



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN AL DAÑO POTENCIAL AL AMBIENTE POR LA
PRODUCCIÓN DE JALES EN EL ESTADO DE HIDALGO, MEDIANTE
EL USO DE SIG**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA

PRESENTA:

ING. JORGE ALBERTO VÁZQUEZ MÉNDEZ

DIRECTOR DE TESINA: **M. en I. ALBA BEATRIZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ**

MÉXICO, D.F.

JUNIO 2019

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi mamá que en todo momento ha estado conmigo y mi hermana brindándonos valores que nos han ayudado a lo largo de nuestra vida, enseñándonos lo que significa fortaleza, confianza, amor, demostrando todo esto día con día.

A mi hermana, que siempre ha sido mi primera amiga, mi guía y mi protectora, dándome confianza, apoyo, y siempre creer en mí, y pese a todo esto me ha brindado un regalo aun mayor, poder ser tío de una gran personita.

A mi abuelita, que nos ha dotado de grandes valores a más de una generación, que nos han guiado para ser gente bien y que ahora podemos transmitir estos valores a las siguientes generaciones de nuestra familia, y quien es para mí, mi segunda mamá.

A mi novia, que se ha vuelto mi compañera, que me motiva día con día a ser un mejor profesional y persona, regalándome siempre una sonrisa, infundiéndome confianza, aportándome valor y enseñándome que siempre hay algo nuevo que aprender por caminos que sin ella serían imposibles de ver. Y por hacerme participe de su gran familia que desde el primer momento que los conocí me hicieron parte de ellos.

A mis tías y tíos, que desde que tengo memoria siempre han sido como madres y padres para mi hermana y para mí, siempre brindando una ayuda incondicional a mi mamá para lograr que pudiéramos salir adelante.

A mis primos, que me han brindado desde conocimientos, risas y compañía, con los cuales he crecido y me ayudaron a seguir creciendo como persona.

A mi tutora, la M. en I. Alba Beatriz Vázquez González que desde un principio en mi estadía en la especialidad me brindo todo su apoyo y experiencia para poder cumplir con el objetivo de ser un especialista en ingeniera sanitaria.

A la universidad que siendo mi alma mater y en la facultad de ingeniería me han brindado una educación excepcional, con la cual tengo armas para poder afrontar los desafíos que se me puedan llegar a presentar en mi vida como profesional.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo identificar las zonas vulnerables a la contaminación de agua por actividad minera en el estado de Hidalgo, con el propósito de localizar las posibles fuentes de contaminación de origen minero haciendo uso de sistemas de información geográfica y el apoyo de software con el programa QGis.

El trabajo está basado en las normas oficiales mexicanas, en específico la NOM-141-SEMARNAT-2003 la cual establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales; y la NOM-052-SEMARNAT-2005 la que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

Los jales mineros son residuos que resultan del beneficio de un mineral de interés, siendo peligrosos cuando sus características son tóxicas (pudiendo ser no tóxicos), su manejo común es la disposición en presas, llamadas presas de jales.

Con el trabajo realizado se identificaron las zonas más vulnerables a la contaminación del agua por residuos mineros (jales), a lo largo del estado de Hidalgo.

Finalmente se obtuvieron con la metodología y el análisis del trabajo en cuestión, los medios para tener los elementos y concluir que si la actividad minera metálica propia del estado de Hidalgo podría influir en la contaminación de los puntos de muestreo de agua reportados en el geo portal CONABIO de la zona.

Índice

Introducción.....	5
Objetivos	6
Capítulo 1	7
1. Minería en México	7
1.1 Historia de la minería en México y el estado de Hidalgo	7
1.2 Legislación minera sobre protección ambiental	14
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).....	14
Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003	14
Norma Oficial Mexicana NOM-120-SEMARNAT-1997	17
Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009	18
Capítulo 2	21
2. Actividad minera en el estado de Hidalgo	21
2.1 Contexto de la minería en el estado de Hidalgo	21
2.2 Aspectos generales de la minería en el estado de Hidalgo.....	24
Capítulo 3	30
3. Análisis y resultados del daño potencial por presas de jales en el estado de Hidalgo	30
3.1 Programa QGis	30
3.2 Recopilación de información.....	30
3.3 Tratamiento y modelado de la información con QGis	31
3.4 Resultados y análisis de resultados.....	39
Capítulo 4	42
4. Propuestas con base al análisis de resultados	42
Capítulo 5	42
5. Conclusiones	42
Bibliografía.....	44

