



**BENEMÉRITA
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA
AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA CAUSADO
POR LA INDUSTRIA MINERA EN MÉXICO”**

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el grado de:

Licenciado en Ingeniería Ambiental

Presenta:

CARLOS ALEJANDRO MARTÍNEZ LEÓN

Director de Tesis:

DRA. JANETTE ARRIOLA MORALES

Codirector de Tesis:

DR. OCTAVIO OLIVARES XOMETL

PUEBLA, PUEBLA, MÉXICO.

MARZO, 2023.

ÍNDICE

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVO.....	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
HIPÓTESIS	5
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	5
Principales metales pesados con alto impacto ambiental y de salud pública.....	8
Presas de jales de mina	13
“Inventario Homologado Preliminar de Presas de Jales”	15
CAPITULO 2. METODOLOGÍA	17
Oxidación de jales.....	17
CAPITULO 3. DISCUSIÓN	18
Impactos ambientales	18
Residuos mineros con alto impacto ambiental	21
Metales pesados en el suelo.....	30
Biorremediación.....	32
Impactos a la salud	34
Sustancias químicas usadas en la minería	36
Inhalación de polvo de origen minero	38
Consumo de agua contaminada con residuos mineros.....	38
Impactos a la salud de metales pesados	39
Afectaciones a la salud	40
Análisis de los mapas extraídos de la base de datos	42
DIRECTORIO DE LA MINERÍA MEXICANA 2021	42
MAPAS DEL INVENTARIO HOMOLOGO PRELIMINAR DE PRESAS DE JALES ...	46
CASO DE ESTUDIO: LA MINERÍA DEL ORO	66
PROCESOS DE EXTRACCIÓN DEL ORO.....	66
Minería de veta o filón.....	66
Minería de aluvión	66
Beneficios e impactos.....	67
Depósito de mercurio en el medio ambiente	68
Mercurio en la salud pública	69
Intoxicación por mercurio.	70
TOXICOCINÉTICA.	71

TOXICODINÁMICA	74
CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación por metales pesados es un problema que ha ido en aumento debido principalmente a actividades antropogénicas; entre las principales fuentes de contaminación se encuentran la minería, la metalurgia, la agricultura, los vehículos automotores y el aporte natural en ciertos acuíferos.

En México hay reportes de la presencia de metales pesados en cuerpos de agua, cultivos, suelos y aire de las zonas urbanas, así como en medios ambientales costeros y marinos, donde la presencia y bioacumulación de metales tóxicos en tejidos de animales acuáticos, como peces y moluscos que han servido para el consumo humano.

La minería es una de las actividades productivas más antiguas y de mayor utilidad para el hombre, yendo de la mano como una de las principales causas de la contaminación ambiental por metales pesados debido principalmente al manejo inadecuado de sus residuos denominados “jales mineros”, ocasionando problemas de contaminación en diversos estados del país. (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017)

Por ejemplo, el suelo es uno de los medios con más impactos por la actividad minera, siendo un recurso natural no renovable que es donde la vida comienza, desempeñando funciones principales de diversos ciclos, siendo de los más afectados por esta rama es el ciclo del agua y los ciclos biogeoquímicos. (Lozano-Rivas, 2018)

Los jales han sido y son actualmente un problema de contaminación ambiental al no tener una correcta disposición de ellos, acompañado del poco conocimiento e investigación en el tratamiento que se les debe dar; por lo general, la biota se ve completamente modificada y alterada, impactando a la cadena trófica desde la contaminación del medio, así como la transferencia de compuestos tóxicos hacia los alimentos y otros ecosistemas. (Medel et al., 2008)

En diversos estudios y reportes se menciona que México tiene distribuidos a lo largo de todo el país millones de toneladas de jales, de lo que todavía se desconocen sus condiciones y su potencial de afectación al ambiente y a todo ser vivo que, sin conocimiento

alguno, está dentro de los medios contaminados, afectando y dañando sus organismos a largo plazo. (Alberto & San, 2005)

JUSTIFICACIÓN

La sociedad moderna no podría funcionar sin los productos derivados de la extracción y explotación de la industria minera, que nos ofrece productos y componentes vitales como lo son los aviones, cerámicos, computadoras, materiales de construcción, metales y pinturas. En una escala global, la industria minera produce alrededor de 40 millones de empleos, directos e indirectos, aportando beneficios a más de 250 millones de personas considerando a las familias de los mismos empleados. En una pequeña pero no insignificante escala, las compañías mineras aportan empleos, oportunidades y beneficios a las comunidades, considerando también hasta facilidades medicas en zonas que de ninguna otra forma podrían ser accesibles (Kossoff et al., 2014).

Es importante mencionar que una parte considerable en el mundo de manera no regulada como, por ejemplo, la minería del oro con enfoque artesanal, que da trabajo a más de 10 millones de personas, ha generado problemas considerables tanto para la salud como para el medio ambiente (Kossoff et al., 2014).

Al no tener una regulación controlada y correcta, uno de los principales efectos negativos derivados son los residuos mineros. Para tener una idea del impacto negativo que podrían generar, se tendría que hacer una evaluación de impacto ambiental en los sitios contaminados para poder estimar los efectos adversos y la obtención de información necesaria para tomar una decisión con respecto a la remediación de los sitios alterados (Morales, 2009).

El suelo en esencia está conformado por metales potencialmente tóxicos en un gran porcentaje considerando las fuentes naturales y antropogénicas. La presencia de metales pesados es una potencial amenaza para el medio ambiente, ya que por lo general no son biodegradables y en largas exposiciones pueden causar efectos a la salud de los organismos al exponerse a mínimas concentraciones (Mngadi et al., 2020).

El mayor aportador de metales pesados al medio ambiente, considerando el suelo, agua y atmósfera, es la minería. Para entender los impactos ambientales de los metales pesados por completo, es necesario identificar y cuantificar las concentraciones totales de los metales presentes. (Mngadi et al., 2020).

OBJETIVO

Analizar la situación actual de la industria minera para identificar las alteraciones sobre el ambiente que perjudican directamente a la salud humana a fin de proporcionar la información necesaria, destacando los principales impactos negativos y generar una conciencia ante el inminente peligro por la interacción con los residuos generados por dicha industria.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Analizar la información proporcionada por sectores públicos sobre la industria minera, su transparencia e información.
2. Elaborar un mapa con la ubicación geográfica de cada una de las empresas registradas en el sector minero dentro de la secretaría de economía.
3. Establecer los efectos de la presencia de la industria minera en los diversos medios con variantes ambientales que se puedan encontrar en el mapa. (Ciudades, desiertos, mares, bosques, sierra, etc.)
4. Destacar los puntos de interés encontrados en el análisis del mapa utilizando la información teórica y de investigaciones los daños que visualmente son perceptibles.
5. Señalar los principales impactos negativos de la interacción de la industria minera con la salud humana y del medio ambiente.

HIPÓTESIS

- La actividad minera en México ha afectado a los sectores socioambientales y de salud pública, debido a que no hay una correcta gestión de los jales mineros desde su producción hasta su depósito en las presas, considerando de manera errónea que su disposición finaliza al ser trasladado a dicha presa.
- La actividad minera no ha afectado ni aportado impactos negativos hacia la salud pública y ambiental, aportando beneficios y programas que contrarresten la alteración del medio.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

La contaminación de metales pesados y metaloides al medio ambiente es una preocupación mundial, ya que los efectos negativos ante la exposición directa e indirecta dañan y afectan

a diversos ecosistemas y a los humanos que interactúan dentro de ella (Ngole-Jeme & Fantke, 2017).

Dichos contaminantes son introducidos al ambiente por diversos medios, desde procesos geogénicos como la meteorización hasta fuentes antropogénicas, que incluyen las actividades mineras que fomentan la movilidad del suelo, incrementando el daño potencial ecológico, causando efectos dañinos y complicaciones a la salud humana (Ngole-Jeme & Fantke, 2017)

La explotación minera, desde los tiempos prehispánicos hasta la actualidad, se ha destacado por ser una actividad que ha generado importantes aportes en la economía; sin embargo, los beneficios generados por la industria minera son opuestos a los riesgos ambientales, por la peligrosidad de los residuos producidos en la minería (Universitaria, 2017)

México es un país con abundantes recursos minerales, lo que ha marcado su tradición minera. Entre los principales tipos de yacimientos que se han explotado destacan los epitermales, que se encuentran a escasa profundidad en referencia a la superficie terrestre, definiendo la parte superior de los sistemas hidrotermales naturales (Maldonado, 2021); los de metasomatismo de contacto, que es el reemplazamiento de un mineral por otro de composición diferente; supone una reacción química entre los minerales que forman la roca y el medio que le rodea (*Metasomatismo - meteorización*, 2019); los sulfuros masivos vulcano genéticos, y yacimientos del tipo pórfido cuprífero (Universitaria, 2017).

En estos diferentes tipos de yacimientos se presentan tanto minerales económicos como los no económicos, con el fin de separarlos son sometidos a diferentes procesos físicos y químicos. (Romero & Gutiérrez Ruíz, 2008)

En México, el Servicio Geológico Mexicano es el encargado de agrupar un listado de los productores de minerales metálicos y no metálicos del sector minero, permitiendo a los usuarios acudir a su revisión y poder localizar todas y cada una de ellas. (*Resumen*, n.d.)

Los residuos mineros, conocidos también como colas, relaves o jales mineros, son el producto de la trituración y molienda mineral una vez que se han recuperado los metales comerciales mediante procesos físicos y químicos (Medel et al., 2008).

Los jales que se generan en el proceso de concentración de minerales de plomo, plata, zinc y cobre, generalmente contienen sulfuros metálicos residuales como la pirita, pirrotita,

galena, esfalerita, calcopirita y arsenopirita, que son la fuente principal de los elementos potencialmente tóxicos como el arsénico, cadmio, plomo, cobre, zinc, hierro, entre otros (Romero & Gutiérrez Ruíz, 2008)

Los jales son desechos sólidos tóxicos que arrojan las industrias mineras; generalmente depositados en presas o como rellenos en barrancas. Los jales varían considerablemente en características físicas y mineralógicas, provocando que la composición mineral tenga una influencia sobre la química que ocurre dentro de la estructura de los jales (K. Rodríguez, 2016).

Tras muchos años de estudios geoquímicos realizados en diversos depósitos de residuos mineros o jales en todo el mundo, señalan que uno de los principales retos para evaluar el riesgo de la dispersión de elementos potencialmente tóxicos, refiere que los jales comúnmente muestran amplias variables en su composición geoquímica y mineralógica (Corona-Chávez et al., 2017)

Debido a la inestabilidad química, los minerales sulfurados sufren procesos de oxidación intensos produciendo un gran número de minerales secundarios y generando compuestos que cambian el comportamiento fisicoquímico de los jales. (K. Rodríguez, 2016).

Las reacciones complejas e incongruentes de intemperismo y oxidación de un jal ocasionan una notable inestabilidad química de los sulfuros y en partículas de la pirita (FeS_2), potenciando la formación de un sistema químico productos de acidez, el cual está asociado con iones de sulfato y hierro en un sistema de soluciones ácidas, conocidas como drenaje ácido de mina, que puede tanto beneficiar como afectar el medio, colaborando a la movilidad en solución de los elementos potencialmente tóxicos dentro de un sistema hidrológico o por otra parte, durante el proceso de intemperismo de un jal, llevándose a cabo otro tipo de reacciones pueden generar una relativa neutralización, ya sea consumiendo iones H^+ , pudiendo generar al ser una proporción dominante, un sistema no ácido o alcalino (Corona-Chávez et al., 2017)

Los metales pesados se encuentran de manera natural en el ambiente en concentraciones no perjudiciales a las diferentes formas de vida; no pueden ser degradados o destruidos, aunque pueden disolverse por agentes físicos y químicos y ser lixiviados. Algunos otros forman complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica, primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas. (Londoño Franco et al., 2016)

Según la tabla periódica, los metales pesados son elementos químicos con alta densidad, con masa y peso mayor a $20 \text{ gr}/\text{cm}^3$, siendo tóxicos en concentraciones bajas (Georgina & B., 2004)

En general se considera que los metales son medianamente perjudiciales, pero muchos resultan esenciales en nuestra dieta, y en algunos casos, su deficiencia o exceso pueden conducir a problemas de salud (Londoño Franco et al., 2016); se presentan aquellos que no cumplen una función fisiológica conocida, que alteran la salud y deben ser evitados, considerando los que entran al conjunto general de los presentes en las minas.

Principales metales pesados con alto impacto ambiental y de salud pública.

- Cadmio

Relativamente raro en la naturaleza, asociado al zinc; presenta un color blanco azulado, con un peso atómico de 112 y densidad relativa de 8, tiene 8 isótopos estables y presenta 11 radioisótopos inestables de tipo artificial (Sanchez, 2016)

No se encuentra de manera natural en estado libre, siendo la greenockita su único mineral; es obtenido por medio de la fundición como subproducto, refinado de los minerales de Zinc; es usado en pinturas, plásticos, pilas, baterías, abonos, soldaduras, asbestos, pigmentos, barras nucleares, farmacéutica, fotografía, vidrio y porcelana.

La fuente de exposición directa de los seres vivos es por medio de agua y alimentos; pequeñas partículas de cadmio son absorbida por el aparato respiratorio; en animales, los rangos de absorción son muy diversos, pero más bajos que en los humanos; las especies con dieta vegetal son los que presentan una mayor acumulación de cadmio, siendo los alimentos ricos en fibra los que contribuyen a una mayor exposición. (Londoño Franco et al., 2016)

La OMS menciona que la severidad y presentación de los síntomas, alteraciones y severidad de daño a los organismos es relacionado con las cantidades, tiempo de exposición y la vía de ingreso al sistema. La exposición crónica genera anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteomalacia, trastornos nerviosos y respiratorios, osteoporosis, hipertensión, pérdida del apetito y peso, cáncer de próstata y pulmón. En intoxicación aguda hay neumonitis y edema pulmonar, gastroenteritis, náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea, fallo renal, efectos teratogénicos y congénitos, y hasta es acumulable en el riñón hasta por 30 años (OMS, 2010).

- **Arsénico**

Se distribuye ampliamente en la naturaleza, peso atómico de 74, con 17 nucleídos radioactivos; su forma metálica permite la conducción térmica y eléctrica fácil de romper y de baja conductibilidad (Sanz, 2015).

Se encuentra en la naturaleza como mineral de cobalto, aunque está regularmente en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. (Londoño Franco et al., 2016) El principal mineral del arsénico es la Arsenopirita, usado en tratamiento de maderas, productos agrícolas, bronceadores de piel, anticorrosivos, vidrio, cerámica, pinturas, pigmentos y medicamentos; en la alimentación animal es usado como factor de crecimiento, también usado como un gas venenoso de uso militar (Sanz, 2015).

Los síntomas agudos aparecen de 3 a 5 días, después de una exposición a altos niveles de arsénico, incluyendo en los síntomas la incoordinación, ataxia que se desarrolla hasta generar una parálisis motora, ceguera y aritema cutáneo en animales albinos y síntomas gastrointestinales. (Mendoza et al., 2017)

En humanos por toxicidad crónica resaltan las lesiones en la piel, desde queratosis hasta hiperpigmentación, lesiones vasculares en sistema nervioso e hígado. Las complicaciones agudas aparecen por exposición a dosis elevadas hasta letales, en sus primeros efecto se presenta fiebre, hepatomegalia, melanososis, arritmia cardíaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia (Mendoza et al., 2017).

El arsénico está clasificado en el grupo 1 de las sustancias cancerígenas por la IARC, considerando los que afectan la piel como basilioma y carcinoma de células escamosas; los pulmones como carcinoma broncogénico, hemangiosarcoma hepático, linfoma y cáncer de vejiga, riñón y nasofaringe. (Patricia et al., 2006)

- **Plomo**

En la industria es el uno de los compuestos más importantes, peso atómico de 207, color azulado; forma muchas sales y compuestos organometálicos (Gamero Esparza, 2003)

Se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante, fue uno de los primeros metales extraídos por el hombre a partir de la galena, cerusita y anglesita (Gamero Esparza, 2003) Se encuentra en metales de uranio y de torio, ya que proviene de la división radioactiva. Los minerales comerciales suelen contener bajas

cantidades (3%), siendo el común un 10%; antes de someterse a fundición pueden acumular más del 40% de plomo. (Londoño Franco et al., 2016)

Se usa como aditivo antidetonante en la gasolina, baterías, en monitores de computadores y pantallas de televisión, joyería, latas de conserva, tintes para el pelo, grifería, pigmentos, aceites, cosmetología, aleaciones, cerámicas, municiones, soldaduras plomadas, armamento, radiación atómica, insecticidas, etc.

La absorción de plomo por vía oral es cerca al 10% en adultos y se puede incrementar hasta un 50% en niños (Esp, 2014). El plomo absorbido se distribuye en riñones, hígado, encéfalo huesos hasta por 20 años, interfiriendo en la función del calcio, inhibiendo la síntesis de hemoglobina y causando un daño neurológico.

Los efectos agudos en sistema nervioso central consisten en parestesia, dolor y debilidad muscular, crisis hemolítica-anemia grave, y hemoglobinuria. También afecta riñones con oliguria y albuminuria; aunque la intoxicación aguda puede causar la muerte, es más frecuente que el paciente se recupere y presente intoxicación crónica con daño gastrointestinal, neuromuscular, nervioso, hematológico, renal y reproductivo (Esp, 2014)

A nivel gastrointestinal hay anorexia, cefalea, estreñimiento, espasmo intestinal y dolor abdominal; a nivel neuromuscular se presenta debilidad muscular y cansancio, seguida de parálisis de musculo del antebrazo, muñeca y dedos de la mano, así como los pies en pocas ocasiones; estos síntomas eran característicos de enfermedad de pintores, ya que se usaba el plomo como pigmento, aunque en la actualidad se sustituyó y mejoraron las condiciones en industrias para desaparecer ese tipo de intoxicación. (Londoño Franco et al., 2016).

Los primeros síntomas de encefalopatía en niños son letargo, vómitos, irritabilidad, pérdida del apetito y mareos, que avanzan hasta desembocar en ataxia, reducción de la conciencia provocando finalmente coma y la muerte. La tasa de mortalidad por encefalopatía debida a plomo es alta, siendo del 25% (Burger, Mabel; Pose Román, n.d.), muchos de los pacientes que se recuperan quedan con secuelas, entre ellas retraso mental, convulsiones y atrofia óptica.

La exposición al plomo se ha asociado con esterilidad y muerte neonatal en personas. En animales se ha demostrado efecto tóxico sobre los gametos y aumento de la concentración de plomo en la sangre materna, que reduce la duración de la gestación y de peso al nacimiento de las crías.

Es evidente que el plomo puede desencadenar efectos teratogénicos en sistema nervioso del feto e interferir con su desarrollo normal. El plomo y sus compuestos están clasificados en el grupo 2b, que corresponde a probablemente cancerígenos para el hombre (Patricia et al., 2006).

- Cobre

Metal no ferroso, otorgando su utilidad a la combinación de sus propiedades químicas, eléctricas, físicas y mecánicas, siendo uno de los elementos más aprovechados por su abundancia. La mayor parte de cobre del mundo es obtenido por sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita (Londoño Franco et al., 2016). Tiene 2 isotopos naturales estables y 9 isotopos inestables radioactivos; de cientos de compuestos fabricados, el más importante es el sulfato de cobre (Feoktistova & Clark, 2018)

Es usado en equipo eléctrico, maquinaria industrial, de construcción, en aleaciones de bronce como latón, níquel, clavos, pernos, objetos decorativos, tuberías, techos, monedas, utensilios de cocina, joyería, muebles, maquillaje, pinturas, instrumentos musicales y medios de transporte; además el sulfato de cobre es uno de los primeros compuestos utilizados en alimento animal como pesticidas, sales de cobre que poseen efectos fungicidas y alguicidas (Rojas Seguel & Monsalve Helfant, 2017)

La exposición aguda por ingestión de sulfato de cobre puede producir necrosis hepática y la muerte; la exposición crónica de alimentos conservados en recipientes de cobre genera lesión hepática en niños. (Londoño Franco et al., 2016)

Los estudios de efectos de intoxicación se desarrollaron en el área ganadera y se hicieron las siguientes observaciones (Londoño Franco et al., 2016): En vacas lecheras se presentó a 38mg/kg de dosis, una hemólisis letal; el ganado ovino fue la más sensible, tolerando apenas 25 mg/kg; en caso tanto agudos como crónicos la mortalidad alcanza por poco el 100%. Altas concentraciones de sales solubles de cobre conllevan a coagulación proteica e inflamación severa de mucosa digestiva, pudiendo desarrollar hemólisis intravascular. Las muertes rápidas se deben a insuficiencia hepática, mientras que las muertes tardías se producen por insuficiencia renal. No existe aún evidencia de efectos cancerígenos del cobre o sus compuestos por ninguna vía de exposición. (Londoño Franco et al., 2016).

