restauración debe contemplar distintos aspectos relacionados con los riesgos que representan los depósitos de jales: las características estructurales del depósito, la forma en que fueron colocados los materiales (a cielo abierto, en presas de jales), las particularidades de los materiales que forman los jales y la dinámica de estos. Entre las características estructurales del depósito de jales se encuentran la morfología, las dimensiones,

la presencia de estructuras de contención como presas u otros elementos que confinen los materiales, la existencia de una cubierta vegetal, las pendientes de los taludes, la susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, así como el posible colapso de los materiales (Vick, 1990; Rivera Castelo, 2009; Cruz Ruiz, 2017). Las características estructurales y de los materiales, así como las especies vegetales que han colonizado el jal, también interactúan con factores ambientales como el viento, la lluvia o los sismos, y ocasionan daños a los ecosistemas desde el momento en que son depositados y a través del tiempo (Dávila Luna et al., 2018), por lo que conviene realizar la descripción de estas características

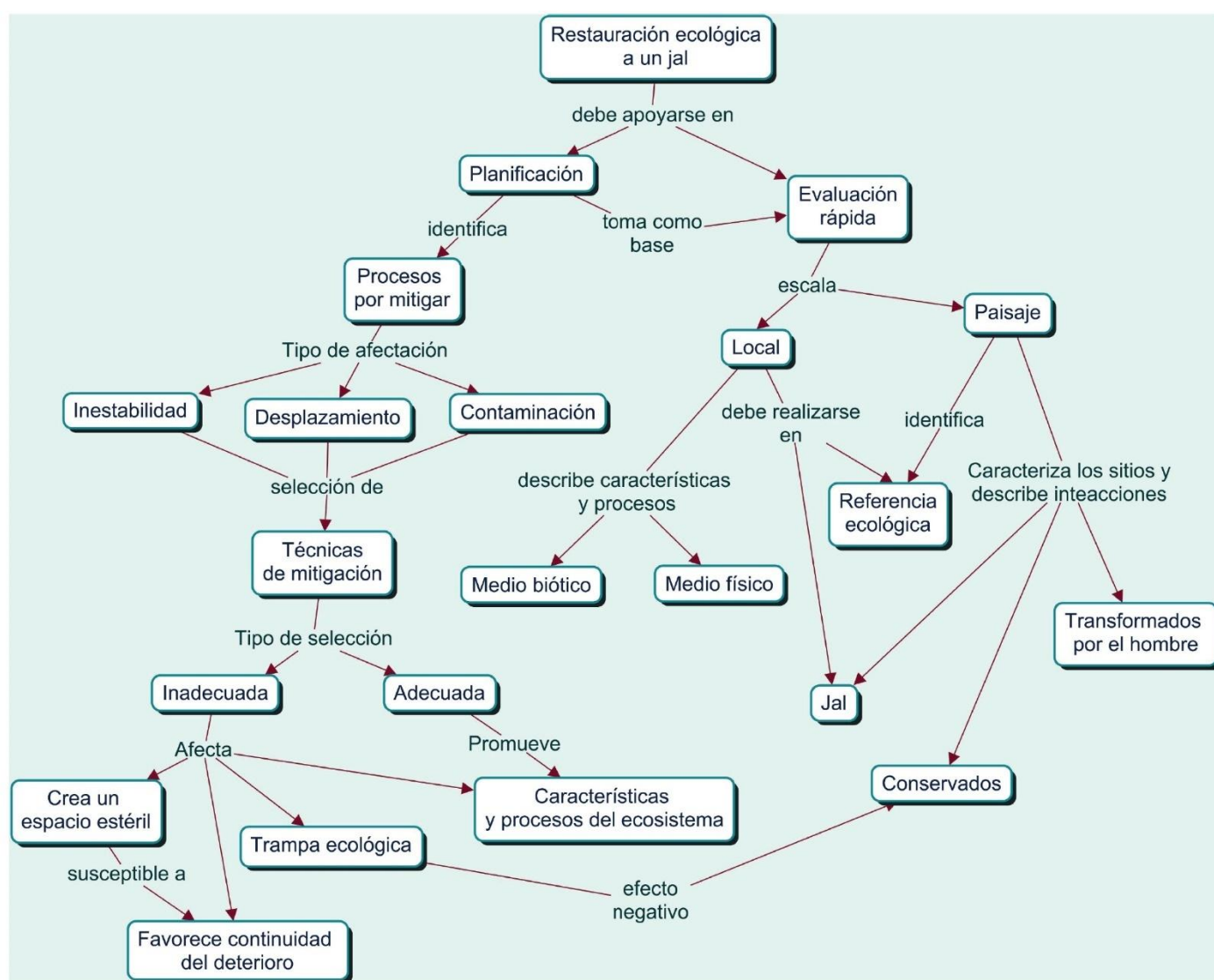


Figura 5: Propuesta metodológica a seguir en la restauración de un jal.

junto con una Evaluación Ecosistémica Rápida (EER) como la descrita por Sayre et al. (2000). Tener una descripción de las características mencionadas permite identificar y predecir los posibles riesgos asociados a los materiales como la erosión, el movimiento por el viento, las sustancias tóxicas o el desplazamiento en masa que puedan relacionarse con su estructura (i.e., riesgos de desplazamiento en masa). Las características relacionadas con la composición de los jales permiten identificar sus propiedades fisicoquímicas y describir la dinámica de las partículas que los componen, medir su toxicidad y describir la interacción que puedan tener con los organismos a nivel superficial y subsuperficial (Wardle, 2010).

En la descripción del tecnosuelo se caracteriza su estructura, lo que puede realizarse mediante la elaboración de un perfil de suelo (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006). Para la descripción del perfil de suelo puede utilizarse el “Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo” de Siebe et al. (2016). Por otro lado, la descripción de los jales como un suelo contaminado considera la identificación de los contaminantes en muestras de los jales a distintas profundidades y sitios sobre el jal; también la evaluación de la dinámica de las sustancias tóxicas que se relaciona con las propiedades de los jales, los contaminantes contenidos en ellos como los metales pesados o las sustancias utilizadas en la recuperación de los metales y la interacción con los procesos ambientales como el viento, los escurrimientos, la sismicidad, entre otros (MacGregor Arroyo, 1992; Nieto Ávila, 1997; Bundschuh et al., 2011; Chávez Ramírez, 2020). Es necesario evaluar la producción de lixiviados tóxicos desde los jales (Lottermoser, 2010; Pozo-Antonio et al., 2014; García Aguirre et al., 2018; Peña-Limón y Paredes-Aguilar, 2019), las características, composición y origen de los materiales (Volke et al., 2005; Meuser, 2013), así como el movimiento que siguen los contaminantes en el medio (i.e. contaminantes contenidos y su posible dispersión en forma de lixiviados (SEMARNAT, 2007, 2010, 2011, 2012, 2016; García Aguirre et al., 2018; Peña-Limón y Paredes-Aguilar, 2019)). Existen distintos métodos para evaluar el riesgo por la toxicidad de los sólidos que pueden ser utilizados para la medición de los contaminantes en suelos, sedimentos, lodos o material biológico. Algunos ejemplos son el caso de los metales pesados que se iden-

tifican por un alto peso atómico, con gravedades específicas más grandes de cinco y especialmente, aquellos tóxicos para los organismos como Cu, Zn, Pb, Cd, Mi, Hg, Cr y los metaloides (As) (Zhang, 2007). En suelos, por ejemplo, se utilizan distintos métodos de fraccionamiento de metales para determinar su concentración mediante la espectrofotometría de absorción atómica (Martínez y Rivero, 2005). En seres humanos, por ejemplo, se puede realizar una evaluación de cambios nucleares en el epitelio bucal mediante un conteo de los núcleos afectados por exposición a metales pesados (Reyna Rosas, 2009). También para los suelos puede utilizarse un análisis multi-elementos para determinar las concentraciones de metales pesados por espectrometría de masas por inducción de plasma, entre otros métodos (Candeias et al., 2014). La caracterización de los jales debe considerar también aspectos como la definición de la magnitud y tipo de contaminación, el muestreo y los análisis fisicoquímicos de las muestras (USEPA, 1991). Dependiendo de las características del jal, de ser posible, resulta importante definir el perfil horizontal y vertical de los contaminantes, esta información resulta crítica para la selección de la tecnología de remediación adecuada (Volke Sepúlveda y Velasco Trejo, 2002). El objetivo de estas descripciones es conocer las propiedades y dinámica de los jales, y elaborar un diagnóstico para identificar las estrategias adecuadas para caracterizar el comportamiento de los contaminantes, antes de considerar las técnicas para la contención de los materiales y remediación de las sustancias tóxicas.

(2) Evaluación Ecosistémica Rápida

La Evaluación Ecosistémica Rápida (EER, o REA, por sus siglas en inglés) tiene como finalidad caracterizar y conocer el estado de conservación del ecosistema (Sayre et al., 2000). La EER se realiza a escala de paisaje (gruesa) (Farina, 2000) y local (fina; Sayre et al., 2000). Es importante que la descripción se realice considerando el espacio antes del depósito de los jales, por lo que algunas veces tendrá que inferirse. Así como realizar una descripción en la actualidad que es después del depósito de jales y los cambios que haya provocado en el espacio ocupado por los mismos en el paisaje, la extensión del depósito, entre otros. Para analizar la interrelación entre el depósito de jales y el paisaje,





deben conocerse las características de la zona previas al depósito de jales, por lo que es importante entender las características morfológicas y los procesos interrumpidos por el depósito de los jales, así como sus interacciones con la hidrología. Esta información deberá incorporarse en la planificación de los trabajos de restauración. La descripción del paisaje incluye también conocer las características morfológicas, hidrológicas (i.e., lomeríos, barrancas, escurrimientos naturales, zonas de inundación), los tipos de suelo, la dirección de los vientos, los tipos de vegetación, entre otros factores del sitio donde se localizan los jales con las de la matriz del paisaje y sus relaciones espaciales (Bailey y Herzog, 2004; Bissonette, 2003; SER, 2019). Además, es importante conocer las interacciones de las comunidades bióticas con las actividades humanas (Valladares et al., 2011). Esta descripción incluye las interacciones a nivel de paisaje y las características y procesos en el sitio, ya que los materiales depositados interactúan con estos componentes a través de procesos naturales o humanos que ocurren en estos sitios (Rivera Castelo, 2009). Al ejecutar la EER a nivel del paisaje se deben identificar los ecosistemas de referencia o sitio de referencia que sirven para plantear una línea base y determinar las condiciones naturales a las que se busca llegar (Clewelly y Aronson, 2013). Es decir, remanentes del ecosistema prístino, que mantengan las características y procesos ecológicos originales que se buscarán recuperar sobre los jales (SER, 2004). Además, la EER hace una valoración en corto tiempo del ecosistema, identificando sus atributos clave, interacciones como competencia y depredación, el establecimiento de especies invasoras, se identifican interacciones importantes entre los organismos como la que ocurre entre los hongos y las plantas (micorrizas), o la que sucede entre las plantas y los animales (herbivoría, frugivoría y granivoría) y que influyen en la dinámica de dispersión o depredación de semillas. Durante esta evaluación ecosistémica es necesario identificar las interacciones directas entre los organismos y los jales, ya que pueden implicar su afectación por los contaminantes contenidos en ellos e introducirlos a la cadena trófica (Baranowska et al., 2005; Tovar-Sánchez et al., 2012; Kiere et al., 2021). La evaluación del ecosistema permite establecer una línea de base para los trabajos de restauración (Bruns y Wiersma, 2004; Riitters y Tkacz, 2004). Este procedimiento puede

combinar el análisis de imágenes de percepción remota, colecciones de datos de campo y visualización de información espacial para planificar las estrategias de restauración (Walls, 1999; Siebe et al., 2016).

El impacto de la minería con la evaluación rápida a nivel de paisaje debe contemplar los cuatro aspectos propuestos por Kussmaul (1989): 1) el tamaño de la explotación, que se refiere a la superficie afectada por la extracción de los minerales y, de las zonas afectadas por actividades asociadas al proceso de transformación de los minerales en la zona, así como por la generación de desechos y de aguas residuales; 2) la localización geográfica del sitio donde se lleva a cabo la explotación; 3) los métodos de explotación, que dependen del tipo de yacimientos a explotar y que están directamente relacionados con la naturaleza y extensión del impacto de los desechos (Cuadro 2) y; 4) las características fisicoquímicas de los minerales extraídos, que pueden ser minerales metálicos, no metálicos o energéticos (INEGI, 2011); así como de las sustancias químicas utilizadas en el beneficio de los minerales, proceso por el que se obtienen los minerales adheridos a la roca (Nieto Ávila, 1997). En la descripción del paisaje es importante identificar las áreas afectadas en el ecosistema tanto por el depósito de los jales como por el arrastre de los materiales para mitigar su desplazamiento (Fig. 3). El conocimiento del arrastre de materiales permite identificar la movilidad de los materiales contaminantes debido a los escurrimientos naturales, pues tiene efectos adversos en ecosistemas aledaños (Saunders et al., 1993; Márquez-Huitzil, 2005). La EER a nivel local y paisajístico son complementarias para entender las interrelaciones del jal con el resto del entorno, así como las características ecológicas de los remanentes del ecosistema original (i.e., ecosistema de referencia).

A una escala local (fina), la EER debe considerar las características físicas, químicas y bióticas del depósito de jales, de los ecosistemas vecinos, zonas vecinas y asentamientos humanos. En cuanto a los jales, como se ha mencionado antes, es importante caracterizar su estructura, y la estabilidad de los materiales, el estado de las presas de jales (si las hay), evidencias de procesos de erosión laminar como surcos, cárcavas o exhumación de raíces, pendiente del terreno y escurrimientos (Rivera Castelo, 2009). La composición química de los jales es importante evaluarla y conviene tomar muestras a diferentes profundidades para ver la distribución



Cuadro 2: Tipos de explotación minera con su descripción y los métodos que involucra. Fuente: López Aburto, 1994.

Tipo de explotación	Método de minado	Descripción	Materiales desechados
Minería superficial	Mina de placeres, tajo abierto (cielo abierto) o "Glory hole"	Excavación a cielo abierto destinada a la explotación de minerales metálicos o no metálicos, donde el mineral de interés está a menos de 160 m de profundidad. El tamaño de los depósitos varía de cientos a más de 100 millones de toneladas	Terreros y presa de jales
Minería subterránea	Rebajes naturalmente soportados Rebajes artificialmente soportados Rebajes de hundimiento Rebajes con métodos combinados	Utilizados para extraer minerales que se encuentran en las profundidades de la superficie de la tierra. Los minerales comunes que se extraen son el oro, el plomo y la plata. Una mina subterránea puede tener una profundidad de 300 m a 3 km	Terreros y presa de jales
Métodos especiales	Minado por soluciones (proceso "Frasch", disolución con agua caliente, lixiviación)	Son métodos especiales de minado subterráneo que emplean técnicas de disolución de los valores contenidos en el yacimiento. Estos métodos son utilizados cuando el mineral a obtener es soluble en algún tipo de medio acuoso	Terreros, lixiviados y presa de jales

de los contaminantes (MINAM, 2014; Montes Rocha, 2016). La presencia de sedimentos en suspensión en el agua o su acumulación cercana a los cauces, estos últimos indicarían el arrastre de los materiales (Gaitán et al., 2017). Tanto en los jales, en el ecosistema de referencia, como en áreas vecinas es necesario conocer la composición de las especies vegetales y animales (Keel et al., 2000), la diversidad biológica, y las principales interacciones entre los organismos (Young et al., 2000). El conocimiento de las interacciones entre especies vegetales establecidas en el jal con especies animales es importante para evaluar la introducción de los contaminantes en la cadena trófica (Skipin et al., 2016; Galván Ramírez, 2020). La evaluación ecológica rápida a escala local debe considerar la identificación de los organismos cuyo ámbito hogareño incluya la interacción con los jales (Esteves Aguilar, 2018; López Michelena, 2021) (Fig. 6). En un momento dado, también podrían ayudar a la colonización del sitio, ya que la visita de animales frugívoros permitirá la llegada de propágulos (de la Peña-Domene et al., 2014).

(3) Planificar los tratamientos para el jal

La planificación es un aspecto fundamental en cada parte de la restauración. Tanto si se trata de la forma del depósito de jales o relaves mineros (Hustrulid et al., 2013; Puell Ortiz,

2017), hasta la aplicación de cada estrategia de mitigación como la remediación, la rehabilitación o la restauración; estas deben ir precedidas de una planificación (Fig. 5). Así mismo, debe existir una planificación de las técnicas de rehabilitación tanto a escala de paisaje (Buczyńska, 2020), como a escala local (Vick, 1990). La planificación permite obtener mejores resultados y realizar una evaluación de riesgo ecológico de la estrategia, antes de aplicarla (Treweek, 1999). Antes de seleccionar una técnica de mitigación en particular es importante realizar una evaluación de su posible impacto ecológico (Mandelik et al., 2005). Dado que algunas estrategias de mitigación involucran organismos vivos, estas pueden tener impactos colaterales no conocidos, como se ha demostrado en otros estudios (Simberloff y Stiling, 1996; Stromberg et al., 2009), además de que existe un porcentaje cercano a 11% del impacto de las especies introducidas sobre los ecosistemas (Simberloff et al., 2013) y, menor aún sobre su papel en la introducción de contaminantes en las cadenas tróficas locales. Cuando las estrategias de mitigación se relacionan con la restauración del ecosistema deben basarse en la guía internacional (Gann et al., 2019), que integra distintas herramientas, escalas e indicadores para la restauración en su planificación (Aguirre-Salado et al., 2017). Dado el amplio espectro de problemáticas a resol-

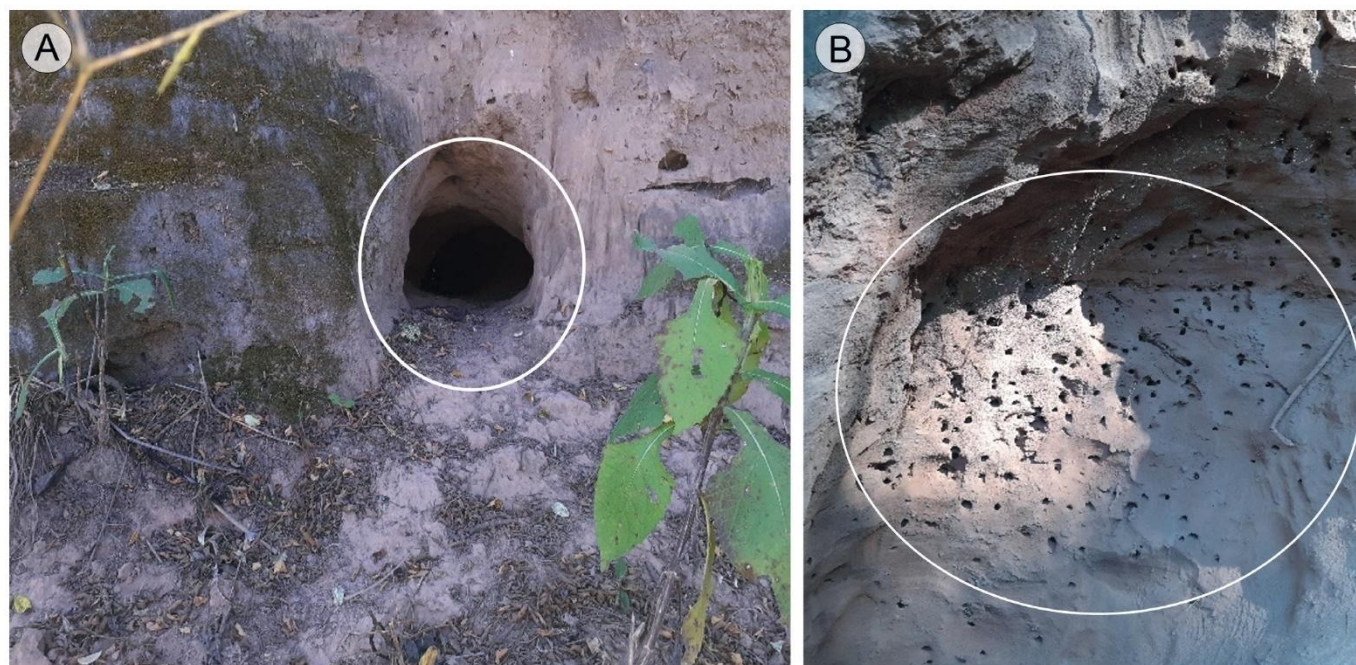


Figura 6: Interacción de algunas especies de fauna con los jales. A. madriguera de un organismo en los jales (círculo blanco) de Huautla, Morelos, México, posiblemente un mamífero; B. grupo de avispas excavando en los materiales del jal (círculo blanco) que, al momento de la foto presentaban un comportamiento errático al excavar (Foto: R. Márquez-Huitzil, 2021).

ver en la restauración ecológica de los depósitos de jales, se debe incluir un grupo multidisciplinario y objetivo para plantear las estrategias adecuadas al intervenirlos, coordinados con un enfoque de restauración del ecosistema (Márquez-Huitzil, 2005; Gann et al., 2019).

La planificación en la propuesta metodológica se sugiere realizarlo apoyado en el diagnóstico previamente descrito. La planificación es utilizada para seleccionar las técnicas de mitigación a ser aplicadas, después de evaluar y descartar cualquier riesgo potencial al ecosistema, sobre todo para aquellas técnicas que carecen de una evaluación de riesgo de impacto ecológico en el corto, mediano o largo plazo, o evitar su uso, en apego al Principio Precautorio (Anglés Hernández, 2018; Anglés Hernández et al., 2021). Después de esta evaluación se planifican las intervenciones y el monitoreo de estas. En base a las características del jal se planifica la reintroducción del componente biótico, el monitoreo de este y, en caso necesario, el manejo de las zonas intervenidas hasta llegar a características semejantes a las del ecosistema de referencia (Márquez-Huitzil, 1999; Gann et al., 2019). En

síntesis, los pasos lógicos en la planificación de un proyecto de restauración de jales serían los siguientes: 1) diagnóstico de la zona afectada, 2) selección y aplicación de estrategias de mitigación sin efectos colaterales a otros componentes del ecosistema (Simberloff y Stiling, 1996; Ewel et al., 1999; Louda y Stiling, 2004; Simberloff, 2012; Simberloff et al., 2013; Dickey et al., 2020), y 3) monitoreo que permite la adecuación de las intervenciones y de los tratamientos hasta lograr la autosuficiencia del ecosistema (SER, 2004, 2019; Márquez-Huitzil, 1999, 2005).

(4) Precauciones previas al uso de organismos o enmiendas de materia orgánica en jales contaminados

En esta metodología se recomienda que antes de implementar una estrategia de remediación o de rehabilitación que implique el uso de organismos vivos o de materia orgánica se evalúe el riesgo de un impacto ecológico (Fig. 5). La evaluación del impacto ecológico busca obtener información confiable y una interpretación de las implicaciones ecológicas de cualquier proyecto desde su inicio, durante su implemen-

tación y, hasta el término de este, ayudando a prevenir impactos negativos al ecosistema (EIANZ, 2015). La evaluación del impacto ecológico permitiría identificar si las técnicas implementadas tendrían efectos colaterales en el ecosistema como la creación de trampas ecológicas (Battin, 2004). Las especies o las enmiendas que sean utilizadas como biorremediadoras o como estabilizadoras de los materiales en los depósitos de jales conllevan distintos riesgos; cualquier especie utilizada como bioacumuladora es susceptible de ser depredada por las especies que se encuentran arriba en la cadena trófica, por tanto, existe un riesgo de que abran el camino a la red trófica (Martínez-Trinidad et al., 2013; Santoyo Martínez, 2016; De la Cruz Guarneros, 2018; Eissa y Negim, 2018; Ali y Khan, 2019; Díaz Alvarado et al., 2020; Muro González, 2020). Las especies también pueden hibridizarse con las especies nativas afectando su capacidad de bioacumulación y, si son depredadas por otras especies, habrá un incremento de EPT hacia arriba de la cadena trófica (Pivet, 2001).