Introducción

Históricamente el estado de Hidalgo ha sido de gran importancia para la minería en el país con una historia de aproximadamente 500 años, siendo ampliamente reconocido por producir plata, pero también se incluye oro, cobre, material de construcción, arcillas, por mencionar los de mayor actividad e importancia. Teniendo su auge después de la conquista española. (Universidad de Sonora 1984).

La minería es una actividad que ha estado presente con el desarrollo humano, a tal grado que se le han asignado diferentes etapas a la historia de la humanidad; como: la edad de piedra, la edad de hierro, la edad de bronce. Como consecuencia de la explotación de diferentes materiales para beneficio de la humanidad se ha producido un impacto ambiental de gran escala que ha sido más claro en los últimos 100 años teniendo como principal problema el cambio climático que vivimos en la actualidad. Por lo cual es de vital importancia encontrar un equilibrio entre la parte ecológica, económica y social, para mantener la actividad sin afectar de manera importante los ecosistemas tratando de llegar a un punto sostenible de la empresa minera (Artículos Técnicos Internacionales en Minería 2017).

También es innegable que las organizaciones mineras deben de trabajar para ayudar a combatir el cambio climático, ya que una mina puede tener periodos de vida útil de algunos años a décadas, pero el impacto al ambiente y en las sociedades dura más tiempo, y una forma de combatir tales efectos sería el cierre de minas controlado, haciendo estudios de sustentabilidad, lo cual representa un cambio positivo de manera inmediata. (Artículos Técnicos Internacionales en Minería 2017)

De acuerdo al artículo 17 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), y al artículo 33 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (RLGPGIR). Los residuos de la industria minera-metalúrgica provenientes del minado y tratamiento de minerales tales como jales, residuos de los patios de lixiviación abandonados, así como los metalúrgicos provenientes de los procesos de fundición, refinación y transformación de metales, que se definirán en forma genérica en el reglamento según lo estipulado en el artículo 7 fracción III de esta ley, son de regulación y competencia federal. Podrán disponerse finalmente en el sitio de su generación; su peligrosidad y manejo integral, se determinará conforme a las normas oficiales mexicanas aplicables, y estarán sujetos a las regulaciones medioambientales que estén vigentes en el momento de su generación.

Para el caso de México los planes de manejo de residuos son de carácter obligatorio, para quienes son los generadores del proceso, sin embargo esto no se ha ejecutado, hasta el año 2014 de las 122 minas que fueron registradas solo 7 cuentan con un plan de manejo de residuos de la industria minera ante la SEMARNAT. (Trejo Nava 2018)

El estado de Hidalgo es un gran productor de manganeso, cadmio, oro, plomo, plata y zinc, uno de sus principales distritos mineros es Real del Monte que tiene 467 años de producir entre otros: oro y plata (Servicio Geológico Mexicano 2016), además de, plomo y zinc, por

lo cual resulta de vital importancia, que se tenga un mejor plan de residuos, para mitigar el impacto al ambiente y a la salud de la sociedad.

Objetivos

- Estudiar las zonas en el estado de Hidalgo en donde existen minas y analizar su impacto con los cuerpos de agua y poblaciones cercanas.
- Identificar y analizar las zonas en donde exista probabilidad de contaminación de agua por actividad minera.

Capítulo 1

1. Minería en México

1.1 Historia de la minería en México y el estado de Hidalgo

La actividad minera en México desde la época previa a la conquista española ha jugado un papel importante en México. Pese a que a veces se habla de que la minería en México empezó con la llegada de los españoles, hay escritos de la época en donde se habla de que cuando los aztecas vieron a los españoles les ofrecieron objetos hechos de plata y oro (Muñoz 1986), demostrando que tenían habilidad dentro de la minería a tal grado de poder explotar estos metales y algunos otros minerales, los cuales utilizaban de ciertas formas.