El cobre puede generar diversas alteraciones como anemia hipocrómica, disminuye la tasa de crecimiento, diarrea, cambios de coloración del pelo, ataxia neonatal, alteración de crecimiento, infertilidad temporal e insuficiencia cardiaca. (Feoktistova & Clark, 2018)

- Mercurio

Peso atómico de 200, líquido blanco plateado en temperatura ambiente. Forma soluciones/amalgama con otros metales como el oro, plata, platino, plomo, cobre y uranio; comúnmente encontrado como sulfuro, como rojo de cinabrio y en pequeñas cantidades como metal cinabrio negro y aún menor como cloruro de mercurio (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1999) Su tensión superficial es de 484 dinas/cm, seis veces mayor que el agua en contacto con el aire, por lo que no moja la superficie con la que entra en contacto. (Poulin & Herman, 2008)

Se usa en pastas dentales, baterías, lámparas fluorescentes, aparatos electrónicos, pinturas, catálisis, agricultura, productos farmacéuticos, pulpa, papel, cosméticos, cremas y jabones para piel y drogas herbales, termómetros clínicos; en la minería del oro, plata, cobre y carbón su extracción vuelve más sencilla al formar amalgamas y se extraen de manera más sencilla (Poulin & Herman, 2008)

La intoxicación crónica se presenta por medio de temblores, taquicardia, hipertrofia de tiroides, gingivitis, cambios de personalidad, eretismo, pérdida de memoria, depresión, delirios y alucinaciones; la identificación inmediata surge al percibir temblores, gingivitis y excitabilidad. Existe además un daño renal por exposición crónica, siendo efectos reversibles, los cuales cesan cuando se detiene por completo la exposición. Los vapores de mercurio son absorbidos por la circulación sanguínea pulmonar y el sistema nervioso central, siendo los principales efectos en adultos daños neurológicos y en embarazos provocan lesiones congénitas del sistema nervioso. (Londoño Franco et al., 2016; Ramírez, 2013).

En animales, las sustancias mercuriales inorgánicas provocan coagulación de la mucosa digestiva y gastroenteritis, si sobreviven desarrollan lesiones en riñones, el colon y la boca; la función renal presión sanguínea, ritmo cardíaco y digestivo son síntomas inmediatos. Al igual que a los humanos, la inhalación de altas concentraciones de mercurio puede provocar bronquitis corrosiva y neumonías agudas, causando la muerte o daños irreversibles al sistema nervioso central (Londoño Franco et al., 2016).

Los compuestos de metilmercurio se clasifican en el grupo 2B, siendo posibles cancerígenos para el hombre (Patricia et al., 2006)

A nivel de la salud pública, en México las actividades mineras tienen una amplia relevancia en el debate nacional; se destaca su contribución al aumento del PIB en correlación a la

inversión extranjera, apreciando su potencial como exportador de minerales, aunque con un alto costo socioambiental (Adalberto et al., 2020).

El análisis del desarrollo de la industria minera durante el siglo XX presentó una discusión constante sobre las implicaciones positivas y negativas; que no fue el caso de las consecuencias y riesgo para la salud ante un abandono de mina, siendo un tema primordial que no se discute dentro de los análisis para la aplicación de la ley hasta hoy en día.

Si, hay evidencias de la existencia de reservorios de residuos de minería, que es el caso de los jales, a lo largo del país, pero en definitiva no hay mecanismos jurídicos ni estudios que valoren la situación, que , a estas alturas, son considerados potenciales generadores de riesgo (Adalberto et al., 2020).

Los procesos que intervienen en la explotación de minas, resaltan las técnicas de flotación y cianuración, que permiten extraer grandes cantidades de metales preciosos, pero por mucho son los causantes de la generación de grandes volúmenes de jales.

La mención de esta problemática que va de la mano con la política pública, que se debe tratar de identificar los riesgos a la salud para las generaciones presentes y futuras, que han presentado actividad minera o que podrían hacerlo. Existe una necesidad de contar con información de los problemas de contaminación como insumos para desarrollar e incluir nuevos principios ambientales.

Presas de jales de mina

La evolución de la economía a nivel global, referenciando las nuevas técnicas de explotación mineras, ha desarrollado una rentabilidad en depósitos minerales de bajas concentraciones con la explotación a cielo abierto o a tajo abierto, disminuyendo la explotación de minas subterráneas, incrementando el volumen de desechos mineros para una misma cantidad de mineral final obtenida (Dávila Luna, 2017).

Por ejemplo, en el caso del cobre, para que una concentración se considere económicamente rentable, debe representar el 0.3%, manejando un volumen de explotación de 1,667 kilogramos para obtener un volumen de mineral refinado de 5 kilogramos de cobre, con un residuo equivalente del 99.7% con valor de 1662 kilogramos; habiendo varios métodos de concentración de minerales explotados, se emplean grandes cantidades de recursos como el agua, que al ser mezclada con las excavaciones ricas en minerales metálicos, requiriendo de estructuras para contenerla. En la minería metálica es

frecuente que se generen aún más cantidades de contaminantes, requiriendo altas concentraciones de agentes catalizadores diluidos en agua, que generalmente son muy dañinos para el medio ambiente y son de uso constante en los procesos de concentración de minerales. (Press et al., 1989)

Al ser una de las actividades impulsoras de la economía durante los últimos 450 años en México, la minería es una de las que más contamina el medio ambiente, generando desastres ecológicos en todo el mundo por derrames en presas de jales mineros; existiendo una cantidad no cuantificable hasta este momento de los lugares a nivel nacional que representan un peligro potencial de contaminación.

Por esta razón, uno de los retos más grandes e importantes será desarrollar esta actividad con una alta garantía ante la sustentabilidad del medio ambiente, siendo indispensable contar con un diagnóstico real del estado de conservación y funcionamiento de las instalaciones a lo largo y ancho del país. Con muchas barreras, es una tarea ardua de lograr por la baja supervisión de las dependencias responsables de ello, también siendo un resultado de la dificultad para obtener datos de las áreas explotadas por restricciones que las mismas empresas privadas que los operan.

El grado de peligrosidad potencial ante una contaminación es ocasionado por derrames de presas de jales, destacando tres factores muy importantes: toxicidad del residuo, volumen almacenado y la ubicación geoespacial dentro de una cuenca. El concepto con el que es conocido es geodisponibilidad, y eventualmente estos tres factores ya mencionados podrían ocasionar daños a los ecosistemas en el corto, mediano y largo plazo (Martínez-Alva et al., 2020)

En consecuencia, en la minería a cielo abierto es común el empleo de grandes cantidades de agua durante los procesos de concentración de material, requiriéndose además varios tipos de instalaciones para su manejo y almacenamiento, mejor conocidas como terreros o tanques de lixiviados, construidas regularmente al aire libre (Dávila Luna, 2017).

También existen las instalaciones para depósitos de mezclas de contaminantes después de emplearse en el proceso de concentración, conocidas como presas de jales, las cuales regularmente son instalaciones al aire libre con bordos de tierra sobre el terreno natural, donde son acumulados de manera líquida y sólida los residuos contaminantes desechados por el proceso de concentración de minerales.

A pesar de que las grandes compañías a nivel mundial regularmente emplean estrictos protocolos de seguridad, la alta peligrosidad de las sustancias empleadas en los procesos de explotación y refinación minera hacen que una falla mínima en el manejo de estos mismos ocasione grandes desastres ambientales, desastres que en su mayoría son sumamente difíciles de restituir en términos ambientales en el mediano y corto plazo.

Alrededor del mundo se han documentado desastrosos derrames en presas de jales, destacando entre varios, y en México, el sonado caso en Cananea, Sonora. El 6 de agosto del 2014, al fallar una pileta de lixiviados en la mina Cananea, la empresa Buenavista del Cobre ocasionó un derrame de $40,000m^3$ de contaminantes mineros, causando uno de los desastres ambientales más perjudiciales en los últimos años, afectando más de 272 kilómetros de ríos como el arroyo Tinajas, el río Sonora, los ríos de Bacanuchi, sin mencionar que desembocó en la presa El Molinito, el cual almacenaba en ese momento más de 15.4 millones de m^3 de agua, sirviendo como fuente de abastecimiento para la ciudad de Hermosillo, afectando a una población de más de 813,000 habitantes, sin considerar a todas las poblaciones que se daban abasto a lo largo del recorrido de los ríos ya mencionados, afectando de igual forma al área ganadera, flora y fauna endémica del área afectada (Lamberti, 2018)

Se tiene conocimiento de que el número y volumen de desechos almacenados en estas presas de jales va en aumento, considerándose un riesgo potencial al poder generar derrames.

La labor de ubicar, cuantificar, caracterizar y evaluar los peligros de los residuos de las operaciones mineras y de los peligros potenciales de derrames accidentales de presas de jales y piletas de lixiviados en operación y las abandonadas, es considerada una tarea compleja y costosa, debido a que la única información pública del desarrollo de la industria minera, al menos en México, es presentada en la Manifestación de Impacto Ambiental de cada proyecto minero, repercutiendo en demasiado tiempo y trabajo.

[“Inventario Homologado Preliminar de Presas de Jales”](#)

El pasado 23 de septiembre de 2021, el gobierno de México integró un inventario homologado preliminar de presas de jales de mina, que ofrece acceso a la información de al menos la localización y diagnóstico de los centros de depósito de los residuos de las minas.

Es un proyecto federal reciente, ya que no se contaba con información precisa y controlada sobre el número y características de las presas de jales en México. Este inventario ubica de manera georeferenciada a **585 registro de presas de jales**, mencionando que se llevarán acciones para precisar su situación.

Este registro en construcción ya resalta las que se encuentran activas e inactivas, identificando el mineral beneficiado, el nombre de la mina, municipio y estado en el que se encuentra, y en contados casos el nombre de la empresa al que se asocia. Esta acción permitirá, según las autoridades, implementar estrategias para tener un control sobre este tipo de residuos.

Este inventario nace de la necesidad de saber el verdadero impacto que tienen las presas de jales de mina en la actualidad, ya que antes de este comunicado, no se sabía ni la cantidad de presas existentes ni sus características actuales.

La muy elevada necesidad de conocer el número de estos recintos no es actual, ya que años antes de la creación de la 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 post-operación de presas de jales*) existía el mismo problema, por lo que fue necesaria la intervención de expertos en la materia para desarrollar la hoy conocida norma que regula la construcción desde la selección de sitio como presa de jal hasta su cierre por alcanzar el límite establecido, lo cual no siempre ha ocurrido así.

Dicha cuantificación no fue favorable, ya que existían un buen número de presas abandonadas, de operaciones mineras muy antiguas; generando que la SEMARNAT haya decidido tomar cartas en el asunto y buscar remediar, acondicionar y/o estabilizar las presas, así como sus estructuras y los contenidos de estas mismas.

Las presas muy antiguas declaradas como abandonadas son responsabilidad 100% del gobierno federal, ya que no hay responsables registrados del uso de estas presas, por la antigüedad con la que cuentan, y principalmente se concentran en la estabilización tanto física como química, para así evadir los riesgos que puedan generar a poblaciones cercanas y acuíferos.

Uno de los aspectos principales de una presa de jales es la estabilidad en función al método de construcción seleccionado, evitando la infiltración a los cuerpos de agua cercanos y mantener un monitoreo constante para verificar que no exista la generación de drenaje

ácido, ni migración de metales. Todas las características están establecidas en la NOM-141-SEMARNAT-2003. (SEMARNAT, 2004)

CAPITULO 2. METODOLOGÍA

Tras muchos años de estudios geoquímicos realizados en diversos depósitos de residuos mineros o jales en todo el mundo, señalan que uno de los principales retos para evaluar el riesgo de la dispersión de elementos potencialmente tóxicos, refiriéndose a que los jales comúnmente muestran ampliar variables en su composición geoquímica y mineralógica (Corona-Chávez et al., 2017)

Las reacciones complejas e incongruentes de intemperismo y oxidación de un jal ocasionan una notable inestabilidad química de los sulfuros y en partículas de la pirita (FeS_2), potenciando la formación de un sistema químico productos de acidez, el cual está asociado con iones de sulfato y hierro en un sistema de soluciones ácidas, conocidas como drenaje ácido de mina, que puede tanto beneficiar como afectar el medio, colaborando a la movilidad en solución de los elementos potencialmente tóxicos dentro de un sistema hidrológico o por otra parte, durante el proceso de intemperismo de un jal, llevándose a cabo otro tipo de reacciones pueden generar una relativa neutralización, ya sea consumiendo iones H^+ , pudiendo generar al ser una proporción dominante, un sistema no ácido o alcalino (Corona-Chávez et al., 2017)

Oxidación de jales

Para que ocurra la oxidación en los jales es necesario que contenga sulfuros metálicos reactivos y que existan las condiciones climáticas apropiadas, considerando el aire y la humedad atmosférica; por lo que la oxidación es generalmente muy limitada durante la operación, desarrollando lentamente a lo largo del tiempo este proceso, seguido de que cesa la acumulación de jales en el depósito y la porosidad en el mismo, permitiendo la difusión del oxígeno atmosférico (Romero et al., 2008)

La oxidación de sulfuros metálicos no siempre produce drenaje ácido, ya que la tendencia de los jales para generarlo es una función del balance entre los minerales productores de ácido y los minerales con capacidad de neutralización como carbonatos, hidróxidos y aluminosilicatos. (Universitaria, 2017)

En general, cuando la capacidad de neutralización excede al potencial de generación de ácido, se consumirá toda la acidez generada y las soluciones que drenen del depósito de

jales tendrán un pH cercano al neutro; aunque el desarrollo de otros procesos geoquímicos y físicos pueden controlar la acidez, la movilidad y la dispersión de los elementos potencialmente tóxicos en los depósitos de jales. (Romero et al., 2008)

La disolución y alteración de algunos minerales involucra el consumo de protones, lo que contribuye de manera determinante en el proceso de neutralización de las soluciones ácidas generadas por la oxidación de sulfuros metálicos en los jales.

Los oxihidróxidos de hierro tienen una gran capacidad para la adsorción y coprecipitación de arsénico y metales pesados; en diversas publicaciones se reporta que la sorción de los elementos potencialmente tóxicos en los oxihidróxidos de hierro es el principal control de su movilidad. Los oxihidróxidos de hierro son minerales altamente abundantes y ubicuos en ambientes geoquímicos; su reactividad superficial es alta hacia la adsorción de aniones y cationes de relevancia ambiental dados sus pequeños tamaños de partícula, por esta razón estos minerales son estudiados extensamente en el área ambiental.(Romero et al., 2008)

CAPITULO 3. DISCUSIÓN

Impactos ambientales

A lo largo de la historia de la humanidad, la dependencia hacia los minerales contenidos sobre o dentro de la tierra ha sido importante, por lo que en nuestra sociedad moderna se proyecta hacia el futuro la continua fabricación de nuevos artefactos; por ende, el proceso de minería ha sido tradicionalmente visto como el uso y aprovechamiento temporal de la tierra, el cual no goza generalmente de una buena reputación en materia de gestión ambiental (Alberto & San, 2005).

Tradicionalmente, la minería se practicaba mediante labores subterráneas, obteniendo grandes cantidades de beneficios en obtención de material, uso mínimo de materiales pequeños; tarde o temprano la disponibilidad de nueva maquinaria con fuerza más potente permitiría movimientos más grandes de tierra a costos bajos, convirtiendo el proceso de extracción a cielo abierto, generando la eliminación temporal del suelo y rocas inferiores, alcanzando las capas ricas en minerales y explotables (Nacional et al., 2008).

En este punto, surge una gran problemática sobre la generación de gigantescas escombreras, terrenos abandonados ocupados por inmensas mezclas de residuos; provocando grandes cortes de terrenos con impactos visualmente imponentes. Practicándose la transferencia de materiales, en apariencia, los terrenos solo se ven

alterados por el traspaso de las rocas inferiores capas por capas; aquí es cuando el tiempo se vuelve un factor importante dentro del proceso de explotación, ya que se condicionan los planes y exigencias de rehabilitación de zonas ocupadas por las transferencias. Pueden ser asociadas a obras públicas, considerando caracteres provisionales, otras de manera intermitente, siendo aquellas que tienen una velocidad de avance tardado y siendo los de periodos extremadamente prolongados se les denomina impactos ambientales fijos (V. Reyes et al., 2009).

Por lo general, todo el proceso que abarcan las etapas de labor minera ocasiona problemas ambientales de impactos variados, desde la generación de aguas residuales, residuos peligrosos, hasta emisiones a la atmósfera. Dos de las etapas que más contaminan son las de explotación y las de fundición/refinación; para el caso de la exploración hay menos daños, pero afectan directamente al suelo. Se presenta la siguiente relación de impactos ambientales contra la actividad minera desarrollada:

FASE	DESCRIPCIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
EXPLORACIÓN	Barrenación, obras y perforaciones.	Destrucción de vegetación.
EXPLORACIÓN	Obras diversas: tiros, socavones, patios para depósitos de minerales, zonas de descarga de materiales.	Operación de presas de jales: arrastre de residuos peligrosos. Descarga de aguas residuales.
BENEFICIO	Concentración, trituración y molienda, tratamientos previos.	Generación de ruido, vibración y emisiones de polvo.
FUNDICIÓN Y REFINACIÓN	Obtención de metales y sus aleaciones. Eliminación de impurezas en los metales para aumentar la ley de contenido. (uso de hornos industriales)	Emisiones a la atmósfera, residuos peligrosos y aguas residuales.

Tabla: Relación de impactos ambientales sobre las actividades mineras (Alberto & San, 2005)

Los impactos ambientales que causan los proyectos mineros son asociados con los proyectos de minería mal planeados y mal administrados, las cuales se incluyen los siguientes casos:

- Modificación parcial o total de las zonas de depósito mineral, afectando desde una hectárea hasta varios kilómetros cuadrados, creando pilas de residuos minerales (jales) o tajos abiertos.
- Exposición de partículas mineras en el aire; erosión de superficies expuestas, ruido y vibraciones por explosiones; perturbación de suelos, vegetación y hábitats; alteración de suministros de agua superficial y subterránea; modificación visual parcial o total de los paisajes, perturbación de estilos de vida a nivel salud y seguridad.
- Generación de huecos en el subsuelo, riesgo de inestabilidad del suelo y subsidencia, menos severo que la minería superficial.
- Producción de grandes cantidades de residuos, que se distribuyen dentro o cerca de la planta de beneficio, aprovechadas erróneamente para rellenar huecos de áreas minadas, afectando el aire, ruido, vista del paisaje, superficie del terreno, agua superficial, impactos a la salud e inseguridad de la población circundante.

En el caso específico de México, por más de 400 años de manera ininterrumpida, se han creado montañas de residuos mineros con contenidos diversos potencialmente tóxicos, exponiendo a poblaciones enteras, flora y fauna por medio del suelo, aire y cuerpos de aguas contaminadas. Muchas veces existe el riesgo de bioacumulación, que podría ser el caso del mercurio. (Poulin & Herman, 2008; V. Reyes et al., 2009).

Los contaminantes más frecuentes en las zonas mineras del país son el arsénico y el plomo, a los cuales se les suma el cadmio en algunas de ellas; por esta razón, el sector minero en materia de protección ambiental desarrolla programas de mejoramiento de procesos limpios, como la promoción de la protección ambiental, respeto a las comunidades que se encuentran en los desarrollos mineros, actualización de diferentes áreas a sus agremiados para que sean prácticos y creativos, el desarrollo del sentido de la pertenencia y el trabajar en equipo tomando decisiones bajo consenso (A. M. Reyes, 2009).

Las empresas dedicadas a la explotación minera y las estancias gubernamentales tienen el compromiso y la obligación de prevenir, controlar y mitigar los daños generados al ambiente por el desarrollo de las actividades mineras, siendo también un compromiso de los pobladores de las comunidades el colaborar y participar en la recuperación de estos

sitios de explotación, que suelen convertirse en tiraderos de los residuos del municipio, implicando un doble esfuerzo por restaurar los suelos y las zonas minadas (Alberto & San, 2005).

Residuos mineros con alto impacto ambiental

Jales de mina

Los residuos mineros son conocidos como *tailings*, relaves o jales, generados durante el proceso de recuperación de metales a partir de minerales metalíferos al moler las rocas originales que los contienen; al mezclarlos con agua y pequeñas cantidades de reactivos químicos que ayudan a liberar los metales. Un mineral típico puede contener alrededor de 6% de zinc y 3% de plomo, que al concentrarse generan cerca de 850kg de residuos sólidos y una cantidad equivalente de agua conteniendo cerca de un kilogramo de sustancias químicas residuales por cada tonelada de mineral procesado (González Valdez et al., 2019)

La mayoría de los jales se generan en forma de lodos o de una mezcla líquida de materiales finos que posteriormente se comporta como un suelo, caracterizándolos con principios de mecánica de suelos, al reconocer los procesos de consolidación, se da lugar y forma en que fluyen dichos lodos; las diferencias que tienen estos residuos con respecto a un suelo común, está el hecho de que su densidad y cuerpo son bajos inicialmente, creciendo con el tiempo. (A. M. Reyes, 2009).