A nivel ecosistémico, el uso de organismos o de enmiendas orgánicas para la remediación o para la estabilización de un sustrato contaminado con metales pesados puede atraer a otras especies, convirtiéndose en trampas ecológicas al resultar atractivo para los organismos (Severns, 2011; Fig. 5). Del mismo modo, independientemente del grupo taxonómico al que pertenezcan y si son especies nativas o exóticas, pueden convertirse en especies invasoras, causando daños ambientales, económicos y a la salud (Pivet, 2001; Levine, 2008; Ehrenfeld, 2010; Olenin et al., 2017). Esta observación también puede aplicarse a la presencia de los jales y a todas las zonas afectadas por la minería que presentan distintos niveles de degradación; así como a un depósito de jales que, por sus características, los materiales que lo forman pueden desplazarse a zonas aledañas, favoreciendo una invasión de estas (Gagnon et al., 2021). En cuanto a la invasión biológica, se debe tener en cuenta que no solo depende de la capacidad de la especie para invadir (invasividad), sino también de la presencia de un ecosistema degradado que puede ser invadido (invasibilidad; Barney y Whitlow, 2008). Por tanto, el uso de especies durante la remediación o la rehabilitación de los jales implica diversos riesgos sobre los jales y en los ecosistemas aledaños, que deberían de ser evaluados antes de introducirlas, ya que son sitios con materiales expuestos que interactúan con el ambiente y los ecosistemas.

Por estos motivos, algunos autores sugieren que los estudios y los proyectos de mitigación deben realizarse con una perspectiva del ecosistema entero y evaluar los impactos colaterales de los tratamientos (Ewel, et al., 1999; Battin, 2004; Amezcua-Allieri y Rodríguez-Vázquez, 2008; Mazej et al., 2010; Ali et al., 2013; Goussen et al., 2016; Dickey et al., 2020; Oreja et al., 2020; Fig. 7). La presencia o ausencia de riesgo para los receptores ecológicos y la biodisponibilidad en un sitio deben ser evaluados cuando se considere utilizar alguna técnica que implique el uso de organismos vivos o de materiales de origen orgánico, aplicando la Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE; Parisien et al., 2016).

En este trabajo se propone que, de acuerdo con el tipo de afectaciones y amenazas que provoca el jal, se seleccionen las técnicas de mitigación más adecuadas, pero apoyados en la ERE, descartando el uso de aquellas técnicas que puedan significar un riesgo de hacer biodisponibles los metales pesados para las especies que interactúen directa o indirectamente con el jal o bien a nivel ecosistémico (Fig. 6). Afortunadamente, existe toda una gama de técnicas de remediación (Volke et al., 2005; Meuser, 2013), y de rehabilitación (Meuser, 2013; Bolan et al., 2018), que pueden seleccionarse al mitigar los jales y que no implican el uso de organismos vivos o de materia orgánica, por lo que las técnicas seleccionadas no deben poner en riesgo los procesos naturales al generar contaminantes secundarios y microorganismos dañinos para el ecosistema (Sarkar et al., 2018; Fig. 7).

(5) Definir los tratamientos

En el caso de la remediación existen distintas alternativas para el manejo de los contaminantes en los jales (Förstner et al., 2002). Estas pueden vincularse con el diseño de estrategias para prevenir el drenaje ácido, planificar su recorrido, o la contención de los materiales (Rivera Castelo, 2009; Pozo-Antonio et al., 2014; Ahumada Mexía, 2017). También es posible el tratamiento *in situ* de sitios contaminados con metales pesados mediante la inmovilización de estos, utilizando métodos físicos o químicos, donde los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos evitando que sean atractivos como alimento para los organismos (Martin y Ruby, 2003; Volke et al., 2005). El uso de algunos tipos de enmiendas, como las zeolitas o los compuestos ricos en fierro se combinan con los metales pesados



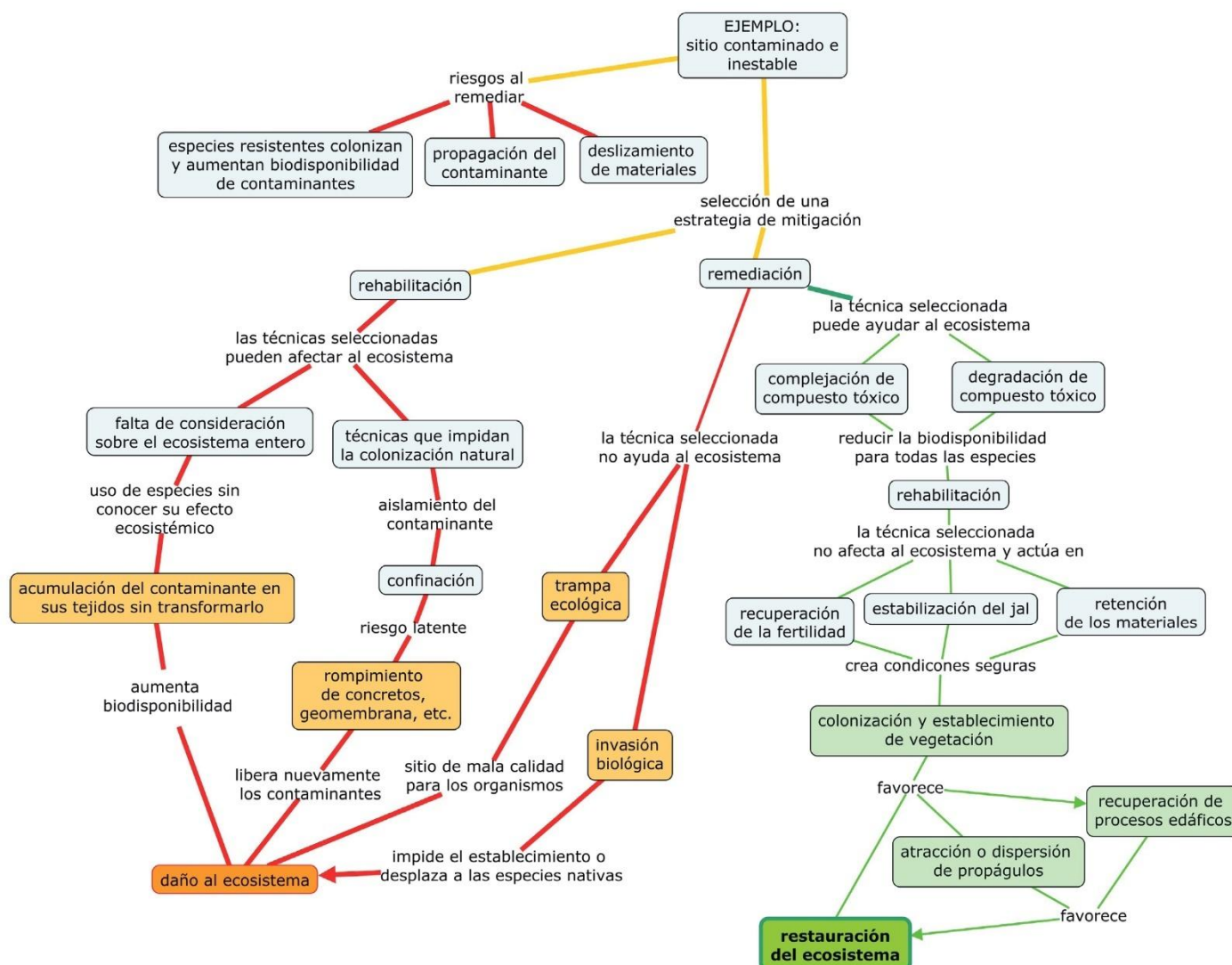


Figura 7: Rutas que pueden seguirse para la mitigación de un jal minero considerando los criterios de una restauración ecológica. Las flechas en amarillo indican las estrategias de mitigación para mitigar un jal contaminado con metales pesados. Las flechas azules indican las técnicas que pueden seguir la remediación y la rehabilitación, así como los caminos que pueden seguir después de aplicarlas. Las flechas rojas indican los efectos negativos que puede tener la selección de algunas técnicas de remediación o de rehabilitación si hacen biodisponibles los metales pesados. Las flechas verdes indican la selección adecuada de una estrategia de mitigación en el camino de una restauración ecológica, eliminando los contaminantes, estabilizando los jales y rehabilitando los suelos, pero sin hacer biodisponibles a los metales pesados. Obsérvese que, el uso de la fitorremediación puede conducir hacia la restauración, si se realiza una Evaluación de Riesgo.

dos, provocando una reacción denominada complejación, transformándolos a formas no biodisponibles (Curi et al., 2006; Gadepalle et al., 2007), resaltando que no todas las enmiendas propician esta complejación. Otras estrategias de remediación utilizadas para remover los metales pesados son: 1) la electroremediación, 2) el lavado de suelos (técnica *ex situ*) y, 3) el uso de compuestos inorgánicos que reduce los impactos sobre la flora y la fauna en el corto o largo plazo (Curi et al., 2006; Lim et al., 2013). En cualquier

caso, cuando se aplique una estrategia de remediación, antes debe realizarse una ERE para evitar posibles efectos colaterales sobre el ecosistema.

Un problema adicional a la toxicidad de los jales es la inestabilidad de los materiales del jal como tecnosuelo. Para lograr este fin, existen distintas técnicas de rehabilitación. Entre las estrategias de estabilización del terreno están: 1) aquellas que consideran la modificación a la estructura del jal, como la creación de terrazas y taludes de

poca inclinación que se ha realizado en algunos sitios afectados por la minería (Márquez-Huitzil, 1999; Rivera Castelo, 2009; Fig. 8A); 2) las relacionadas con el control de los escurrimientos, como la construcción de canales para desagüe (Rivera Castelo, 2009); 3) el control del arrastre de los materiales mediante la construcción de presas, diques o el uso de otros elementos para contener o frenar el movimiento de materiales (Cardoza et al., 2007; Loredó-Ostí et al., 2007; Meza-Figueroa et al., 2009; Fig. 9A-C); 4) el confinamiento de los materiales es otra opción, pero representa un riesgo si las estructuras contenedoras no son herméticas o si sufren un deterioro que las fracture, provocando fugas o creando el riesgo de movimientos en masa (Rivera Castelo, 2009; Garduño Sanabria, 2013; Sánchez-Núñez et al., 2015; Fig. 8B). Otros elementos para prevenir la movilización de los materiales por agua o aire son las geomallas, presas de gaviones, la creación de bordos o zanjas y el uso de acolchados, entre otros (Rivera Castelo, 2009; Gerencia de Restauración Forestal, 2018; Fig. 9). Ahumada Mexía (2017) considera que estos materiales deben ser confinados, aunque esta estrategia no termina con el problema y se corre el riesgo de que los mecanismos

de confinamiento no sean efectivos a largo plazo. En resumen, existe una infinidad de estrategias para estabilizar los jales ante los procesos naturales de arrastre de materiales, los cuales son complementarios al control de su toxicidad y debido a la existencia frecuente de depósitos de jales inestables, pueden utilizarse antes de la remediación.

(6) Aplicación de tratamientos

Para evitar el desplazamiento de los jales, primero podrían estabilizarse los materiales mediante técnicas de rehabilitación, como construcción de presas o modificación a la estructura del sitio. La aplicación de estas estrategias es de acuerdo con el principio nueve planteado por la Sociedad para la Restauración Ecológica que dice que la restauración ecológica es parte de un Continuo de Actividades Restaurativas (Gann et al., 2019). En este caso, las técnicas de remediación se utilizan para controlar la biodisponibilidad de los tóxicos; posteriormente, se incorporan técnicas de rehabilitación de suelos para incrementar su fertilidad y favorecer la colonización por plantas (Fig. 3; Brown et al., 1986; Naidu et al., 2008; Meuser, 2013). La rehabilitación recupera parte del funcionamiento del ecosistema y algunos servicios ecosistémicos.

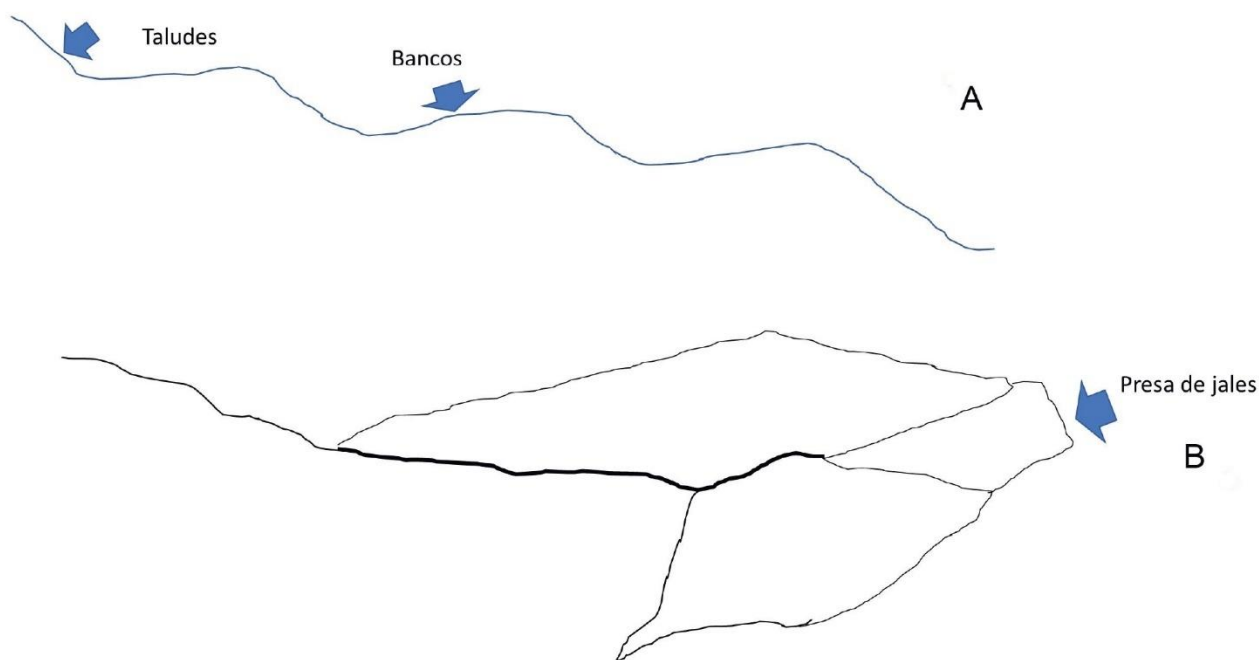


Figura 8: Ejemplo de técnica de estabilización de taludes y de contención. A. diseño en taludes y bancos; B. contención con una presa de jales.



Figura 9: Estrategias para el control del desplazamiento de materiales e infiltración. A. zanjas a contorno; B. presa de gavión; C. presa de geocostales (Fotos: R. Márquez-Huitzil, 2021).

micos (SER, 2019). Incorporada a la restauración ecológica pueden seleccionarse algunas técnicas de estabilización de suelos, control de la erosión, ordenar los escurrimientos y recuperar la productividad de los suelos (Brown et al., 1986). El uso de organismos o de materiales orgánicos se propone que se emplee solo después de comprobar que el sitio no representa un riesgo de convertirse en una trampa ecológica. En cuanto a la vegetación del jal, se propone seleccionar especies vegetales nativas que crezcan y se desarrollen bajo las características fisicoquímicas y mineralógicas de los jales descontaminados, recordando que se trata de un tecnosuelo, donde la textura y propiedades pueden diferir de los suelos originales del sitio donde son depositados (Baghdad et al., 2006; Valdez-Hernández et al., 2019). Adicionalmente, las especies vegetales nativas utilizadas deben encontrarse dentro de su área de distribución natural u original (histórica) y formen parte de las comunidades bióticas naturales del área de acuerdo con su potencial de dispersión natural (CONABIO, 2010).

El diagnóstico ayuda a detectar el grado de estabilidad del sitio, el nivel de toxicidad que presenta, y el movimiento

de los materiales. Esto permite elegir el orden en que las medidas de estabilización, contención o remediación requieren aplicarse (SEMARNAT, 2004, 2011). En este caso se propone que el depósito de jales se maneje como otro componente del ecosistema, buscando que se integre al funcionamiento del paisaje. Esto involucraría manejar la estructura del depósito en equivalencia a una geoforma, considerando su posición en el paisaje, los escurrimientos presentes y canales (si se crearon) para el drenaje que equivaldrían a la hidrología, el tipo de tecnosuelo tratarlo de acuerdo con la forma como se haya rehabilitado y por sus propiedades.

Se sugiere que la rehabilitación para la recuperación de la fertilidad de los suelos se busque después que hayan sido controlados los metales pesados y las sustancias tóxicas y se presenten por debajo de los límites máximos permisibles, para evitar la posibilidad de crear trampas ecológicas. Los organismos del suelo juegan un papel fundamental en la restauración de los ecosistemas afectados por la minería, ya que permiten recuperar la función del suelo o las interacciones bióticas de los organismos (Fragoso y Rojas, 2012; Cross et al., 2020). Una vez que los ja-

les no representan un riesgo para la biota por su toxicidad, recomendamos crear condiciones de fertilidad en ellos, dependiendo de las características edáficas originales y del ecosistema de referencia (p. ej., árido, templado, tropical). El uso de micorrizas, en especial las arbusculares, tiene un efecto importante en el crecimiento de las plantas en sitios en recuperación y también favorecen la retención de las partículas de suelo en ecosistemas desertificados (Álvarez Sánchez, 2009; Palenzuela y Barea, 2009; Carrillo-Saucedo et al., 2022). Si las condiciones originales de la zona presentan suelos fértiles, entonces, mediante técnicas de rehabilitación de suelos pueden modificarse las características superficiales de los materiales e incrementar la fertilidad a través de la introducción de enmiendas (Dafana et al., 2010), o mediante transposición de porciones superficiales de suelos desde sitios remanentes conservados (Ceccon, 2013).

Las estrategias que pueden utilizarse para la recuperación de las comunidades bióticas pueden seguir distintas alternativas. Algunos autores mencionan que existen al menos tres grados de intervención en la restauración (Martínez-Garza et al., 2016; Christmann y Oliveras Menor, 2021): a) intervención mínima, por ejemplo, permitir la regeneración natural o bien excluir el agente que provoca la degradación del sitio; b) nivel intermedio de intervención o regeneración asistida, lo que puede involucrar la siembra directa, la remoción de especies competidoras, intervenciones que involucren el uso de acolchados, o el manejo de especies invasoras y c) máxima intervención o restauración activa como el establecimiento de plantaciones de especies nativas. En los dos últimos niveles puede propiciarse la atracción de fauna, entre la que se encuentran muchas especies dispersoras (Hernández-Galindo, 2016). La adición de composta o materia orgánica, así como el trasplante de suelos, son otras estrategias que pueden implementarse para dirigir la rehabilitación del jal hacia una restauración (Ceccon, 2013). Este tipo de estrategias busca favorecer la colonización de plantas y la llegada de organismos de todos los grupos hacia el jal, incluyendo la microfauna edáfica que interviene en los procesos de formación de suelos, pero resaltamos que deben implementarse en sitios libres de contaminantes. Los acolchados formados con materiales orgánicos es otra estrategia para aumentar la fertilidad

de los materiales ya que mantienen la humedad del suelo y previenen la pérdida de partículas por el desplazamiento provocado por la lluvia o el viento (Barajas, 2007). Adicionalmente, en esta fase, puede aprovecharse el potencial estabilizador de las plantas (Pineda Juárez, 2018). Existen distintas técnicas de rehabilitación de suelos aplicables a los materiales contenidos en los jales que pueden favorecer la colonización de plantas, ya que, finalmente, los jales provienen de la roca madre, parte de la matriz edáfica.

Si no se cuenta con apoyo para los trabajos de restauración, es posible utilizar estrategias para promover la movilización y colonización natural de germoplasma hacia un sitio (Hernández-Galindo, 2016). Para decidir si un sitio tiene las condiciones necesarias para favorecer la intervención mínima de restauración (p. ej., regeneración natural), se puede evaluar el potencial de regeneración natural con variables abióticas (p. ej., suelo, precipitación, temperatura), asociadas al disturbio (p. ej., tamaño, severidad, duración) e incluso sociales (p. ej., índice de desarrollo; Martínez-Garza et al., 2021). Además, paralelo a las plantaciones hay otras estrategias como la formación de grupos de Anderson (Ceccon, 2013), la nucleación (Zahawi et al., 2013), el uso de comunidades sintéticas (Mendoza, 2013), el uso de perchas artificiales (Rubiano Guzmán, 2016), que requieren una menor inversión de tiempo y esfuerzo con buenos resultados, aunque a un mayor plazo, dependiendo de las características ambientales del sitio. El uso de plantas nodrizas favorece el establecimiento de otras plantas nativas (Palenzuela y Barea, 2009), al tiempo que atraen propágulos, insectos, dispersores de semillas y animales insectívoros (Martínez-Garza et al., 2016). En algunos jales puede ocurrir una colonización espontánea de vegetación por lo que conviene monitorearla a lo largo del tiempo y, posiblemente, eliminar a las especies que lo colonicen para evitar el ingreso de los metales pesados a la cadena trófica a través de estas (Santoyo Martínez, 2016; Chen et al., 2019). La restauración ecológica consiste en los trabajos prácticos para recuperar un ecosistema, pero también puede generar conocimiento de la siguiente forma: sistematizando los tratamientos, infiriendo acerca de las causas y efectos del éxito o fracaso de un procedimiento y, considerando las distintas escalas de comunidad, paisaje y ecosistema (Howe y Martínez-Garza, 2014).

(7) Monitoreo

Los trabajos de restauración deben monitorearse considerando algunos criterios: a) el monitoreo debe ser transparente, y una evaluación y un manejo adaptativo son componentes integrales que pueden utilizarse de forma complementaria entre sí, durante el proceso de restauración; b) esta evaluación debe apoyar metas flexibles, que, más que ser objetivos estáticos de la restauración del ecosistema, podrían modificarse de acuerdo con las condiciones que se van generando; c) un monitoreo efectivo y una adecuada evaluación requieren de una línea base para determinar el progreso de las acciones y tratamientos; d) los criterios de seguimiento dependen del contexto, particularmente cuando se considera todo el espectro de ecosistemas (Science Task Force for the UN Decade on Ecosystem Restoration, 2021). Cualquier estrategia utilizada en el continuo restaurativo requiere de un monitoreo constante, ya que podría requerir de un manejo de modo iterativo. En el caso de la restauración, el seguimiento del área intervenida es necesario hasta lograr la autosuficiencia del ecosistema (Márquez Huitzil, 1999; Gann et al., 2019). El monitoreo es indispensable para prevenir cambios en la toxicidad potencial del suelo (Oreja et al., 2020). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Science Task Force for the UN Decade on Ecosystem Restoration, 2021) resalta algunos criterios importantes para tomar en cuenta durante el monitoreo de los proyectos de restauración. La falta de monitoreo y la investigación posterior a la restauración han significado pocas oportunidades para mejorar la teoría y la práctica de la restauración ecológica en la minería (Cooke y Johnson, 2002). El monitoreo de las zonas rehabilitadas tiene varias ventajas (Turrión et al., 2021): i) permite evaluar la efectividad de las técnicas implementadas; ii) facilita detectar estados críticos que pueden comprometer el éxito en la restauración y, establecer medidas correctivas de ser necesario; iii) cuantifica objetivamente la recuperación de los servicios ecosistémicos al área restaurada. Cualquier método utilizado requiere de un seguimiento y un mantenimiento adecuado a largo plazo para garantizar su rendimiento (Xiong, et al., 2018). El monitoreo de la restauración debe contrastarse con metas y objetivos claros, mediante el uso de indicadores medibles (Gann et al., 2019). En otros sitios afectados por la minería, se ha observado que es ne-

cesario establecer un sistema efectivo de monitoreo que permita conocer el estado y las tendencias de los indicadores seleccionados y ayude a identificar la necesidad de realizar acciones y modificaciones en los trabajos de restauración (Turrión et al., 2021).