La explotación minera fue hasta después de la conquista española cuando comenzó su auge, debido a la gran explotación de grandes depósitos metalíferos, los cuales se hicieron más grandes a medida que transcurría el tiempo (Universidad de Sonora 1984).

Posteriormente se crearon los reales de minas, como modelos de la sociedad colonial minera en México. En donde la función principal de este modelo era fiscalizar los impuestos mineros, monopolizar las cajas reales, controlar operaciones de casas de monedas, en general fomentar todas las actividades relacionadas con la actividad minera (Sariego Rodríguez 1994). Fue así como alrededor de estos “reales de minas” se crearon pequeñas manchas urbanas llegando a conformarse regiones, como la región del Estado de Hidalgo localizada en la parte central de la República Mexicana, aproximadamente a 80 km al norte de la ciudad de México, y que limita con los estados de San Luis Potosí, Veracruz y Querétaro al norte, parte de Veracruz y Puebla al este, parte de Querétaro al oeste y al sur con el Estado de México y Tlaxcala (imagen 1.1).

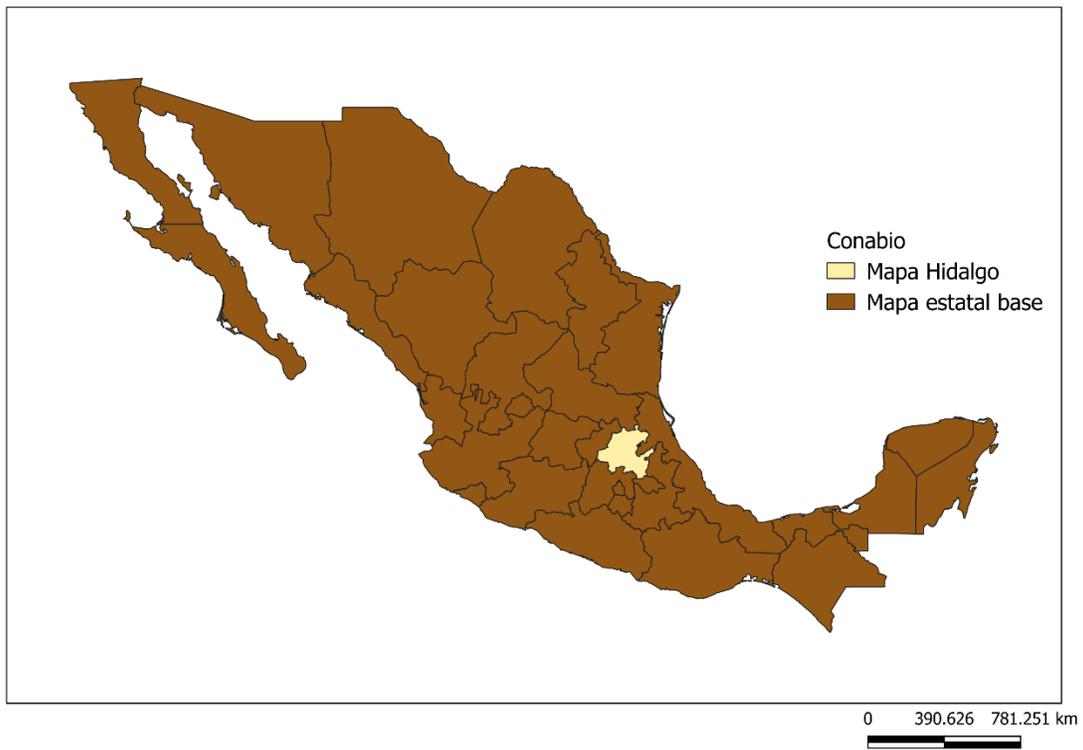
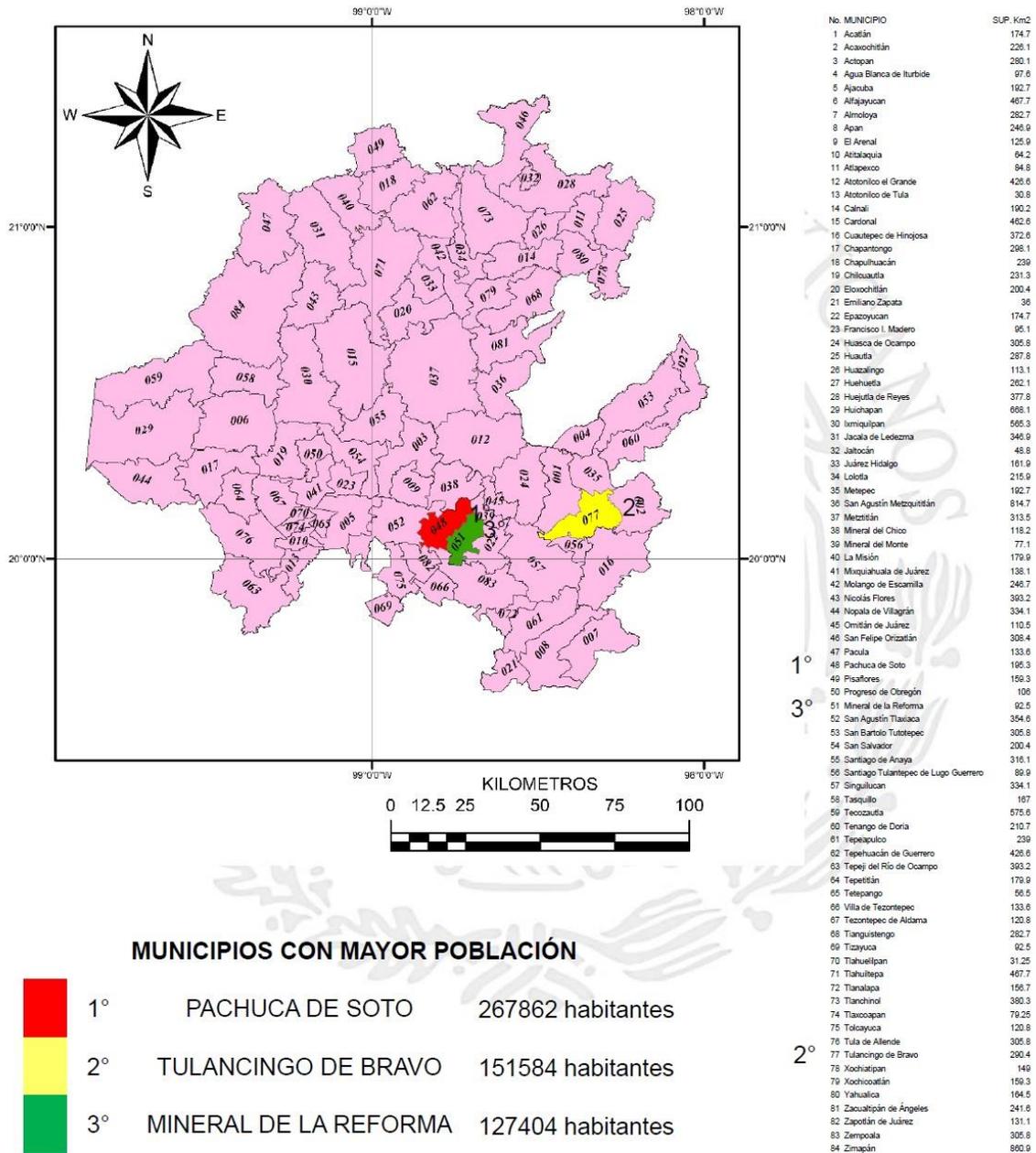


Imagen 1.1 Mapa con división estatal de México y ubicación del Estado de Hidalgo.
Imagen generada para este documento.

Actualmente de acuerdo al INEGI, Hidalgo tiene una superficie total de 20,813 km², dividida en 84 municipios con una población de 26,645,018 habitantes, de los cuales 52% vive en zonas urbanas y 48% en zonas rurales (imagen 1.2).