En la industria minera se conserva y reusa el agua del proceso, también para concentrar los lodos, sometiéndolo a procesos de deshidratación hasta que se alcanza una consistencia que facilite su transporte a el lugar donde se vayan a depositar, siendo que el contenido de solidos representa de un 40% al 50% y de agua va de 100% a 150% respectivamente; se busca que el lodo tenga propiedades de un fluido. Estos lodos se transportan a presa o depósitos de residuos (presas de jales) por medio de ductos, ya seas de gravedad o por bombeo, también considerando las descargas subáreas o por descarga de inyección subacuosa, es decir, por debajo del agua superficial. Asimismo, se puede remover agua adicionalmente para crear una descarga engrosada o densa. (Alberto & San, 2005; A. M. Reyes, 2009)

La forma de depositar los jales en las presas incide de manera relevante a su comportamiento y la constitución de las capas con diferente grosor de partículas y porcentaje de humedad. (Alberto & San, 2005).

Bajo el efecto de la gravedad, las partículas se empaquetan en el fondo, provocando el fenómeno de consolidación, aportando tres beneficios, primeramente aumentan los sólidos almacenados en un volumen específico, aumenta el cuerpo del suelo por la ausencia de agua y disminuye la cantidad de filtraciones en dirección al subsuelo (Moreno Onofre & Santos Jallath, 2017). Al completarse el proceso, se encuentra cerca del 20% de agua unida a partículas, incluyendo en medios demasiado áridos con altos índices de evaporación; siendo la permeabilidad de los relaves depositados en una presa utilizada como indicador de consolidación y potencial de filtraciones. El resultado es un depósito segregado de partículas, siendo la permeabilidad mayor cerca del depósito, el cual disminuye progresivamente. (Moreno Onofre & Santos Jallath, 2017; A. M. Reyes, 2009)

Como consecuencia de fuerzas dinámicas naturales como las generadas por terremotos, existe la posibilidad de licuefacción de los jales por la vulnerabilidad ocasionada por tratarlos en depósitos pobres de infraestructura de partículas en un estado libre y saturado. En caso de que una fuga ocurra, los jales pueden transportarse distancias considerables con mucha rapidez, generando grandes desastres a su paso. Las consecuencias se agravan cuando los jales se encuentran en forma de sulfuros, existiendo un elevado potencial de generación de ácidos en presencia de oxígeno y agua; requieren una atención elevada los jales que contienen diversos elementos potencialmente tóxicos como arsénico que presentan altas concentraciones de cianuro empleado en el beneficio de los metales, provocando la contaminación por sales utilizadas en los procesos salinos (Alberto & San, 2005).

El almacenamiento de jales se puede efectuar en diversos lugares siempre y cuando se apliquen los criterios especificados en la norma NOM-141-SEMARNAT-2003; existen casos específicos como la ubicación de una presa de jales en áreas naturales protegidas, sujeta al estudio y evaluación de un manifiesto de impacto ambiental. Existen zonas y obras que se consideran patrimonio histórico o cultural, debiendo cumplir con las leyes aplicables.

Otra alternativa a considerar es si se pretende ocupar un cauce natural de corriente en zona federal, requiriendo un permiso por ocupación o concesión de zona federal y de construcción de obra hidráulica por la CONAGUA, que determinará su procedencia. (SEMARNAT, 2003)

Metales pesados, acumulación y disponibilidad por factores del suelo.

De forma minoritaria y en bajas concentraciones, en el suelo se encuentran elementos que evolucionan, y con la interacción a lo largo de los años, ha ocurrido que la interacción en

altas concentraciones con estos elementos ha generado efectos tóxicos para los organismos; dentro de este grupo basto de contaminantes encontramos de manera abundante a los metales pesados.

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 gramos por centímetro cuadrado en forma elemental, superando el número atómico de 20, sin considerar a los metales alcalinos y los alcalinos térreos. Con una presencia inferior del 0.01% de la corteza terrestre.(Oviedo-Anchundia et al., 2017)

Estos metales pesados se dividen en dos grupos, siendo primero los microelementos o micronutrientes, son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza, son necesarios para los organismos, ayudando a completar sus ciclos vitales; en cantidades que pasen los límites ordinarios suelen considerarse tóxicos, siendo considerados el cobalto, cobre, cromo, molibdeno, manganeso, selenio y zinc. Por otra parte, tenemos a los metales pesados sin función biológica conocida, representando un peligro para el funcionamiento de los organismos, resultando altamente tóxicos y acumulativos; en este grupo tenemos al cadmio, mercurio, plomo, níquel, antimonio y bismuto. (Londoño Franco et al., 2016)

Los metales pesados son estables en el suelo y en el proceso natural de transformación de las rocas para la generación de los suelos, concentrándose sin rebasar los umbrales de toxicidad, encontrándose de formas poco asimilables para los organismos. Las rocas ígneas ultrabásicas presentan muy altos contenidos de metales pesados, seguidas de las ígneas básicas, luego las ígneas ácidas y las sedimentarias. En porcentajes altos primeramente encontramos al Cr, Mn y Ni, en menores cantidades al Co, Cu, Zn y Pb, y en los mínimos contenidos al As, Cd y Hg. (Carlos et al., 2016)

El contenido de metales pesados en suelos debería ser en función del material original y de los procesos de edafogénesis (formación del suelo), sin embargo, es la actividad humana la que principalmente incrementa el contenido de metales en el suelo en cantidades de consideración, siendo la causa más constante de las concentraciones tóxicas. (Escobar, 2004)

Se le atribuye de manera certera un origen antropogénico a las concentraciones no naturales, que provienen de actividades mineras, vertidos industriales, plaguicidas aplicados y tráfico rodado; se emiten partículas que se precipitan en los suelos lejos del lugar de origen.(V. Reyes et al., 2009)

Los metales pesados suelen seguir cuatro diferentes vías:

1. Quedan retenidos en el suelo de manera disuelta o fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
2. Son absorbidos por las plantas y se incorporan a las cadenas tróficas.
3. Se volatilizan en la atmósfera.
4. Se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas.

Los métodos de introducción de un agente contaminante en el suelo dependerán no solo del mismo contaminante, si no de las características del suelo donde se vierta; los suelos son muy sensibles a la agresión de contaminantes, y esto dependerá de las características edafológicas del suelo.

- **pH:** Esencial en la composición del suelo, siendo para los metales una mayor disponibilidad cuando el pH es ácido, sin incluir al Cr, Mo, As y Se, que tienden a estar disponibles a pH alcalinos. Es un parámetro importante por la movilidad de cationes, ya que debido a que en medios de pH moderadamente altos se genera la precipitación de hidróxidos; por otra parte, en medios muy alcalinos pasan como hidróxicomplejos. El pH condiciona la adsorción y la solubilidad de los metales pesados. (Cuizano et al., 2010)
- **Textura:** Los metales pesados tienden a ser absorbidos por la arcilla, mientras que los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de metales pesados, pasando al subsuelo, contaminando niveles freáticos.
- **Estructura:** Favorece la infiltración de metales pesados del suelo, generando una contaminación.
- **Suelos arcillosos:** La descompensación eléctrica y los valores de superficie específica hacen responsables el poder de absorción de estos minerales.
- **Materia orgánica:** Forman complejos de cambio y quelatos, migrando con mayor facilidad a lo largo de los perfiles del suelo. También pueden absorber fuertemente algunos metales, como el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas, a diferencia del Zn y Pb, que forman quelatos solubles muy estables. En el caso de la materia orgánica, la complejación es uno de los procesos que sugieren la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados; su toxicidad se potencia a gran medida por la tendencia de formación de complejos organometálicos, facilitando su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de estos complejos, o su mayoría, frente a la degradación por los organismos del suelo causa una mayor

persistencia de la toxicidad. En presencia abundante de quelatos reduce la concentración de iones tóxicos en la solución del suelo (C. García et al., 2002)

- **Capacidad de intercambio:** La arcilla y la materia orgánica, en conjunto la generan, y cuanto sea mayor la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo en fijar metales; dependiendo de su valencia y del radio iónico hidratado, variará su poder de absorción. A mayor tamaño y menor valencia, menos fuerza de retención tendrán.
- **Condiciones redox:** Es responsable de que el metal encuentre un estado oxidativo o reducido, que es regido por los siguientes términos:
 - Cambio directo en la valencia de ciertos metales, que al reducirse son mucho más solubles.
 - Las condiciones redox pueden afectar indirectamente la movilidad de los metales, siendo que varios están asociados o adsorbidos a hidróxidos de Fe o Mn, que no son estables al potencial redox ni al pH bajo, convirtiéndolos en sulfuros u carbonatos, dependiendo de las condiciones químicas se genera una movilización.

En ambientes reductores, el Fe se combinaría con el azufre moléculas hasta convertirse en pirita; cuando se presentan grandes cantidades de pirita y aumenta el potencial redox, el azufre se oxida, generando sulfatos que liberan ácido sulfúrico, acidificando el suelo fuertemente, haciendo los metales muy solubles.

Impactos en sistemas hídricos

Sin considerar las zonas con ausencia de cimientos de agua en suelo y subsuelo con características completamente áridas, el agua siempre ha sido un componente del suelo, que por su propia dinámica, el agua contiene en su mayoría componentes diversos en solución, ocasionalmente en suspensiones (Ordóñez Ramirez, 2007)

En función de la naturaleza y estructura del suelo, el agua puede encontrarse en buenas condiciones como fase libre, móvil en el suelo con características altas en porosidad y permeabilidad; así como en fase estática adsorbida o absorbida en suelos arcillosos. En fase libre el agua puede estar en constante movimiento, manteniendo homogeneidad composicional, mientras que en la fase estática interfieren variaciones composicionales medianamente relevantes (Almau, 2012).

La composición del agua en el suelo en base al contenido de sales solubles como bicarbonatos, carbonatos, sulfatos y cloruros, estará condicionada por factores de litología

del suelo y el entorno, es decir, por factores climáticos. La cercanía de explotación minera de metales sulfurados en forma mineral contienen altos niveles de sulfatos, los cuales se encuentran los metales pesados (Alberto & San, 2005; Peña Neira & Araya Meza, 2021)

Por lo general, la minería metálica es una de las mayores fuentes de contaminación por la intervención de sulfatos y generación de residuos ácidos o de metales pesados en el aprovechamiento de los minerales, siendo la ocupación de superficies con lodos de deposición, materiales inertes para restauración dentro de procesos graduales, que contaminan por medio de elementos tóxicos las fuentes de agua.

También existen diversos temas de conflicto, y uno de los que más destaca es la competencia al acceso y uso de recursos hídricos, así como los potenciales efectos de contaminación por la actividad minera, considerando que los conflictos no solo podrían reflejar la importancia del control de fuentes hídricas para la minería, si no su correcta distribución hacia las actividades de las que son dependientes las poblaciones, como la agricultura, ganadería y consumo personal. Estos conflictos suelen ser generadas por diferentes puntos de vista, es decir, una ideología de opciones de desarrollo, como lo son el crecimiento económico y distribución de recursos financieros.

El agua es central en los conflictos sociales y ambientales relacionados con la minería debido a diversos factores (Ordóñez Ramirez, 2007):

1. La escasez natural, de manera real o potencial; y la escasez generada por la distribución ineficiente e inequitativa de los recursos hídricos disponibles, destacando en zonas con altos índices de vulnerabilidad ecológica y social.
2. La gran competencia desigual por el acceso al agua que es facilitada por leyes y normas no actualizadas, así como las prácticas históricas de control del agua que reducen las oportunidades de cooperación en el incremento al acceso a recursos hídricos disponibles o los potencialmente aprovechables.
3. Una gestión del agua ineficiente y de los entornos con los que su contacto interviene.
4. La falta de rigidez y fuerza de las instancias gubernamentales, así como de las organizaciones locales para garantizar el cumplimiento del derecho implícito en la ley al acceso y correcta regulación al líquido vital, con deficiencias en su distribución y usos preferentes.
5. El nulo o pobre conocimiento del valor e importancia que el agua tiene en equivalencia a sus consumidores.

6. El requerimiento de un tratamiento complejo y especial para volver a su estado natural, sin mencionar que retornarlo a los parámetros establecido por la ley también sería difícil.
7. Los depósitos de jales que no llevan una correcta ejecución, filtran los contaminantes y conducen por medios subterráneos los contaminantes, generando un alto impacto ambiental.

Y de manera específica en diversas materias y actividades económicas ajenas a la minería, encontramos los siguientes efectos (Peña Neira & Araya Meza, 2021):

- **En la agricultura:** La contaminación de cuerpos de agua en contacto con residuos mineros, al extenderse por las cosechas y en el terreno utilizado para esta actividad, en la mayoría de los casos genera la pérdida total de cosechas, inutilizando el suelo para esta actividad.
- **En la ganadería:** Al consumirse el agua contaminada, podría resultar fatal para los animales, sin mencionar la expansión de la contaminación a través del consumo de sus productos.
- **Filtración en cuerpos de agua subterráneos:** Al estar expuestos a pequeñas cantidades, inminentemente las personas que lleguen a consumir o utilizar esta agua podrán generar enfermedades crónicas y agudas a un corto, mediano y largo plazo.
- **Interacción con territorios extensos:** La absorción por el suelo producto de la filtración de agua contaminada, perdiendo todos los nutrientes vitales, con una recuperación imposible de efectuar y la extensión de la contaminación.

A estas listas se suman los problemas a largo plazo que genera la contaminación de cuerpos de agua en minas abandonadas, llegando a ser ya frecuentes y extensivos a lo largo del país, que debería llevar a tomar decisiones de ya no abrir ni permitir la formación de nuevas minas, obligando a los interesados a desarrollar predicciones 100% acertadas a un tratamiento perpetuo del agua una vez que la mina finalice operaciones (Almau, 2012).

Es más que un hecho que el agua es, indudablemente, el principal medio de recepción de los contaminantes generados por la industria minera, y debe ser de gran interés el conocimiento público que el impacto que esta genera podría impactar seriamente otros componentes fundamentales de cualquier entorno natural.

Minerales sulfurados

El proceso generado por los yacimientos minerales sulfurados por flotación selectiva se produce jales; generalmente contienen sulfuros metálicos residuales. El principal problema asociado con los jales se relaciona con la dispersión de los mismos hacia el entorno, como puede ser en las zonas lluviosas, problemática ambiental relacionada con la generación de drenaje ácido y su dispersión a través de los escurrimientos superficiales (Dispersión hídrica), mientras que en las zonas áridas se relaciona con la dispersión provocada por el viento (Dispersión eólica) (Romero et al., 2008)

En este punto, la dispersión hídrica genera drenaje ácido, ocasionado por la oxidación de sulfuros metálicos y son soluciones caracterizadas por tener muy bajos niveles de pH y altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos disueltos, que, al momento de moverse por efluentes naturales, pueden convertirse en un gran problema ambiental severo al contaminar suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas.

Una actividad prioritaria es ubicar, cuantificar y caracterizar los residuos, tanto de las minas activas como las abandonadas, en los distritos mineros históricos de México, habiendo diversos casos particulares en donde los residuos mineros son muy complejos debido a las características geológicas y la historias de extracción inadecuada; destaca la dispersión de metales a niveles regionales en estos puntos, considerando el potencial económico de los minerales no metálicos que también contienen los jales. (Ramos-Arroyo & Siebe-Grabach, 2006)

Los yacimientos minerales pueden agruparse según su origen geológico y se esperaría que residuos del mismo origen tuvieran un comportamiento geoquímico-ambiental similar, teniendo a consideración que cada depósito de residuos tiene un comportamiento específico debido a la variabilidad espacial en las propiedades, a su vez función de las diferentes zonas explotadas de los yacimientos, de las variaciones de recuperación en los métodos de beneficio y de las condiciones fisiográficas y de drenaje de cada sitio. (Ramos-Arroyo & Siebe-Grabach, 2006)

Los depósitos de jales son materia no consolidados cuyas partículas pueden moverse fácilmente tanto por la acción del viento como por el impacto de las aguas de lluvia. Estos depósitos no presentan obras para desviar el agua de escurrimiento de la cuenca de captación tienen altos riesgos de erosión hídrica. Cuando la lluvia ha caído durante varios días, los poros tienen un nivel de saturación cercano al 100% y los jales pueden llegar a fluir por efecto de su peso, resultando en pérdida de estabilidad y deslizamiento.

Si los jales no contienen cantidades altas de elementos potencialmente tóxicos que puedan liberarse, o no presentan condiciones extremas de acidez, alcalinidad o salinidad, pueden ser colonizados por las plantas nativas del sitio, así como el desarrollo natural de la vegetación en jales después del abandono es influenciado por los procesos erosivos, las características químicas del sustrato y el régimen de humedad dentro de los depósitos.

La cobertura vegetal disminuye la energía del impacto de las gotas de lluvia, además las raíces retienen a las partículas, y la humidificación de la materia orgánica ayuda a agregar los granos e incrementa su capacidad de retención de humedad.

Los procesos geoquímicos que se presentan en depósitos de jales y que controlan los niveles de pH e influyen sobre la movilización de los elementos potencialmente tóxicos hacia otros compartimientos ambientales son:

1. Oxidación de sulfuros que genera acidez.
2. Neutralización de acidez por carbonatos y otras fases que cuando se intemperizan generan alcalinidad
3. Precipitación de fases minerales secundarias como óxidos, oxihidróxidos, sulfatos e hidroxisulfatos
4. Adsorción en superficies de óxidos y oxihidróxidos formados in situ.

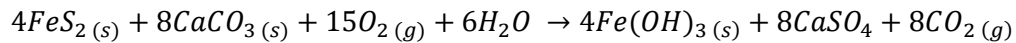
Los minerales depositados no permanecen estables, sino que reaccionan hasta que llegan a una situación de equilibrio en función de las condiciones de los sitios. La liberación de los iones hidronio en los jales depende de la cantidad de minerales con capacidad de generar acidez y para neutralizarla.

Los reactivos necesarios para la oxidación son el agua y el oxígeno y su presencia en la superficie de los jales depende de la granulometría y de la ubicación dentro del depósito, así como de su relación con escorrentías naturales.

Evidencias del proceso de oxidación de sulfuros son el pH y la conductividad eléctrica, relacionada con la generación de sulfato. La oxidación se ve reflejada en los tonos rojizos y anaranjados del sustrato por la presencia de óxidos, oxihidróxidos, sulfatos e hidroxisulfatos.

Los minerales depositados se encontrarán en constante reacción con el entorno hasta que encuentren un equilibrio en función a las condiciones que presente cada sitio.

Se debe considerar la liberación de iones hidronio, que en los jales depende de la cantidad de minerales con capacidad de generar acidez y una forma de neutralización, estamos hablando de un generador de acidez conocido como pirita FeS₂, con alto contenido de azufre; en el caso de la neutralización entra en función la calcita. El proceso de oxidación y neutralización generan yeso y ferrihidrita y es expresado de la siguiente forma:



Es necesario contar con agua y oxígeno para que la oxidación suceda, por lo que la granulometría y la ubicación de los jales es un factor importante a considerar, siendo sitios con escorrentías naturales las que se benefician de dicho proceso; la oxidación es reflejada en tonos rojizos y anaranjados por la presencia de óxidos, hidróxidos, sulfatos e hidrosulfatos (Ramos-Arroyo & Siebe-Grabach, 2006); así como la presencia de yeso indica que ha sucedido una neutralización de protones por calcita.

Metales pesados en el suelo

El suelo es cuerpo natural representado y visualizado de manera tridimensional que pasa a formar parte de un ecosistema, considerándose parte primordial de uno. En él se realizan funciones tan importantes como los ciclos biogeoquímicos y la captura de agua; su formación involucra periodos que pueden llegar a miles de años, pero su degradación, que en la mayoría de las veces suele ser irreversible, puede realizarse en periodos altamente veloces y muy cortos. Cuando se habla de la degradación del suelo se hace referencia directa a los procesos que involucran la actividad humana, provocando la disminución de las interacciones biológicas, productividad y biodiversidad, impactando directamente a la capacidad de sostener la vida humana (Lozano-Rivas, 2018).

Existen distintos tipos de suelos con diferentes capacidades, características y morfología específica, siendo el resultado de la relación de los diferentes factores ambientales formadores como el clima, la materia orgánica, materia mineral materna, topografía y edad del mismo. Un componente primordial de la función vegetal es el suelo agrícola, que representa la parte superior de la corteza terrestre en donde se desarrollan los cultivos, y junto con el clima, la planta y el entorno biológico toma el papel de ser el soporte de las planta y suministradores de nutrientes, considerando todas estas funciones como parte de un suelo sano, debiéndose encontrar en equilibrio para mencionar que un suelo sano es un suelo fértil. (Alberto & San, 2005; Lozano-Rivas, 2018)

Si un medio detecta la contaminación de la actividad minera es el suelo, en donde son más notorios, siendo consecuencia de la modificación profunda o eliminación del suelo para que este pueda ser explotado. Se considera que el suelo que ha sido explotado por actividad minera cuando en una intervención el material se encuentra en un estado deteriorado, donde se encuentran productos residuales de las extracciones a este mismo y son depositados en su mayoría en escombreras o presas de jales (Latorre & Tovar, 2017).