Dentro de las metas para la restauración de los jales proponemos un seguimiento de la presencia de EPT (Elementos Potencialmente Tóxicos), de la estabilidad y del desplazamiento de los materiales. En el caso de los EPT, proponemos que se midan tanto en los materiales como en las plantas que se establezcan en el sitio (Hernández-Acosta et al., 2009), aún después de remediar los jales, ya que las plantas, a través de su sistema radicular, podrían acceder a contaminantes de las partes profundas del jal y son un eslabón con otros organismos en la cadena trófica (Rebollo-Salinas, 2019). El transporte de los EPT desde los jales hacia su vecindad es otro aspecto de importancia que se tiene que monitorear, sobre todo en jales que se encuentren en climas que favorecen su dispersión por viento o por agua (Corrales-Pérez y Romero, 2013; Esteller et al., 2015; Kiere et al., 2021). Eventualmente los EPT ocasionan daños a los ecosistemas desde el momento en que los jales son depositados (Dávila Luna et al., 2018). Del mismo modo, es importante dar seguimiento a la estabilidad de los materiales. Un análisis de los accidentes en minas a cielo abierto ha revelado que las fallas en taludes y tiraderos presentan una tendencia a la alza (Chaulya y Prasad, 2016). Para el monitoreo de la estabilidad pueden aplicarse metodologías que predicen la vulnerabilidad a los movimientos de ladera en función del tipo de materiales, la pendiente y la precipitación, entre otros factores (Alcántara Ayala, 2000; Garduño Sanabria, 2013; Chaulya y Prasad, 2016). Del mismo modo es importante dar seguimiento al monitoreo de la estabilidad de los materiales y ante procesos graduales de erosión (RUSLE, por sus siglas en inglés). En este caso particular se puede emplear el indicador de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo para que calcule la pérdida de suelo de manera directa (FAO, 2019), o también puede calcularse mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (Kim et al., 2012; Suh et al., 2017). Por estos motivos, es necesario desarrollar estrategias para identificar aquellos sitios que representen un peligro por la dispersión de los contaminantes desde los jales hacia el ambiente y

desarrollar estrategias para evaluar su riesgo (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006), así como por la inestabilidad de los propios depósitos de jales.

En cuanto a los objetivos de la restauración del ecosistema, los indicadores seleccionados deben considerar a los distintos grupos de organismos en la recuperación del ecosistema (Fragoso y Rojas, 2012). Realizar un seguimiento a la sucesión ecológica y la recuperación de la biodiversidad resulta indispensable, pues es la meta final de la restauración ecológica, ya que los jales, al encontrarse en una matriz de interacciones ambientales e interactuar con distintas especies en el paisaje, pueden seguir distintas rutas durante la sucesión (Hustrulid et al., 2013; Parraga-Aguado et al., 2013). Por otro lado, en la restauración, el objetivo es recuperar un ecosistema semejante al original (Bradshaw, 1983; Jordan III et al., 1987; Gann et al., 2019). Para dirigir el proceso de sucesión en los jales se recomienda el monitoreo del ecosistema de referencia o modelo y que, de ser necesario, el proceso de restauración sea un proceso iterativo de corrección continua. Después de la remediación y la rehabilitación es conveniente monitorear la vegetación en los jales, independientemente de su origen (i.e., plantada o reclutada naturalmente). Para ello es importante identificar el origen de la especie (nativa o exótica), su sobrevivencia, síndrome de dispersión, tipo de frutos (Bejarano-Castillo y Guevara, 2008) y propagación en el área, lo que permitirá hacer predicciones sobre la recuperación natural y eliminar a la vegetación potencialmente invasora o a la exótica del sitio (Márquez Huitzil, 1999; Castillo-Campos y Juárez, 2012). En este caso, el uso de cuadros permanentes de muestreo para vegetación puede ser de gran utilidad (Márquez Huitzil, 1999; Gallaga y Juárez, 2012). El monitoreo de la vegetación también debe hacerse en el ecosistema de referencia y en un área degradada no intervenida, para observar la recuperación en la estructura y composición florística en los jales (Márquez Huitzil, 1999; Castillo-Campos y Juárez, 2012; Gann et al., 2019). Para evaluar el progreso en la recuperación de la estructura de la comunidad, se puede utilizar el Índice de Similitud de Jaccard que ya ha sido utilizado para dar seguimiento a la revegetación de minas de roca caliza y a otros estudios de restauración (Márquez Huitzil, 1999; Smith-Ramírez et al., 2011; Castillo-Campos y Juárez, 2012; López-Barrera et al., 2016). Los muestreos

periódicos de especies son un factor de gran importancia para determinar la presencia de especies nativas y eliminar a las invasoras, por lo que se debe identificar, contar y medir sistemáticamente a la vegetación presente comparando con la referencia ecológica, evitando también que la sucesión tome un camino distinto a esta (Márquez Huitzil, 1999; Gallaga y Juárez, 2012; Turrión et al., 2021; Science Task Force for the UN Decade on Ecosystem Restoration, 2021). Además, se debe registrar la sobrevivencia, el diámetro y la altura durante al menos los primeros dos años, ya que estas mediciones pueden predecir el desempeño a mediano plazo (Martínez-Garza et al., 2016). Los monitoreos deben registrar la estructura, el comportamiento y el papel ecológico de las distintas especies que colonicen el sitio, así como el retorno de comunidades faunísticas funcionales, resilientes y biodiversas relacionadas con los paisajes restaurados después de la minería y su seguimiento debe ampliarse hacia un examen holístico (Cross et al., 2021).

Discusión

La problemática ambiental y los impactos a los ecosistemas por las actividades humanas resultan ser factores mucho más complejos y variados que las soluciones planteadas y ampliamente difundidas (Bourgeron et al., 2018). En la literatura referente a problemas ambientales se encuentran gran cantidad de propuestas para resolverlos, pero la gran mayoría lo reducen a una sola solución, sin considerar al ecosistema como un sistema complejo en el que se aplicarán dichas soluciones, como en el caso de la contaminación o de las especies invasoras; esto provoca que no haya una evaluación de los efectos colaterales que la propia solución podría tener sobre otros componentes de los ecosistemas (Louda et al., 2003; Louda y Stiling, 2004; Zaller y Brühl, 2019). Las soluciones planteadas muchas veces no resuelven completamente el problema porque no se abarca la problemática de forma integral (Simberloff y Stiling, 1996; Stromberg et al., 2009; Goussen et al., 2016; Gann et al., 2019). Tomando como base el modelo de Bradshaw (1983) y los principios de Gann et al. (2019), la aplicación aislada de una estrategia de remediación o de rehabilitación sin buscar la estructura y funcionalidad originales del ecosistema, puede impedir lograr su restauración y llevar al sistema en sentido opuesto.



Goussen et al. (2016) resaltan que la mayoría de los estudios y proyectos relacionados con el ambiente se limitan a reducir los problemas a unas cuantas causas de esta compleja problemática y sus efectos sobre el ecosistema. En el caso de los jales mineros, la mayor parte atiende solo a la contaminación producida por estos (Pérez et al., 2021), y la solución, por lo regular, se enfoca al uso de la biorremediación por ser la estrategia de menor costo y que requiere menor esfuerzo en su implementación (Lasat, 1999; Mench et al., 2010; Parraga-Aguado et al., 2013; Tózsér et al., 2017; Chen et al., 2019). Resulta preocupante que algunos investigadores sugieran que “Latinoamérica al ser tan diversa tiene un gran potencial para utilizar las especies como bioacumuladoras” (Guerra Sierra et al., 2021). No obstante, como se mencionó anteriormente, no se estudian las interacciones del propio tratamiento sobre otros componentes del ecosistema (van Riper III et al., 2008). En esta revisión se resalta que tanto el depósito de jales mineros como la creación de minas a cielo abierto provocan una problemática compleja por la interacción de esos materiales con todos los fenómenos naturales y las variadas interacciones dentro de los ecosistemas. Como se expuso, las soluciones sencillas a problemas complejos no son la mejor opción para recuperar o crear condiciones semejantes a los ecosistemas que se formaron en miles de años y pueden generarse nuevos problemas. La metodología propuesta en esta revisión es integrar distintas técnicas y procedimientos de diversos autores. Se enfatiza, por una parte, la importancia del orden y la selección de las estrategias para planificar el trabajo de restauración de los jales. Tanto al seleccionar las técnicas de remediación y rehabilitación como al momento de aplicarlas no debe existir un riesgo de biodisponibilidad para los organismos nativos, ni deben crearse trampas ecológicas con otros niveles de impacto ecológico, exponiendo los motivos en el documento. Por otra parte, un enfoque de restauración ecológica tendría como meta que los sitios ocupados por el depósito de jales se integren al ecosistema ofreciendo hábitats de calidad para la flora y la fauna y que, además, aporten servicios ecosistémicos para todas las especies, incluido el ser humano.

Implicaciones

La mitigación con una orientación a la restauración ecológica de los impactos provocados por los jales mineros, permitiría

integrarlos en el paisaje como parte del ecosistema una vez controlados los elementos tóxicos. Existen numerosos trabajos enfocados solo al uso de especies vegetales tolerantes a concentraciones altas de contaminantes o de enmiendas en minas y jales con especies que pueden extraer o acumular metales pesados, pero que no consideran el impacto sobre otros organismos (Hossner y Hons, 1992; González-Chávez, 2005; Dafana et al., 2010; Lottermoser, 2010; Ortega-Larrocce et al., 2010; Kabas et al., 2011; Nyakudya et al., 2011; Parraga-Aguado et al., 2013; Al-Lami et al., 2019; Oreja et al., 2020; Santoyo-Martínez et al., 2020). En ambos casos, pocas veces se considera el efecto de las plantas sobre la biota nativa de la zona o sobre las especies domesticadas por el hombre que pudieran visitar los jales (Ali et al., 2013; Sánchez-López et al., 2015; Rebollo-Salinas, 2019; Oreja et al., 2020). Por otra parte, distintos estudios han resaltado la importancia de no establecer relaciones uno a uno en la resolución de los problemas ambientales, sino considerar los distintos factores medioambientales involucrados al interactuar con los ecosistemas (Graf et al., 2002; Louda y Stiling, 2004; Stromberg et al., 2009). La falta de estudios que den una continuidad a los tratamientos de mitigación, y/o evalúen sus efectos colaterales, deja abierta la posibilidad de que las especies utilizadas solo para remediar o solo para rehabilitar, sin un control posterior, favorezcan la creación de trampas ecológicas, afectando a otras especies.

Conclusiones

La resolución de los problemas generados por los jales debe tener un enfoque multifactorial y multivariado, en donde se involucren todas las interacciones posibles entre los factores. Como esto es poco factible en la realidad, entonces hay que seleccionar los tratamientos que conlleven el menor riesgo posible. La presente propuesta ofrece alternativas para sitios afectados por la minería y actividades involucradas en la misma, pero no significa que sea la solución para los casos presentados en las distintas condiciones donde existen jales mineros, o para cualquier tipo de impactos mineros o un pretexto para justificar una “minería sustentable”, porque, en la actualidad, ya no la hay. Esta propuesta incorpora parte de las alternativas que pueden seguirse en la búsqueda de mitigar los impactos provocadas por una minería mal regulada jurídica y técnicamente





deficiente en el aspecto ambiental, pues un ecosistema restaurado nunca será igual al ecosistema original. Existen pocos estudios, pero no por eso despreciables, de cómo una solución para un problema ambiental puede conllevar efectos ecosistémicos colaterales si no se incorpora un mayor número de variables al estudio. Con base en los impactos anteriormente descritos, los aspectos que cubre cada estrategia de mitigación y un trabajo de análisis y síntesis sobre los impactos colaterales que puede tener la selección de una estrategia inadecuada, como ha ocurrido en otros campos de la investigación que utilizan organismos vivos para resolver problemas ambientales generados por las actividades humanas (Louda et al., 2003; Louda y Stiling, 2004; Stromberg et al., 2009), se propone que las estrategias de mitigación se enfoquen a 1) la remediación de los metales pesados o elementos potencialmente tóxicos en los jales, 2) la estabilización de los depósitos en los jales, 3) la rehabilitación de los materiales (jales) que sean tratados como suelos, y 4) la colonización y sucesión por plantas nativas. Restaurar un ecosistema no garantiza que los procesos dentro del mismo se mantendrán en el largo plazo sin retroceso y, mucho menos, si se toman en cuenta los grandes cambios que sufre el planeta por los impactos de las actividades humanas a distintas escalas (i.e., cambio climático, la urbanización acelerada, la minería, entre otros; Özyavuz, 2012; Dawoudian, 2021; Wang et al., 2021). Por lo que recomendamos evitar el uso de organismos o materiales orgánicos hasta remediar los contaminantes, evitando crear trampas ecológicas. Proponemos una metodología para lograr estos objetivos. Así como realizar el monitoreo de los metales pesados y del restablecimiento de la comunidad vegetal en los jales a lo largo de toda la mitigación. El potencial de restauración ecológica nunca debe invocarse como una justificación para destruir o dañar a los ecosistemas nativos existentes o para el uso insostenible de los recursos naturales (SER, 2019).

Contribución de autores

RMH propuso la idea del contenido original, diseño del artículo, compilación de información, escritura, preparación del primer manuscrito y correcciones del documento. CMG y MOB realizaron la revisión crítica del manuscrito original, modificaciones a la estructura, redacción, conte-

nido, aportación de información para enriquecer el contenido y correcciones del documento.

Financiamiento

RMH agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca número 778992, para realizar estudios de Doctorado.

Agradecimientos

RMH agradece al CONACyT y al Doctorado en Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) y a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por facilitar el acceso a gran parte de la literatura para este trabajo, a Lynna Kiere por compartir su preocupación sobre las trampas ecológicas creadas con la fitorremediación en los jales de Huautla, Morelos; a Meztli Méndez Méndez por el apoyo en las correcciones y aclaración de ideas en el artículo; al grupo de Editores de la revista Acta Botánica Mexicana cuya paciencia en la revisión y valiosas recomendaciones ayudaron a mejorar significativamente el presente escrito; a Sergio Guevara Sada por permitirle el asesoramiento en los inicios de la Restauración en la cantera Cuautlapan de APASCO (HOLCIM®) que creó en RHM la inquietud por esta área.

Literatura citada

- Aguirre-Salado, C. A., L. Miranda-Aragón, M. Pompa-García, H. Reyes-Hernández, C. Soubervielle-Montalvo, J. A. Flores-Cano y H. Méndez-Cortés. 2017. Improving Identification of Areas for Ecological Restoration for Conservation by Integrating USLE and MCDA in a GIS-Environment: A Pilot Study in a Priority Region Northern Mexico. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6(9): 262. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi6090262>
- Ahumada Mexía, R. 2017. Identificación de residuos tóxicos mineros por percepción remota y su verificación geoquímica en El Triunfo (BCS): propuesta metodológica para priorizar acciones de restauración. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 71 pp.
- Al-Lami, M. K., N. Oustriere, E. Gonzales y J. G. Burken. 2019. Amendment-assisted revegetation of mine tailings: improvement of tailings quality and biomass production.





- International Journal of Phytoremediation 21(5): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1537249>
- Alcántara Ayala, I. 2000. Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Investigaciones Geográficas 41: 7-25. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.59101>
- Ali, H. y E. Khan. 2019. Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of nonessential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs-Concepts and implications for wildlife and human health. Human and Ecological Risk Assessment 25(6): 1353-1376. DOI: <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1469398>
- Ali, H., E. Khan y M. A. Sajad. 2013. Phytoremediation of heavy metals- concepts and applications. Chemosphere 91(7): 869-881. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Álvarez Sánchez, F. J. (ed.). 2009. Ecología de micorrizas arbusculares y restauración de ecosistemas. Las Prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 361 pp.
- Ambrocio Rosales, E. L. 2017. Uso de residuos mineros como relleno en minas subterráneas y criterios para un marco regulatorio. Tesis de Ingeniería de Minas y Metalurgista. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 96 pp.
- Amezcuza-Allieri, M. y R. Rodríguez-Vázquez. 2008. Impact on metal bioavailability and plant uptake during the bioremediation of a phenanthrene-contaminated soil. Terra Latinoamericana 26(4): 351-359.
- Anglés Hernández, M. 2018. El principio precautorio en México; plaguicidas, medio ambiente y salud. In: Chan, S., F. Ibarra Palafox y M. J. Medina Arellano (coords.). Bioética y Bioderecho. Reflexiones clásicas y nuevos desafíos. Universidad Nacional Autónoma de México - Instituto de Investigaciones Jurídicas. Cd. Mx., México. Pp. 439-459.
- Anglés Hernández, M., M. Rovalo Otero y M. Tejado Gallegos. 2021. Manual de Derecho Ambiental Mexicano. Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 235 pp.
- Annable, M. D., M. Teodorescu, P. Hlavinek y L. Diels (eds.). 2020. Methods and Techniques for Cleaning-up Contaminated Sites. NATO Science for Peace and Security Programme. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 196 pp. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6875-1>
- Armendáriz, E. J. 2016. Áreas Naturales Protegidas y Minería en México: Perspectivas y Recomendaciones. Tesis de doctorado en ciencias (orientación ecología). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California, México. 165 pp.
- Azamar Alonso, A., L. Merino Pérez, C. Navarro González y J. Peláez Padilla. 2021. Así se ve la minería en México. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Desarrollo Institucional, Universidad Iberoamericana, Fundación Heinrich Böll. Cd. Mx., México. 113 pp.
- Baghdad, B., M. Naimi, A. Bouabdli, P. Sonnet y S. Lutts. 2006. Heavy metals in tailings, soils and vegetation of an abandoned lead mine land in Morocco. Ecologia Mediterranea 32: 85-91. DOI: <https://doi.org/10.3406/ecmed.2006.1421>
- Bailey, D. y F. Herzog. 2004. Landscape Monitoring. In: Wiersma, G. B. (ed.). Environmental Monitoring. CRC Press. Boca Raton, USA. Pp. 307-335. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203495476>
- Barajas, G. 2007. Estrategias de reforestación en selvas bajas caducifolias: Influencia del uso de acolchados en el establecimiento, sobrevivencia y crecimiento de plantas de especies nativas. Tesis de Doctorado en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 97 pp.
- Baranowska, I., H. Barchańska y A. Pyrsz. 2005. Distribution of pesticides and heavy metals in trophic chain. Chemosphere 60: 1590-1599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.02.053>
- Barney, J. N. y T. H. Whitlow. 2008. A unifying framework for biological invasions: the state factor model. Biological Invasions 10: 259-272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9127-8>
- Battin, J. 2004. When good animals love bad habitats: ecological traps and the conservation of animal populations. Conservation Biology 18: 1482-1491. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00417.x>
- Begon, M., C. R. Townsend y J. L. Harper. 2005. Ecology: From Individuals to Ecosystems, 4th Edition. Wiley-Blackwell. Oxford, UK. 750 pp.
- Bejarano-Castillo, M. y S. Guevara. 2008. Algunos atributos de los árboles que atraen frugívoros a los potreros. Cuadernos de Biodiversidad 27. Universidad de Alicante. Alicante, España. Pp. 3-10. DOI: <https://doi.org/10.14198/cdbio.2008.27.01>



- Bissonette, J. A. 2003. Linking landscape patterns to biological reality. In: Bissonette, J. A. e I. Storch (eds.). Landscape Ecology and Resource Management. Linking Theory with Practice. Island Press. Washington D.C., USA. Pp. 15-34.
- Bolan, N. S., M. B. Kirkham y Y. S. Ok (eds.). 2018. Spoil to soil mine site rehabilitation and revegetation. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, USA. 371 pp. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781351247337>
- Bourgeron, P., A. Kliskey, L. Alessa, H. Loescher, K. Krauze, A. Virapongse y D. L. Griffith. 2018. Understanding large-scale, complex, human-environmental processes: a framework for social-ecological observatories. *Frontiers in Ecology and the Environment*, Special Issue Social-ecological systems in mountain landscapes 16(S1): S52-S66. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.1797>
- Bradshaw, A. D. 1983. The Reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20(1):1-17.
- Bradshaw, A. D. y M. J. Chadwick. 1980. The Restoration of Land. Blackwell Scientific Publications. Boston, USA. 317 pp. DOI: <https://doi.org/10.1177/030913338200600314>
- Brown, D., R. G. Hallman, Ch. R. Lee, J. G. Skogerboe, K. Eskew, R. A. Price, N. R. Page, M. Clar, R. Kort y H. Hopkins. 1986. Reclamation and vegetative restoration of problem soils and disturbed land. Pollution technology review No. 139. Parks and Wildlife Division Department of Environment and Climate Change. New Jersey, USA. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq1987.00472425001600040029x>
- Bruns, D. A. y G. B. Wiersma. 2004. Conceptual basis of environmental monitoring systems: A Geospatial Perspective. In: Wiersma, G. B. (ed.). Environmental Monitoring. CRC PRESS. Boca Raton, USA. 35 pp. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203495476>
- Buczyńska, A. 2020. Remote sensing and GIS technologies in land reclamation and landscape planning processes on post-mining areas in the Polish and world literature. AIP Conference Proceedings 2209(1): 040002. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0000009>
- Bundschuh, J., M. I. Litter, F. Parvez, G. Román-Ross, H. B. Nicolli, J. Jiin-Shuh, L. Chen-Wuing, D. López, M. A. Armienta, L. R. G. Guilherme, A. Gomez Cuevas, L. Cornejo, L. Cumbal y R. Toujaguez. 2011. One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries. *Science of the Total Environment* 429: 2-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.024>
- Camarillo Reyes, A. S. 2014. Tolerancia a metales pesados y oxianiones de plantas que crecen en suelo contaminado con jales en Zimapán, Hidalgo. Proyecto de Integración en Ingeniería Ambiental, División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma Metropolitana. Cd. Mx. México. 63 pp.
- Candeias, C., E. Ferreira da Silva, P. F. Ávila y J. P. Teixeira. 2014. Identifying sources and assessing potential risk of exposure to heavy metals and hazardous materials in mining areas: The case study of Panasqueira Mine (Central Portugal) as an example. *Geosciences* 4: 240-268. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences4040240>
- Cárdenas, J. 2013. La minería en México: despojo a la nación. *Revista Mexicana de Derecho Constitucional* 28: 35-74. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1405-9193\(13\)71275-7](https://doi.org/10.1016/S1405-9193(13)71275-7)
- Cardoza, R., L. Cuevas, J. S. García, J. A. Guerrero, J. C. Gonzalez, H. Hernández, M. L. Lira, J. L. Nieves, D. Tejeda y C. M. Vázquez. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Zapopan, México.
- Carrillo-Saucedo, S. M., J. Puente-Rivera, S. Montes-Recinas y R. Cruz-Ortega. 2022. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana* 129: e1932. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Castañeda-Bautista, J. A. 2016. Estudio ecotoxicológico de los jales mineros de Huautla, Morelos: El caso de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Beth. (Fabaceae). Tesis de maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 73 pp.
- Castillo-Campos, G. y B. Juárez. 2012. Capítulo 4: La vegetación y su potencial en la rehabilitación ecológica en minas a cielo abierto en Orizaba, Veracruz. In: Fragoso, C. y P. Rojas Fernández (eds.). Monitoreo Ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz. Instituto de Ecología, A.C.- Cementos HOLCIM APASCO. Xalapa, México. Pp. 91-118.
- Ceccon, E. 2013. Restauración en bosques tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Ediciones Díaz de Santos. México, D.F., México. 289 pp.
- Cervantes-Ramírez, L. T., M. Ramírez-López, P. Mussali-Galante, M. L. Ortiz-Hernández, E. Sánchez-Salinas y E. Tovar-Sánchez. 2018. Heavy metal biomagnification and genotoxic damage in two trophic levels exposed to mine tailings: a network



- theory approach. *Revista Chilena de Historia Natural* 91: 6. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40693-018-0076-7>
- Chaulya, S. y G. M. Prasad. 2016. Sensing and monitoring technologies for mines and hazardous areas. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 432 pp. DOI: <https://doi.org/10.1016/c2014-0-02742-6>
- Chávez Ramírez, E. A. 2020. Análisis Ecotoxicológico de Comunidades de anuros que habitan en áreas cercanas a un jal minero en Sierra de Huautla. Maestro en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 81 pp.
- Chazdon, R. L. y M. Uriarte. 2016. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. *Biotropica* 48(6): 709-715. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12409>
- Chen, F., Y. Yang, J. Mi, R. Liu, H. Hou y S. Zhang. 2019. Effects of vegetation pattern and spontaneous succession on remediation of potential toxic metal-polluted soil in mine dumps. *Sustainability* 11(2): 397. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11020397>
- Christmann, T. e I. Oliveras Menor. 2021. A synthesis and future research directions for tropical mountain ecosystem restoration. *Nature, Scientific Reports* 11: 23948. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03205-y>
- Clewell, A. F. y J. Aronson. 2013. Restauración ecológica: principios, valores y estructura de una profesión emergente. Island Press. Washington, DC, EUA. 587 pp. DOI: <https://doi.org/10.5822/978-1-59726-323-8>
- CONABIO. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F., México. 91 pp.
- Cooke, J. A. y M. S. Johnson. 2002. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice. *Environmental Reviews* 10(1): 41-71. DOI: <https://doi.org/10.1139/A01-014>
- Corder, G. D. 2006. Chapter 16. Tailings disposal. In: Napier-Munn, T. (ed.). *Wills' Mineral Processing Technology*. Butterworth-Heinemann. Oxford, UK. Pp. 400-408.
- Cornwall, A. y R. Jewkes. 1995. What is participatory research? *Social Science & Medicine* 41(12): 1667-1676. DOI: [https://doi.org/10.1016/0277-9536\(95\)00127-S](https://doi.org/10.1016/0277-9536(95)00127-S)
- Corrales-Pérez, D. y F. M. Romero. 2013. Evaluación de la peligrosidad de jales de zonas mineras de Nicaragua y México y alternativas de solución. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 65(3): 427-446. DOI: <https://doi.org/10.18268/BSGM2013v65n3a1>
- Cross, S. L., P. W. Bateman y A. T. Cross. 2020. Restoration goals: Why are fauna still overlooked in the process of recovering functioning ecosystems and what can be done about it? *Ecological Management & Restoration* 21(1): 4-8. DOI: <https://doi.org/10.1111/emr.12393>
- Cross, S. L., H. S. Bradley, E. P. Tudor, M. D. Craig, S. Tomlinson, M. J. Bamford, P. W. Bateman y A. T. Cross. 2021. A life-of-mine approach to fauna monitoring is critical for recovering functional ecosystems to restored landscapes. *Restoration Ecology* 30(S1): e1540. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13540>
- Cruz Ruiz, E. 2017. Efecto del encalado, abonado y fertilización de jales mineros ácidos sobre la biodisponibilidad química y bioacumulación de Cu, Cd, Pd y Zn en *Festuca arundinacea*. Tesis de maestría en ciencias de la Tierra. Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 97 pp.
- Curi, A., W. J. V. Granda, H. M. Lima y W. T. Sousa. 2006. Las zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes mineros. *Información Tecnológica* 17(6): 111-118. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000600017>
- Dafana, M., I. W. Nyakudya, C. A. T. Katsvanga y L. Jimu. 2010. Comparative analysis of the early growth performance of indigenous acacia species in Revegetating trojan nickel mine tailings in Zimbabwe. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 9(8): 1393-1403.
- Dávila Luna, J., R. E. Díaz Caravantes, L. A. Navarro Navarro y E. Romeo Méndez. 2018. Las presas de jales en el noroeste del estado de Sonora: una aproximación geográfica mediante percepción remota. *Investigaciones Geográficas* 97: 1-18. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.59624>
- Dawoudian, J., S. Bahamin y H. Bikwibili Tantoh. 2021. Environmental impact assessment of cement industries using mathematical matrix method: case of Ghayen cement, South Khorasan, Iran. *Environmental Science and Pollution*





- Research 28: 22348-22358. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12012-3>
- De la Cruz Guarneros, N. 2018. Efecto de la bioacumulación de metales en la población de *Liomys irroratus* (Gray 1868) que habita los jales de Huautla, Morelos: un enfoque multibiomarcadores. Centro de Investigaciones en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 67 pp.
- de la Peña-Domene, M., C. Martínez-Garza, S. Palmas-Pérez, E. Rivas-Alonso y H. F. Howe. 2014. Roles of birds and bats in early tropical-forest restoration. PLoS ONE 9(8): e104656. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104656>
- Delgado Ramos, G. C. 2010. La gran minería en América Latina, impactos e implicaciones. Acta Sociológica 54: 17-47. DOI: <https://doi.org/10.22201/fcpys.24484938e.2011.54.25663>
- Díaz Alvarado, J., J. A. Vixta Haro, J. M. Velázquez Cortés, M. Vega Hernández, J. C. Mendoza Hernández y A. Silveti Loeza. 2020. Movilidad de Mn, Ni y Zn en jales mineros sometidos a tratamientos de biorremediación. Memorias XVIII Congreso Internacional y XXIV Congreso Nacional De Ciencias Ambientales del 3-7 de Junio de 2019, Mazatlán, Sinaloa. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 36: 55. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.MCIyCNCA>
- Dickey, J. W. E., R. N. Cuthbert, J. South, J. R. Britton, J. Caffrey, X. Chang, K. Crane, N. E. Coughlan, E. Fadaei, K. D. Farnsworth, S. M. H. Ismar-Rebitz, P. W. S. Joyce, M. Julius, C. Laverty, F. E. Lucy, H. J. MacIsaac, M. McCard, C. L. O. McGlade, N. Reid, A. Ricciardi, R. J. Wasserman, O. L. F. Weyl y J. T. A. Dick. 2020. On the RIP: using Relative Impact Potential to assess the ecological impacts of invasive alien species. NeoBiota 55: 27-60. DOI: <https://doi.org/10.3897/neobiota.55.49547>
- ELAW. 2010. Guía para evaluar EIAs de proyectos mineros. 1era Edición. Environmental Law Alliance Worldwide (ELAW). Oregon, EUA. 120pp.
- Ehrenfeld, J. G. 2010. Ecosystem Consequences of Biological Invasions. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 41: 59-80. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144650>
- EIANZ. 2015. Ecological Impact Assessment (EclA). Environmental Institute of Australia and New Zealand (EIANZ) guidelines for use in New Zealand: terrestrial and freshwater ecosystems. Melbourne, Australia. 100 pp.
- Eissa, M. A. y O. Negim. 2018. Heavy metals uptake and translocation by lettuce and spinach grown on a metal-contaminated soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 18(4): 1097-1107. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005003101>
- Escobar Salazar, J. A. 2021. Criterios neoliberales de las políticas públicas en el sector minero y su papel en el origen de los conflictos socioambientales en el estado de Morelos. Maestro en Estudios Regionales. Centro de Investigación en Ciencias Sociales y Estudios Regionales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 133 pp.
- Esteller, M. V., E. Domínguez-Mariani, S. E. Garrido y M. Avilés. 2015. Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico. Environmental Earth Science 74: 2893-2906. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4315-9>
- Esteves Aguilar, J. 2018. Evaluación del daño genético y la inestabilidad en el desarrollo del cráneo en la especie centinela *Peromyscus melanophrys* que habita en zonas mineras. Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 75 pp.
- Ewel, J. J. 1987. Restoration is the ultimate test of ecological theory. In: Jordan III, M. E, Gilpin y J. D. Aber (eds.). Restoration Ecology: A synthetic approach to ecological. Cambridge University Press. New York, USA:
- Ewel, J. J., D. J. O'Dowd, J. Bergelson, C. C. Daehler, C. M. D'Antonio, L. D. Gómez, D. R. Gordon, R. J. Hobbs, A. Holt, K. R. Hopper, C. E. Hughes, M. LaHart, R. R. B. Leakey, W. G. Lee, L. L. Loope, D. H. Lorence, S. M. Louda, A. E. Lugo, P. B. McEvoy, D. M. Richardson y P. M. Vitousek. 1999. Deliberate introductions of species: Research needs. Benefits can be reaped, but risks are high. BioScience 49(8): 619-630. DOI: <https://doi.org/10.2307/1313438>
- FAO. 2019. Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy. 100 pp.
- Farina, A. 2000. Principles and methods in landscape ecology. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 235 pp. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5535-5>
- Förstner, U., E. Beiteringer, F. Tarnowski, M. Gehrke, H. Burmeier y P. Jacobs. 2002. Chapter 13: Soil and Sediment remediation.





- In: Burden, F. R., I. A. McKelvie, U. Förstner, A. Guenther y F. R. Burden (eds.). Environmental monitoring Handbook. McHraw-Hill Professional Publishing. New York, USA. Pp. 256-302.
- Fragoso, C. y P. Rojas (eds.). 2012. Monitoreo Ecológico de una cantera rehabilitada por cementos HOLCIM APASCO en Veracruz. Instituto de Ecología, A.C.-Cementos HOLCIM APASCO. Xalapa, México. 256 pp.
- Fundar. 2021. Hay 65 basureros de residuos mineros en Áreas Naturales Protegidas; urgente que Senado proteja las ANP de la minería. Fundar, Centro de Análisis e Investigación, A.C. <https://fundar.org.mx/hay-65-basureros-de-residuos-mineros-en-areas-naturales-protegidas-urgente-que-senado-proteja-las-anp-de-la-mineria/> (consultado diciembre de 2021).
- Gadepalle, V. P., K. O. Sabeha, R. Van Herwijnen y T. Hutchings. 2007. Immobilization of heavy metals in soil using natural and waste materials for vegetation establishment on contaminated sites. *Soil & Sediment Contamination* 16(2): 233-251. DOI: <https://doi.org/10.1080/15320380601169441>
- Gagnon, A., N. J. Fenton, P. Sirois, P. y J. F. Boucher. 2021. Plant community diversity at two reclaimed mine tailing storage facilities in Québec, Canada. *Land* 10(11): 1191. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10111191>
- Gaitán, J., M. F. Navarro, L. T. Vüegen, M. J. Pizarro, P. Carfagno y S. Rigo. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Ediciones INTA. 1ª ed., Instituto de Suelos, Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INTA). Buenos Aires, Argentina. 65 pp.
- Galván Ramírez, M. A. 2020. Estructura de la comunidad de roedores silvestres asociados a jales de Huautla, Morelos. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 83 pp.
- Gallaga, S. y B. Juárez. 2012. La Rehabilitación ambiental implementada por CECAF y HOLCIM APASCO en la cantera Cuautlapan, Orizaba, México. In: Fragoso, C. y P. Rojas (eds.). Monitoreo Ecológico de una cantera rehabilitada por cementos HOLCIM APASCO en Veracruz. Instituto de Ecología, A.C.-Cementos HOLCIM APASCO. Xalapa, México. Pp. 45-90.
- Gann, G. D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J. G. Hallett, C. Eisenberg, M. R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decler y K. W. Dixon. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27(S1): S1-S46. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- García Aguirre, K. K, F. A. Paredes Sánchez, V. Segovia Tagle y J. S. Espinosa Ramírez. 2018. Efecto de los lixiviados de jales de mina en un humedal natural. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 9(21): 1042-1054.
- Garduño Sanabria, A. E. 2013. Vulnerabilidad, ante los movimientos de ladera en el pueblo Santa Cruz Ayotuxco, municipio de Huixquilucan, Estado de México. Tesis de licenciatura en Geografía. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 224 pp.
- Gerencia de Restauración Forestal. 2018. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 5ª edición. Zapopan, México.
- González-Chávez, M. C. A. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *Terra Latinoamericana* 23(1): 29-37.
- Google Earth. 2021. Google Earth versión 9.176.0.1. Mountain View, USA. <https://earth.google.com/web/search/Huautla,+Morelos,+Morelos/@18.43600193,-99.02224671,973.35284868a,494.2521082d,35y,-90.02465741h,44.98902875t,-0r/data=CigiJgokCVsjHfYtozNAEVJyHfYtozPAGctrLb9amjJAIXHwDjsDjI-TA> (consultado agosto de 2021).
- Goussen, B., O. R. Price, C. Rendal y R. Ashauer. 2016. Integrated presentation of ecological risk from multiple stressors. *Scientific Reports* 6: 36004. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep36004>
- Graf, W. L., J. Stromberg y B. Valentine. 2002. Rivers, dams, and willow flycatchers: a summary of their science and policy connections. *Geomorphology* 47(2-4): 169-188. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00087-9](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00087-9)
- Guerra Sierra, B. E., J. Muñoz Guerrero y S. Sokolski. 2021. Phytoremediation of heavy metals in tropical soils: an Overview. *Sustainability* 13(5): 2574. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13052574>



- Haldar, S. K. 2018. Mineral exploration. Principles and applications. Elsevier. Cambridge, USA. 374 pp. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05550-3>
- Hernández-Acosta, E., E. Mondragón-Romero, D. Cristobal-Acevedo; J. E. Rubiños-Panta y E. Robledo-Santoyo. 2009. Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2): 109-114
- Hernández-Galindo, M. A. 2016. Fenología floral, expresión sexual de árboles y visitantes florales en sitios de restauración ecológica experimental en Sierra de Huautla, Morelos. Tesis de licenciatura en Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 70 pp.
- Hernández Sampieri, R., C. Fernández Collado y M. del P. Baptista Lucio. 2014. Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill Education. México, D. F., México. 600 pp.
- Holl, K. D. y T. M. Aide. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management* 261: 1558-1563. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>
- Hossner, L. R. y F. M. Hons. 1992. Reclamation of Mine Tailings. In: Lal, R. y B. A. Stewart (eds). *Soil Restoration. Advances in Soil Science*, Vol 17. Springer, New York, USA. Pp. 311-350. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2820-2_10
- Howe, H. F. y C. Martínez-Garza. 2014. Restoration as experiment. *Botanical Sciences* 92(4): 459-468. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.146>
- Hustrulid, W., M. Kuchta y R. Martin. 2013. Open Pit Mine Planning & Design. Volume 1 - Fundamentals. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, USA. DOI: <https://doi.org/10.1201/b15068>
- INEGI. 2011. La industria minera ampliada: Censos Económicos 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México. 99 pp.
- Islas Vargas, M. 2013. Extractivismo de enclave y minería a cielo abierto: impactos y consecuencias socio-ambientales. Tesis de licenciatura en Sociología. Facultad de Ciencias. Cd. Mx., México. 129 pp.
- Jordan III, W. R., M. E. Gilpin y J. D. Aber. 1987. Restoration ecology: ecological restoration as a technique for basic research. In: Jordan III, M. E, Gilpin y J. D. Aber (eds.). *Restoration ecology: A synthetic approach to ecological*. Cambridge University Press. New York, USA.
- Kabas, S., J. A. Acosta, R. Zornoza, A. Faz Cano, D. M. Carmona y S. Martínez-Martínez. 2011. Integration of landscape reclamation and design in a mine tailing in Cartagena-La Unión, SE Spain. *International Journal of Energy and Environment* 2(5): 301-308. DOI: <https://doi.org/10.31428/10317/3900>
- Keel, S., R. Sayre y G. Sedaghatkish. 2000. Chapter 5. Vegetation and Plant Species Surveys. In: Sayre, R., E. Roca, G. Sedaghatkish, B. Young, S. Keel, R. L. Roca y S. Sheppard (eds.). *Nature in Focus, Rapid Ecological Assessment*. The Nature Conservancy. Island Press. Washington D.C., USA. 183 pp.
- Kiere, L. M., M. Osorio-Beristain, V. Sorani, D. Prieto-Torres, A. Navarro-Sigüenza y L. A. Sánchez-González. 2021. Do metal mines and their runoff affect plumage color? A regional scale study of streak-backed orioles in south-central Mexico. *Ornithological Applications* 123(3): 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duab023>
- Kim, S., Y. Choi, J. Suh, S. Oh, H. Park y S. Yoon. 2012. Estimation of soil erosion and sediment yield from mine tailing dumps using GIS: a case study at the Samgwang mine, Korea. *Geosystem Engineering* 15(1): 2-9. DOI: <https://doi.org/10.1080/12269328.2012.674426>
- Kussmaul, S. 1989. La minería en Costa Rica y sus Efectos en el ambiente. In: Zamora, D. (ed.). *El impacto ambiental por la actividad minera en Costa Rica*. EUNA. Heredia, Costa Rica. Pp. 17-25.
- Lasat, M. M. 1999. Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research* 2(1): 1-25 DOI: <https://doi.org/10.4148/1090-7025.1015>
- Levine, J. M. 2008. Biological invasions. *Current Biology* 18(2): 57-60. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.11.030>
- Lim, J. E., M. Ahmad, S. S. Lee, C. L. Shope, Y. Hashimoto, K-R. Kim, A. R. A. Usman, J. E. Yang y Y. S. Ok. 2013. Effects of lime-based waste materials on immobilization and phytoavailability of cadmium and lead in contaminated soil. *CLEAN Soil, Air, Water* 41(12): 1235-1241. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201200169>
- Lizárraga-Mendiola, L. D. E. Ángeles-Chávez, A. Blanco-Piñón, M. Ramírez-Cardona, F. J. Olguín-Coca y M. R. González-Sandoval. 2014. Contamination potential of an urban mine tailings deposit in Central Mexico - A preliminary estimation.





- International Journal of Geosciences 5(3): 296-312. DOI: <https://doi.org/10.4236/ijg.2014.53030>
- Lizárraga-Mendiola, L., C. A. Bigurra-Alzati, D. F. Paz-Casas, S. Montiel-Palma, M. R. González-Sandoval, I. E. Castañeda-Robles, L. D. López-León, F. J. Olguín-Coca y F. O. Lagarda-García. 2017. Empleo de jal como cementante en la elaboración de un concreto permeable. Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales 4: 92- 101.
- López Aburto, V. M. 1994. Manual para la selección de métodos de exploración de minas. Departamento de Explotación de Minas y Metalurgia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 123 pp.
- López-Barrera, F., J. G. García-Franco, K. Mehltreter, O. Rojas-Soto, A. Aguirre, R. Landgrave, A. Ortega-Pieck, B. Montes-Hernández, K. Aguilar-Dorantes, A. A. Díaz-Sánchez, G. Vázquez-Carrasco y B. B. Rojas Santiago. 2016. Ecología de la restauración del bosque nublado en el centro de Veracruz. In: Ceccon, E. y C. Martínez-Garza (eds.). Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cuernavaca, México. Pp. 103-129.
- López Michelena, A. 2021. Variación de la coloración del plumaje de aves residentes, asociada a la distancia a las concesiones de minería metálica en el centro-sur de México. Tesis de maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 78 pp.
- Loredo-Ostí, C., S. Beltrán López, F. Moreno Sánchez y M. Casiano Domínguez. 2007. Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí. Libro Técnico 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, México. 209 pp.
- Lottermoser, B. G. 2010. Mine Wastes. Characterization, treatment and environmental impacts. Springer-Verlag Heidelberg. Berlin, Germany. 400 pp. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12419-8>
- Louda, S. M., A. E. Arnett, T. A. Randy F. L. Russell. 2003. Invasiveness of some biological control insects and adequacy of their ecological risk assessment and regulation. Conservation Biology 17(1): 73-82. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.02020.x>
- Louda, S. T. y P. Stiling. 2004. The double-edged sword of biological control in conservation and restoration. Conservation Biology 18(1): 50-53. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00070.x>
- Luque Agraz, D., A. D. Murphy, E. C. Jones, A. Martínez-Yrizar, A. Búrquez Montijo, T. Manrique Gallardo y D. Esquer Armienta. 2019. Río Sonora: el derrame de la Mina Buenavista del Cobre-Cananea, 2014. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, México. 134 pp.
- MacGregor Arroyo, F. 1992. Ampliación de las operaciones mineras en mina Santiago, Distrito minero de Huautla. Tesis de Ingeniería de Minas y Metalurgista. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 85 pp.
- Mandelik, Y. T. Dayan y E. Feitelson. 2005. Planning for biodiversity: the role of ecological impact assessment. Conservation Biology 19(4): 1254-1261. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00079.x>
- Manzanares Acuña, E., H. R. Vega Carrillo, M. C. Escobar León, C. Letechipía de León, L. J. Guzmán Enríquez, V. M. Hernández Dávila y M. A. Salas Luévano. 2005. Evaluación de riesgos ambientales por plomo en la población de Vetagrande, Zacatecas. Unidad Académica de Estudios Nucleares, Universidad Autónoma de Zacatecas. Reporte Final: UaEN/RI-02-PbVG/INE-02/03081204. Zacatecas, México. 50 pp. http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/inf_vetagrande_final_1004_e_ine_final.pdf (consultado agosto de 2022).
- Márquez-Huitzil, R. 1999. Regeneración de la vegetación en distintos ensayos de restauración de minas de roca caliza a cielo abierto en una industria cementera, Ixtaczoquitlán, Veracruz. Tesis de maestría en Ecología y Manejo de Recursos Naturales. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 158 pp.
- Márquez-Huitzil, R. 2005. Planificación para la restauración asociada con el aprovechamiento de los recursos naturales. In: Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (eds.). Temas sobre restauración ecológica. Diplomado en restauración ecológica. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales, Instituto



- Nacional de Ecología, U.S. Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C. Cd. Mx., México. Pp. 169-179.
- Márquez-Huitzil, R., B. Juárez y S. Gutiérrez. 1998. Informe final del Programa de Evaluación de la Restauración ecológica (1998). Convenio Apasco-Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México.
- Martin, T. A. y M. V. Ruby. 2003. In situ remediation of arsenic in contaminated soils. *REMEDIATION* 14(1): 21-32 DOI: <https://doi.org/10.1002/rem.10092>
- Martínez, Y. y C. Rivero. 2005. Evaluación de diferentes métodos para determinar las fracciones de metales pesados presentes en el suelo. *Revista Ingeniería UC* 12(3): 14-20.
- Martínez-Garza, C., M. Méndez-Toribio, E. Ceccon y M. R. Guariguata. 2021. Ecosystem restoration in Mexico: insights on the project planning phase. *Botanical Sciences* 99: 1-36. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2695>
- Martínez-Garza, C., M. Osorio-Beristain, R. E. Alcalá-Martínez, D. Valenzuela-Galván y N. Mariano. 2016. Ocho años de restauración experimental en las selvas estacionales de México. In: Ceccon, E. y C. Martínez-Garza (coord.). *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cuernavaca, México. Pp. 385-406.
- Martínez-Trinidad, S., G. Hernández Silva, M. E. Ramírez Islas, J. Martínez Reyes, G. Solorio Munguía, S. Solís Valdez y R. García Martínez. 2013. Total mercury in terrestrial systems (air-soil-plant-water) at the mining region of San Joaquín, Queretaro, Mexico. *Geofísica Internacional* 52(1): 43-58. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7169\(13\)71461-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7169(13)71461-2)
- Mazej, Z., S. A. Sayegh-Petkovsiek y B. Pokorny. 2010. Heavy metal concentrations in food chain of Lake Velenjsko jezero, Slovenia: An artificial lake from Mining. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 58: 998-1007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00244-009-9417-5>
- Meffe, G. K. y C. R. Carroll (eds.). 1994. *Principles of conservation biology*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, USA. 600 pp.
- Mench, M., N. Lepp, V. Bert, J. P. Schwitzguébel, S-W. Gawronski, P. Schröder y J. Vangronsveld. 2010. Successes and limitations of phytotechnologies at field scale: outcomes, assessment and outlook from COST Action 859. *Journal of Soils and Sediments* 10: 1039-1070. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0190-x>
- Méndez Ramírez, I. 2012. Método Científico, aspectos epistemológicos y metodológicos para el uso de la estadística. *SaberEs* 4: 3-15. DOI: <https://doi.org/10.35305/s.v0i4.73>
- Méndez Ramírez, I., D. Namihiro Guerrero, L. Moreno Altamirano y C. Sosa de Martínez. 1996. *El protocolo de investigación. Lineamientos para su elaboración y análisis*. Editorial Trillas. Cd. Mx., México. 210 pp.
- Mendoza, P. E. 2013. *Comunidades sintéticas para la restauración sucesional del bosque de encino y el matorral xerófilo del Ajusco medio, Distrito Federal, México*. Tesis de doctorado en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 146 pp.
- Meza-Figueroa, D., R. M. Maier, M. de la O-Villanueva, A. Gómez-Alvarez, A. Moreno-Zazueta, J. Rivera, A. Campillo, C. Grandlic, R. Anaya y J. Palafox-Reyes. 2009. The impact of unconfined mine tailings in residential areas from a mining town in a semi-arid environment: Nacozari, Sonora, Mexico. *Chemosphere* 77(1): 140-147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.04.068>
- Meuser, H. 2013. *Soil remediation and rehabilitation treatment of contaminated and disturbed land*. Springer Science+Business Media Dordrecht. London, UK. 406 pp. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5751-6>
- MINAM. 2014. *Guía para el Muestreo de Suelos*. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Calidad Ambiental, Gobierno de Perú. San Isidro, Perú. 47 pp.
- Montes Rocha, J. A. 2016. *Efecto de los metales pesados en suelo de jales mineros de San Luis Potosí*. Tesis de maestría en Ciencias Ambientales. Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 160 pp.
- Moreno Montemayor, H. 2017. *Residuos peligrosos y pasivos ambientales en México. Una comparación de normativas ambientales*. Facultad de Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 80 pp.