La modificación con intención minera de los suelos tiene como consecuencia graves problemas para el desarrollo y equilibrio de la cubierta vegetal, en los cuales destacan los siguientes puntos:

1. Baja profundidad efectiva: El suelo ya presenta un espesor demasiado limitado y se ve reflejado en la dificultad para desarrollar la raíz, teniendo como consecuencia un desarrollo superficial en una fina capa del suelo debido a un suelo delgado, y sumando efectos negativos, la baja retención de agua por la ausencia de materiales con características coloidales, siendo también un efecto importante por la escasez de la estructura.
2. Propiedades químicas irregulares: El suelo de la industria minera pueden presentar situaciones extremas en los parámetros químicos principales, los cuales representan los sistemas con mayor impacto ante la oxidación intensa y acelerada, llevando consigo una liberación de iones hidrógeno, acidificando el suelo al descender considerablemente el pH, a niveles menores a 3 (Cuizano et al., 2010)
3. Clase textural desequilibrada: Las dimensiones del tamaño de partículas producidas como resultado de las operaciones mineras resultan como materiales homométricos, abundando los materiales gruesos menores a 2 milímetros, proporcionando una ausencia y baja presencia de estructura edáfica, desencadenando la ausencia de materiales coloidales y ausencia de actividad biológica, y como consecuencia quedan partículas sueltas, formando paquetes estatificados y de gran tamaño (Molina et al., 2014)
4. Desequilibrio de nutrientes fundamentales: En consecuencia, de la nula actividad biológica, las carencias de los elementos como C, N y P crea una enorme descompensación en los ciclos biogeoquímicos ya que en la actividad minera se elimina principalmente la capa superior del suelo, lugar donde se llevan a cabo dichos procesos.

Las modificaciones intensas en los suelos intervenidos con la minería representan la destrucción total de la vida en cualquier forma; en la búsqueda de su recuperación se han dado cuenta de que ya no son productores potenciales, por lo que hay diversos proyectos para rescatarlos y por lo menos tenerlos en las ramas productivas en las que se puedan someter.

Biorremediación

En México existe la legislación pertinente para la disposición de residuos, así como su manejo, pero es evidente que el problema de una mala estructuración de procesos persiste. La presencia de desechos que han trascendido desde tiempo anteriores a la ingeniería moderna también es un agravante de la situación por la contaminación de metales pesados en México.

Muchas instituciones públicas han desarrollado investigaciones para establecer la magnitud del problema actual en diversas partes del país, incluyendo a pequeñas y grandes minas explotadas, han propuesto estrategias para contribuir a una solución, enfocado en alternativas biológicas que de alguna u otra forma representan un impacto menor ante la alteración del ambiente a través de la remoción de metales pesados por medio de la fitorremediación.

Fitorremediación

Es definida como “una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para una reducción *in situ* de la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua y aire a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes” (Nuñez et al., 2004).

La exposición de las plantas ante metales pesados representa diferentes respuestas fisiológicas, variando de la especie de la planta, el metal al que se expone y la concentración de dicho contaminante en el suelo. Estas se clasifican en tres tipos, siendo los excluyentes, indicadoras y acumuladoras de metales pesados:

1. Excluyentes: Impiden la entrada de contaminantes a sus tejidos aéreos; por lo general los retienen en sus raíces, inmovilizándolos y evitando que sean transportados por el medio, de tal forma que no permiten que los contaminantes sean lixiviados (Gonzales Gómez, 2010)

2. Indicadoras: Acumulan metales en el tejido aéreo guardando una relación lineal respecto a la concentración del suelo, es decir, reflejan la densidad de contaminante presente en el medio, aumentando o disminuyendo a medida que fluctúan (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017)
3. Acumuladoras: Obstruyen los contaminantes en sus tejidos, contando con concentraciones del contaminante muy por encima de las presentes en el medio.(Ullah et al., 2015)

Partiendo de esta clasificación, existen dos vertientes que encaminan el proceso de remediación de suelos contaminados con metales pesados a dos puntos: La fitoestabilización y la fitoextracción(Covarrubias & Peña Cabriales, 2017):

1. La fitoestabilización busca especies con características excluyentes, las cuales acumulan grandes cantidades de metales en la raíz, evitando que estos puedan transferirse a la parte aérea y estar disponibles para otros seres vivos (López-Martínez et al., 2005)
2. La fitoextracción busca especies de tipo acumuladores, donde el contaminante sea transportado desde la raíz hasta los brotes aéreos, para después ser cosechado y estos sean confinados (E. M. García et al., 2021)

La fitoextracción es uno de los avances científicos y tecnológicos más grandes, ya que para determinar una especie vegetal que podría ser utilizada en un tratamiento de fitorremediación, se considera la eficiencia de la planta para acumular el metal proveniente del suelo en su tejido, contemplando desde su raíz hasta la parte aérea (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017). Una planta puede considerarse acumuladora si su relación en concentración raíz-zona aérea es igual o mayor a la unidad, por lo que hay plantas que tienen la capacidad de hacerlo de 5 a 500 veces más que el promedio, denominándolas “hiperacumuladoras”, habiendo cerca de 400 especies a nivel mundial, destacando la familia *Brassicaceae*, que contempla a la col, coliflor, brócoli, col de brúcelas, nabo, rábano, berros, mostaza y ornamentales como helechos, claveles, begonias, lirios de agua y petunias (Alexander et al., 2008)

Rizobacterias

La desventaja principal de la mayoría de las especies vegetales acumuladoras es el lento crecimiento y baja producción de biomasa, por ello existen diversas estrategias para incrementar el rendimiento de la planta al someterla a fitorremediación de metales, por lo

que se considera una manera de mejorar el proceso la inoculación con microorganismos del suelo (Moreno et al., 2018).

Las principales características que se buscan en los microorganismos utilizados en los tratamientos de fitorremediación es que tengan propiedades de impulsión de crecimiento vegetal, así como la capacidad de movilización de metales o la inmovilización en las estructuras celulares. Las bacterias generalmente logran estimular el crecimiento de la planta mediante varios mecanismos, como la producción de fitohormonas para reducir los niveles de etileno, incrementa el desarrollo radículas o de mejorar el estatus nutricional de la planta a través de la fijación de nitrógeno biológico (P. Rodríguez et al., 2017).

La capacidad de movilizar metales se puede lograr mediante la producción de ácidos orgánicos y de sideróforos; por otro lado, los hongos micorrícicos al unirse simbióticamente con el sistema radicular de las plantas ocasionan un crecimiento del sistema, mejorando la asimilación de fosfato (P. Rodríguez et al., 2017). De igual manera, los metales pesados pueden ser inmovilizados mediante la secreción de glicoproteínas o ser adsorbidos en las paredes celulares fúngicas, reduciendo los efectos tóxicos para las plantas (Alvarado et al., 2011).

En pocas palabras, la fitorremediación asistida por diversos microorganismos es considerada una alternativa para mejorar la eficacia en tratamientos de desintoxicación de sistemas contaminados por metales pesados. México cuenta con una gran variedad de especies vegetales con capacidad de absorción de metales pesados, capaces de trabajar de manera simbiótica con microorganismos diversos, mejorando su capacidad de fitorremediación.

Impactos a la salud

La minería representa un peligro para cualquier comunidad y/o ecosistema que tenga interacción con esta industria, y no solo por la modificación del medio o proliferación de contaminantes, sino también por la posibilidad de generar incendios, explosiones y derrumbes. Históricamente hablando, la minería dejó expuesta a una interminable cantidad de personas y lugares que siguen expuestas a riesgos contra su salud, ya sea por la cercanía a residuos mineros o sustancias químicas en los diferentes medios que se transportan por la atmósfera o por los cuerpos de agua, pero en general daña la salud de diferentes maneras (Hesperian, 2011). En un sitio minero, dos son las principales fuentes contaminantes: el proceso primario de tratamiento de metales y la generación de residuos

mineros; dichos residuos representan el 65% de los residuos industriales que se producen en México.

En un sitio minero, las principales rutas de exposición pueden ser al material particulado en el aire; el suelo contaminado que incluye el polvo generado desde la mina, principalmente proveniente de los jales o por la disposición del material particulado en el aire; el polvo contaminado e inclusive la contaminación de cuerpos de agua por el lavado no regulado de jales o suelos contaminados.(Mejía et al., 1999)

Por esta razón, las zonas mineras deberían ser consideradas como sitios potencialmente peligrosos para la salud, y sería necesario establecer una metodología especial para su estudio que incluyera la evaluación de tres factores:

1. La caracterización de la biodisponibilidad de los metales,
2. El estudio de la toxicidad de los residuos bajo la perspectiva de que su toxicidad dependerá de la interacción de los metales presentes en ellos, y
3. El análisis de la contaminación de los medios del ambiente a fin de determinar las rutas de mayor riesgo para la comunidad afectada.

El primer factor que debe establecerse es la biodisponibilidad de los metales del sitio minero, siendo el punto más importante debido a que se ha demostrado que los metales cuyo origen proviene de la minería tienen una baja capacidad de absorción; así, los metales pesados no pueden absorberse porque forman cristales minerales de baja biodisponibilidad, deben ser considerados de bajo riesgo y el sitio minero de su procedencia, por consecuencia, no representaría un peligro como para ser restaurado. (Ahn et al., 2020)

Es importante resaltar que la biodisponibilidad de los metales no necesariamente está relacionada con su toxicidad; siendo que, en los sitios mineros, los metales se presentan en mezclas, pudiendo darse el caso de una interacción toxicológica entre ellos. Un claro ejemplo puede ser una alta concentración de zinc que, al tener contacto con el cadmio, neutraliza su toxicidad; La toxicidad real de un material minero no puede establecerse a través de la caracterización química, por lo que las interacciones de mezclas complejas constituyen una de las limitantes más serias de la toxicología moderna. (Mejía et al., 1999)

Los metales deben ser cuantificados en diversos medios y en los residuos mineros para establecer la magnitud de la contaminación, definiendo los medioambientes que más impactan, identificando metales con mayor concentración. La biodisponibilidad, el

conocimiento toxicológico y el monitoreo ambiental son factores complementarios entre sí que permiten calificar riesgos para la salud pública, buscando reducir la incertidumbre cuando existen proyectos de restauración ambiental, implicando la limpieza de dichos contaminantes. (Kang et al., 2021)

Es importante establecer que la minería someterá siempre a condiciones peligrosas e interacción con químicos tóxicos a sus trabajadores, afectando también a la salud de la gente por medio de los problemas sociales que este detona, comenzando por la mención de la irregularidad de construcción de pueblos y campamentos mineros, teniendo una planificación inadecuada haciendo referencia a su número adecuado de habitantes, distribución de recursos, etc (Hazin, 2013)

La riqueza repentina y la pobreza inmediata va de la mano con la violencia intrafamiliar, abuso por parte de los patrones y la lucha constante por el control de los recursos. Mencionar que la gente suele ser forzada a abandonar su comunidad por la violencia o porque se vuelve imposible continuar viviendo como antes de la apertura de la mina (Muñoz-Duque et al., 2020)

Esta industria sustenta a millones de personas a nivel mundial, frecuentemente en las zonas menos favorecidas; generalmente la riqueza del suelo no representa la misma riqueza para los mineros, ya que una de las premisas es explotar hasta el último pedazo de suelo y con ello a sus trabajadores, salud, derechos humanos y el medio ambiente. La creación de sindicatos mineros junto con aliados de la comunidad u organizaciones han forzado a las compañías y gobiernos a cumplir con la ley para proteger todo el entorno minero; se han dado casos en los que no se busca el bienestar a largo plazo de la comunidad, que debería ser el papel primordial y seguir evitando los problemas de salud causado por la actividad y uso de minerales (Manky, 2017)

Una de las cuestiones que trae el cierre de minas al localizar una operación peligrosa, insalubre o contaminante es el abandono de los mineros en el aspecto laboral que llevan a una inminente pobreza, por lo que las comunidades deben exigir que los costos de cierre de una mina incluyan planes y costos para su bienestar y supervivencia.

Sustancias químicas usadas en la minería

Las sustancias químicas utilizadas en los procesos de extracción de las minerías y procesamiento de minerales contaminan el suelo, agua y atmósfera, causando severos

problemas a cualquier forma de vida que tenga interacción dichos medios contaminados; el listado de sustancias químicas tóxicas utilizadas es la siguiente:

- Cianuro, mercurio, ácido sulfúrico y disolventes para separar los minerales de la mena.
- Ácido nítrico
- Nitrato de amonio y petróleo combustible (ANFO), explosivo de alta potencia utilizado para detonar el suelo y facilitar la extracción de minerales.
- Mercurio, uranio y plomo
- Gasolina y diesel para los vehículos y equipos que lo requieran.
- Acetileno para la forja y soldadura.

Una de las sustancias que más generan impactos a la salud es el cianuro, utilizado para separar el oro de la mena, encontrándose en su forma pura incoloro con un olor a almendras amargas, haciéndose inoloro cuando se mezcla con otras sustancias químicas; puede ser utilizado en forma de polvo, líquido o gas.

Es mortal en caso de ser ingerido; una cantidad del tamaño de un grano de arroz es suficiente para matar a una persona y su exposición a bajas dosis por un tiempo prolongado puede causar bocio, dañando la glándula tiroides, generando un descontrol físico en el afectado, también el efecto nocivo y letal más importante de las distintas variedades de cianuro es el de impedir que el oxígeno, que es transportado por los glóbulos rojos de la sangre, llegue a las demás células del organismo, impidiendo así el proceso de respiración celular. Es frecuentemente regado por acueductos durante la explotación del oro, al llegar a las presas de jales y estas se encuentran en su punto máximo pueden desbordarse y distribuirse por cuerpos de agua, que en la única posibilidad de haber altos índices de radiación solar y buena oxigenación en el ambiente, pierde su toxicidad. En el caso opuesto. Al filtrarse en el suelo o desbordarse en temporadas de lluvias, puede permanecer dañino por mucho tiempo, matando toda la vida en los ríos y siendo un daño potencial para el humano al ingerirla o disponer para uso personal. (López-Jiménez et al., 2019)

El cianuro es de las sustancias más tóxicas y peligrosas, tanto que muchos países han optado por prohibir su uso y así “evitan” desastres relacionados con el uso de esta sustancia.

Por otra parte, tenemos al ácido sulfúrico, químico tóxico utilizado en la minería del cobre y también subproducto de muchos tipos de minería; al mezclarse con agua y metales

pesados forma drenaje ácido. El contacto directo con ácido sulfúrico puede causar quemaduras, ceguera y la muerte.

Inhalación de polvo de origen minero

El problema más grande generado por la minería es el daño a los pulmones debido al polvo minera y de las rocas, ya sea dentro o fuera de los recintos, un daño pulmonar puede desarrollarse si el polvo cubre las superficies con las que se interactúan constantemente, cuerpo o ropa, y la presencia de tos o dificultad para respirar. El daño generado por el polvo es irreversible, siendo una amenaza potencial para las comunidades cercanas a las minas, siendo el polvo que contiene metales pesado uno de los que más impactan al organismo.

El polvo de las minas puede dificultar la respiración, y en grandes cantidades puede hacer que los pulmones se llenen con fluido y se hinchen, siendo las siguientes señas de daño las más notables:

- Tos con mucosidad verde o amarilla.
- Dificultad para respirar, tos, silbido.
- Dolor de garganta
- Dolor de pecho
- Piel azulada en orejas y labios.
- Fiebre
- Cansancio
- Pérdida del apetito

Disminuir la cantidad de polvo inhalado puede reducir el daño a los pulmones; es deber y obligación de las comunidades presionar a las mineras para que cumplan sus responsabilidades. Establecer una cultura con base a la interacción minera en las comunidades ante sus derechos como humanos y principales afectados debe ser primordial.

Consumo de agua contaminada con residuos mineros

El servicio indispensable para el funcionamiento de una minería es la utilización del agua, que es señalada por usar cantidades ridículas y es mezclada con muchos desechos, llevando a que este líquido no pueda ser tratado por la cantidad enorme de contaminantes y dificultando su reducción de toxicidad en cuestión económica, haciendo no “conveniente” su tratamiento. Las grandes empresas dedicadas a la explotación de minas se les adjudican los mayores impactos (Effen, 2010).

El agua de la superficie y el agua subterránea en las áreas mineras pueden permanecer contaminadas por muchos años, teniendo impactos graves en su utilización desconociendo la situación como la pérdida de tierras, dejándola estéril e inutilizable para la agricultura y ganadería; a largo plazo, la contaminación del agua durará mucho más que las utilidades económicas de la minera en un corto plazo. (Peña Neira & Araya Meza, 2021).

Las filtraciones de las presas de jales causan gran parte de la contaminación del agua por la minería, y deben tomarse diversas medidas para evitar la propagación de los contaminantes; descontaminar el agua que se ha contaminado es demasiado difícil, costoso y no siempre exitoso (Moreno Onofre & Santos Jallath, 2017)

Un evento ocurre cuando el agua y el aire se mezclan con el azufre en lo profundo del suelo, el drenaje ácido, el cual genera ácidos que disuelven los metales pesados que se encuentran en los escombros y otros desechos de la mina, consumiéndose piedras y metiéndose en el suelo, penetrando a las aguas subterráneas para terminar en los ríos y los lagos. Al principio puede haber pocas señas de peligro, pero lentamente los efectos tóxicos dañan a las plantas, peces, animales y humanos que interactuaran con ella; el drenaje ácido destruye la vida río abajo desde cientos hasta miles de años a partir de la contaminación.

La mayoría de las minas pueden generar drenaje ácido de mina, y debido a que es sumamente difícil detenerlo, las compañías deberían comprobar la ausencia de sulfuro en las zonas que explotarán. La prevención, limpieza y captura del drenaje ácido de mina es demasiado costoso y complicado que en diversos países con leyes ambientales que regulan esta materia han visto afectados miles de kilómetros de ríos, por lo que la recomendación principal para su inexistencia es la prevención en el proceso de exploración.

Impactos a la salud de metales pesados

Los metales pesados tales como Ar, Hg, Cd, U y Pb son dañinos para la salud humana en dosis muy pequeñas debido a que se encuentran mezclados en las minas y son los que principalmente son arrojados a las presas de jales, tales que al no tener una correcta estructura podrían generar derrames de estos mismos metales pesados y esto genera un problema al no poder determinar de inmediato cuál de todos los metales es el que está provocando los efectos nocivos a la salud, pero al determinarlo se puede iniciar un tratamiento.

Los metales pesados que afectan principalmente a la salud por la exposición y la forma de interactuar con ellos son los siguientes:

- Mercurio: Se extrae en si mismo y se utiliza para separar el oro de su mena.
- Plomo: Se encuentra con frecuencia junto a cobre, plata y zinc.
- Cobre: Se encuentra con frecuencia junto a plata y zinc.
- Arsénico: Se encuentra con frecuencia con oro, cobre y zinc.
- Cadmio: Se encuentra con frecuencia junto a plata, cobre y zinc.

Es importante mencionar que al someterse a exposición crónica a los metales pesados e iniciar un tratamiento de medicamentos no asegura que se detendrá el envenenamiento, por lo que se considera la única forma de desintoxicación el detener la exposición. Es probable que al presentar envenenamiento de metales pesados, las demás personas con las que convivamos y/o la comunidad en la que nos encontremos también lo estén.

Cuando los mineros artesanales procesan el oro o la plata, generalmente están mezclando la mena con mercurio para separar el oro o plata de otros minerales, creando una sustancia de textura suave llamada amalgama; al quemarse para sacar el oro, el mercurio se convierte en gas y es expulsado de procesos directamente a la atmósfera, al ser aspirado se puede presentar una intoxicación inmediata. Otra forma de intoxicarse con mercurio es tener contacto directo con la piel o al ser ingerido al tener contacto con los alimentos (C. García et al., 2002)

Las señales de envenenamiento por mercurio suelen confundirse con las del paludismo; pero una forma de deducirlo es tener la certeza de que se tiene una mina de extracción de oro o plata cerca, siendo la recomendación acertada el acudir al médico de manera inmediata al presentar síntomas como pérdida de apetito, adelgazamiento, cansancio fácil, cefalea, mareos, insomnio, artralgias y parestesias (Ramírez, 2013)

El mercurio envenena el medio ambiente al asentarse en el agua y en el suelo, donde puede permanecer muchísimos años; hay evidencia de que en algunos ríos y lagos de California, EUA, están todavía envenenados con mercurio por la explotación de oro hace más de 100 años (Ambiental et al., 2010)

Afectaciones a la salud

Ya es evidente que los metales pesados son un riesgo potencial para la salud, ocasionan estrés oxidativo por la generación de peróxido de hidrogeno y radicales libres,

desencadenando mutación del ADN, alterando por completo las estructuras de carbohidratos, proteínas y lípidos.

No solo se describe una posible generación de carcinogénesis en el organismo, es el desarrollo completo de enfermedades como Alzheimer, Parkinson, esclerosis lateral amiotrófica (Degeneración de las neuronas motoras en la corteza cerebral, cordón espinal y el sistema cerebral), enfermedades cardiovasculares, enfermedades hepáticas y diabetes mellitus, solo por mencionar las principales enfermedades humanas de tipo crónico-degenerativas con impacto epidemiológico (Sánchez-Valle & Méndez-Sánchez, 2013).