- Moriarty, F. 1999. *Ecotoxicology, the study of pollutants in ecosystems*. Academic Press. San Diego, USA. 347 pp.
- Muro González, D. A. 2020. Caracterización de especies vegetales para fitorremediar suelos contaminados con metales pesados en jales mineros. Tesis de doctorado en Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 97 pp.
- Naidu, R., N. S. Bolan, M. Megharaj, A. L. Juhasz, S. K. Gupta, B. E. Clothier y R. Schulin. 2008. Chemical bioavailability in terrestrial environments. In: Naidu, R., N. S. Bolan, M. Megharaj, A. L. Juhasz, S. K. Gupta, B. E. Clothier y R. Schulin. *Chemical Bioavailability*. In *Terrestrial Environments*. Elsevier. Oxford, UK. Pp. 1-6. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(07\)32001-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(07)32001-1)
- Naidu, R., R. Channey, S. McConnell, N. Johnston, K. T. Semple, S. McGrath, V. Dries, P. Nathanail, J. Harmsen, A. Pruszinski, J. Macmillan y T. Palanisami. 2015. Towards bioavailability-based soil criteria: past, present and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 8779-8785. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1617-x>
- Nieto Ávila, J. L. 1997. Proyecto para la ampliación de la mina Cuatro Ases en la Unidad Huautla, de la compañía Rosario México, Huautla, Morelos. Tesis de Ingeniería de Minas y Metalurgista. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 55 pp.
- Nyakudya, I. W., L. Jimu, C. A. T. Katsvanga y M. Dafana. 2011. Comparative analysis of the early growth performance of indigenous *Acacia* species in revegetating trojan nickel mine tailings in Zimbabwe. *African Journal of Environmental Science and Technology* 5(3): 218-227.
- Olenin, S., S. Gollasch, M. Lehtiniemi, M. Sapota y A. Zaiko. 2017. Biological invasions. In: Snoeijs-Leijonmalm, P., H. Schubert y T. Radziejewska (eds.). *Biological Oceanography of the Baltic Sea*. Springer Science. Dordrecht, The Netherlands. Pp. 193-232. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-0668-2_5
- Oreja, B., M. Goberna, M. Verdú y J. A. Navarro-Cano. 2020. Constructed pine log piles facilitate plant establishment in mining drylands. *Journal of Environmental Management* 271: 111015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111015>
- Ortega, J. J. 2014. Biorremediación y biodisponibilidad: ¿Dónde están los límites? *Biosaia* 3: 1.
- Ortega-Álvarez, R., W. Tobón, T. Urquiza-Haas, S. P. Ruiz-González y P. Koleff. 2021. Exploring local perceptions, implementation, benefits, and limitations of community-based restoration projects in Mexico. *Restoration Ecology* 30(7): e13604. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13604>
- Ortega-Larrocea, M. P., B. Xoconostle-Cázares, I. E. Maldonado-Mendoza, R. Carrillo-González, J. Hernández-Hernández, M. Díaz Garduño, M. López-Meyer, L. Gómez-Flores y M. C. A. González-Chávez. 2010. Plant and fungal biodiversity from metal mine wastes under remediation at Zimapán, Hidalgo, Mexico. *Environmental Pollution* 158: 1922-1931. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.10.034>
- Özyavuz, M. 2012. Protected Areas. In: Özyavuz, M. (ed.). *Landscape planning*. Published por InTech. Rijeka, Croacia. Pp. 3-20. DOI: <https://doi.org/10.5772/2761>
- Pahl-Wostl, C. 2002. Participative and stakeholder-based policy design, evaluation and modeling processes. *Integrated Assessment* 3(1): 3-14. DOI: <https://doi.org/10.1076/iaij.3.1.3.7409>
- Palenzuela, J. y Jk-M. Barea. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares en la revegetación de ecosistemas amenazados de desertificación en España. In: Álvarez-Sánchez, J. (ed.). *Ecología de micorrizas arbusculares y restauración de ecosistemas*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Las prensas de Ciencias. México, D.F., México. 207-236 pp.
- Palmer, M. A., J. B. Zedler y D. A. Falk. 2016. *Foundations of restoration ecology*. Island Press. Washington D.C., USA. 364 pp. DOI: <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-698-1>
- Parisien, M. A., A. Rutter, B. M. Smith y B. A. Zeeb. 2016. Ecological risk associated with phytoextraction of soil contaminants. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4: 651-656. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.12.007>
- Parraga-Aguado, I., M. N. Gonzalez-Alcaraz, J. Alvarez-Rogel, F. J. Jimenez-Carceles y H. M. Conesa. 2013. The importance of edaphic niches and pioneer plant species succession for the phytomanagement of mine tailings. *Environmental Pollution* 176: 134-143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.023>
- Peña-Limón, C. E. y J. Paredes-Aguilar. 2019. Contaminación de corrientes superficiales por tóxicos minero-metalúrgicos en la Región Hidrológica Sonora-Sur. *EPISTEMUS* 13(27): 18-23. DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v13i27.112>



- Pérez Jiménez, S. 2014. Territorialidades contenciosas en México: el caso de la minería. Tesis de maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México. 296 pp.
- Pérez, R., Y. Tapia, M. Antilén, M. Casanova, C. Vidal, C. Santander, H. Aponte y P. Cornejo. 2021. Interactive effect of compost application and inoculation with the fungus *Claroideoglomus claroideum* in *Oenothera picensis* plants growing in mine tailings. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 208: 111495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111495>
- Pineda Juárez, A. D. 2018. La minería transnacional de origen canadiense y sus impactos en territorios indígenas: Los casos de Takla Lake First Nation en Canadá y San José del Progreso en México, en el período de 2000 a 2016. Tesis de licenciatura en Relaciones Internacionales. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 156 pp.
- Pivet, B. E. 2001. Phytoremediation of contaminated soil and ground water at Hazardous Waste Sites. *Ground Water Issue*, United States Environmental Protection Agency. Washington D.C., USA. 36 pp.
- Pozo-Antonio, S., I. Puente-Luna, S. Lagüela-López y M. Veiga-Ríos. 2014. Techniques to correct and prevent acid mine drainage: A review. *DYNA* 81(186): 73-80. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.38436>
- Pueblos y Comunidades de Oaxaca. 2018. Informe: Juicio Popular comunitario contra el estado y las empresas mineras en Oaxaca. Comunidades y Organizaciones asistentes al Segundo Encuentro de Pueblos, Comunidades y Organizaciones "Aquí Decimos Sí a la Vida, No a la Minería". Oaxaca, México. 76 pp.
- Puell Ortiz, J. 2017. Methodology for a dump design optimization in large-scale open pit mines. *Cogent Engineering* 4(1): 1387955. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1387955>
- Ramírez Rodríguez, E. 2001. Almacenamiento de residuos mineros en México. Comisión Nacional del Agua. Reunión "Almacenamiento de Residuos Mineros". Comisión Nacional del Agua (CNA)-Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS)-Compañía Metalúrgica Mexicana (CMM). Cd. Mx., México.
- Ramos-Arroyo, Y. R. y C. D. Siebe-Grabach. 2006. Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23(1): 54-74
- Ramos-Arroyo, Y. R., R. M. Prol-Ledesma y C. Siebe-Grabach. 2004. Características geológicas y mineralógicas e historia de extracción del Distrito de Guanajuato, México. Posibles escenarios geoquímicos para los residuos mineros. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21(2): 268-284
- Rebollo-Salinas, D. B. 2019. Biomagnificación de metales pesados en una cadena trófica en los jales de Huautla, Morelos. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 83 pp.
- Reyes Mariano, J. M. 2014. Propiedades mecánicas de jales para diseño de presas. Tesis de maestría en Ingeniería (Geotecnia). Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 69 pp.
- Reyna Rosas, E. 2009. Evaluación de cambios nucleares en el epitelio bucal de individuos expuestos a metales en el agua de bebida en Huautla, Morelos. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 73 pp.
- Rico, A. 2016. Análisis de la estabilidad para la ampliación de una presa de jales. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco. Instituto Politécnico Nacional. Cd. Mx., México. 114 pp.
- Riitters, K. y B. Tkacz. 2004. The U.S. Forest Health Monitoring Program. In: Wiersma, G. B. (ed.). *Environmental Monitoring*. CRC PRESS. Boca Raton, USA. Pp. 669-683.
- Rivera Castelo, J. A. 2009. Diseño geotécnico para estabilización del depósito de jales mineros (Presa I), en Nacozari de García, Sonora, México. Tesis de Ingeniería Geológica. División de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Sonora. Hermosillo, México. 122 pp.
- Robertson, B. A. y R. L. Hutto. 2006. A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence. *Ecology* 87(5): 1075-1085. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1075:AFFUET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1075:AFFUET]2.0.CO;2)
- Romero, F. M. y M. Gutiérrez-Ruiz. 2010. Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en





- el sur y centro de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 62(1): 43-53.
- Rossiter, D. G. 2007. Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources. Journal of Soils and Sediments 7(2): 96-100. DOI: <https://doi.org/10.1065/jss2007.02.208>
- Rubiano Guzmán, M. J. 2016. Las perchas artificiales como facilitadoras de la lluvia de semillas en un área post-tala de pino (*Pinus patula*) en el Parque Forestal Embalse del Neusa (Tausa, Cundinamarca). Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias y Educación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. 80 pp.
- Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (eds.). 2005. Temas sobre restauración ecológica. Diplomado en restauración ecológica. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto de Ecología, U.S. Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C. Cd. Mx., México.
- Sánchez-López, A., M. C. A. González-Chávez, R. Carrillo-González, J. Vangronsvelt y M. Díaz-Garduño. 2015. Wild Flora of Mine Tailings: Perspectives for use in phytoremediation of potentially toxic elements in a semi-arid region in Mexico. International Journal of Phytoremediation 17: 476-484. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.922922>
- Sánchez-Núñez, J. M., J. L. Macías, P. Corona-Chávez, M. Martínez-Medina, V. H. Garduño-Monroy, L. Capra, F. García-Tenorio y G. Cisneros-Máximo. 2015. Rompimiento y desborde de presas de jales: el caso de estudio de Tlalpujahua (27 de mayo de 1937). Ciencia Nicolaita 56: 95-199.
- Sanderson, J. y L. D. Harris. 2000. The Ecology in Landscape Ecology. In: Sanderson J. y L. D. Harris (eds.). Landscape Ecology. A Top-Down Approach. Lewis Publishers. Boca Raton, USA. Pp. 59-72. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429148996>
- Santoyo Martínez, M. 2016. Bioacumulación, daño genotóxico y cambios en la morfología foliar de *Acacia farnesiana* en los jales de Huautla, Morelos. Tesis de maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México. 63 pp.
- Santoyo-Martínez, M., P. Mussali-Galante, I. Hernández-Plata, L. Valencia-Cuevas, A. Flores-Morales, L. Ortiz-Hernández, F. Ramos-Quintana y E. Tovar-Sánchez. 2020. Heavy metal bioaccumulation and morphological changes in *Vachellia campechiana* (Fabaceae) reveal its potential for phytoextraction of Cr, Cu, and Pb in mine tailings. Environmental Science and Pollution Research 27: 11260-11276. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07730-7>
- Sarkar, B., H. Wijesekara, S. Mandal, M. Singh y N. S. Bolan. 2018. Characterization and Improvement in Physical, Chemical, and Biological Properties of Mine Wastes. In: Bolan, N. S., M. B. Kirkham y Y. S. Ok (eds.). Spoil to Soil Mine Site Rehabilitation and Revegetation. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, USA. Pp. 3-14.
- Saunders, D. A., R. H. Hobbs y P. R. Erlich (eds.). 1993. Nature Conservation 3. The reconstruction of fragmented ecosystems. Surrey Beatty and Sons. Pty limited, Chipping Norton, Australia. 326 pp.
- Sayre, R., E. Roca, G. Sedaghatkish, B. Young, S. Keel, R. L. Roca y S. Sheppard. 2000. Nature in Focus, Rapid Ecological Assessment. The Nature Conservancy. Island Press. Washington D.C., USA. 183 pp.
- Science Task Force for the UN Decade on Ecosystem Restoration. 2021. Science-based ecosystem restoration for the 2020s and beyond. International Union for Conservation of Nature. Gland, Switzerland. 60 pp.
- SEMARNAT. 2004. NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 13 de septiembre de 2004. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=661988&fecha=13/09/2004
- SEMARNAT. 2007. NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4964569&fecha=02/03/2007#gsc.tab=0
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-155-SEMARNAT-2007, Que establece los requisitos de protección ambiental para los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



- Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5128126&fecha=15/01/2010
- SEMARNAT. 2011. NORMA Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-157-semarnat-2009>
- SEMARNAT. 2012. NORMA Oficial Mexicana NOM-120-SEMARNAT-2011, Que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario oficial de la Federación. Cd. Mx., México. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-120-semarnat-2011>
- SEMARNAT. 2016. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cd. Mx., México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- SEMARNAT. 2021. Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados 2021-2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial. Cd. Mx., México. 29 pp. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634655&fecha=05/11/2021#gsc.tab=0
- SEMARNAT. 2022. Inventario homologado preliminar de presas de jales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://geomaticaportal.semarnat.gob.mx/arccgis/apps/webappviewer/index.html?id=95841aa3b6534cdfbe3f53b3b5d6edfa> (Consultado agosto de 2022).
- SER. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Society for Ecological Restoration (SER). Washington D.C., EUA. 15 pp. <https://www.ser-rrc.org/resource/the-ser-international-primer-on/> (consultado agosto de 2022).
- SER. 2019. Principios y estándares Internacionales para la Práctica de la restauración ecológica. Society for Ecological Restoration (SER). Washington D.C., EUA. 113pp. <https://www.ser.org/page/Publications> (consultado agosto de 2022).
- Severns, P. M. 2011. Habitat restoration facilitates an ecological trap for a locally rare, wetland-restricted butterfly. *Insect Conservation and Diversity* 4(3): 184-191. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00120.x>
- Siebe, Ch., R. Jahn y K. Stahr. 2016. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México- Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Universidad de Halle, Alemania- Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universidad de Hohenheim, Alemania. Hohenheim, Alemania. 58 pp.
- Simberloff, D. 2012. Risks of biological control for conservation purposes. *BioControl* 57: 263-276. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9392-4>
- Simberloff, D. y P. Stiling. 1996. How risky is biological control? *Ecology* 77: 1965-1974. DOI: <https://doi.org/10.2307/2265693>
- Simberloff, D., J. L. Martin, P. Genovesi, V. Maris, D. A. Wardle, J. Aronson, F. Courchamp, B. Galil, E. García-Berthou, M. Pascal, P. Pysek, R. Sousa, E. Tabacchi y M. Vila. 2013. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution* 28(1): 58-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>
- Sipriano Morales, J. A. 2016. Impactos de la Minería Canadiense en México: Los Casos de Peñasquito en Zacatecas y Los Filos en Guerrero (2005-2013). Tesis de licenciatura en Estudios Latinoamericanos. Colegio de Estudios Latinoamericanos, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 112 pp.
- Skipin, L., E. Gaevaya, E. Zaharova, V. Petukhova y K. Sidorova. 2016. Biogeochemistry of heavy metals in trophic chain in terms of the south of Tumen region. *Procedia Engineering* 165: 860-868. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.785>
- Smith-Ramírez, C., G. Williams-Linera, R. F. del Castillo, N. Ramírez-Marcial, R. Aguilar, N. Taylor-Aquino, D. Golicher, P. Becerra, C. Echeverría, J. L. Celis-Diez y J. J. Armesto. 2011. Fragmentation and altitudinal effects on tree diversity in Seasonally dry forests of Mexico and Chile. In: Newton, A.C. y N. Tejedor (eds.). *Principles and Practice of Forest Landscape Restoration: Case studies from the drylands*



- of Latin America. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). Gland, Switzerland. xxvi + 383 pp.
- SMG. 2019. Información ciudadana sobre jales. Servicio Geológico Mexicano Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sgm/articulos/informacion-ciudadana-sobre-jales?idiom=es> (consultado agosto de 2019).
- Stromberg, J. C., M. K. Chew, P. L. Nagler y E. P. Glenn. 2009. Changing Perceptions of Change: The Role of Scientists in *Tamarix* and River Management. *Restoration Ecology* 17(2): 177-186. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00514.x>
- Suh, J., S. Kim, H. Yi y Y. Choi. 2017. An overview of GIS-Based modeling and assessment of mining-induced hazards: Soil, water, and forest. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14(12): 1463. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14121463>
- Tamayo, L. 2014. La minería de tajo a cielo abierto en México: una nueva forma de colonialismo. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas* 44(4): 1-17. DOI: https://doi.org/10.5209/rev_NOMA.2014.v44.n4.49291
- Temperton, V. M., R. J. Hobbs, T. Nuttle y S. Halle (eds.). 2004. Assembly rules and restoration ecology: Bridging the gap between theory and practice. Society for Ecological Restoration International. Island Press. Covelo, USA. 424 pp.
- Tózsér, D., T. Magura y E. Simon. 2017. Heavy metal uptake by plant parts of willow species: A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials* 336: 101-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.03.068>
- Tovar-Sánchez, E., L. T. Cervantes, C. Martínez, E. Rojas, M. Valverde, M. L. Ortiz-Hernández y P. Mussali-Galante. 2012. Comparison of two wild rodent species as sentinels of environmental contamination by mine tailings. *Environmental Science Pollution Research* 19(5): 1677-1686. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0680-4>
- Treweek, J. 1999. *Ecological Impact Assessment*. Blackwell Science. Cornwall, UK. 368 pp.
- Turrión, D., L. Morcillo, J. A. Alloza y A. Vilagrosa. 2021. Innovative Techniques for Landscape Recovery after Clay Mining under Mediterranean Conditions. *Sustainability* 13(6): 3439. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063439>
- Uc Peraza, R. G. 2014. Metales pesados en el mejillón *Mytilus californianus* (Conrad 1937) de la costa oeste de Baja California: variación espacial y temporal. Tesis de Maestría en Ciencias en Oceanografía Costera. Posgrado en Oceanografía costera. Facultad de Ciencias Marinas, Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Ensenada, Baja California, México. 125 pp.
- USEPA. 1991. Site characterization for subsurface remediation. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development. Cincinnati, USA. 259 pp. <https://www.epa.gov/ust/seminar-publication-site-characterization-subsurface-remediation>. (consultado agosto de 2019)
- Valdez-Hernández, M., R. Gil-Medina, J. O. López-Martínez, N. Torrescano-Valle, N. Cabanillas-Terán y G. A. Islebe. 2019. Succession and the Relationship between Vegetation and Soil in the Marl Quarries of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Forests* 10(2): 116. 13 pp. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10020116>
- Valladares, F., L. Balaguer, I. Mola, A. Escudero y V. Alfaya (eds.) 2011. Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas. Fundación Biodiversidad. Madrid, España. 323pp.
- van Riper III, C., K. L. Paxton, C. O'Brien, P. B. Shafroth y L. J. McGrath. 2008. Rethinking avian response to *Tamarix* on the lower Colorado River: A threshold hypothesis. *Restoration Ecology* 16(1): 155-167. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00354.x>
- Vargas Mergold, A. V. 2016. La empresa metalúrgica Industrial Minera México en San Luis Potosí. Problemas ambientales con soluciones incoherentes. Tesis de doctorado en Ciencias Sociales. El Colegio de San Luis, A.C. San Luis Potosí, México. 253 pp.
- Vick, S. G. 1990. *Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams*. Segunda edición. BiTech Publishers LTD. Vancouver, B.C., Canada. 369 pp. DOI: <https://doi.org/10.14288/1.0394902>
- Volke Sepúlveda, T. L. y J. A. Velasco Trejo. 2002. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cd. Mx., México. 62 pp.
- Volke, T., J. A. Velasco y D. A. De la Rosa. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología. Cd. Mx., México. 141 pp.





- Walls, G. 1999. Rapid assessment of ecological condition and trend of conservation areas in Hawke's Bay. Department of Conservation. Wellington, New Zealand. 12 pp.
- Wang, D., X. Ji, C. Li, y Y. Gong. 2021. Spatiotemporal Variations of Landscape Ecological Risks in a Resource-Based City under Transformation. *Sustainability* 13: 5297. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13095297>
- Wardle, D. A. 2010. Chapter 12. Trophic Cascades, Aboveground–Belowground Linkages, and Ecosystem Functioning. In: Terborgh, J. y J.A. Estes (eds). *Trophic Cascades: Predators, Prey, and the Changing Dynamics of Nature*. Island Press All. NW, Washington, DC., USA. Pp. 203-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baee.2011.04.001>
- Xiong, X., D. C.W. Tsang y Y. S. Ok. 2018. Chemical Characterization of Mine Sites. In: Bolan, N. S., M. B. Kirkham y Y. S. Ok (eds). 2018. *Innovative Techniques for Landscape Recovery after Clay Mining under Mediterranean Conditions*. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, USA. Pp. 17-32. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063439>
- Young, B., G. Sedaghatkish y R. L. Roca. 2000. Chapter 6. Fauna Surveys. In: Sayre, R., E. Roca, G. Sedaghatkish, B. Young, S. Keel, R. L. Roca y S. Sheppard (eds.). *Nature in Focus, Rapid Ecological Assessment*. The Nature Conservancy. Island Press. Washington, DC, USA. 183 pp.
- Zahawi, R. A., K. D. Holl, R. J. Cole y J. L. Reid. 2013. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Journal of Applied Ecology* 50(1): 88-96. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12014>
- Zaller, J. G y C. A. Brühl. 2019. Editorial: Non-target effects of pesticides on organisms inhabiting agroecosystems. *Frontiers in Environmental Science* 7: 75. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00075>
- Zetina Rodríguez, M. C. 2012. La historia de un tesoro que se convirtió en un desastre ambiental, la Zacatecana, ejido de Guadalupe, Zacatecas. *Revista de El Colegio de San Luis, Nueva Época* 4(6): 160-194. <https://biblat.unam.mx/hevila/RevistadeelColegiodeSanLuis/2012/no4/6.pdf> (consultado agosto de 2019).
- Zhang, C. C. 2007. *Fundamentals of environmental sampling and analysis*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA. 436 pp. DOI: <https://doi.org/10.1002/0470120681>



VI. DISCUSIÓN GENERAL

Esta investigación aborda la problemática ambiental generada por los jales mineros en Huautla, Morelos, la perspectiva social acerca de la problemática ambiente en general y, propone una metodología para restaurarlos. Inicialmente se identifican los jales mineros y las minas en la zona. Enseguida, se describen los procesos de desplazamiento de estos materiales. La investigación se complementa con el estudio de la perspectiva social acerca de la problemática ambiental en Huautla. La problemática ambiental se aborda mediante el estudio de la perspectiva social y de la reconstrucción histórica, ampliando considerablemente el panorama que se tiene sobre esta. A partir del análisis de los resultados de los primeros tres capítulos, se plantea una estrategia de restauración ecológica en el cuarto capítulo, para mitigar los impactos de los jales, pero orientada a una restauración ecológica. Las distintas fases de la investigación son complementarias entre sí y pueden sentar la base para un proyecto de restauración ecológica.

IDENTIFICACIÓN DE JALES MINEROS EN HUAUTLA, MORELOS

La identificación de los jales mineros reconoce aquellos sitios en donde se depositaron los materiales, aportando la información actualizada para los siguientes capítulos. La combinación de distintos métodos como el reconocimiento visual de imágenes de percepción remota en distintos tiempos y el análisis documental permitieron lograr mayor precisión respecto a los sitios impactados por las 19 minas y los cinco depósitos de jales presentes en la zona de Huautla. Logró reconstruirse la dinámica histórica de los depósitos de jales, así como su interacción con la

morfología e hidrología de la zona. Las minas y los depósitos de jales en Huautla fueron depositados al pie de las laderas o en las barrancas, sitios menos adecuados porque los escurrimientos son más intensos en estos sitios, esto lo demuestra el rompimiento de una presa de jales Los Molinos en 1969; así como la intensa erosión de los taludes en las distintas presas de jales. El uso de métodos técnicos y empíricos resultaron complementarios para identificar los jales y las minas, así como su dinámica (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach, 2006; Gregory y Healey, 2007; Chevrel et al., 2008). Los métodos utilizados en el segundo capítulo precisan la información sobre las minas y los jales en Huautla y, reconstruye parte de la historia minera en la zona.

EROSIÓN Y SUSCEPTIBILIDAD AL MOVIMIENTO EN MASA DE LOS DEPÓSITOS DE JALES Y MOVIMIENTO DE LOS METALES PESADOS QUE CONTIENEN: LA DINÁMICA DE LOS JALES EN HUAUTLA

El análisis de la erosión y de la susceptibilidad al deslizamiento de ladera de los jales, permitieron conocer su dinámica y los factores que la producen. Este análisis resaltó la relación entre la forma de los depósitos de jales y las partículas que los componen, en combinación con las características y proceso naturales de los sitios donde fueron depositados, con la colonización vegetal en ellos y con el clima, resultando en cientos de miles de toneladas movilizadas por erosión. Así como en una Muy Alta susceptibilidad al deslizamiento de laderas en los taludes, que se deriva e incrementa por esta relación (Fisher et al., 2003; Lizárraga-Mendiola

et al., 2014; Martín Duque et al., 2015; Lyu et al., 2019; Martín-Crespo et al., 2020; Rana et al., 2021). Además, las partículas de los jales en Huautla presentan una dinámica desde los depósitos hacia el paisaje que puede alterar la morfología de los cauces (Vázquez-Tarrío et al., 2024), así como a las zonas de inundación que implican su movilización y removilización dentro del sistema (Ciszewski y Grygar, 2016). La erosión y la susceptibilidad al deslizamiento de ladera representan una parte de la dinámica en el movimiento de los jales. El estudio de esta dinámica debe complementarse con las características del depósito, del paisaje donde se depositan y de los efectos de este movimiento en los ecosistemas vecinos y en la dinámica de los ríos.

En cuanto a los MP contenidos en los depósitos de jales, también presentan una dinámica en los depósitos y hacia su vecindad. En los depósitos de jales, la concentración de los MP se incrementa con la profundidad; mientras que, otra parte de los MP es movilizada con las lluvias, acumulándose en las zonas de inundación en el Arroyo Grande (Capítulo III); otra parte, puede transportarse a kilómetros de distancia de los depósitos de jales (Esteller et al., 2015; Strzebońska et al., 2015; Kałmykow-Piwińska y Falkowska, 2020). Los MP que se lixivian desde los jales representan un riesgo a largo plazo para los organismos, por lo que es indispensable evaluar el riesgo ecológico de su dinámica en los ecosistemas (Jensen et al., 2001; Xu et al., 2017). La contaminación provocada por los depósitos de jales en Huautla, no se limita a los metales pesados, sino a todos aquellos

compuestos químicos utilizados y liberados con estos materiales por la minería, más del 70% de los contaminantes pueden permanecer en el río hasta por más de 200 años después del cierre de la actividad (Coulthard y Macklin, 2003). La movilidad de los metales pesados les permite permanecer en el sitio e incrementar su rango de dispersión hacia el entorno a través de los ríos y del Arroyo Grande, junto con otras sustancias químicas que fueron utilizadas durante las actividades mineras.

Problemática ambiental en Huautla, Morelos desde la perspectiva social y la reconstrucción histórica

La perspectiva social y la reconstrucción histórica ampliaron considerablemente el panorama sobre la problemática ambiental en Huautla, Morelos (Capítulo IV). La perspectiva social permitió descubrir que la problemática ambiental en Huautla no se limita a los problemas generados solamente por los depósitos de jales mineros, sino que la propia dinámica de la población de Huautla con las actividades de subsistencia en esta zona contribuye a incrementarla. Las actividades agropecuarias, los servicios de las casas como el drenaje hacia las barrancas, la falta de un sistema de recolección de basura, entre otros, contribuyen considerablemente a la problemática ambiental en Huautla. El estudio se enriqueció por las diferentes perspectivas de los pobladores y de aquellos protagonistas involucrados directamente en la actividad minera. El Capítulo IV busca considerar los saberes, lenguajes y formas de comprensión propias de los actores sociales participantes en la investigación, que conformaron la perspectiva social (Torres-

Carrillo, 2016). Esta perspectiva social se relaciona con las actividades propias de una población que transforma el espacio como producto de sus asentamientos y de las actividades relacionadas para la satisfacción de sus propias necesidades tanto económicas y de subsistencia. La investigación histórica permitió conocer a la sociedad contemporánea y la forma compleja como la sociedad humana interactuó con el ambiente; por medio del conocimiento científico se buscó acceder a las capas más profundas de la realidad social que tiene el colectivo de habitantes (Coraggio, 1989). La perspectiva social en Huautla permitió comprender la problemática ambiental en la zona, así como la forma como los habitantes entienden, se relacionan y participan en la resolución de los problemas ambientales en su comunidad.

La reconstrucción histórica en esta investigación y su relación con la problemática ambiental se logró a partir de distintas fuentes de información y el análisis de las características de la zona. Parte de la reconstrucción histórica se logró con documental y fue complementada con las investigaciones de los Capítulos II y III, pero la fuente que aportó el conocimiento más importante fue compartido generosamente por los habitantes de Huautla, Morelos. Aunque existe información documentada sobre la historia de Huautla, esta se enfoca principalmente a la actividad minera y describe escasamente información sobre los problemas ambientales, por lo que, los testimonios sobre la historia del poblado y de la minería permitieron enriquecer significativamente su panorama en este estudio.

La reconstrucción histórica de la problemática ambiental a partir de la historia y la perspectiva social es compleja, pero es esencial para entender la relación de la sociedad con la naturaleza en diferentes períodos (Rivera-Castañeda y Chávez-Ramírez, 2018), así como los problemas que se generan de esta interacción. Para un poblado aislado y con poca información como Huautla, la contribución de la perspectiva social y de la reconstrucción histórica fue una construcción de la historia “sobre la marcha”, ya que no sólo considera la perspectiva social de los problemas ambientales, sino incluso el conocimiento de la “perspectiva histórica” de distintos sectores de la población, utilizando la memoria de los distintos grupos de edad (Coraggio, 1989; Torres-Carrillo, 2016; Vásquez-Cleves, 2018). El conocimiento de la perspectiva social, la reconstrucción histórica de la actividad minera en Huautla, así como las dos primeras investigaciones de este estudio (Capítulos II y III), sirvieron como base para la reconstrucción histórica de la problemática ambiental, permitiendo entender cómo la sociedad de Huautla reconoce su propia historia y la problemática ambiental.

Restauración ecológica en jales mineros para su incorporación en los procesos ecológicos

La propuesta metodológica de restauración ecológica en el Capítulo V plantea integrar los depósitos de jales al funcionamiento ecológico con su vecindad de una forma segura. Desde un enfoque de la restauración ecológica, la propuesta busca

crear condiciones en el sitio semejantes a las originales, pero considerando que las características de los depósitos de jales son las de un tecnosuelo, que permita el establecimiento de las comunidades bióticas locales sobre estos sitios. Esto es fundamental dentro de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, un Área Natural Protegida. Debido a que las características tóxicas y la dinámica de los jales mineros incorporan distintos riesgos para los ecosistemas a lo largo del paisaje, la propuesta metodológica se enfoca en mitigar estos impactos. La propuesta de restauración ecológica propone implementar técnicas de remediación de los contaminantes, así como reducir la erosión y evita el movimiento de ladera, mediante técnicas de rehabilitación. Por una parte, se enfoca en atender los problemas ocasionados por la presencia de sustancia tóxicas en los depósitos de jales. por la otra, propone estabilizar los materiales para evitar su erosión y eliminar el riesgo de movimiento en masa, así como rehabilitarlos como un suelo, para permitir la colonización de especies vegetales nativas hacia estos sitios. Desde un enfoque de restauración ecológica, el depósito de jales se integraría a la dinámica del paisaje dentro de la zona (SER, 2004). La propuesta metodológica de restauración ecológica en los depósitos de jales aprovecha las condiciones creadas por estos materiales en el paisaje y su integración al funcionamiento local y del paisaje del ecosistema donde se depositaron.

CONCLUSIONES GENERALES

Este estudio permitió actualizar y brindar un panorama más amplio de la problemática ambiental generada por los jales mineros en Huautla, Morelos. La identificación de cinco depósitos y su dinámica histórica, como el rompimiento de una presa de jales, o la antigüedad de estos no habían sido reportados. El uso de los jales por los pobladores es evidente, a pesar de que numerosos estudios resaltan la presencia de metales pesados en estos. Los riesgos y evidencias de erosión y movimiento en masa, en las épocas de máxima precipitación resaltan los riesgos para las poblaciones como para los ecosistemas terrestres y acuáticos. La perspectiva social sobre la problemática ambiental reportada hasta el momento se ha centrado en los jales mineros, pero sólo una pequeña porción la sociedad de Huautla lo reconoce como problema. La sociedad reconoce numerosos problemas ambientales en su comunidad que requieren ser atendidos por el bienestar de la población y de la propia área natural protegida, REBIOSH. La mayoría de los habitantes de Huautla tienen disposición a participar en la resolución de los problemas ambientales con los expertos, considerando como mejor opción, para los sitios degradados, la implementación de una restauración ecológica. En particular para los jales mineros, la adopción de estrategias orientadas a la restauración ecológica en Huautla es posible, siempre que se mitiguen los problemas de contaminación y estabilidad en los depósitos de jales, evitando que los contaminantes sean biodisponibles para las especies que habitan los ecosistemas.

En conjunto, estos estudios pueden contribuir al planteamiento de metodologías para mitigar los impactos de los jales u otros sitios afectados por la minería, que son tan numerosos en el país.

RECOMENDACIONES

El uso de distintos métodos en la identificación y evaluación de los impactos de los jales mineros que sean complementarios es de gran utilidad, permite lograr una panorama más completo y actualizado de la problemática.

En México existen diversos depósitos de jales que deben ser identificados y georreferenciados, para que las compañías generadoras se hagan responsables por la mitigación de sus impactos.

La nueva legislación nacional en materia de minería debería incorporar el conocimiento científico en la designación de los nuevos sitios de depósito de jales y en estrategias adecuadas de depósito para evitar su erosión y movimiento en masa.

La identificación de los depósitos de jales debe identificar aquellos jales clandestinos y los jales reportados en la literatura, debe acompañarse de la descripción de su dinámica en cada sitio, para determinar la problemática ambiental que puedan presentarse para los poblados y los ecosistemas en su vecindad.

La mitigación y restauración de los depósitos de jales debe incorporar estrategias adecuadas para su manejo, orientándolos hacia una restauración ecológica, siempre que queden expuestos a las condiciones climáticas.

Los depósitos de jales deben considerar una mitigación integral de estos sitios. La estrategia debe eliminar los riesgos de biodisponibilidad de las sustancias tóxicas que contengan para los organismos, el desplazamiento por erosión de las partículas que los componen o del movimiento en masa. Todos los costos de los estudios y de las estrategias de mitigación deben ser cubiertos por las empresas beneficiarias de los mismos, ya que, de otra manera, las afectaciones tienen diversas consecuencias negativas en los ecosistemas y la sociedad y, al final, los costos terminan siendo cubiertos por la sociedad y por el ambiente.

Del mismo modo, es necesario desarrollar una legislación ambiental que obligue a las empresas mineras a restaurar no sólo los depósitos de jales, sino también las minas abandonadas y los ecosistemas que sean afectados en la zona de influencia de los proyectos mineros. Las empresas no deben dejar peligros latentes para los ecosistemas y las poblaciones humanas al cierre de la actividad. Aunque estos procesos de mitigación pueden ser costosos, deben considerarse en los costos antes de implementarlos y afectar numerosos servicios ambientales ofrecidos por la naturaleza, poniendo en riesgo a numerosas especies, incluidas las poblaciones humanas.

INSERCIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN DENTRO DEL CONTEXTO DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN JALES MINEROS

La tesis en conjunto integra algunos de los pasos propuestos para la implementación de un proyecto de restauración ecológica propuesto por Gann et al. (2019). A nivel mundial han surgido esfuerzos por sistematizar y proponer pasos para implementar proyectos de restauración de ecosistemas, tales como los principios propuestos por la SER (Society for Ecological Restoration (SER) International, 2004), que fueron actualizados recientemente (McDonald *et al.* 2016; Gann *et al.*, 2019). Martínez-Garza *et al.* (2021) integran estos esfuerzos en diez pasos de los cuales, algunos se tocaron en esta investigación y se mencionan a continuación:

- 1) El compromiso con los tomadores de decisiones que asegura los beneficios para la naturaleza y la sociedad. En el caso de los depósitos de jales, los tomadores de decisiones pueden ser tanto locales como externos. Por una parte, las decisiones locales les corresponden a los ejidatarios del Ejido Huautla, ya que, una superficie considerable de las presas de jales y, el depósito Tlalchichilpa en su totalidad se encuentran dentro de sus terrenos; mientras que, el depósito Huautla está dentro del poblado, aunque fuera del límite del Ejido, les correspondería a los habitantes del poblado. Al estudiar la perspectiva social sobre la problemática ambiental de Huautla (Capítulo IV) se encontró que la mayoría de la sociedad coincidió en que, la mejor opción para recuperar un sitio

degradado (como los jales) es el ecosistema original (meta de la restauración ecológica). Por lo que este estudio serviría como una exploración de la aceptación del proyecto por los habitantes. Como se ha mencionado, el involucramiento de las comunidades locales en los proyectos de restauración aumenta la probabilidad de éxito a largo plazo (Gann et al., 2019). Por otra parte, dado que los jales contienen metales pesados y otras sustancias tóxicas que son movilizados a través del paisaje (Capítulo III) a varios kilómetros de los jales (Jacobi, 2019; Barats, 2020), la PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente) y la SEDEMA (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Morelos) tendrían que participar en la toma de decisiones, por las poblaciones y ecosistemas en el estado y el país que pudiera verse afectadas por el movimiento de los metales pesados y, por otras sustancias químicas contenidas en los depósitos de jales. Además, los depósitos de jales y el Ejido Huautla se encuentran dentro de la REBIOSH, por lo que la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) y el CIByC de la UAEM (que comparten la administración del ANP) tendrían que involucrarse en la discusión y, toma de decisiones. Las instituciones tendrían que buscar los fondos necesarios para implementar la restauración ecológica de los depósitos de jales y crear un equipo para implementar los trabajos.

- 2) El razonamiento del por qué se necesita la restauración, lo cual se refiere al panorama (ancho geográfico o enfoque temático), visión (condiciones

deseadas) y objetivos (ecosistema nativo original) del proyecto. La superficie ocupada por los depósitos de jales están dentro del Área Natural Protegida REBIOSH y, su disposición provocó la destrucción local del ecosistema original y afectó algunos ecosistemas vecinos, sitios donde será necesaria una restauración ecológica. Un ecosistema semejante al original sería el objetivo final del proyecto que, como se mencionó en los Capítulos II al V, corresponde a una Selva estacionalmente seca. Los Capítulos II y III de esta tesis describen la localización, características y procesos de dispersión de los jales y, justifican la necesidad de una restauración ecológica en Huautla, Morelos, dentro de la Reserva de la Biósfera. El Capítulo V aborda las condiciones deseadas para la restauración ecológica de los depósitos de jales, las formas cómo identificar al ecosistema de referencia (ecosistema nativo) y las estrategias necesarias para llegar a tal punto.

2.1 Ancho geográfico

El alcance de los trabajos de restauración ecológica en los jales se enfocaría a los depósitos de jales y a las zonas vecinas que se encuentren conectadas a través del paisaje, siendo las comunidades vegetales y animales, así como las poblaciones humanas de Huautla y Rancho Viejo y todas las poblaciones asentadas aguas abajo a lo largo del río, los principales beneficiarios del proyecto. Dada la dispersión de los jales y MP a través de los arroyos, las comunidades conectadas a través del Arroyo Grande, ubicadas en la parte baja

de la subcuenca del Río Bajo Amacuzac, serían las beneficiarias al frenar el lixiviado de contaminantes y el arrastre de materiales. La zona correspondería al sur del Estado de Morelos y noroeste del Estado de Guerrero, debido a las decenas de kilómetros de distancia que recorren las partículas y los MP desde los depósitos de jales (Jacobi *et al.*, 2019).

2.2 Visión o condición deseada

La Visión o condición deseada por los pobladores se apoya en la perspectiva social del Capítulo IV. En las entrevistas se preguntó a los pobladores: ¿Qué harías con una zona degradada? donde la respuesta más frecuente fue: “Recuperaría la vegetación original (selva)”. La respuesta fue consistente en la mayoría en los tres grupos de edad entrevistados. Así mismo, los entrevistados consideraron que los expertos necesitaban involucrarse en la resolución de los problemas ambientales, dado que conocen mejor cómo atender los problemas ambientales. Aunque la restauración ecológica fue la mejor opción para un sitio degradado desde la perspectiva social, podría ser necesario implementar talleres de educación ambiental para concientizar a toda la población sobre los riesgos que implican los depósitos de jales, sobre la perspectiva social respecto a la problemática ambiental y la urgencia por restaurarlos ecológicamente.

2.3. Metas de la restauración

Las metas al restaurar ecológicamente los depósitos de jales serían tomadas del capítulo V y son las siguientes:

- Remediar los materiales para que se encuentran libres de sustancias tóxicas, tanto de metales pesados como de las sustancias químicas persistentes que fueron utilizadas en el beneficio de los minerales. La remediación se realizaría para evitar la incorporación de estas sustancias tóxicas dentro de la cadena trófica o, que contaminen las aguas hacia las que corre el drenaje ácido (lixiviados de los jales).
- Rehabilitar los depósitos mediante la estabilización de los materiales para evitar el deslizamiento de laderas, frenar la erosión de los materiales. El objetivo de esta rehabilitación buscaría evitar el riesgo de su desplazamiento tanto para los organismos, los ecosistemas y las personas en sus alrededores. Así mismo, la estabilización del sitio buscaría que fuera seguro para quienes apliquen los trabajos de rehabilitación, remediación y restauración.
- Restaurar un ecosistema semejante al original sobre los jales, compensando la pérdida de hábitat para las especies vegetales y animales. El hábitat original quedó sepultado bajo estos materiales tóxicos. La adopción de los objetivos de la restauración ecológica buscaría recrear las características del ecosistema del original sobre las condiciones creadas por estos depósitos de jales. La meta final sería recuperar la selva estacionalmente seca sobre los jales que son clasificados suelos de origen antropogénico (tecnosuelos).

- 3) La descripción ecológica del sitio, o línea base, definida como “la condición inicial del sitio al comienzo del proceso de restauración”. Parte de esta descripción ecológica se presenta en la tesis, pero sería necesario completarla con otras descripciones.

3.1 Descripción

Los capítulos II al IV describen algunas de las características ecológicas de los jales de Huautla a nivel local y de paisaje. La descripción de la vegetación en los depósitos también ha sido descrita en distintos trabajos de la UAEM y de la UNAM citados en el Capítulo IV, complementando la descripción de la zona. Así mismo, las herramientas de los métodos mencionados en el Capítulo IV pueden auxiliar en la identificación del Ecosistema de referencia en la vecindad de los depósitos de jales o, dentro de la REBIOSH.

3.2. Línea base

La línea base son las condiciones presentes en la actualidad en los jales (sitio por restaurar). Los estudios realizados en los capítulos II y III pueden incorporarse dentro de la línea base. En estos capítulos se describen las características de los depósitos de jales, los materiales que los forman, las características de los sitios en donde se depositaron, los procesos y riesgos que representan para el ambiente. La descripción de la zona de estudio en el Capítulo IV describe parte de las condiciones biofísicas de la zona.

Adicionalmente, pueden complementarse con información específicas de la flora y fauna en los jales y, en los ecosistemas de referencia. Las metodologías propuestas en el Capítulo V apoyarían en esta descripción del ecosistema original, como la Evaluación Rápida del Ecosistema (Sayre *et al.*, 2000) y la Evaluación del Impacto Ecológico (Treweek, 1999). Estas descripciones formarían una la línea base más robusta y también sobre el Ecosistema de Referencia.

3.3. Regeneración natural

En algunas zonas, los depósitos de jales presentan una colonización por especies arbóreas. No obstante, la presencia de estas especies puede ser por su resistencia a la toxicidad a los metales pesados (Zn, Cd, Pb, Cu, Hg y As) y a otras sustancias tóxicas en los depósitos de jales (Capítulo III). El establecimiento de especies vegetales no garantiza que sea seguro para los organismos directa o indirectamente. Como se mencionó en el Capítulo V, previo a la regeneración del sitio debería de realizarse una remediación de los contaminants en el sitio, para evitar que las sustancias tóxicas se incorporen a la cadena trófica.

- 4) Las metas y objetivos. En el capítulo V se describen las metas y objetivos que se busca adoptar al restaurar ecológicamente los jales mineros.

- 5) Designación y descripción al ecosistema de referencia, si está disponible, debe estar basado en seis atributos: i) ausencia de amenazas; ii) condiciones físicas, iii) composición de especies, iv) diversidad estructural, v) Función del ecosistema, vi) Intercambio externo. Aunque en el documento no se identifica expresamente el ecosistema de referencia para los jales de Huautla, en el Capítulo V se dan las características que debe cumplir y los métodos por los que se puede identificar. Las descripciones de los depósitos de los jales de los Capítulos II y III describen algunas características de los suelos que debería tener un Ecosistema de Referencia, pero que correspondería a una Selva estacionalmente seca o Selva baja caducifolia, aunque habría que considerar las particularidades creadas por los materiales de los materiales que componen los jales. Al encontrarse dentro de un ANP, el ecosistema de referencia puede encontrarse con mayor facilidad apoyados en el Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Sierra de Huautla y el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos (POEREM, 2013).
- 6) Contexto de evaluación, incluyendo la priorización. Los Capítulos II y III evalúan los depósitos de jales cuantificando los materiales que se desplazan por las lluvias y su susceptibilidad ante el deslizamiento de ladera. La prioridad son los depósitos de jales con o sin confinamiento, debido a los altos valores de erosión y la Muy Alta susceptibilidad al deslizamiento de ladera en los taludes. Aunque también debería involucrarse algunos sitios afectados por incendios o cambio de

uso del suelo que son mencionados desde la perspectiva social para restaurar el sistema a nivel de paisaje. Las zonas prioritarias en las tres presas de jales son los taludes, ya que son el soporte de toda la presa y presentan la mayor erosión ($>200 \text{ ton/ha}^{-1}/\text{año}^{-1}$) y Muy Alta Susceptibilidad al deslizamiento de ladera (movimiento en masa). En el depósito de Tlalchichilpa gracias a su inclinación media, pequeño tamaño y la mayor parte del depósito recubierto vegetalmente, requiere la remediación de los materiales e impedir su uso para el forrajeo del ganado, evitando la eliminación de la vegetación que contiene y la rehabilitación para evitar la erosión y el deslizamiento de ladera de los materiales. En el depósito de Tlalchichilpa, la eliminación de la dispersión de los materiales movilizados por el pisoteo y la introducción de sustancias tóxicas en la cadena trófica de quienes consumen productos de origen vacuno en la zona es otro factor que debería considerarse. En el depósito de Huautla también es necesaria la remediación por el contacto directo con algunos vecinos al depósito. Así como la visita constante de animales domésticos y de consumo, como los puercos.