En diversos estudios se han destacado los riesgos a la salud por presencia de metales pesados que afectan principalmente a los niños, siendo más sensibles al plomo, afectando directamente todos los órganos y sistemas, actuando como agonista y antagonista de las acciones del calcio; se asocia a la reducción del rendimiento escolar, inmadures fisiológica, alteraciones neurológicas permanentes. Ahora, si se presenta un envenenamiento directo en infancia puede conducir a problemas renales, hipertensión arterial y problemas de reproducción en la edad adulta. (A. Poma, 2008)

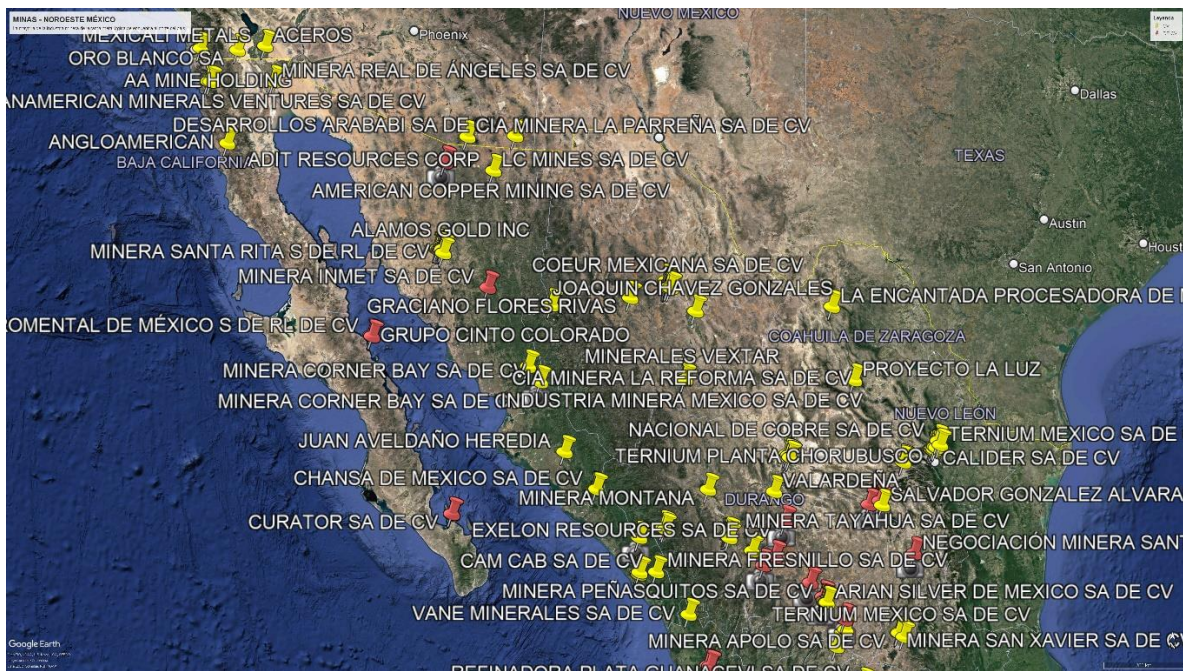
Es un hecho que la presencia de metales pesados en el ambiente y en los alimentos desencadenan intoxicaciones severas, causando daños irreparables en la salud humana y animal, siendo tan graves que inevitablemente se desarrollarían problemas teratogénicos, cáncer y la muerte.

La prioridad de que el humano sea consciente de los daños a la salud directos de los metales pesados, un asesino silencioso, requiere con urgencia conocer qué tanta exposición tiene en sus hogares, áreas de trabajo y lugares concurridos; se debe considerar un esfuerzo esencial por parte del sector público y privado el daño de no llevar un correcto manejo de residuos mineros, así como la preparación de terrenos a explotar.

Análisis de los mapas extraídos de la base de datos

DIRECTORIO DE LA MINERÍA MEXICANA 2021

En este punto, toda la información recopilada del Directorio de la Minería Mexicana 2021 a explotar las minas de México, por lo que los mapas mostrados exponen a las minas cercanas a las empresas, las cuales se encuentran en su gran mayoría dentro de las ciudades aledañas a las minas de las que extraen sus recursos, mencionando principalmente las de metales. Las minas establecidas en el Directorio de la Minería Mexicana 2021 cuenta con diversos puntos erróneos en su desarrollo y captura de información.



(Google Earth: Se muestra la zona Noroeste del país, en la que podemos encontrar a los estados con mayor presencia de empresas de explotación minera como lo son Sonora (104), Chihuahua (75) y Durango (62), representando el 39% del país)

Dentro de los puntos de “Minas en operación” la información que se brinda no es específica, ya que se debería puntualizar la ubicación exacta de la zona de explotación, la cual, no viene establecida y muestra solamente la ubicación de las oficinas o “matrices”, pero de ninguna manera establece las ubicaciones exactas de las minas.



(Google Earth: Zona centro del país con una presencia importante minas, en su mayoría concentradas en zonas habitadas que se desarrollaron por la explotación y exploración de suelos ricos en minerales metálicos, destacan Ciudad de México y Área Metropolitana (66), Zacatecas (33) y Jalisco (30))

Hay direcciones que no tienen mucha congruencia, ya que dentro de un solo domicilio se han encontrado hasta 8 empresas con diferentes nombres, que se dedican directamente a la explotación, vendiendo diferentes tipos de minerales.

En otros domicilios y empresas marcadas por el directorio, se muestran empresas que explotan recursos minerales metálicos y no mencionan exactamente lo que extraen, mostrando como producto o beneficio “toda sustancia”; es el caso de *Mexicali Metals*, que, a diferencia de otros desgloses informativos de las empresas, esta no muestra ni siquiera números o correos electrónicos para poder contactar a dicha empresa.

Empresas dedicadas a la explotación minera en México	631 empresas
Estado con mayor número de empresas mineras de explotación	Sonora (104)
Estados que cuentan con empresas mineras en México	30 de 32 (Excepto Quintana Roo y Tlaxcala según el DMM)

Estado con menor número de empresas mineras en México

Chiapas y Guerrero
(Una en cada estado)

(Un breve resumen de la información extraída del Directorio de la Minería Mexicana 2021, resaltando información que puede ser de interés y un punto de partida a las diversas interrogantes que puedan surgir)

Esto es una clara muestra de la irregularidad existente por parte de las instituciones gubernamentales por no llevar un control de manera correcta, tanto de la transparencia de la información, como la forma en la que es plasmada.

El desarrollo de la recopilación de datos geométricos inicia a partir de la necesidad de visualizar por medio satelital la situación aérea de las minas encargadas de extraer recursos metálicos, y una de las limitantes más grandes es la existencia de “minas fantasma” las cuales mencionan actividades de extracción, exploración, beneficio y comercialización, pero en su registro muestran ubicaciones inexistentes, mencionando su presencia únicamente por la colonia en la que se sitúa la empresa sin dar detalles del medio en la que se pudiera localizar.



(Google Earth: Es peculiar el caso del sur de México, al menos por Guerrero, ya que se esperaría que al tener muchas de las minas más ricas de plata a nivel internacional, ante la SE solo hay una mina registrada; es una muestra más de la irregularidad que hay en el sistema de registro para minas en México)

Muchas de estas empresas encargadas del aprovechamiento total o parcial de las minas, no están establecidas como empresas, es decir, que su registro únicamente se establece

por el posible nombre directo del dueño o encargado de la empresa, pero no muestran direcciones correctas, mucho menos información de contacto. Este caso lo vemos en “Joaquin Chávez Gonzalez”, “Kimber Resources de México” que tiene actividad de extracción en Chihuahua, pero su dirección es errónea, hasta posiblemente inexistente. Está problemática es visible y constante en las empresas en las que sus actividades giran en torno al oro y la plata.

Se visualiza un caso especial en Coahuila, en el que más de 15 empresas, con el mismo rubro, los mismos materiales de extracción y las mismas actividades de explotación y aprovechamiento, pero 15 diferentes nombres, se sitúan exactamente en la misma dirección; la interpretación directa es que el mismo consorcio de empresarios se establecen en un solo punto, pero hasta en el nombre del responsable en este conjunto de mineras es el mismo.

En otros puntos parece hasta una burla por parte de las empresas que ofrecen su información como lo es Minera Monteverde, que su página web dirige a un sitio que está en tailandés ofreciendo servicios monetarios como casinos; el Servicio Geológico Mexicano y la Secretaria de Economía son los encargados de recopilar esta información, y es su deber verificar si la información recuperada es verdaderamente mostrada por las empresas, contemplando los datos de contacto, dirección, información relevante para este proyecto.

Conocer qué tanta importancia ofrece el sector federal a la información proporcionada por parte de las empresas, es considerado parte del daño extra a los mencionados en este trabajo el no tener un control correcto, considerándolo hasta una falta a la sociedad interesada en conocer al menos por encima a las empresas que están deteriorando nuestro medio.

MAPAS DEL INVENTARIO HOMOLAGO PRELIMINAR DE PRESAS DE JALES

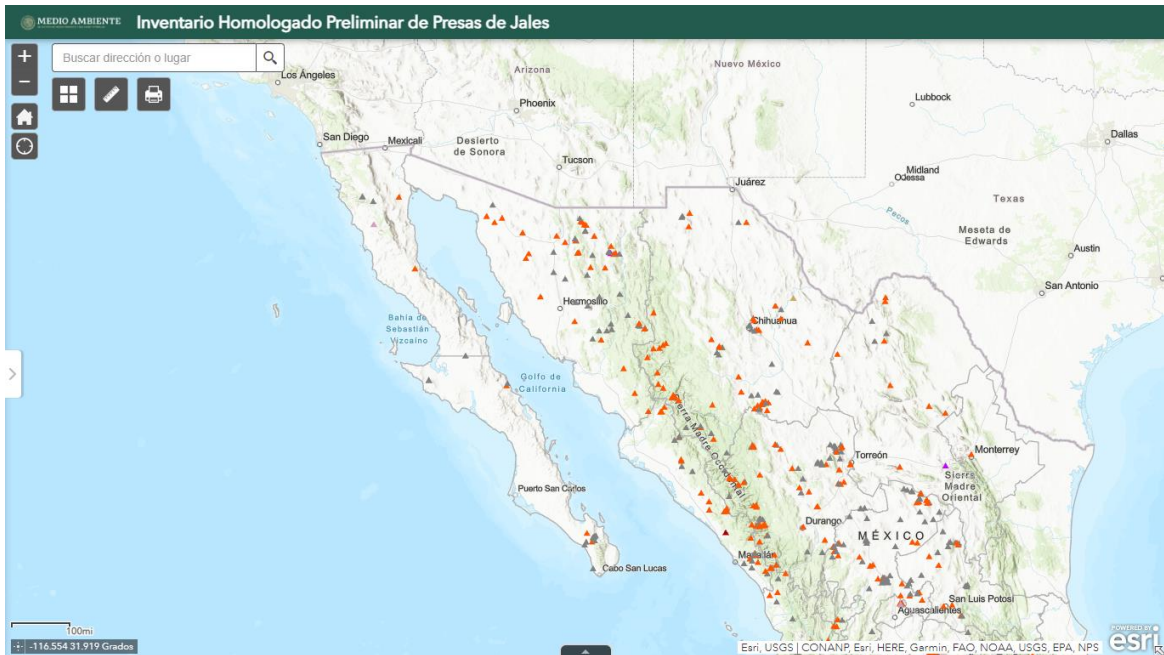
La interpretación de los siguientes mapas es de gran importancia para el desarrollo de este trabajo, ya que se muestra la información a la que la población general (y posiblemente internacional para su análisis fuera del país) puede acudir en caso de requerir la historia del terreno en el que habitan, estudian, desarrollan su día a día.

Los datos que se muestran a continuación fueron extraídos directamente de sistema de mapeos de relieves y superficies de la CONANP (*Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*) con apoyo del *Historical Topographic Map Explorer US Geological Survey* para la integración de datos en el mapa de México, destacando con diversos puntos la ubicación exacta de las presas de jales de mina registradas a lo largo de la historia en México, por lo que podremos visualizar dentro de la interacción con el mapa las zonas que fueron utilizadas como presas de jales hace cientos de años y que hoy representan una fuente de contaminación importante para las zonas en las que se ubican.

Muchos de estos puntos, dentro del sistema de datos, se denotan como presas “Inactivas”, lo cual resulta interesante al interpretar los datos, los cuales arrojan que el 47% de las presas de jales en México ya no están en funcionamiento, pero también que ninguna empresa está a cargo de la administración de estas mismas; y siendo realistas, México no tiene la capacidad tanto laboral como económica en la fuerza federal para poder tener un control correcto de todas y cada una de estas presas.

A continuación, se muestra el mapa seccionado en zonas noroeste, centro y sur del país, así como la simbología para la interpretación de la información ofrecida por este mismo:

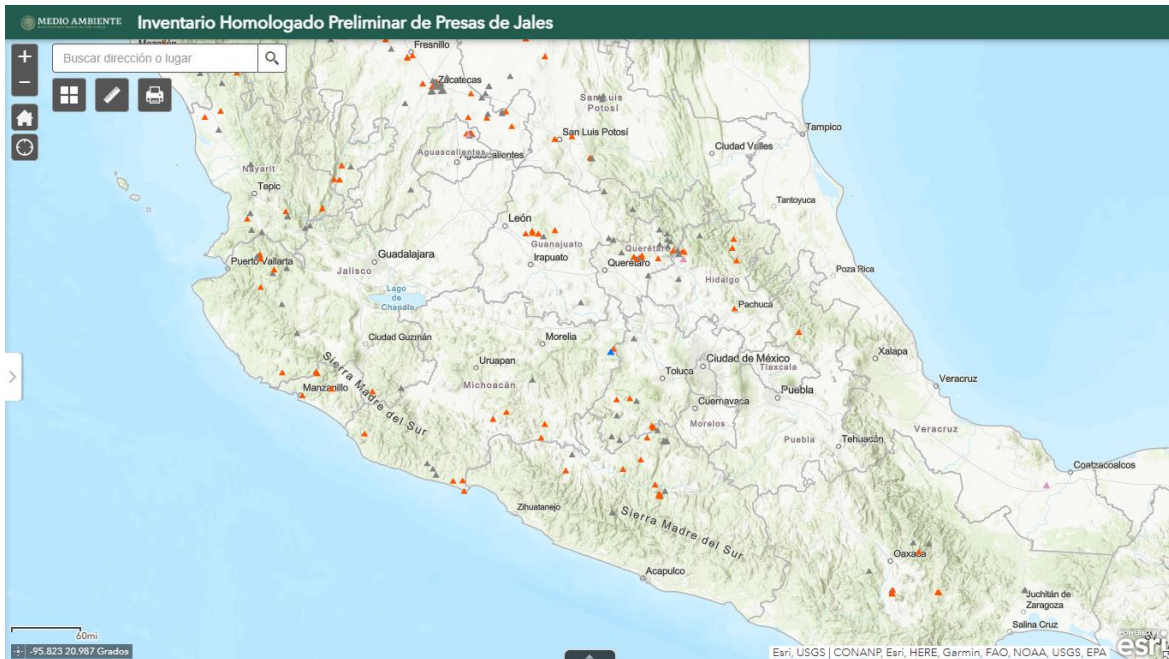
ESTATUS	ACTIVO	INACTIVO	DESCONOCIDO	INACTIVA PERO CON POSIBILIDAD DE RE-ACTIVARSE	INCONCLUSA	PASIVO AMBIENTAL	TEMPORAL	TOTAL
NO. DE PRESAS DE JALES	297	275	5	2	1	3	2	585
PORCENTAJE	50.77%	47.01%	0.85%	0.34%	0.17%	0.51%	0.34%	100%



(IHPPJ: Región norte del país, donde encontramos a 4 de los 5 estados con mayor presencia de presas de jales como Durango con 99, Chihuahua con 84, Sonora con 66 y Sinaloa con 38, representando un 49% de presas en todo el país)



(IHPPJ: En el centro de país se distribuye el 44% de las presas de jales en México, destacando a Zacatecas con 80, de las cuales solo 30 de ellas se encuentran activas y las otras 50 inactivas, teniendo una congruencia y no, al contar con 33 empresas dedicadas a la explotación)



(IHPPJ: Para la parte sur de México, según el registro, más allá de Oaxaca y la parte sur de Veracruz, encontraremos presas de jales muy contadas, pero en estados como Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas y Campeche no hay presencia alguna de una presa registrada)

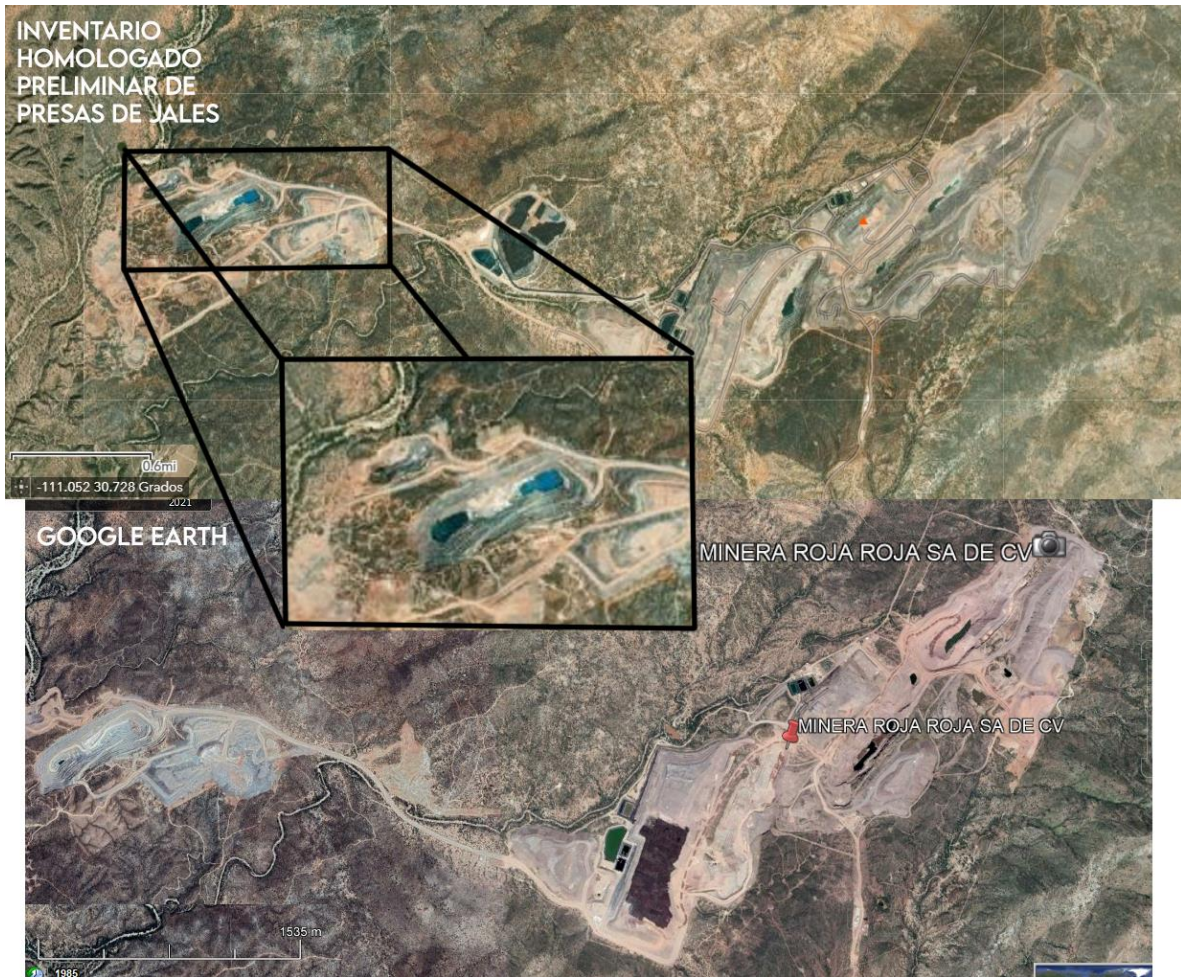
Diversos casos de estudios pueden surgir de estos mapas al poder analizar con más precisión cada uno de los puntos en este, ya sea por estudiantes o catedráticos interesados en alguna presa cerca de sus comunidades, por lo que su revisión minuciosa puede dar resultados más profundos al conocer los entornos y características de cada lugar.

Se encontró que los mapas se encuentran desactualizados, ya que en las siguientes revisiones de superficies hay alteraciones, lo cual se pudo visualizar por el avance de obras que tienen diversos puntos de estudio tocados a continuación; no especifica las fechas de recopilación satelital, por lo que se puede interpretar de diferentes formas, y si no se hubiera realizado la comparación, no habría salido esta característica que puede ofrecer variables dentro de los resultados visuales que se buscan.

En este punto de la investigación, se tomaron ocho casos para hacer comparaciones visuales, elegidos por las características que representaban anomalías en los entornos, se consideraron los mapas del IHPPJ, las imágenes de mapas más actualizadas de *Google Earth*, los puntos de referencia constituidos por la información ofrecida por la Secretaría de Economía dentro del Directorio de la Minería 2021 y los puntos georreferenciados de las presas de jales en el IHPPJ. Se busca resaltar las diferencias y problemas que pueden ocasionar no tener una base de datos actualizada, así como las anomalías que se pudieran pasar por alto al momento de haber seleccionado los puntos de interés.