- 7) Planos explícitos, calendario y presupuesto para la preparación del sitio, instalación y actividades post-instalación, incluyendo una estrategia para resaltar correcciones del medio curso /manejo adaptativo). Este punto no se realizó en esta investigación.
- 8) Protocolos de monitoreo para determinar si los propósitos, metas y objetivos serán conocidos y para llevar el manejo adaptativo como sea necesitado. Aunque

no se llegó a este punto en esta investigación, la propuesta metodológica del Capítulo V puede ser de utilidad para su planteamiento.

- 9) Estrategias para la protección a largo término y mantenimiento del ecosistema restaurado. Este punto no se cubrió en esta investigación, pero también puede desarrollarse con ayuda del Capítulo V.
- 10) El monitoreo de un sitio intocado (control) para comparación. Este punto no se cubrió en el estudio, pero debe plantearse cuidadosamente. El monitoreo debería considerar dejar parte de un depósito de jales, temporalmente, sin tratamientos de mitigación, pero con medidas de control de la dispersión de los materiales y en un sitio que no afecte a los tratamientos. Una vez aplicadas las estrategias en los otros puntos y, monitoreada la efectividad de los tratamientos sería conveniente remediar y rehabilitar el control.

Los objetivos de la restauración ecológica son los más completos ecológicamente hablando, para la recuperación de un sitio degradado. Las metodologías por las que podrían alcanzarse estos objetivos se describen con mayor profundidad en el Capítulo V y en los trabajos en que se apoyó (Bradshaw y Chadwick, 1980; Brown *et al.*, 1986; Márquez-Huitzil, 1999; Márquez-Huitzil, 2005), así como en literatura desarrollada recientemente (Gann *et al.*, 2019; Young *et al.*, 2022). Todas las contribuciones enriquecen la forma de abordar esta problemática y, como se dijo en los capítulos de este trabajo, más que desviarlo de sus objetivos,

permiten abonar a una resolución integral de una problemática compleja como la que representan los depósitos de jales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abollino, O., M. Aceto, M. Malandrino, M., E. Mentaste, C. Sarzanini y R. Barberis. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution* 119: 177
- Adilson-Curi, W. J. V. Granda, H. M. Lima y W. T. Sousa. 2006. Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros. *Información Tecnológica* 17(6): 111-118.
- Ahumada Mexía, R. 2017. Identificación de residuos tóxicos mineros por percepción remota y su verificación geoquímica en El Triunfo (BCS): propuesta metodológica para priorizar acciones de restauración. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S.
- Armendáriz, E.J. 2016. Áreas Naturales Protegidas y Minería en México: Perspectivas y Recomendaciones. Tesis de Doctorado en Ciencias (Orientación Ecología). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California.
- Akgün, A., A.H. Eronat y N. Türk. 2004. Comparing Different Satellite Image Classification Methods: An Application in Ayvalik District, Western Turkey. *ISPRS Archives – Volume XXXV Part B4. XXth ISPRS Congress Technical Commission IV. July 12-23. Estambul, Turquía.*1091-1097pp.

- Balderas-Plata, M. A., L. J. Cajuste, J.A. Lugo-de la Fuente y A. Vázquez-Alarcón. 2003. Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho. *Terra Latinoamericana* 21(4): 449-459
- Barajas, G. 2007. Estrategias de reforestación en selvas bajas caducifolias: Influencia del uso de acolchados en el establecimiento, sobrevivencia y crecimiento de plantas de especies nativas. Tesis de Doctorado en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología, UNAM.
- Barats, A., C. Renac, A.M. Orani, G. Durrieu, H. Saint Martin, M.V. Esteller y S.E. Garrido Hoyos. (2020). Tracing source and mobility of arsenic and trace elements in a hydrosystem impacted by past mining activities (Morelos state, Mexico). *Science of The Total Environment* 712, 135565, 14pp.
- Barcelos, D.A., Pontes, F.V.M., da Silva, F.A.N.G., Castro, D.C., dos Anjos, N.O.A. y Castilhos, Z. C. 2020. Gold mining tailing: Environmental availability of metals and human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials* 397, 122721, 8pp.
- Battin, J. 2004. When good animals love bad habitats: ecological traps and the conservation of animal populations. *Conservation Biology* 18: 1482–1491. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00417.x>
- Blowes, D.W. y C. J. Ptacek. 1994. Acid-neutralization mechanisms in inactive mine tailings. In: Jambor, J. L. and Blowes, D. W. (Eds.). *Short course handbook on*

environmental geochemistry of sulfide mine-waste Mineralogical Association of Canada. Nepean (22): 271-291. Citado por Reyes Cruz *et al.* 2009).

Boanares, D. y C. Schetini de Azevedo. 2014. The use of nucleation techniques to restore the environment: a bibliometric analysis. *Natureza & Conservação* 12(2): 93–98.

Bolaños González, M.A., F. Paz Pellat, C.O. Cruz Gaistardo, J. A. Argumedo Espinoza, V. M. Romero Benítez y J. C. de la Cruz Cabrera. 2016. Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *TERRA LATINOAMERICANA* 34 (3): 271-288

Bollo Manent, M., J. Hernández Santana y A. Méndez Linares. 2014. The State of the Environment in Mexico. *Open Geoscience* 6: 219–228.

Bradshaw, A. D. y M.J. Chadwick. 1980. *The Restoration of Land*. Blackwell Scientific Publications. Boston, Massachusetts, EUA. 317 pp. DOI: <https://doi.org/10.1177/030913338200600314>

Brown, D., R. G. Hallman, Ch. R. Lee, J. G. Skogerboe, K. Eskew, R. A. Price, N. R. Page, M. Clar, R. Kort y H. Hopkins. 1986. Reclamation and Vegetative restoration of problem soils and disturbed land. *Pollution technology review* No. 139. New Jersey, U. S. A., Parks and Wildlife Division Department of Environment and Climate Change.

Camarillo Reyes, A. S. 2014. Tolerancia a metales pesados y oxianiones de plantas que crecen en suelo contaminado con jales en Zimapán, Hidalgo. Proyecto de

Integración en Ingeniería Ambiental. División de Ciencias Básicas e Ingeniería, UAM, Azcapotzalco. 63 pp

Cao, X y L. Q. Ma. 2004. Effects of compost and phosphate on plant arsenic accumulation from soils near pressure-treated wood by vegetables and can be an important strategy for remediating CCA-contaminated soils. *Environmental Pollution* 132 (2004) 435–442.

Cardoza, R., L. Cuevas, J. S. García, J. A. Guerrero, J.C. González, H. Hernández, M. de L. Lira, J. L. Nieves, D. Tejeda y C. M. Vázquez Martínez. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. 3a Ed. CONAFOR.

Castañeda-Bautista, J. A. (2016). Estudio ecotoxicológico de los jales mineros de Huautla, Morelos: El caso de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Beth. (Fabaceae). Tesis de Maestría. Centro de investigación en biodiversidad y conservación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 73pp citado por Santana Flores 2020.

Castañeda Casas, M. 2020. Reconstrucción histórica del paisaje de Tenancingo. Cuicuilco *Revista de Ciencias Antropológicas* 67: 263-281

Castañeda Espinoza, J.D. 2022. Estudio ecotoxicológico de *Dodonaea viscosa* en jales de Huautla Morelos: marcadores morfológicos, genéticos, químicos y de bioacumulación. Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales. Facultad en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 73 pp.

- Castillo, G. y B. Juárez. 2012. La vegetación y su potencial en la rehabilitación ecológica en minas a cielo abierto en Orizaba, Veracruz. En: Fragoso, C. y P. Rojas (Eds.) Monitoreo Ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz. Instituto de Ecología, A.C.- Cementos Holcim Apasco.
- Ceccon, E. 2013. Restauración en bosques tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Ediciones Díaz de Santos.
- Chevrel, S., L. Croukamp, A. Bourguignon y F. Cottard. 2008. A Remote-Sensing and GIS-Based Integrated Approach for Risk-Based Prioritization of Gold Tailings Facilities — Witwatersrand, South Africa. En: Fourie, A.B., M. Tibbett, I. Weiersbye y P. Dye (eds.). Mine Closure 2008: Proceedings of the Third International Seminar on Mine Closure, Australian Centre for Geomechanics, Perth. 639-650pp.
https://doi.org/10.36487/ACG_repo/852_59
- Chiappy-Jhones, C. J. 1996. Modificaciones Ecológico-Paisajísticas: Perspectivas en el planeamiento territorial y la preservación de la Biodiversidad. Tesis de Maestro en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM.
- Chiappy-Jhones, C.J., L. Gama, M. Soto-Esparza, D. Geissert y J. Chávez. 2002. Regionalización Paisajística del Estado de Veracruz, México. Universidad y Ciencia 18(36): 87-113.

Ciszewski, D. y T.M. Grygar. 2016. A Review of Flood-Related Storage and Remobilization of Heavy Metal Pollutants in River Systems. *Water, Air & Soil Pollution* 227, 239. 19pp.

Cobarrubias Escamilla, D. L. 2017. Evaluación del daño genotóxico y cambios morfológicos de *Wigandia urens*, expuesta a metales pesados en presas de jales abandonados. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado De Morelos.

CONABIO. 2020a. La biodiversidad en Morelos. Volúmenes I. Estudio de Estado 2. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla. México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx>

CONABIO. 2020b. La biodiversidad en Morelos. Volúmenes II. Estudio de Estado 2. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla. México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx>

CONABIO. 2020c. La biodiversidad en Morelos. Volúmenes III. Estudio de Estado 2. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla. México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx>

CONAFOR. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Comisión Nacional Forestal- SEMARNAT.

CONANP. 2005. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 203 p.

- Corrales-Pérez, D. y F. M. Romero. 2013. Evaluación de la peligrosidad de jales de zonas mineras de Nicaragua y México y alternativas de solución. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 65(3): 427-446.
- Coraggio, J.L. 1989. La reconstrucción histórica de procesos de transición social. En: Kingman, E. (coord.). Las ciudades en la historia. CONUEP: Centros de Investigaciones CIUDAD. Quito, Ecuador. 59-78 p.
- Corrales-Pérez, D. y Romero, F. M. 2013. Evaluación de la peligrosidad de jales de zonas mineras de Nicaragua y México y alternativas de solución. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 65(3): 427-446.
- Cotler, H. 2020. Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México.
- Coulthard, T.J. y M. G. Macklin. 2003. Modeling long-term contamination in river systems from historical metal mining. Geology 31(5): 451-454
- Dávila Luna, J., R. E. Díaz Caravantes, L. A. Navarro Navarro y E. Romeo Méndez. 2018. Las presas de jales en el noroeste del estado de Sonora: una aproximación geográfica mediante percepción remota. Investigaciones Geográficas 97, Diciembre: 1-18.
- De la Cruz Guarneros, N. 2018. Efecto de la bioacumulación de metales en la población de *Liomys irroratus* (Gray 1868) que habita los jales de Huautla, Morelos: un

enfoque multibiomarcadores. Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

De la O Toris, J. 2009. Efecto de la ganadería extensiva en el estrato herbáceo de la selva baja caducifolia en El Limón de Cuauchichinola, Sierra de Huautla, Morelos, México. Tesis Profesional de Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.

Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis. 2018. Regulación de la Minería en México, Marco Teórico Conceptual, Antecedentes, Marco Jurídico Actual, Datos Estadísticos en el tema y Opiniones Especializadas (Primera Parte). Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis, Dirección de Servicios de Investigación y Análisis, Subdirección de Análisis de Política Interior

DOF. 2004. NORMA Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. Lunes 13 de septiembre de 2004. Diario Oficial de la Federación.

DOF. 2010a. NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Jueves 30 de diciembre de 2010. Diario Oficial de la Federación.

- DOF. 2010b. Norma Oficial Mexicana NOM-155-SEMARNAT-2007, Que establece los requisitos de protección ambiental para los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata. Viernes 15 de enero de 2010. Diario Oficial de la Federación.
- DOF. 2011. NORMA Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. Martes 30 de agosto de 2011. Diario Oficial de la Federación.
- Martín Duque, J.F., I. Zapico, R. Oyarzun, J.A. López García, P. Higuera y J. Lillo. 2015. Environmental hazards related to abandoned mine tailings: understanding problems and seeking solutions from a geomorphic and geochemical approach. ST 12 Contaminación de suelos, aguas, sedimentos, atmósfera y biosfera. XIV Congreso Geológico Chileno. 323- 326.
- Durand, L. 2000. La colonización en la Sierra de Santa Marta: perspectivas ambientales y deforestación en una región de Veracruz. Tesis de Doctorado en Antropología. Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. 199pp.
- Durand, L. 2008. De las percepciones a las perspectivas ambientales. Una reflexión teórica sobre la antropología y la temática ambiental. Nueva Antropología XXI (68): 75-87
- Dwernychuk, L.W. y D.A. Boag. 1972. Ducks nesting in association with gulls: an ecological trap? Canadian Journal of Zoology 50: 559-563 citado por Battin 2004.

El Universal. 2016. Minas en México.

http://archivo.eluniversal.com.mx/graficos/graficosanimados14/EU_Mineria_Mexico

ELAW. 2010. Guía para evaluar EIAs de Proyectos Mineros. Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW). Eugene Oregon, EU Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW), Eugene OR Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW), Eugene Oregon, EUA. 1era Edición.

Elizondo, C., M. A. Márquez-Linares, M. L. Marín-García y P. J. Gutiérrez-Yurrita. 2016. Flora que crece naturalmente en presas de jale minero abandonadas susceptibles de ser utilizadas en reclamación, Zimapán, Hidalgo, México. *Interciencia* 41 (7): 492-498

Escobar-Flores, J.G. y S. Sandoval. 2023. Detección geoespacial de jales mineros con imágenes de alta resolución y determinación de metales pesados en Tejamen, Durango, México. *Investigaciones Geográficas* 112, e60744, eISSN: 2448-7279. 14p. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.60744>

Esteller, M. V., E. Domínguez-Mariani, S. E. Garrido y M. Avilés. 2015. Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico. *Environment Earth Science* 74: 2893-2906.

Esteves Aguilar, J. 2018. Evaluación del daño genético y la inestabilidad en el desarrollo del cráneo en la especie centinela *Peromyscus melanophrys* que habita en zonas mineras. Tesis de Maestría en Biotecnología del Centro de Investigación en

Biotecnología (CEIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.

FAO. 2019. Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Roma, Italia. 100 pp.

Fernández-Vega, C. 2011. Duplican magnates mineros el oro extraído en la Colonia. La Jornada Minera (suplemento especial). 500 años de saqueo. pp. 2-3.

Fisher, M., M. Davies, W.S. Anderson y K.W. Savigny. 2003. Stewarding mine dump mass movements by regional Landslide analogy. 3rd Canadian Conference on Geotechnique and Natural Hazards. Edmonton, Alberta. 106-113p.

Flick, U. 2015. El diseño de Investigación Cualitativa. Colección Investigación Cualitativa. Ediciones Morata, S.L. Madrid, España. 166 pp.

Freeze, R, and Cherry, J. A. 1979. Groundwater. Prentice - Hall, Inc. EngleWood Cliffs, New Jersey. 604 pp.

Gadepalle, V.J., K.O. Sabeha, R.E. Van Herwijnen, y T. Hutchings. 2007. Immobilization of heavy metals in soil using natural and waste materials for vegetation establishment on contaminated sites. Soil & Sediment Contamination 16: 233–251

Galván Ramírez, M.A. 2020. Estructura de la comunidad de roedores silvestres asociados a jales de Huautla, Morelos. Tesis de Maestría en Biología Integrativa de la

Biodiversidad y la Conservación. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.

Gallaga, S. y B. Juárez. 2012. La Rehabilitación ambiental implementada por CECAF y Holcim Apasco en la cantera Cuautlapan, Orizaba, México. En: Fragoso, C. y P. Rojas (Eds.) Monitoreo Ecológico de una cantera rehabilitada por cementos Holcim Apasco en Veracruz. Instituto de Ecología, A.C.- cementos Holcim Apasco.

Gann, G.D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J.G. Hallett, C. Eisenberg, M. R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decler y K. W. Dixon. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. Restoration Ecology 27(S1): S1–S46

Gao, Y., J.V., Solórzano, R.C. Estoque y S. Tsuyuzaki. 2023. Tropical Dry Forest Dynamics Explained by Topographic and Anthropogenic Factors: A Case Study in Mexico. Remote Sensing, 2023, 15, 1471. <https://doi.org/10.3390/rs15051471>

García, C., J.L. Moreno, M.T. Hernández y A. Polo. 2002. Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. Ciencia y Medio Ambiente-CCMA-CSIC-2002: 125- 138.

García Canclini, N. 1989. Culturas Híbridas. Estrategias para entrar y salir de la modernidad. Editorial Grijalbo, SA de CV. México, D.F. 391p.

- García-Salgado, S., D. García-Casillas, M. A. Quijano-Nieto y M. M. Bonilla-Simón. 2012. Arsenic and Heavy Metal Uptake and Accumulation in Native Plant Species from Soils Polluted by Mining Activities. *Water, Air, & Soil Pollution* 223(2): 559–572.
- Garibay Orozco, C. 2010. Paisajes de acumulación minera por desposesión campesina en el México actual. En: Delgado, G. C. (Editor). *Ecología Política de la Minería en América Latina*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. pp: 133-182.
- Garrido-Hoyos, S., y L. Romero-Velazquez. 2016. Synthesis of Minerals with Iron Oxide and Hydroxide Contents as a Sorption Medium to Remove Arsenic from Water for Human Consumption. *International Journal of Environmental Research on Public Health* 13 (69): 1-9.
- Gómez-Liendo, M.J., R.A. Olmedo Neri y Á.S. Sánchez. 2024. Panorama de la violencia minera contra pueblos indígenas en el continente americano. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales* 31. 30pp. <https://doi.org/10.29101/crcs.v31i0.23230>
- González-Chávez, M. C. A. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *Terra Latinoamericana*, 23(1): 29-37
- Gregory, I.N. y R. G. Healey. 2007. Historical GIS: structuring, mapping and analysing geographies of the past. *Progress in Human Geography* 31(5): 638–653

- Guzmán, M. y D. Madrigal. 2015. Naturaleza y sociedad en San Luis Potosí. Apuntes para una Ecología Política. En: Durand, L., F. Figueroa y M. Guzmán (Eds.). La naturaleza en contexto. Hacia una ecología política mexicana. CIICH, UNAM-CRIM, UNAM- El Colegio de San Luis, A.C. México, D.F. 95-135pp.
- Hernández, S.D.A. 2008. Venado cola blanca y su hábitat (*Odocoileus virginianus mexicanus* Z.), en Sierra de Huautla, Morelos. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México
- IAEA. 2015. Austria Getting to the Core of Environmental Remediation. Reducing radiation exposure from contaminated áreas to protect people. Department of Nuclear Energy International Atomic Energy Agency. Austria. www.iaea.org/NuclearEnergy
- INEGI. 2011. La industria minera ampliada: Censos Económicos 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Islas Vargas, M. 2013. Extractivismo de enclave y minería a cielo abierto: impactos y consecuencias socio-ambientales. Tesis de licenciatura en Sociología. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM.
- Jacobi, P.R., L.L. Giatti, V.L. Empinotti, y P. L. Côrtes. R. D. Da silva jr., Z.L. Lauda-Rodríguez y E. B. Milz. 2019. EDITORIAL n° 1/2019. Ciencia Interdisciplinar Crítica, Crisis y Desastres. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoceditorialvu2019l1>
- Jensen, M.E., N.L. Christensen, Jr. y P.S. Bourgeron. 2001. An Overview of Ecological Assessment Principles and Applications. En: Jensen, M.E. y P.S. Bourgeron (Eds).

A guidebook for integrated ecological assessments. Springer-Verlag, New York, EUA. 13-29pp.

Kałmykow-Piwińska, A. y E. Falkowska. 2020. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland). *Open Geosciences* 12: 1036–1051

Kassmaul, S. 1989. La minería en Costa Rica y sus Efectos en el ambiente. En: Zamora, D. (Editor) *El impacto ambiental por la actividad minera en Costa Rica*: 17- 25, EUNA (Heredia).

Katzer, L. 2018. Etnografías desérticas. Reflexiones desde una antropología del nomadismo. *Revista Temas Sociológicos* 23: 115 – 145

Kelly, E. G. and Spottiswod, D. J., 1990. Disposición de las colas. En: *Introducción al procesamiento de minerales*. (traducción al español por la Ed. Limusa). 423-427p.

Kiere, L. M., M. Osorio-Beristain, V. Sorani, D. Prieto-Torres, A. Navarro-Sigüenza y L. A. Sánchez-González. 2021. Do metal mines and their runoff affect plumage color? A regional scale study of streak-backed orioles in south-central Mexico. *Ornithological Applications* 123(3): 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duab023>

Kossoff, D., W.E. Dubbin, M. Alfredsson, S.J. Edwards, M.G. Macklin y K.A. Hudson-Edwards. 2014. Mine Tailings Dams: Characteristics, Failure, Environmental Impacts, and Remediation. *Applied Geochemistry* 51: 229-245

- Kuter, N. 2013. Reclamation of Degraded Landscapes due to Opencast Mining. En: Murat Özyavuz (Ed.) Advances in Landscape Architecture. 823-858 p. Intech. Open science, Open Minds. <http://www.intechopen.com/books/editor/advances-in-landscape-architecture>
- Laghlimi M., B. Baghdad, R. Moussadak, H. El Hadi, A. Bouabdli y S. Bouaziz. 2015. Characterization of soil heavy metal contamination in the abandoned mine of Zaida (High Moulouya, Morocco). International Research Journal of Earth Sciences 3(3):1–3
- Learita-Prince, L. S. 2015. Una estrategia para la rehabilitación de las presas de jales abandonadas en el municipio de Zimapán, Hidalgo. Tesis de Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad. Centro de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente, IPN.
- Lizárraga-Mendiola, L., D.E. Ángeles-Chávez, A. Blanco-Piñón, M. Ramírez-Cardona, F.J. Olgún-Coca y M.R. González-Sandoval. 2014. Contamination Potential of an Urban Mine Tailings Deposit in Central Mexico —A Preliminary Estimation. International Journal of Geosciences 5: 296-312
- López, V.M. 1994. Manual para la selección de métodos de exploración de minas. Departamento de Explotación de Minas y Metalurgia, Facultad de Ingeniería, UNAM.

- López-Barrera, F., C. Martínez-Garza y E. Ceccon. 2017. Ecología de la restauración en México: Estado actual y perspectivas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 97–112.
- López-Sánchez, M.P., T. Alberich, D. Aviñó, F. Francés García, A. Ruiz-Azarola y T. Villasante. 2018. Herramientas y métodos participativos para la acción comunitaria. Informe SESPAS 2018. *Gaceta Sanitaria* 32(S1): 32–40
- López Tévez, L. L. 2016. Estudio de Complejos Metálicos con Ligandos de Interés Biológico. Tesis Doctoral. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Lyu, Z., Chai, J., Xu, Z., Qin, Y. y Cao, J. (2019). A Comprehensive Review on Reasons for Tailings Dam Failures Based on Case History. *Hindawi Advances in Civil Engineering* 2019, 4159306, 18 pp. <https://doi.org/10.1155/2019/4159306>
- Márquez-Huitzil, R. 1999. Regeneración de la vegetación en distintos ensayos de Restauración de minas de roca caliza a cielo abierto en una industria cementera, Ixtaczoquitlán, Veracruz. Tesis de Maestría en Ecología y Manejo de Recursos Naturales. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz.
- Márquez-Huitzil, R. 2005a. Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica. En: Temas sobre restauración ecológica. En: Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara. (Editores). Temas sobre restauración ecológica. Diplomado en restauración ecológica. Secretaría de

Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología- U.S. Fish & Wildlife Service- Unidos para la Conservación, A.C.

Márquez-Huitzil, R. 2005b. Planificación para la restauración asociada con el aprovechamiento de los recursos naturales. En: Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara. (Editores). Temas sobre restauración ecológica. Diplomado en restauración ecológica. SEMARNAT- INE- U.S. Fish & Wildlife Service- Unidos para la Conservación, A.C.

Márquez-Huitzil, R., C. Martínez-Garza y M. Martínez. 2017. Propuesta metodológica para la inmovilización de metales pesados y cubrimiento vegetal en jales mineros contaminados con metales pesados (Cartel, Ganador del Tercer aequo). II Congreso Nacional de Ordenamiento Territorial y Ecológico. (Constitución, Territorio y Reconstrucción). 15 al 18 de noviembre de 2017. Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM e International Society of Land Planning and Ecological Planning.