Se consideraron las zonas en las que es visible la presencia de actividades mineras, montículos de posibles residuos mineros, maquinaria pesada, modificación al medio entre otras variables. Las imágenes fueron editadas en el programa *Adobe Photoshop* solo para agregar anotaciones, líneas y resaltar las zonas de interés de cada caso.

- CASO #1



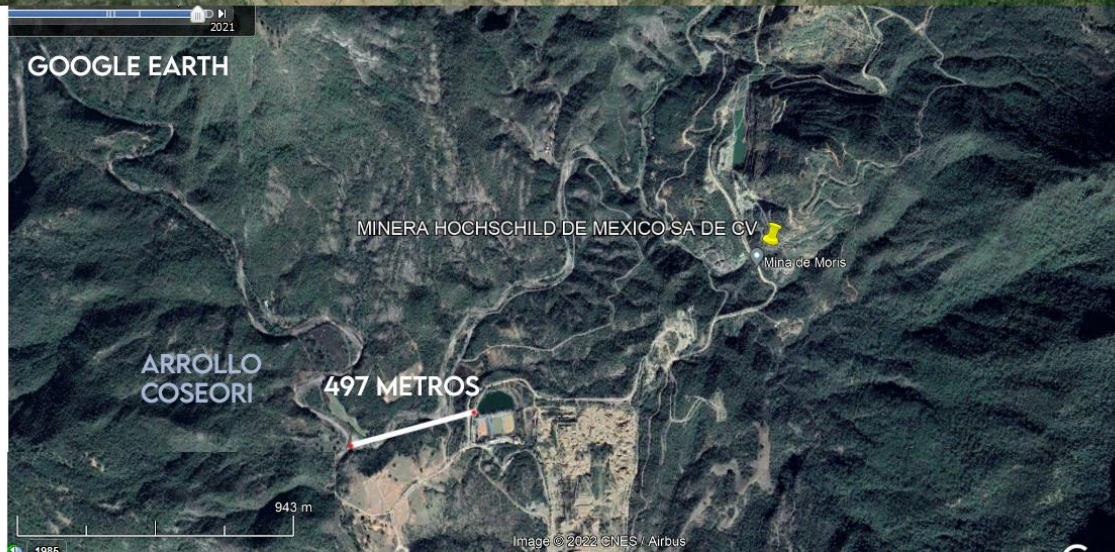
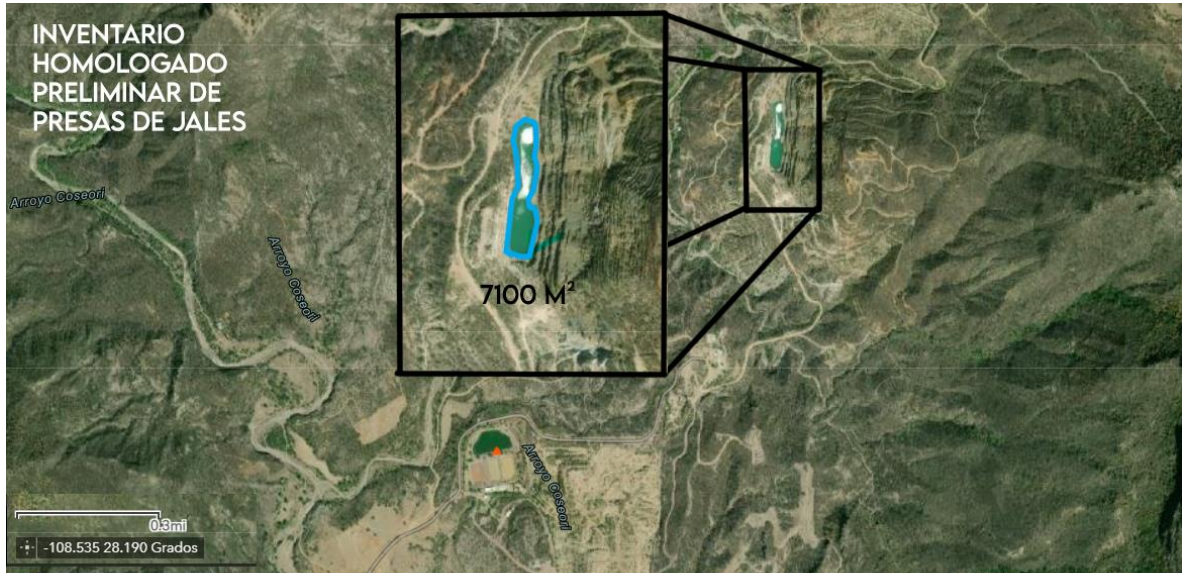
(Minera Roja Roja SA de CV, Sonora; imágenes satelitales extraídas de Google Earth y del IHPPJ, resaltando punto de interés, con variaciones en modificaciones por la desactualización de los mapas.)

Nombre de la mina	LLUVIA DE ORO
Empresa encargada (según el IHPPJ)	DESCONOCIDO
Empresa encargada ante la Secretaría de Economía	MINERA ROJA ROJA SA DE CV
Estatus de la presa de jal	ACTIVA
Ubicación	MAGDALENA, SONORA
Mineral extraído	ORO

No está establecido de manera exacta la localización de la presa de jal, ya que el punto de dirección obtenido por la Secretaría de Economía marca precisamente la ubicación la empresa dedicada a explotar dicha mina; en la imagen presentada por el IHPPJ podemos notar en el lado izquierdo de las excavaciones dos cuerpos de agua asentadas dentro de

la zona de explotación, lo que automáticamente nos lleva a la contaminación directa del agua por contacto en el área de extracción.

- **CASO #2**



(Minera Hochschild de México, Chihuahua, Variaciones en las temporadas por la diferencia de vegetación, pero si se cuentan con alteraciones dentro del avance de obras)

Nombre de la mina	MORIS
Empresa encargada	HOCHSCHILD MINING CO.
(según el IHPPJ)	
Empresa encargada ante la Secretaría de Economía	MINERA HOCHSCHILD DE MÉXICO SA DE CV
Estatus de la presa de jal	ACTIVA
Ubicación	MORIS, CHIHUAHUA
Mineral extraído	ORO, PLATA.

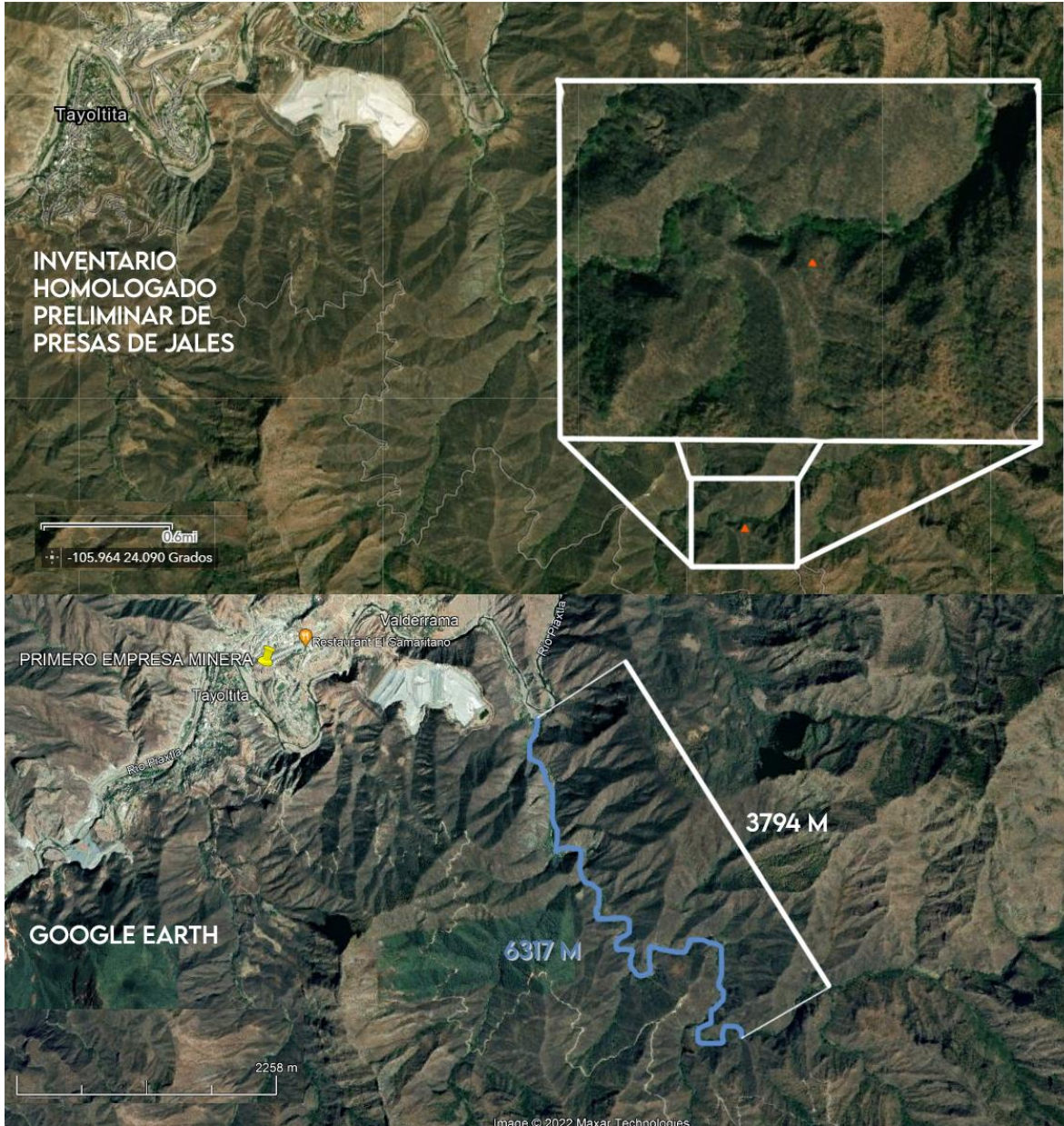
Hay dos observaciones importantes que deben realizarse.

1. La presa de jal registrada ante el IHPPJ muestra cuatro estanques que cubren una superficie de 22,160 metros cuadrados, que están ubicados a 500 metros del cauce del arroyo coseori, esto es un grave problema al considerar que al seguir el rastro del arroyo, el cual va tomando diferentes nombres en su camino, hay viviendas a los costados de dicho cuerpo de agua, siendo un posible riesgo de alta exposición a jales por la interacción que se pueda tener con dicho cuerpo de agua en temporada de lluvias.
2. Como se muestra en el acercamiento de la imagen, la mina cuenta con un estanque de 7,100 metros cuadrados de superficie con lo que aparenta ser un cuerpo receptor de jales; dicho cuerpo no se encuentra contemplado en el listado del IHPPJ, es considerado como posible presa de jal por las dimensiones que presenta por dimensiones y forma, así como la coloración y ubicación dentro del área de extracción.

En esta zona de Chihuahua, ubicada al sureste del estado, es en donde más actividad de extracción de minerales como oro, plata, cobre y sus metales acompañantes se encuentran al menos un 45% de las presas de jales activas.

Al momento en el que se redacta este trabajo (julio 2022), dicha zona es una de las que más precipitaciones alcanza por su ubicación geográfica, con altos índices de humedad y probabilidad de precipitaciones mayor al 85% en toda la región.

- CASO #3



(Mina Cisneros, Durango; la trayectoria de las cuencas y diferencia de alturas hace que después de un determinado momento en temporada de lluvias pueda desplazarse todo tipo de contaminante a las zonas habitables, teniendo un contacto al final del desemboque con el rio Piaxtla)

Nombre de la mina	CENICEROS
Empresa encargada (según el IHPPJ)	DESCONOCIDO
Empresa encargada ante la Secretaría de Economía	PRIMERA EMPRESA MINERA
Estatus de la presa de jal	ACTIVA
Ubicación	SAN DIMAS – TAYOLTITA, DURANGO

Esta mina presenta diversos puntos de interés, el primero sería saber si sigue en operación; es una mina al aire libre de extracción de oro y plata, a tan solo 370 metros de distancia se encuentra la primera zona habitable con diversas casas en la zona norte de la mina, siendo separando la comunidad de la minera por el Río Piaxtla.

Enseguida, dentro de la zona de extracción no hay ninguna presa de jales sino hasta casi 3.8 km de distancia, en dirección al suroeste de la mina.


Dicha presa de jal tiene una particularidad que la hace incluirse dentro de las no reguladas dentro del IHPPJ, ya que su ubicación exacta se encuentra dentro de una zona baja a tan solo 75 metros de distancia de una cuenca perteneciente al Río Piaxtla.

Es de suma importancia saber que dicho río se extiende a lo largo de 220 kilómetros, iniciando en la zona central de durango, con una dirección al este del estado, continuando su recorrido hasta desembocar en el mar en Dimas, Sinaloa.

La ubicación de esta presa de jales es completamente inadecuada, considerando que esa zona está a 300 metros sierra arriba de la comunidad, asumiendo que toda lluvia que precipita siempre generará una escorrentía es 100% probable que arrastre los contaminantes presentes en esos residuos mineros.

Distintos medios locales reportaron problemas dentro del rio, y se han tomado dos referencias principales por el peso que tienen en esa zona del país, primeramente, está el periódico NOROESTE, que reportó el siguiente encabezado en su portal digital el 19 de marzo del 2018, dos días después del incidente mencionado:

Minera canadiense con historial de despojo y muertos en el país derrama cianuro al río Piaxtla

Por  Redacción/SinEmbargo


 FACEBOOK

 TWITTER

 WHATSAPP

 EMAIL

 COMENTA SOBRE ESTE TEMA

 17 COMENTARIOS

19/03/2018 - 10:20 am

La minera canadiense en San Dimas, Durango, vertió 200 litros de solución cianurada en el río Piaxtla a causa de un descuido en el cierre de la válvula de una pipa que transportaba el remanente. Organizaciones

(Captura de noticia del incidente por derrame de cianuro en el río Piaxtla, en San Dimas, Durango, afectando a más de 283 km del cuerpo de agua)



Senado de la República
COORDINACIÓN DE COMUNICACIÓN SOCIAL

INICIO INFORMACIÓN ▼ MULTIMEDIA ▼ **EN DIRECTO** SÍNTESIS

ESTÁ AQUÍ: INICIO > INFORMACIÓN > BOLETINES > ARROYOS, RÍOS, MARES, LAGUNAS, LAGOS, CENOTES Y CASCADAS DEL PAÍS, CON PERSONALIDAD JURÍDICA PARA PROTEGERLOS Y CONSERVARLOS

Arroyos, ríos, mares, lagunas, lagos, cenotes y cascadas del país, con personalidad jurídica para protegerlos y conservarlos

Categoría: Boletines
Publicado: Martes, 13 Noviembre 2018 16:05

Calendari

Lu	Ma	Mi
28	29	30
5	6	7
12	13	14
19	20	21
26	27	28

(Boletín del Senado de la República que utiliza como ejemplo el desastre en el río Piaxtla para hacer referencia a la deficiencia del sistema jurídico y el código civil federal en materia de vida silvestre y aguas nacionales)

Así como un reporte del senado de la republica en su programa de coordinación de comunicación social, con título “*Arroyos, ríos, mares, lagunas, lagos, cenotes y cascadas del país, con personalidad jurídica para protegerlos y conservarlos*”, en el que Miguel Espinoza de los Monteros, ambientalista, mencionó el enorme ecocidio que se registró dentro del río Piaxtla por el derrame ya mencionado. Y en este mismo se hace referencia a la debilidad de las acciones de preservación de la integridad de los sistemas ambientales y

conservación de la biodiversidad; así como se resaltó que México tiene uno de los mayores índices de degradación ambiental en el mundo, según el INEGI.

- **CASO #4**



(Desarrollos Mineros del Pacifico SA de CV, Sinaloa; otro claro ejemplo que la desactualización de los mapas puede hacer la enorme diferencia y cambiar los criterios de evaluación visuales)

Unos de los grandes problemas actualmente es la veracidad de la información que nos pueden proporcionar las secretarías, este es el claro ejemplo de que posiblemente, una

base de datos que se ha conformado con información originada a partir de septiembre del 2021, no sea la correcta.

En la imagen superior se muestra la mediana modificación del terreno explotado por la industria “Desarrollos Mineros del Pacífico”, al menos es la información con la que se cuenta considerando que a la redonda no se encuentra alguna otra empresa que pueda modificar la gran extensión que esta presenta. El IHPPJ no cuenta con la fecha de extracción de mapas, es decir, no es conocido o mostrado el momento en el que se obtuvo la captura, al menos, de esta sección del mapa.

En cambio, en la imagen inferior hay una muy notable modificación del medio, la base de datos que *Google Earth* ofrece ha sido actualizada el día 4 de agosto del 2021, es decir, 50 días antes de la publicación del IHPPJ.

Esto nos indica que probablemente, así como en la ubicación de este terreno, otras porciones del mapa no se encuentren actualizados, mostrando de manera errónea la modificación, alteración y/o verdadera presencia de las presas de jales. La información mostrada en este desarrollo de investigación parte de la obtención de referencia visuales, por lo que sus resultados pueden variar a una situación real, considerando que se están utilizando dos diferentes sistemas de información geográficas.

- CASO #5



(Consortio Minera Real de Ángeles, Aguascalientes; imágenes del caso de estudio con mayor extensión dentro de este trabajo, identificando la ausencia del registro dentro de la Secretaría de Economía, pero presentes en las presas de jales en el IHPPJ)

En esta imagen hay un caso muy especial, como se podrá notar, en la imagen superior hay 5 recuadros en blanco, los cuales representan 5 minas diferentes. En cada una de las minas se extraen minerales diferentes, comenzando de izquierda a derecha se extraen los siguientes metales:

1. Desconocido
2. Oro
3. Oro
4. Cobre, Plomo y Zinc
5. Desconocido

El caso es particular porque al haber 5 minas diferentes, solo una de ellas está registrada a nombre de la empresa “Minera Real de Ángeles”, la cual dentro del IHPPJ no especifica qué metales extrae, pero si en el directorio de minas, en donde especifica que únicamente se extrae plata.



(Zona marcada como “Presa de Jal en estatus Desconocido”, lo cuál indica que está localizada pero no se han hecho los trabajos adecuados para determinar qué tipo de presa de jal es y su composición)

Con el fin de buscar un control en el monitoreo de minas y sus presas de jales específicas, se hace mención de esta sección que recorre 6 km entre los municipios de Tepezalá y Asientos, ubicados en el estado de Aguascalientes, ya que al parecer solo una empresa cuenta con el registro directo en la Secretaría de Economía, buscando que las empresas sean lo más transparentes en la información que puede ayudar a no tener un impacto directo en los residentes y trabajadores de la zona. Esta es una de las contadas minas en México que se dedica a la extracción de plomo.

En el recuadro azul se resalta un acercamiento porque dentro del IHPPJ se menciona que ese punto se encuentra con el estatus de presa de jal como “DESCONOCIDO”, color rosado que representa uno de los cinco puntos que aún no pueden establecer el estado real de sus

condiciones. En dicho recuadro se puede apreciar la presencia de material de construcción, montículos de color gris acomodados en secuencia, algunos vehículos y maquinaria de trabajo.

Establecer el parámetro de “Desconocido” es desconcertante al percibir la utilización activa del área, por lo que se deberá exigir una respuesta por parte de las autoridades que aún no se haya llevado el control exacto de lo que se realiza en la zona, más que nada por la exposición pobre o nula de información de la zona de trabajo y la nula responsabilidad de las mineras ante el bloqueo total de la información de las minas.

- **CASO #6**



(Minera Santa María SA de CV, Durango; muestra del pueblo fundado a partir de la presencia minera, destacando los diversos obstáculos que pueden enfrentar las ciudades construidas con el fin de albergar a sus obreros, manteniendo una gran cercanía de la mina)

Nombre de la mina

LA PARRILLA

Empresa encargada (según el IHPPJ)	FIRST MAJESTIC
Empresa encargada ante la Secretaría de Economía	MINERAL SANTA MARIA SA DE CV
Estatus de la presa de jal	ACTIVA
Ubicación	NOMBRE DE DIOS, DURANGO
Mineral extraído	ORO, PLATA (PLATA, PLOMO Y ZINC SEGÚN LA SE)
Anotaciones	CERCANIA A LA POBLACIÓN



(Presencia de agua en la zona superior central de la imagen , se muestra una coloración apegada a la oxidación de metales)

La mina se encuentra a menos de 300 metros de la primera vivienda de la comunidad, y especificando ante la SE, la extracción de plata viene acompañada de plomo y zinc, por lo que el manejo y control de los polvos debe estar sujeto a especificaciones de cierre muy precisos, pero en este caso la presa se encuentra activa, por lo que la generación de partículas sólidas hacia la atmósfera es algo inminente.

Es muy probable que a lo largo de todos los años de la actividad minera presente en esa zona ya haya generado una perturbación a la salud de sus pobladores, ya que en los últimos

10 años la empresa ha tenido actividad y fuertes alteraciones, que se desencadena por la explotación de la superficie, generando polvo contaminado de metales pesados. La exposición crónica a los jales por medio atmosférico debe ser un hecho en ese pueblo, por lo que se hará la invitación a la investigación profunda de los posibles impactos desarrollados.

- **CASO #7**



(Minera Fresnillo SA de CV, Zacatecas; un caso de revisar a profundidad, ya que es uno de los proyectos “ejemplo” de la reutilización de áreas con presencia de jales mineros recuperados y reacondicionados para su uso público, con diversos puntos a revisar)

Al sur de la ciudad de Fresnillo, Zacatecas, encontramos estas zonas ocupadas por actividades mineras con un trasfondo histórico en la extracción de plata, cobre, plomo y zinc, haciendo diversas preguntas que se desarrollaran a continuación.

Primeramente, cabe mencionar que se encontraron irregularidades en la información presentada tanto en el Directorio de Minería por parte de la SE así como del IHPPJ por parte de la SEMARNAT.

En la sección superior de la imagen extraída del IHPPJ podemos encontrar dentro de cuadrados color blanco las tres únicas presas de jales “existentes” por conocimiento de la secretaría, haciendo mención que una de ellas, a comparación de las otras dos, no cuenta con información sobre la empresa encargada del mantenimiento y uso activo de la misma, por otra parte, considerando que en la parte inferior de la imagen, la dirección otorgada corresponde a una área que también se ve explotada y que efectivamente cuenta con las características del asentamiento de la industria minera.

En ambas extracciones podemos visualizar que a los alrededores de las minas se encuentran únicamente campos de siembra, que en este ejemplo por primera vez se visualiza directamente la interacción que hay entre el sector agrícola y minero, siendo de entrada una alarma para todos los consumidores de los cultivos presentes en esos sectores.

El trasfondo histórico del que se hace mención inicia aproximadamente hace 450 años, que es el tiempo en el que toda esta zona, en cantidades mucho menores hasta inicios de los 1900, se comenzó la extracción de plata. Es importante ya que no solo se esta hablando de una de las zonas mineras más antiguas que tiene nuestro país, si no que también es una de las que sigue presente y, por lo que parece, la que sigue generando de qué hablar.

En los años 80's se inició un proyecto llamado *Parque Ecológico “Los jales”*, ubicado en la zona sur de la ciudad, zona que ya se encuentra poblada. No estamos hablando solo de una de las presas de jales más antiguas al igual que el tiempo de su extracción, si no que el mismo grupo minero que genero las inimaginables cantidades de residuos, fue la encargada de la creación de dicho proyecto.

En el documento *“Transformación of a tailing dam; Ecological park “Los jales”*, generado por uno de los trabajadores de la misma empresa encargada de la presa de jales, se muestra cómo es que se lidio con la construcción del parque, haciendo mención de la historia del mismo. Estamos hablando de una época en la que aún no existía regulación alguna de este tipo de proyectos, mucho menos la presencia de estancias gubernamentales.

En dicho escrito hace mención no especifica de la cantidad generada de jales desde el punto que inició la extracción más industrializada, solo comentando las cantidades benéficas de minerales, sin establecer las cantidades obtenidas en años más cercanos a años anteriores al proyecto.

Estamos hablando que este grupo minero, dirigió completamente la generación del parque, explicando que es lo que hacían con el agua de recuperación de la misma presa, así como también que parte de la superficie utilizada aún para la formación del suelo en la que se pondría vegetación seguía surgiendo de los residuos generados por la minera.

Es un tema de gran importancia porque hasta el día de hoy, ya que casi 24 años después de su estructuración, seguimos viendo, como se muestra en la imagen dentro del recuadro azul aumentada, que en la zona sur de dicho parque existe una presa de jales activa sin la especificación de la empresa responsable ante la SEMARNAT.

La actual cercanía de la población con esta inmensa cantidad de residuos mineros y la ocupación casi total del área del municipio para su utilización en siembra es un punto que podría estudiarse, saber si los campos se han visto afectados por las altas concentraciones de metales pesados en el suelo, la filtración a los mantos freáticos de los contaminantes al agua para su uso agrícola entre otros problemas derivados por la presencia prolongada de procesos mineros.

- CASO #8



(Grupo Kores, Baja California Sur; la única mina encontrada con mayor cercanía a la orilla del mar y un caso muy especial de estudio por todas las repercusiones que representaría una falla, pudiendo tener resultados catastróficos)

En la zona centro del estado de Baja California Sur, se encuentra la única mina registrada en el Directorio de Minería ubicada en la costa, extrayendo cobre, cobalto, zinc y manganeso.

Ha sido una mina controversial en tiempos recientes ya que el presidente López Obrador mencionó que el Grupo KORES, mina que se encuentra en esta ubicación, buscaba una ampliación de la superficie de sus operaciones, ya que las reservas de minerales están por agotarse y requiere un Manifiesto de Impacto Ambiental, la revisión y la aceptación de la misma.

La situación se volvió controversial al darse a conocer que la empresa se había instalado hace más de 80 años a tan solo unos metros de la orilla del mar, desarrollando sus procesos de tratamientos de extracción de los minerales que trabajan, pero en ese entonces no era necesario ni obligatorio presentar una MIA para analizar todos los impactos que podría generar la expansión.

Al momento de analizar esta mina, se localizó una presa de jal inactiva que, de igual forma que la mina, se encuentra a tan solo unos metros del mar, considerando que puede tratarse de un enorme desastre ambiental el desplazamiento de los jales al cuerpo de agua en caso presentar lluvias fuertes; en este caso no se contempla la entrada de algún huracán por la ubicación de la mina del lado del Mar de Cortés.

La presa de jal activa que utiliza la mina se encuentra tan solo 4 km. de distancia, por lo que el traslado de residuos no representa alguna alerta de daño, en cambio, la presencia de la minera en su actual ubicación es algo que entra mucho en dudas, ya que, al llevar un correcto proceso legal de revisión, por el lugar en el que se desarrollan las actividades, no será posible la expansión que se está solicitando.

Aquí es donde se pone en duda el interés del gobierno de actuar de manera correcta o incorrecta por beneficios a terceros, un problema que se vive a nivel nacional por un tema de posible corrupción al presentar irregularidades y aun así continuar la aceptación de los permisos.

La mayoría de las empresas en México del giro minero extractor han funcionado desde mucho antes de que se comenzara a regular en materia legal el control ambiental que deberían llevar. Esto ha evitado que las empresas sigan creciendo a nivel expansión territorial, pero han existido casos de corrupción donde no se imponen las sanciones adecuadas ni las consecuencias legales al actuar sin intervención federal.

CASO DE ESTUDIO: LA MINERÍA DEL ORO

PROCESOS DE EXTRACCIÓN DEL ORO

La extracción del oro es posible de acuerdo a la formación geológica de manera subterránea, conocida como minería de veta o filón; la extracción a cielo abierto lleva el nombre de minería de aluvión.

Minería de veta o filón

Se suele encontrar en depósitos subterráneos, siendo un proceso más complejo que el de aluvión; a lo largo del proceso se destaca la trituración, molienda, amalgamación y la cianuración. Para la amalgamación, se emplean hornos para la extracción del oro. Durante el proceso de trituración el objetivo es reducir el material al menor tamaño posible, que normalmente va de las 3 a las 4 pulgadas de diámetro.

Los equipos suelen variar por el nivel de tecnología con el que se cuente, contemplando la minería artesanal hasta trituradoras mecanizadas; algunas empresas mineras someten a un segundo tratamiento de reducción de tamaño, llamado molienda, en el que generalmente un molino de pisones, el cual aplasta el material por golpeteo en vez de molerlo.

Durante el proceso de cianuración del oro que en este punto del proceso cuenta con presencia de mercurio por la amalgamación a la que se sometió previamente, es limpiado por medio de soluciones alcalinas de cianuro por medio de la construcción de circuitos cerrados dentro de estanques de sedimentación; este procedimiento se ha practicado desde hace más de un siglo atrás a nivel internacional, siendo característica por sus enormes efectos a la salud humana y daño al medio ambiente.

Minería de aluvión

Los depósitos aluviales son el resultado de procesos geológicos generados a lo largo de millones de años; hoy en día se pueden localizar dichos depósitos con minerales de oro, encontrándose al aire libre y disponible para su aprovechamiento.

La maquinaria y equipo que interviene en la explotación y aprovechamiento del oro depende en gran parte de las características del yacimiento, entre los más utilizados se encuentran las dragas, motobombas, buldóceres, excavadoras y monitores de agua, que en esencia se utilizan para desmoronar el material extraído; destacando en la parte de los procesos la concentración gravimétrica, amalgamación y en pocos procesos la intervención de destilación.

El proceso de extracción por concentración gravimétrica representa uno de los más antiguos conocidos para obtener un mineral, su tecnología es el procedimiento de batara se considera económico hasta nuestros días, consistiendo en el uso de un recipiente en forma de plato de madera, siendo un utensilio eficaz, empleado en la minería artesanal en depósitos secundarios; por otra parte, las empresas ya desarrolladas con intervención tecnológica más avanzada utilizan excavadoras o canales gravimétricos.

Recuperar el oro extraído del aluvión emplea la amalgamación, método indispensable utilizado para la refinación del oro, consistiendo en aplicar en el material aluvial, añadiendo mercurio directamente al pozo de excavación del mineral, empleando equipos para transportar el material amalgamado como la bomba de grava o el canalón; las pérdidas de material amalgamado se presentan durante su transporte, representando el enorme daño al medio ambiente y salud pública por no tener una regulación en los procesos adecuada.

Al destilar el oro, la amalgama que se obtiene en el proceso es sometido a procesos de separación para extraer el mercurio y los granos de oro puro, utilizando un soplete que suele quemar la pasta de este mismo.

Beneficios e impactos

Los países en desarrollo utilizan la industria minera del oro para impulsar el desarrollo a la planificación de las agendas gubernamentales y modelos de desarrollo, que de alguna u otra forma logra beneficiar a las grandes corporaciones dedicadas a su extracción a expandirse a lo largo del mundo. La contraparte es la industria artesanal que aprovechan el oro, que se expanden y aprovechan la variación en el mercado mundial de este mineral.

Su expansión representa impactos importantes hacia el medio ambiente, conduciendo a su inminente contaminación y degradación, representando una amenaza para todos los ecosistemas y comunidades cercanas a las zonas de extracción e intervención industrial.

Considerado uno de los oficios que aporta y sustenta la vida de muchas personas alrededor del mundo, se busca en todo momento dentro de la industria minera un balance armónico para que el desarrollo sostenible continúe no afectando a terceros, examinando las áreas de la sociedad, economía y medio ambiente, alcance la sustentabilidad, viabilidad, soportabilidad y equitatividad.

A pesar de la búsqueda constante de este balance, es un concepto que sigue desarrollándose enfocado la adecuación de los mecanismos económicos, sociales, ambientales y muy importante, los políticos, que dirigen en su mayoría los permisos de

establecimiento de dicha industria; se ha buscado proteger los ecosistemas por la participación popular, sin afectar la economía de las empresas, comunidades y los trabajadores. La minería del oro es una importante fuente de empleo que también sigue reconstruyéndose para ofrecer los mejores parámetros para continuar su mejora.

En el caso de costos de extracción, es relativamente de las más bajas al no requerir extensas construcciones de túneles y soportes estructurales para así explotarlos, más en el caso de la minería por aluvión. No deja de ser un mineral que genere críticas que giran en torno a sus impactos negativos, siendo los más impactados los países en desarrollo.

Su inadecuada disposición de los jales es por mucho el problema más grande por la cadena de impacto que genera, documentando a la fecha el envenenamiento de diversos medios por los metales pesados que son representados el veneno y parte negativa de esta industria. La amalgamación es la causa principal de contaminación por mercurio, teniendo el registro de varias empresas que aportan ideas de implementación de proyectos por tecnologías de biorremediación para reducir la contaminación generada por el mercurio, instalándose posteriormente al proceso de fogado.

En los últimos años, las empresas legales dedicadas a la extracción del oro han venido trabajando en el análisis de emergencias y el replanteamiento del análisis de ciclo de vida en pro de evaluar la sostenibilidad de sus procesos respecto a los efectos que conlleva a la naturaleza y a los seres humanos. Lamentablemente en la minería ilegal, esto ha sido un tema de poca relevancia en donde no se suelen contemplar las etapas de construcción de estructuras e instalación de equipos y de obviar los estudios de exploración y factibilidad previos a las etapas de diseño y planificación de la mina.

[Depósito de mercurio en el medio ambiente](#)

Las condiciones complejantes del suelo, que suelen ser favorables por la formación de compuestos orgánicos e inorgánicos, forman complejos con aniones orgánicos, los cuales controlan la movilidad del mercurio presente en el suelo, estando unido a la masa de materia orgánica, lixiviándose por escorrentías al estar presente en suelo en suspensión. Esta es la razón principal por la que permanece en el suelo en largos periodos, hablando de cientos de años.

Es el único metal líquido presente en el medio ambiente, que en su momento fue utilizado de manera medicinal y material de uso industrial, lo cual ha ocasionado acumulaciones en diferentes seres vivos y entornos naturales.

La contaminación por mercurio es difícil de detectar en monitoreos ambientales, porque su análisis representa altos costos y diversas dificultades, siendo manejados únicamente por laboratorios especializados. Su presencia es baja en medios acuáticos a comparación de las presentes en sedimentos.

En esencia, los peces son excelentes indicadores de contaminación por la bioacumulación que se presenta por la cadena alimenticia que rige su vida, así como biomagnificando las concentraciones de este contaminante. Es acumulable en sedimentos en el fondo de cuerpos de agua, donde bacterias lo convierten en su forma orgánica del metilmercurio, extraído por gusanos y pequeños animales que dependen de este medio para alimentarse, así como las corrientes acuáticas que suspenden las partículas.

En su forma de metilmercurio es más tóxico, por la alta solubilidad que tiene con lípidos y la sencillez de atravesar membranas, acumulándose dentro de peces con mayores concentraciones de la que están presentes en el agua.

Mercurio en la salud pública

Considerado el elemento contaminante más importante con mayores efectos a la salud, al establecer que las personas expuestas a concentraciones mínimas pueden desarrollar alteraciones en funciones del sistema nervioso, con impactos neurofisiológicos. Dentro de la industria minera, hay un beneficio particular por su aplicación en la extracción del oro, siendo una sustancia natural que no puede eliminarse por completo del ambiente, pero si reducir las emisiones que lo contengan.

El metilmercurio es el contaminante presente en alimentos más importante y dañinos, acumulándose en tejidos junto a los vapores de mercurio, constituyendo el medio de contaminación más importante a los humanos. Su presencia en poblaciones cercanas a la explotación del oro por su uso en procesos de amalgamación y quemado, emitiendo vapores de mercurio que terminaban en el suelo y cuerpos de agua, que al ser utilizados por la población, se encuentra un camino para poder disponer desde sus depósitos hacia el consumo, al absorberse mínimamente por el tracto gastrointestinal y los vapores ingresan a la corriente sanguínea por los pulmones, distribuyéndose rápidamente por todo el organismo, siendo el cerebro y los riñones los más afectados, permaneciendo semanas o meses presentes.

Por inhalación, se producen lesiones en la mucosa respiratoria, bronquitis y neumonitis química. Por ingestión produce síndrome gastroentérico agudo, insuficiencia renal con

anuria y uremia, colitis ulcero hemorrágica, vomito en ocasiones hemorrágico, irritación de la mucosa orofaríngea, posible irritación del esófago.

La saliva se puede volver espumosa y se produce también sialorrea intensa, se producen dolores de el abdomen, diarrea abundante, la cual puede contener sangre; también se presenta deshidratación y calambres, finalmente se produce shock, hipotensión grave y taquicardia. Pasados dos o tres días se produce estomatitis mercurial, la cual se produce porque el mercurio en la saliva irrita e inflama las encías; el ácido sulfhídrico de la fermentación bacteriana produce sulfuro de mercurio negro el cual se revela como ribete gingival. Cuando ocurre la muerte, esta se presenta después de dos o tres días después de la intoxicación por mercurio.

Teniendo en cuenta las descripciones anteriores, se puede observar que el mercurio es altamente peligroso para la salud humana, dependiendo del grado de intoxicación. Los principales síntomas que este produce son:

- Pérdida de la memoria.
- Pérdida de la concentración.
- Deficiencias en el sistema nervioso: parkinsonismo (temblor pasivo, disminución de la capacidad motora), demencia, insomnio, trastornos vegetativos, irritabilidad, ansiedad, pérdida del autocontrol.
- Disminución de la agudeza visual. - Anemia benigna. -
- Deficiencias en las articulaciones.
- Problemas gástricos: estomatitis, gastritis, faringitis, gingivitis.
- Trastornos cerebrales, retraso mental, malformaciones genéticas.

[Intoxicación por mercurio.](#)

El mercurio es un metal blanco plateado muy tóxico, con un estado líquido a 0°C y vapor a partir de los 13°C, muy denso y poco compresible, con una alta tensión superficial, débil reacción calorífica, con la capacidad de amalgamar la mayoría de todos lo metales. En la mayoría de los productos que se analicen se encuentran trazas de él.

El mercurio es un metal pesado ampliamente utilizado por el hombre, siendo uno de los más tóxicos, produciendo daños al sistema nervioso central, perturbaciones del comportamiento y lesiones de grado renal.

Es bioacumulable en los seres vivos, sin representar un elemento esencial en el organismo y a ningún proceso biológico. Su toxicidad está relacionada con su estado químico, siendo el metilmercurio ($(CH_3Hg)^+$) la más dañina de todas, teniendo efectos neurotóxicos en adultos y fetos de madres expuestas. (Ramírez, 2013)

En su estado metálico no es menos tóxico, así como en las sales de mercurio inorgánico, que afectan directamente al riñón. En general provoca temblores, alteraciones en la personalidad y estomatitis, así como alteraciones en la visión cromática.

En la naturaleza existe como sulfuros de mercurio, de arsénico, de hierro, mixto, de antimonio y unido de manera directa con minerales de oro, plomo, zinc y cobre.

El 50% de la producción mundial de mercurio se usa para la fabricación de lámparas de vapor, termómetros clínicos e industriales, barómetros, manómetros, esfingomanómetros, lentes de telescopio, lámparas de difusión y ultravioleta, conmutadores, cátodos electrolíticos y turbinas de vapor.

Las industrias más importantes en la que se encuentra el mercurio son en la metalurgia del oro y plata, fabricación de pilas, amalgamas dentales, biocidas, fungicidas, pesticidas y productos farmacéuticos.

A partir de la mitad del siglo XX su uso ha sido dejado de lado por las graves intoxicaciones que produce, siendo desplazado por la aparición de la tecnología, aunque sigue presente como parte de la incorrecta disposición de residuos que se llegó a generar, así como su presencia en combustibles fósiles, carbón y petróleo de manera elevada.

TOXICOCINÉTICA.

Las principales vías de ingreso del mercurio al individuo son por medio respiratorio, digestivo y cutáneo.

En la vía respiratoria es por inhalación, siendo la más importante y más impactada, siendo que el mercurio elemental como el orgánico ingresan por inhalación, alcanzando el contacto con la sangre con una efectividad del 80%.

Por medio digestivo, por ingestión, el mercurio inorgánico se absorbe en cantidades menores al 0.01% por la incapacidad de reacción con moléculas biológicamente importante, formando macromoléculas que dificultan su absorción, pasando por un proceso de oxidación. Aunque sus compuestos inorgánicos se absorben entre un 2 y 15%, siendo la solubilidad de ingestión el factor que determine el ingreso. La absorción de compuestos

orgánicos es del 95% en esta vía sin importantes que el radical metilo este unido o no a una proteína.

La vía cutánea ha descrito diversos casos de intoxicación, principalmente por compuestos con presencia de metilmercurio, y aunque no está demostrado que esta interacción por contacto sea tan inmediata como los otros medios de ingreso. Al ser absorbido por la piel, el 90% de los compuestos orgánicos son transportados en las células rojas, mientras que el 50% del mercurio inorgánico es transportado unido a la albumina (proteína producida por el hígado).

Su distribución en el organismo es determinada por la dosis, duración de la exposición, grado de oxidación, concentración de sus compuestos en la sangre, concentración en relación con grupos sulfhídricos libres, afinidad con los componentes celulares y la velocidad de disociación-asociación del complejo mercurio-proteína.

El mercurio por lo general presenta una importante afinidad por el encéfalo (centro del control del movimiento), ya que la mayor parte del mercurio en circulación va al cerebro, a diferencia del hígado o riñón, por la afinidad con la sustancia gris presente en él a comparación de la blanca (la materia blanca está compuesta por fibras nerviosas y la materia gris por cuerpos celulares).

Las mayores cantidades de mercurio son halladas en ciertos grupos neuronales del cerebelo, médula espinal, pedúnculos y mesencéfalo, también siendo detectado en la tiroides, páncreas y en células medulares de glándulas suprarrenales.