Márquez-Huitzil, R., C. Martínez-Garza, S.I. Hinojosa-Espinoza y V. Sorani, 2022a. Identificación de minas y jales en Huautla, Morelos, México. Investigaciones Geográficas 109: 23pp. doi: 10.14350/rig.60633

Márquez-Huitzil, R., C. Martínez-Garza y M. Osorio Beristain. 2022b. Adoptar los objetivos de la restauración ecológica como meta crucial al mitigar desechos mineros: una propuesta metodológica. Acta Botánica Mexicana 129: e2019. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2019>

- Martin, T. A. y M. V. Ruby. 2003. In Situ Remediation of Arsenic in Contaminated Soils. REMEDIATION Winter 2003: 21-32.
- Martín Duque, J.F., Zapico, I., Oyarzun, R., López García, J.A. y Cubas, P. 2015. A descriptive and quantitative approach regarding erosion and development of landforms on abandoned mine tailings: New insights and environmental implications from SE Spain. *Geomorphology* 239: 1–16.
- Martín-Crespo, T., D. Gómez-Ortiz, S. Martín-Velázquez, P. Martínez-Pagán, C. de Ignacio-San José, J. Lillo y Á. Faz. 2020. Abandoned Mine Tailings Affecting Riverbed Sediments in the Cartagena–La Union District, Mediterranean Coastal Area (Spain). *Remote Sensing*, 12, 2042; 19p. doi:10.3390/rs12122042.
- Martínez-Becerril. 2009. Efecto de los metales pesados en jales mineros sobre la comunidad vegetal de la microcuenca de Huautla y el daño genotóxico en su herbívoro dominante *Peromyscus levipes* (Rodenta: Muridae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Querétaro. 96 pp.
- Martínez-Garza, C., M. Méndez-Toribio, E. Ceccon y M.R. Guariguata. 2021. Ecosystem restoration in Mexico: insights on the project planning pase. La restauración de ecosistemas en México: visiones acerca de la fase de planificación de proyectos. *Botanical Sciences* 99(2): 242-256. DOI: 10.17129/botsci.2695

- Martínez-Trinidad, S., H. Cotler, J. D. Etchevers-Barra, V.M. Ordaz-Chaparro y F. de León-González. 2008. Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *Terra Latinoamericana* 26(4): 299-307
- Mejía, F. A. 2008. Adsorción de arsénico en zeolita natural (chabazita) pre- tratada. Tesis digital. División de Ingeniería. Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora.
- Mena García, P., A. Ávila Artavia, A. Vargas Venegas y A. Ortega Ortega. (2022). La reconstrucción histórica como herramienta de diagnóstico: saberes y sentires desde un enfoque de comunicación. +E: *Revista de Extensión Universitaria* 12(16): 1-18
- Méndez, M.O. y R.M. Maier, R.M. 2008. Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments—An Emerging Remediation Technology. *Environmental Health Perspectives* 116: 278-283.
- Meza Figueroa, D. M., A. Gómez Álvarez, R.M. Maier, M. De La O Villanueva, A. Moreno-Zazueta, J. Rivera, A. Campillo, C.J. Grandlic, R. Anaya y J.J. Palafox Reyes. 2009. The impact of unconfined mine tailings in residential areas from a mining town in a semi-arid environment: Nacozari, Sonora, México. *Chemosphere* 77(1): 140-147.
- Ministerio del medio Ambiente de Ecuador. 2018. Reglamento Ambiental de Actividades Mineras. Ministerio de Ambiente del Ecuador, Acuerdo ministerial 37, 2018.
- Ministerio de Minas y Energía. 2018. Glosario Técnico Minero. Bogotá Colombia, República de Colombia. 109p.

<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/GLOSARIO+MINERO+FINANCIAL+29-05-2015.pdf/cb7c030a-5ddd-4fa9-9ec3-6de512822e9>

Minsch, J., Feindt, P.-H., Meister, H.-P., Schneidewind, U. y Schulz, T. 1998.: Institutionelle Reformen für eine Politik der Nachhaltigkeit. Springer, Berlin

Mokhtari, A. R., S. Feiznia, M. Jafari, A. Tavili, M. Javad, G. Bafghi, F. Rahmany y R. Kerry. 2018. Investigating the Role of Wind in the Dispersion of Heavy Metals Around Mines in Arid Regions (a Case Study from Kushk Pb–Zn Mine, Bafgh, Iran). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 101: 124–130.

Mora-Sánchez, F.J., A. Gómez-Álvarez, M. A. Encinas-Romero, A.I. Villalba-Atondo, J. L. Valenzuela-García, M. E. Jara-Marini, A. M. Pérez-Villalba, G. Dórame-Carreño y K. Encinas-Soto. 2024. Prediction of Acid Mine Drainage Generation from Mine Waste at an Abandoned Mining Site in a Semi-arid Environment. Water Air Soil Pollut 235:140, 22pp. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-06928-6>

Moreno, N., X. Querol, A. Alastuey, A. García-Sánchez, A. López-Soler y C. Ayora. 2001. Immobilization of heavy metals in polluted soils by the addition of zeolitic material synthesized from coal fly ash. International Ash Utilization Symposium. Center for Applied Energy Research, University of Kentucky.

Moreno Morales, L.N. 2016. Comportamiento ambiental de residuos mineros. Maestría en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina,

Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales.

Morales Ascarrunz, M. C. (2014). Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud- Hait. Tesis de Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Escuela de Posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa rica. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr>

Morgan, R. P. C. 2005. Soil erosion and conservation. Third Edition. Blackwell Publishing. United Kingdom. 304 pp.

Moriarty, F. 1999. Ecotoxicology, The Study of Pollutans in Ecosystems. Academic Press. 3rd Edition. 347 pp.

Muro González, D. A. 2017. Caracterización de especies vegetales para fitorremediar suelos contaminados con metales pesados en jales mineros. Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

National Research Council. 2001. Proceedings of the National Academy of Science. USA. <http://www.pnas.org/content/4539/>

- OCMAL (Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina). 2016. Mapa de conflictos mineros en México. <http://www.conflictosmineros.net/contenidos/23-mexico/16239-miles-de-minas-a-cielo-abierto-estan-abandonadas-en-mexico>
- Olaode, A., G. Naghdy y C. Todd. 2014. Unsupervised Classification of Images: A Review. *International Journal of Image Processing (IJIP)* 8 (5): 325- 342
- Oyarzun, R., P. Higuera y J. Lillo. 2011. Minería Ambiental. Una introducción a los Impactos y su Remediación. Ediciones GEMM- Aula2puntoNet. Madrid, España.
- Pahl-Wostl, C. 2002. Participative and Stakeholder-Based Policy Design, Evaluation and Modeling Processes. *Integrated Assessment* 3(1): 3-14
- Panico, F. y C. Garibay Orozco. 2019. Minería y territorio: acercamientos teóricos al campo de la historia ambiental a través de un estudio de caso. En: Aguilar Robledo, M., H. Reyes Hernández y O. Reyes Pérez. *La Historia Ambiental en México: Estudios de Caso*. Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 65-74pp.
- Pérez-Jiménez, S. 2014. Territorialidades contenciosas en México: El caso de la minería. Tesis de Maestría en Geografía, CIGA-UNAM.
- Pineda Juárez, A.D. 2018. La minería transnacional de origen canadiense y sus impactos en territorios indígenas: Los casos de Takla Lake First Nation en Canadá y San José del Progreso en México, en el período de 2000 a 2016. Tesis de licenciatura en Relaciones Internacionales. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM.

- POEREM. 2013. Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos. Caracterización. Nueva Visión- SEDESU- UAEM.
- Prach, K. y R. J. Hobb. 2008. Spontaneous Succession versus Technical Reclamation in the Restoration of Disturbed Sites. *Restoration Ecology* 16 (3): 363–366.
- Qgis. 2021. Escena del mapa Satelital. Quick Map Services. Quantum Gis. Software libre. Disponible en <https://qgis.org/es/site/>
- Ramos-Arroyo, Y. R. y C.D. Siebe-Grabach. 2006. Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23(1): 54-74
- Rana, N.M., N. Ghahramani, S.G. Evans, S. McDougall, A. Small y W. A. Take. 2021. Catastrophic mass flows resulting from tailings impoundment failures. *Engineering Geology* 292, 106262. 20p.
- Restrepo, E. 2016. Etnografía: alcances, técnicas y éticas. Envión Editores. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 100 pp.
- Reyes Cruz, V.E., M.A. Veloz Rodríguez, M. Vargas Ramírez, M.G. Monroy Fernández, R. Cruz Gaona, R. Briones Gallardo, I. González Martínez y M. M.M. Teutli León. 2009. Evaluación de las alternativas para la disminución del impacto ambiental por jales históricos en el distrito minero de Zimapán. Proyecto presentado por investigadores de la UAEH-UASLP-UAM.

- Riccardo, B., D. Stefania y D. Claudia. 2001. The abandoned mining area of Montevecchio-Ingurto. Rendiconti Seminario Facoltà Scienze Università Cagliari Supplemento 71(2):109–123.
- Rivera Castañeda, P. y R. Chávez Ramírez. 2018. La construcción de la historia ambiental en América. Revista de El Colegio de San Luis, Nueva época VIII(16): 171-202
- Rivera Castelo, J.A. 2009. Diseño geotécnico para estabilización del depósito de jales mineros (Presa I), en Nacozari de García, Sonora, México. Tesis Ingeniería Geológica. División de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Sonora.
- Rodríguez Heredia, D. 2017. Intoxicación ocupacional por metales pesados. MEDISAN 21(12): 3372- 3385
- Rojas León, A. 2010. Reflexión sobre investigación en historia ambiental. Revista Reflexiones 89 (2): 177-190
- Rosas-Ramírez, M.E. (2018). Relación entre la bioacumulación de metales pesados y la concentración de clorofila en *Sanvitalia procumbens*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 68 pp.
- Ross, M. (2001). Extractive Sectors and the Poor. An Oxfam American Report. <https://www.oxfamamerica.org/art545.html>

- Rossiter, D.G. 2007. Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources. *Journal of Soils and Sediments* 7(2): 96–100.
- Sayre, R., E. Roca, G. Sedaghatkish, B. Young, S. Keel, R. L. Roca y S. Sheppard. 2000. *Nature in Focus, Rapid Ecological Assessment*. The Nature Conservancy. Island Press. Washington D.C., USA. 183 pp.
- Sadhu K, Adhikari K, Gangopadhyay A (2012) Assessment of heavy metal contamination of soils in and around open cast mines of Raniganj area. India. *International Journal of Environmental Engineering Research* 1(2):77–85
- Salinas Rodríguez, J. M. y García González, J. F. (2010). Carta de Geoquímica por Zinc. Tilzapotla E14A70. Servicio Geológico Mexicano. Disponible en https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/metadatos_geol/89_GL_ciudad_de_mexico.html
- Sánchez-Salazar, M. T. 2010. La estructura territorial de la minería mexicana a inicios del tercer milenio. En: Delgado, G. C. (Editor). *Ecología Política de la Minería en América Latina*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. pp. 97-132.
- Santoyo-Martínez, M. 2016. Bioacumulación, daño genotóxico y cambios en la estructura y morfología foliar de *Acacia farnesiana* en los jales de Huautla, Morelos. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 63 pp.

Santoyo, M. 2020. Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociada a los jales de Huautla, Morelos. Doctorado en Ciencias Naturales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.

SE. 2017. Concesiones mineras en México, 2017. Secretaría de Economía. Archivo shapefile descargado de <https://datos.gob.mx/>

Secretaría de Economía. 2018. Guía para conocer las etapas del Proceso Productivo para la pequeña Minería. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/941/GuiaPequenaMineria.pdf>

SEMARNAT. 2005. Informe anual de actividades. Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección de investigación en residuos y sitios contaminados. Subdirección de investigación en sitios contaminados y sustancias toxicas.

SEMARNAT. 2024. Inventario Homologado Preliminar de Presas de Jales. Obtenido el 4 de septiembre del 2024. Disponible en: <https://geomaticaportal.semarnat.gob.mx/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=95841aa3b6534cdfbe3f53b3b5d6edfa>

SER. 2019. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Society for Ecological Restoration International (Sociedad internacional para la restauración ecológica). <http://www.ser.org/docs/default-document-library/spanish.pdf>

- Severns, P.M. 2011. Habitat restoration facilitates an ecological trap for a locally rare, wetland-restricted butterfly. *Insect Conservation and Diversity* (4): 184–191
- Shepherd, J. D., P. Bunting y J. R. Dymond. 2019. Operational Large-Scale Segmentation of Imagery Based on Iterative Elimination. *Remote Sensing* 11(658): 1-20, <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/6/658/html>
- SIAM. 2015. Concesiones mineras en México. Archivo Shapefile descargado de <https://datos.gob.mx/>
- Sondergaard, J. 2013. Dispersion and bioaccumulation of elements from an open-pit olivine mine in Southwest Greenland assessed using lichens, seaweeds, mussels and fish. *Environmental Monitoring Assessment* 185(8): 7025–7035
- Strzebońska, M., A. Kostka, E. Helios-Rybicka y E. Jarosz-Krzemińska. 2015. Effect of Flooding on Heavy Metals Contamination of Vistula Floodplain Sediments in Cracow; Historical Mining and Smelting as the Most Important Source of Pollution. *Pol. J. Environ. Stud.* 24(3): 1317-1326. DOI: 10.15244/pjoes/33202
- Tejada-Tovar, C., A. Villabona-Ortiz y L. Garcés-Jaraba. 2014. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas* 18(34): 109-123
- Teodoro, A.C. y R. Araujo. 2016. Comparison of performance of object-based image analysis techniques available in open-source software (Spring and Orfeo

Toolbox/Monteverdi) considering very high spatial resolution data. *Journal of Applied Remote Sensing* 10(1). 22p.

Tetreault, D. 2013. La megaminería en México. Reformas estructurales y Resistencia. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* N.º 14. 214-231 p.

Torres Carrillo, A. 2016. La recuperación colectiva de la historia y memoria como práctica educativa popular. *Decisio*: 16-22.

Tovar-Sánchez, E., L.T. Cervantes, C. Martínez *et al.* 2012. Comparison of two wild rodent species as sentinels of environmental contamination by mine tailings. *Environmental Science Pollution Research* 19: 1677-1686

Trewek, Jo. 1999. *Ecological Impact Assessment*. Blackwell Science, Cornwall, Gran Bretaña. 351 pp.

Twongyirwe, R., M. Bithell, K. Richards, y G. Rees. 2017. Do livelihood typologies influence local perceptions of forest cover change? Evidence from a tropical forested and non-forested rural landscape in western Uganda. *Journal of Rural Studies* 50: 12-29.

University of Arizona Superfund Research Center. 2020. ¿Qué son los jales mineros? The University of Arizona – Centro Binacional Estados Unidos- México para Ciencias Ambientales y Toxicología – Sbrp – Southwest Environmental Health Science Center.

- USEPA. 1996. Procedures for Designing a Sampling for Subsurface Soils. U. S. Environmental Protection Agency.
- Valle Mejía, C.R.M. 1991. Repercusiones en el Espacio Geográfico de la Actividad Minera en Huautla, Morelos, en el Decenio 1989-1989. Lic. en Geografía, FFyL, UNAM
- Vásquez Cleves, N.Y. 2018. "Historiando ando", reconstrucción histórica del municipio de Venecia desde el aula. Maestría en Educación en la Modalidad Profundización. Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Externado de Colombia. Bogotá D. C., Colombia. 172pp.
- Vázquez-Tarrío, D., V. Ruiz-Villanueva, J. Garrote, G. Benito, M. Calle, A. Lucía y A. Díez-Herrero. 2024. Effects of sediment transport on flood hazards: Lessons learned and remaining challenges. *Geomorphology* 446: 1-22. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108976>
- Volke, T.L. y J. A. Velasco. 2002. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE- SEMARNAT). 64 pp. México.
- Xu, L., Lofts, S., Lu, Y., 2017. Terrestrial ecosystem health under long-term metal inputs: modeling and risk assessment. *Ecosystem Health and Sustainability* 2 (5), e01214, 14pp.
- Zahawi, R.A., K. D. Holl, R. J. Cole y J. L. Reid. 2013. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Journal of Applied Ecology* 50: 88–96.

Zamora Echenique, G., J. Lanza Ferrufino y J. Arranz González. 2018. Metodología para la identificación y evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros con fines de priorización para su remediación. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería* 5: 31- 43.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



DES de Ciencias Naturales
Doctorado en Ciencias Naturales

Cuernavaca, Morelos, 04 de noviembre del 2024.

VOTOS APROBATORIOS DE TESIS

Los integrantes de la Comisión Revisora de la tesis titulada: **Identificación y evaluación de los impactos ambientales potenciales por la presencia de jales en las zonas aledañas a la comunidad de Huautla, Morelos: propuesta de mitigación orientada a una compensación ecológica**, que presenta el **C. Roberto Márquez Huitzil**, del Programa de Posgrado Doctorado en Ciencias Naturales, bajo la dirección de la DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA, han determinado que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado, por lo que emiten su **VOTO APROBATORIO**.

Comisión Revisora de tesis (firma electrónica)

DRA. CRISTINA MARTINEZ GARZA (directora de tesis, CIByC UAEM)

DRA. MARIA MARCELA OSORIO BERISTAIN (CIByC UAEM)

DR. VALENTINO SORANI DALBON (CIByC UAEM)

DRA. ELIANE CECCON (CRIM UNAM)

DR. ROBERTO LINDING CISNEROS (IIES UNAM)

DRA. VIOLETA REMEDIOS NÚÑEZ RODRÍGUEZ (UAM)

DR. XAVIER LOPEZ MEDELLIN (CIByC UAEM)





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ROBERTO LINDING CISNEROS | Fecha:2024-11-04 17:19:33 | FIRMANTE

mgqFzDhWBQSwLJrxotKzR688MIDgSqQhb6PEn69ApeziSe7r4uCVWNM94GPU/4mt8TpVkdxdENLDIxGAZk3UcPf7LVpAkoCXQwhk86ABRxpQ8Uj44Nld7B1tbkJcTLluj80VIXyeQoWZZjswhwcRe0d0WRgk4IxK2x8qRiXVVPs+FMJLYKyzRdZl3Ql0xN0QwqHYrG/PIACSBtyjanVrvxtal90P4Za/xsc8N+6gLGLEWl8fbwsH/skz4/xUMNoETUzpDjSEaW7JOEH78ZsTw+OHMweX2UDzhpCloAlF66+SZHILVWwVkvxdj7OMV1wj5eopV0xvUm+nScCdeSWoxw==

CRISTINA MARTINEZ GARZA | Fecha:2024-11-04 17:26:59 | FIRMANTE

Dwvdbg3SybJNT++mO0gFkZD2rqhxpN1ad+MPOlrfZv6TLEOeMGEnAUqSGPLs9NMbBLI5moSnEo/sM7RPCY3W428Ccm/YbeT7io0eKH4y4oSji7cj3gPqRAi3jDvijn4+BcrJnKJi pU7T7sd+jv4on38fzhiAevoNlsQjKROyDwvFve2auaBZGtojIKVhu7V2+pkW7QLhOuW/2Y/KCbTrFOxbWbWfnnFFY8xUbahey7nIVZV0xNzOBVSXCzNyUPnefzEoMD/b4vKawKmb +UTdV3dlbqCMhrv/fuQY4yqU2cR6ud2BinnjeueFCKsmd1HN6gV467JDQQWw4c1RJTFRG==

XAVIER LOPEZ MEDELLIN | Fecha:2024-11-04 18:07:52 | FIRMANTE

s6xNMUN+wTS128vg/tSdbylxvQTV2khPA+SeRVmqUNJydO8uWE24m1SmYopxKCYBKrXeJzzCtiadFOHp2IsMNsEUuTIPTJfBlo9tjjwGmqqcQZ7M4vkUGUUTNmmekaKFeX+6T/NV+ugnr9NKSxLSSHBrdKn8tcC1GDGtGim4KfG62Q99GjGKtBRNNKaBS6pDGF/4UgMFoZ/rge+mScf7qsEuHRIKyaJoFID6OlGwK7uL8Opt9DkeEPyD1Ge9UypSczDk9eJK IC6I8BDIU4sI0OK39WMDk+z11vFeKGM+Fe9Q/TmAm1XMB5iFiakRAWHjVnWghcbkdLNU+WucPU7Q==

MARIA MARCELA OSORIO BERISTAIN | Fecha:2024-11-27 05:51:56 | FIRMANTE

Lyob8nF1J8c2HIP8LwCBRUiy4o3EWA4HqljoUjI3+iYz600h6jshVgV/O4Yexyq8h2ALVe9wScCRpz3JJnU/41GSTl1XN3hSRkpo+jM/bWTCNJFvpveJ2Co+INVRFR542UDKL7mJtr jNXPIOCQZELx9KTTfEr7PTcnTVsL0cnZGKN9y6u6Zl5Y03QjJebxd5c/Hd2eWifyhPwGAMm7KQlwtG78r7J2SnU92z7AezZeW/6VPIBVU7RJ4r52EvOwqlIlij1DI+aB7ZOR7to4jKu yNY7HkZl5I7HK+wT87mNYPAHZSvRHIIAGCZnSPX1EtFBmeh7orta1bNQB3HBHdw==

VALENTINO SORANI DALBON | Fecha:2024-11-29 06:27:36 | FIRMANTE

pl5410QIPe3QHBPUpT6q2g9g+0FeonJfKLAe9sGNmTKUBNF1s+bYWX9GuuTJXUuUWNjvypg4V8v+tX3q2U8D3nPiXbraXI5/EC2Rh9UxFN6BsHJWQID6uPhcfWXO7Ja0A8 TUVJtGEVW+n8hms8zYarr1F/lm6YJWhxyaSOX0HVP/0U/touDd0VJSCJ0pXjAcSbjECJ6ZLryhg/vuVr2NHE2JCTiWeyF4Tz2U0rS/3b4kpTclbIEVinJ93f72qK1AEH9eHdFTiBwA Aq+As5E6shMqnx+2vSeFSfdVojjWSktYewRrHQLqloKalba7lygEl7joxTNV+Yi9N3nt8Q==

VIOLETA REMEDIOS NÚÑEZ RODRÍGUEZ | Fecha:2024-11-29 15:02:05 | FIRMANTE

c9Ax6DC498vEv/0ZBPpuu/EisbmyQgP8q7ID8Or2dCsl/ewowk1p/i9hqzAY8l2PfUc0BBjRRzBOB4ukDdyURZFuaX8znNPL9JAKM2zdRQgAc8xiwawutjIDKiSBhNagFQ6L+uoTjg oknGkqCfKydsd857kKlC6elHoCfktEzajSfLAfrJb3t3Sp+jpf7O/8iEC4dwK1T8P59zzlFpOaSZD7Hq5vwxIRAQW8OirVm8dVIPUPQOFMhenPKjyjbSd599pHMj9pSM9VUI7TiKl2GnJ 5JJLCawd2OIxo/6lz7F9hJ2Z0xQJZZXKVtUelRyBKhwXuxXZ7LTpcOEEDEGg==

ELIANE CECCON | Fecha:2024-12-05 11:19:38 | FIRMANTE

Jh8RAktp6v5QibcHNqwg/H4D6laFkia4p3ks5NuCDPic/Xo+6HTa82gdHWnCKL15EUXRjMr3fbseabhl558HQAOiHJ7CnBZUIVSVaUyvxENOWXv/X3iJ0pZBINLUy4QWqry4dFE9 hb/hi4/kHdOvqmusDZ0maaguii8IGN30R9bJYsjzjXn5bR1SRbZ9zAvp8t5B34lQIWWHdbMYMzH6mPEFQOSvjRUiVsAuihi5yyOm09qJlcbg1dMTxLA6tvM/kBjKZDASCeC4UP0Zi QLTqMiunB9fnAu8ylA5rozE5GYkvNglEgrz6bziw5qdf6RuebME1NjmbFKfd26L1HwQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



j6LNI51uA

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/LJNa2l7VwChvHzKtW34FXx9w/HsqLqU>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029