El contenido normal de mercurio en el organismo humano oscila entre 1 y 13 miligramos, del cual el 10% es metilmercurio. Su distribución en el organismo es:

- Musculo: 44% a 54%
- Hígado: 22%
- Riñón: 9%
- Sangre: 9% a 15%
- Piel: 8%
- Cerebro 4% a 7%
- Intestino: 3%

La biotransformación del mercurio se centra en cuatro principales vías:

1. Oxidación del vapor de mercurio metálico a mercurio divalente: La oxidación, mediada por el hidrógeno peróxido-catalasa en los peroxisomas, determinan el tiempo de permanencia del vapor inhalado, importante para llegar a zonas sensibles, disminuyendo su liposolubilidad y su toxicidad, tendiendo a que la bioacumulación aumente cuando la oxidación se está realizando en los tejidos. La corta presencia en estado iónico es permitida por diversas proteínas con presencia de cisteína.
2. Reducción del mercurio divalente a mercurio metálico: La reducción es mediada por el sistema xantina oxidasa, siendo demostrado el proceso contrario en animales de experimentación.
3. Metilación del mercurio inorgánico: Ha sido demostrado que la metilación del mercurio inorgánico en ratas es posible, aunque únicamente del 0.05% al 0.26% de la dosis suministrada, desconociendo el lugar exacto de esta metilación, suponiendo que es por medio del hígado. Hasta ahora no ha sido probada en humanos.
4. Conversión de metilmercurio en mercurio inorgánico: En la exposición crónica se conoce el proceso de biodesmetilación en varios tejidos, siendo el hígado en que realiza el cambio en mayor proporción.

La eliminación de los tóxicos en el cuerpo está determinada por un modelo toxicocinético de eliminación, que establece que el mercurio se expulsa o metaboliza desde compartimientos centrales, periféricos y excreciones.

El compartimiento central está formado por todos los órganos del cuerpo excepto el hígado y el riñón; el compartimiento periférico se constituye por el riñón, acumulando mercurio por el mayor tiempo y lo aclara lentamente, también por el hígado, que lo acumula por periodos cortos y lo aclara rápidamente. Incluye procesos de filtración glomerular (filtración de sangre), secreción biliar y por mucosa intestinal. Por otra parte, la excreción se realiza por medio de orina, heces, pelo y uñas.

La vida media del mercurio por exposición aguda es de 1 a 3 días, mientras que en exposición continua es de 37 días. Mientras que los compuestos orgánicos de mercurio alcanzan al menos los 40 días.

En las excreciones, la cantidad promedio que se expulsa es del 50% al 55%, en la saliva es equivalente al 25% de la concentración sanguínea y el 10% de la urinaria; en el sudor

es del 15% considerando su presencia en un balance global y por último en la exhalación se expulsa hasta un 7%.

TOXICODINÁMICA

La toxicidad del mercurio tanto orgánico como inorgánico es debido a que en su forma iónica no establece enlaces químicos.

La interacción con los sistemas enzimáticos genera una toxicidad inmediata, porque precipita las proteínas sintetizadas por la célula, principalmente las neuronas al inhibir los grupos sulfhídrico de varias enzimas esenciales.

En estado iónico se fija en los grupos celulares ricos en radicales sulfhidrilo (-SH), alterando varios sistemas metabólicos y enzimáticos de la célula y su pared inhibe la síntesis de proteínas en la mitocondria, afectando su función energética. En el riñón disminuye la actividad de las fosfatasas alcalinas (afectando huesos y dientes), alterando así el transporte de potasio y la ATP-asa en la membrana.

En el encéfalo, las neuronas presentes en el cerebro y cerebelo son las más sensibles. En el sistema enzimático inhibe enzimas esenciales como catalasas plasmáticas, colinesterasa globular, reductasa globular, galactosidasa entre otras proteínas.

El mercurio en esencia, causa una fuerte lesión celular en cualquier tejido en el que se acumule en concentraciones suficientes; varios órganos incluyendo el riñón, al igual que con otros metales pesados como el cadmio, cobre y zinc, induce la formación de metalotioneína, un receptor proteico de peso molecular bajo que, al unirse a ella, satura sus propios receptores. Cuando la gran cantidad de toxico está presente, la metalotioneína se forma en exceso, causando alteraciones orgánicas en el mismo sitio de su producción.

CONCLUSIONES

No podemos detener el avance de las tecnologías y tampoco limitar el aprovechamiento de recursos naturales tanto en México como en el mundo, pero lo que definitivamente si se puede es controlar los métodos y las formas en las que hacemos las cosas. Tener una conciencia ambiental no es fácil, mucho menos hablando desde un aspecto industrial nacional e internacional, que es dependiente al 100% de modelos económicos que siempre buscarán gastar en la menor medida posible.

Antes de iniciar este proyecto no dimensioné ni un poco todo lo que podría aprender, mucho menos el saber que he vivido con una venda en los ojos que me limitó el panorama ecológico en México que, como futuro Ingeniero Ambiental, estoy encargado de hacer saber a la población el gran peligro en el que coexisten día a día.

Podemos cuestionar diversos factores como el modelo en el que deseamos que nuestro país se desarrolle y lo que queremos buscar con esto. Si anhelamos existir en una sociedad en pro al medio ambiente, debemos entender que nuestro estilo de vida va de la mano en muchos factores con este tipo de industrias de los que, si o si somos dependientes al 100%, mucho más de la minería, que nuestra sociedad se construyó en torno a esta estructura que posiblemente nos lleve decenas o cientos de años modificar.

No debemos olvidar que nuestro paso por esta vida, en promedio es de 72 años y que nuestra salud depende del entorno en el que nos queremos desenvolver, pero si el entorno no me lo ofrece, ¿A quiénes podremos exigirles que nuestra salud no se vea deteriorada por factores externos? ¿Verdaderamente a quién le corresponde tomar las decisiones correctas en la regulación legal nacional ante el correcto manejo de todos los desechos mineros?

Cada vez que nos sumergimos al tema surgen más y más preguntas que nos obligan a tener respuestas reales, que nos lleven a soluciones y cambios ambientales, ¿Estamos desarrollando nuestra sociedad con la estructura correcta? ¿Qué estrategias nos pueden ofrecer? La evidente restructuración en indoles normativas con carácter ecológico y penal podría ser el enorme cambio que busquemos, sin lagunas legales ni caminos fáciles.

Estamos viviendo y padeciendo hoy mismo las malas decisiones del pasado y la ausencia social, la nula intervención de la población para tomar cartas en el asunto. Y somos los más afectados, los contextos socioculturales están latentes a corromperse por dinero, poder y beneficios.

Tratarlo y entenderlo conlleva a adentrarse a uno de los procesos más complejos, buscando causas y efectos; es indispensable entender de una buena vez que el cuidado, protección y atención al medio ambiente es proporcional a la salud con la que vivimos como sociedad. Es hablar de que el compromiso social debe representar una apertura a una unificación para la exigencia de nuestros derechos a la vida y a la salud, integrales y efectivas. Merecer el bienestar y una buena calidad de vida para la población está muy lejos de nuestra realidad; aún hay más por hacer, más por dar a conocer, más por demostrarnos que tal vez nuestras enfermedades poblacionales se deban más al incorrecto proceso y regulación de las diversas industrias que hay en nuestro país, y la minera nos está quitando cada vez más y más.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Poma, P. (2008, abril). *Intoxicación por plomo en humanos - Lead effects on humans*. SCielo. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832008000200011
- Adalberto, H., Ugalde, V. T., Enrique, M., Carrasco, F., & Oaxaca, U. (2020). *VALLE DE OAXACA : RIESGOS DE SALUD PÚBLICA DE HOY MINING ACTIVITY IN THE 20TH CENTURY IN THE*.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1999). Resumen de Salud Pública Cadmio Resumen de Salud Pública Cadmio. *Medicina*, 10. www.atsdr.cdc.gov/es
- Ahn, Y., Han, M., & Choi, J. (2020). Monitoring the mobility of heavy metals and risk assessment in mine-affected soils after stabilization. *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123231. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123231>
- Alberto, M., & San, H. (2005). *DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE JALES*.
- Alexander, I., Peña, R., Rodriguez, M., & Ph, S. (2008). *Fitoextracción de metales pesados presentes en sedimentos contaminados utilizando Eucaliptus Globulus*. 1–95.
- Almau, C. (2012). *Metodología para la descontaminación de aguas procedentes de lavaderos de instalaciones mineras*. 9.
- Alvarado, C., Dasgupta, N., Ambriz, E., Sanchez, J., & Villegas, Ja. (2011). *HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES Y LA FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO*. 27(4), 357–364.
- Ambiental, G., Juan, A., Valencia, P., Marino, B., De Antioquia, U., De, F., & Medellín, I. (2010). *PROBLEMÁTICA AMBIENTAL OCASIONADA POR EL MERCURIO PROVENIENTE DE LA MINERÍA AURÍFERA TRADICIONAL, EN EL CORREGIMIENTO DE PROVIDENCIA, ANTIOQUIA. LUIS GREGORIO MACHADO-JORGE HERNÁN OSPINA NATHALIA ANDREA HENAO-FABIÁN DARÍO MARÍN Trabajo de grado para optar*.
- Burger, Mabel; Pose Román, D. (n.d.). *Plomo: Salud y ambiente*. 1–248.
- Carlos, M. H. J., Stefani, P. V. Y., Janette, A. M., Melani, M. S. S., & Gabriela, P. O. (2016). Assessing the effects of heavy metals in ACC deaminase and IAA production on plant growth-promoting bacteria. *Microbiological Research*, 188–189, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.05.001>
- Corona-Chávez, P., Maldonado, R., Ramos-Arroyo, Y. R., Robles-Camacho, J., Lozano-SantaCruz, R., & Martínez-Medina, M. (2017). Geoquímica y mineralogía de los jales del distrito minero Tlalpujahuá-El Oro, México, y sus implicaciones de impacto ambiental. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(3), 250–273. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2017.3.540>
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Cuizano, N. a, Reyes, Ú. F., Domínguez, S., & Llanos, B. P. (2010). Relevance of the pH on the adsorption of metallic ions by brown seaweeds. *Revista Sociedad Química Perú*, 76(2), 123–130.
- Dávila Luna, J. (2017). *Las presas de jales en la zona Noroeste del Estado de Sonora: una aproximación geográfica mediante Percepción Remota*. 39.
- Effen, M. A. (2010). Health risks caused by mining pollution and their impact on children. *File:///C:/SciELO/Serial/Rbcst/V12n27/Body/V12n27a05.Htm*, 1–21.

- Escobar, J. (2004). El impacto producido por la actividad minera en los fondos profundos oceánicos sobre los recursos genéticos y el Reglamento para la prospección y exploración de nódulos polimetálicos en la Zona. *Comisión Económica Para América Latina y El Caribe*, 1–78.
- Esp, R. (2014). Toxic Effects of Lead. *The Lancet*, 129(3325), 1053. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)49863-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)49863-6)
- Feoktistova, L., & Clark, Y. (2018). El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana. *Medisur*, 16(4), 579–587.
- Gamero Esparza, C. (2003). Contaminación por plomo. *Vivat Academia*, 0(34), 7. <https://doi.org/10.15178/va.2002.34.7-60>
- García, C., Moreno, J., Hernández, M., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente- CCMA-CSIC*, 125–138. <http://hdl.handle.net/10261/111812>
- García, E. M., León, V. Q., & Paredes, F. B. (2021). *suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro Lolium multiflorum L. (Poaceae) Phytoextraction of Pb and Cd , present in agricultural soils contaminated by heavy metals by the foxtail Lolium multiflorum L. (Poaceae) Fito extr.* 28(1), 149–162.
- Georgina, calva B. L., & B., M. del R. T. (2004). *Metales pesados y sus efectos en organismos os.* <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n51ne/metales.pdf>
- Gonzales Gómez, J. D. (2010). *Fitorremediación: Una herramienta viable para la descontaminación de aguas y suelos.* 1–52.
- González Valdez, E., Alarcón, A., & Ferrera Cerrato, R. (2019). Las plantas, nuevos mineros para recuperar metales preciosos. *Ciencia*, 70(3), 88–92.
- Hazin, M. S. (2013). Desarrollo minero y conflictos socioambientales. *Macroeconomía Del Desarrollo*, 137, 58. <http://www.cepal.org/es/publicaciones/5369-desarrollo-minero-conflictos-socioambientales-casos-colombia-mexico-peru>
- Hesperian. (2011). La minería y la salud. *Guía Comunitaria Para La Salud Ambiental*, 2, 470–497. http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_cap21.pdf
- Kang, M. J., Yu, S., Jeon, S. W., Jung, M. C., Kwon, Y. K., Lee, P. K., & Chae, G. (2021). Mobility of metal(loid)s in roof dusts and agricultural soils surrounding a Zn smelter: Focused on the impacts of smelter-derived fugitive dusts. *Science of the Total Environment*, 757, 143884. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143884>
- Kossoff, D., Dubbin, W. E., Alfredsson, M., Edwards, S. J., Macklin, M. G., & 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>
- Lamberti, J. (2018). *Análisis del Fideicomiso Río Sonora. Simulando la remediación privada.* 25. <https://www.colaboratorio.org/wp-content/uploads/2018/07/analisis-FRS.pdf>
- Latorre, Á. M. L. R., & Tovar, M. H. T. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Saúde Em Debate*, 41(112), 77–91. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- López-Jiménez, C. L., Uribe-Guevara, J., & Cuesta-Ramírez, J. J. (2019). Perceived impact on the

- artisanal miner's health from quinchía's municipality (Colombia) by the use of cyanide and mercury in the amalgamation process of gold. *Revista de Salud Publica*, 21(3), 1–8.
<https://doi.org/10.15446/RSAP.V21N3.81048>
- López-Martínez, S., Gallegos-Martínez, M., Pérez-Flores, L., & Gutierrez Rojas, M. (2005). *MECANISMOS DE FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MOLÉCULAS ORGÁNICAS XENOBIÓTICAS*. 21(2), 91–100.
- Lozano-Rivas, W. A. (2018). Suelos. *Suelos*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv8j5r0>
- Manky, O. (2017). El lugar importa: Efectos de la movilidad en las estrategias sindicales. *Revista Mexicana de Sociología*, 79(1), 35–63.
- Martínez-Alva, G., Gheno-Heredia, Y. A., Vieyra-Reyes, P., Martínez-Campos, Á. R., Castillo-Cadena, J., López-Arriaga, J. A., Manzur-Quiroga, M. de los Á., & Arteaga-Reyes, T. T. (2020). Geoavailability of potentially toxic elements in agricultural soils that represent a risk to the environment and the health of the population of the nevado de toluca, mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(4), 847–856.
<https://doi.org/10.20937/RICA.53614>
- Medel, A., Ramos, S., Avelar, F. J., Godínez, L. A., & Rodríguez, F. (2008). Caracterización de Jales Mineros y evaluación de su peligrosidad con base en su potencial de lixiviación. *ConCiencia Tecnológica*, 35, 32–35.
- Mejía, J., Carrizales, L., Rodríguez, V. M., Jiménez-Capdeville, M. E., & Díaz-Barriga, F. (1999). Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. *Salud Pública de México*, 41, S132–S140. <https://doi.org/10.1590/s0036-36341999000800010>
- Mendoza, O., Sánchez, R., Barrón, J., Cuevas, H., Escalante, P., & Solano, R. (2017). Riesgos potenciales de salud por consumo de agua con arsénico en Colima , México. *Salud Pública De México*, 59(1).
- Mngadi, S., Sihlahla, M., Lekoadu, S., Moja, S., & Nomngongo, P. N. (2020). Evaluation of mobility, fractionation, and potential environmental risk of trace metals present in soils from Struibult gold mine dumps. *Journal of African Earth Sciences*, 172(November 2019), 104008.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.104008>
- Molina, N. C., Guevara, D. A., & Fernández de Ullivarri, J. (2014). *Físico-Química del Suelo*. 34.
- Morales, Y. G. (2009). *Universidad de sonora*.
- Moreno, A., García, V., Carrillo, J., Vásquez, J., & Cano, P. (2018). *Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal : una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable Plant growth promoting rhizobacteria : a biofertilization alternative for sustainable agriculture*. XX(1), 68–83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Moreno Onofre, B., & Santos Jallath, J. E. (2017). *PROPUESTA PARA EL CIERRE DEL DEPÓSITO DE JALES 1-2-3 DEL COMPLEJO MINERO-METALÚRGICO LA CARIDAD, CON BASE EN LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL MEXICANA*.
- Muñoz-Duque, L. A., Pérez Osorno, M. M., & Betancur Vargas, A. (2020). Despojo, conflictos socioambientales y violación de derechos humanos. Implicaciones de la gran minería en América Latina. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1), 1–10.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.988>
- Nacional, U., México, A. De, Martín, F., María, R., Armienta, A., & Eugenia, M. (2008). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental IMPACTO AMBIENTAL DE JALES MINEROS Universidad Nacional Autónoma de México , Instituto de Geología , Ciudad Universitaria ,*

- México DF 04510, México. Correo electrónico : fmrch@geologia.unam.mx Universidad. 24, 43–54.
- Ngole-Jeme, V. M., & Fantke, P. (2017). Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil. *PLoS ONE*, 12(2), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172517>
- Núñez, A., Meas, Y., Ortega, R., & J. Olguin, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones La. *Ciencia*, 10(1), 69–83.
- OMS. (2010). Exposure to cadmium: a major public health concern. *Preventing Disease Through Healthy Environments*, 3–6. <http://www.who.int/ipcs/features/cadmium.pdf>
- Ordóñez Ramirez, V. (2007). Contaminación del agua. *Ingenius*, 1. <https://doi.org/10.17163/ings.n1.2007.04>
- Oviedo-Anchundia, R., Moina-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Contamination by heavy metals in the south of Ecuador associated to the mining activity. *Bionatura*, 2(4), 437–441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- Patricia, M., Hurtado, R., Luz, M., & Camacho, B. (2006). *Manual de agentes carcinógenos de los grupos 1 y 2A de la IARC, de interés ocupacional para Colombia*. http://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/86632fdafa996b9db6300ef143894d6d_Manua l Agentes carcinógenos.pdf
- Peña Neira, S., & Araya Meza, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente. *Revista de La Facultad de Derecho*, 50, 0–2. <https://doi.org/10.22187/rfd2021n50a6>
- Poulin, J., & Herman, G. (2008). Mercurio: Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local. *Organización Mundial de La Salud*, 75.
- Press, P., Juan, I., & Joffré, E. (1989). *METALURGIA EXTRACTIVA, J. D. Gilchrist 3ª Edición en inglés, 1989, Pergamon Press*. 1–41.
- Ramírez, A. V. (2013). Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de La Facultad de Medicina*, 69(1), 46. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i1.1184>
- Ramos-Arroyo, Y. R., & 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, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(1), 54–74. *Resumen*. (n.d.).
- Reyes, A. M. (2009). *Caracterización fisicoquímica de jales mineros y evaluación de biosólidos como propuesta de remediación*. 93.
- Reyes, V., Veloz, M., & Vargas, M. (2009). *Evaluación de las alternativas para la disminución del impacto ambiental por jales históricos en el distrito minero de Zimapán*. 15.
- Rodríguez, K. (2016). *Caracterización mineralógica de jales mineros de la comunidad “ El Fraile ”, mediante microscopía electrónica de barrido y EDS*. 2.
- Rodríguez, P., Rey, O., Gaytán, T., Santos, A. T., Alarcón, A., & Arteaga, I. (2017). *Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (apsicum annuum L)*. 33(3), 463–474. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.09>
- Rojas Seguel, D., & Monsalve Helfant, R. (2017). Tendencias de usos y demanda de productos de cobre. *Comisión Chilena Del Cobre*, 41.
- Romero, F. M., Armienta, M. A., Gutiérrez, M. E., & Villaseñor, G. (2008). Factores geológicos y climáticos que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. *Revista*

- Internacional de Contaminacion Ambiental*, 24(2), 43–54.
- Romero, F. M., & Gutiérrez Ruíz, M. (2008). Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de México. *Sociedad Geológica Mexicana*.
- Sánchez-Valle, V., & Méndez-Sánchez, N. (2013). Estrés oxidativo, antioxidantes y enfermedad ARTÍCULO DE REVISIÓN. *Rev Invest Med Sur Mex*, Julio-Septiembre, 20(3), 161–168.
- Sanchez, G. (2016). Ecotoxicología del cadmio: riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio. *Facultad De Farmacia Universidad Complutense Trabajo*, 5(6), 23.
http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA_SANCHEZ_BARRON.pdf
- Sanz, B. (2015). *TRABAJO FIN DE GRADO TÍTULO : ECOTOXICOLOGÍA DEL ARSÉNICO : MOVILIZACIÓN EN SUELOS Y AGUAS , RELEVANCIA CLÍNICA Y MÉTODOS DE* Autor : Beatriz Fernández Sanz Tutor : Miguel Ángel Casermeiro Martínez Convocatoria : Febrero - 2015 Índice : 21. [http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/FERNÁNDEZ SANZ, BEATRIZ.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/FERNÁNDEZ_SANZ,_BEATRIZ.pdf)
- SEMARNAT. (2003). *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 PRESA*. 1(69), 5–24.
- SEMARNAT, S. de M. A. y R. N. (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 presa. *Diario Oficial de La Federación*, 59.
<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1317/1/nom-141-semarnat-2003.pdf>
- Ullah, A., Heng, S., Munis, M. F. H., Fahad, S., & Yang, X. (2015). Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 117, 28–40. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.001>
- Universitaria, C. (2017). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Artículos Evaluación de la peligrosidad de jales de zonas mineras de Nicaragua y México y alternativas de solución Hazard assessment of mine tailings in Nicaragua and*. 3322.