DIVISIÓN MUNICIPAL



MUNICIPIOS CON MAYOR POBLACIÓN

	1°	PACHUCA DE SOTO	267862 habitantes
	2°	TULANCINGO DE BRAVO	151584 habitantes
	3°	MINERAL DE LA REFORMA	127404 habitantes

POBLACIÓN TOTAL: 2665018 habitantes

*Imagen 1.2 División municipal del estado de Hidalgo.
Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016.*

En cuanto al clima, el estado de Hidalgo tiene una amplia variedad teniendo el templado subhúmedo con un 31.5 % de la superficie del estado, el semiseco templado con 29.6 % de la superficie del estado, el semicálido húmedo con 16.2 % de la superficie del estado, y teniendo una superficie de 0.09 % de clima frío, como se ve en la imagen 1.3.

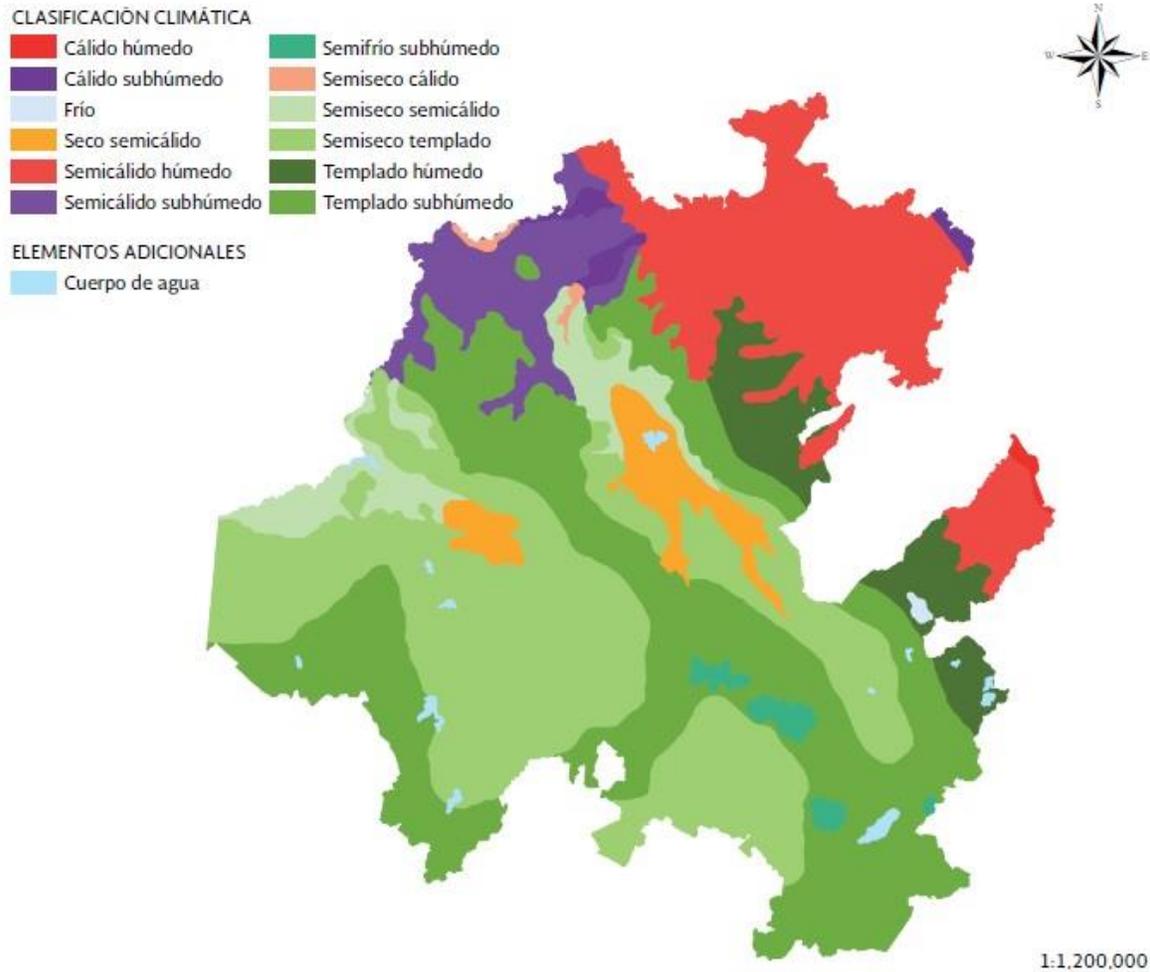
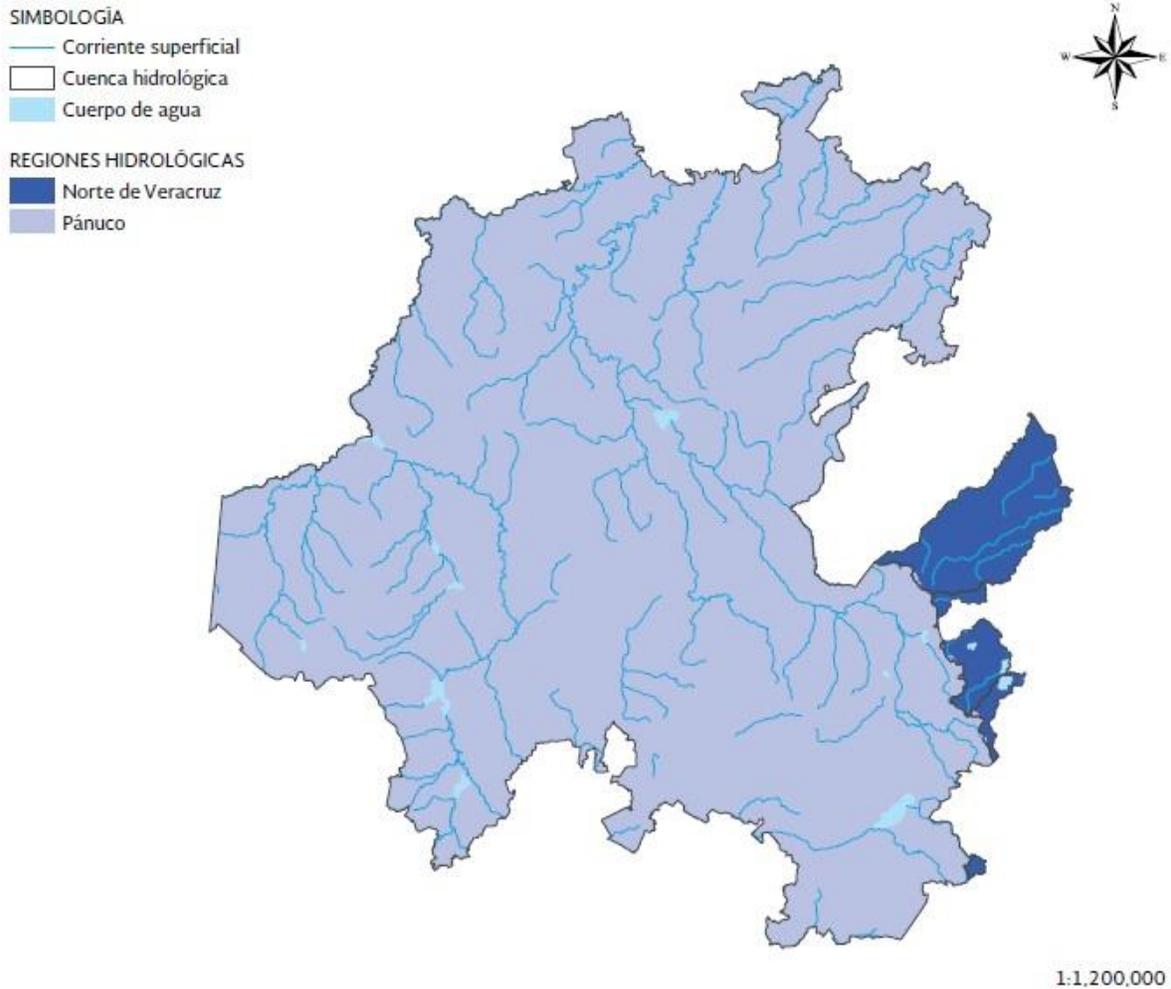


Imagen 1.3 Mapa de climas en el estado de Hidalgo.
Fuente SEMARNAT 2014

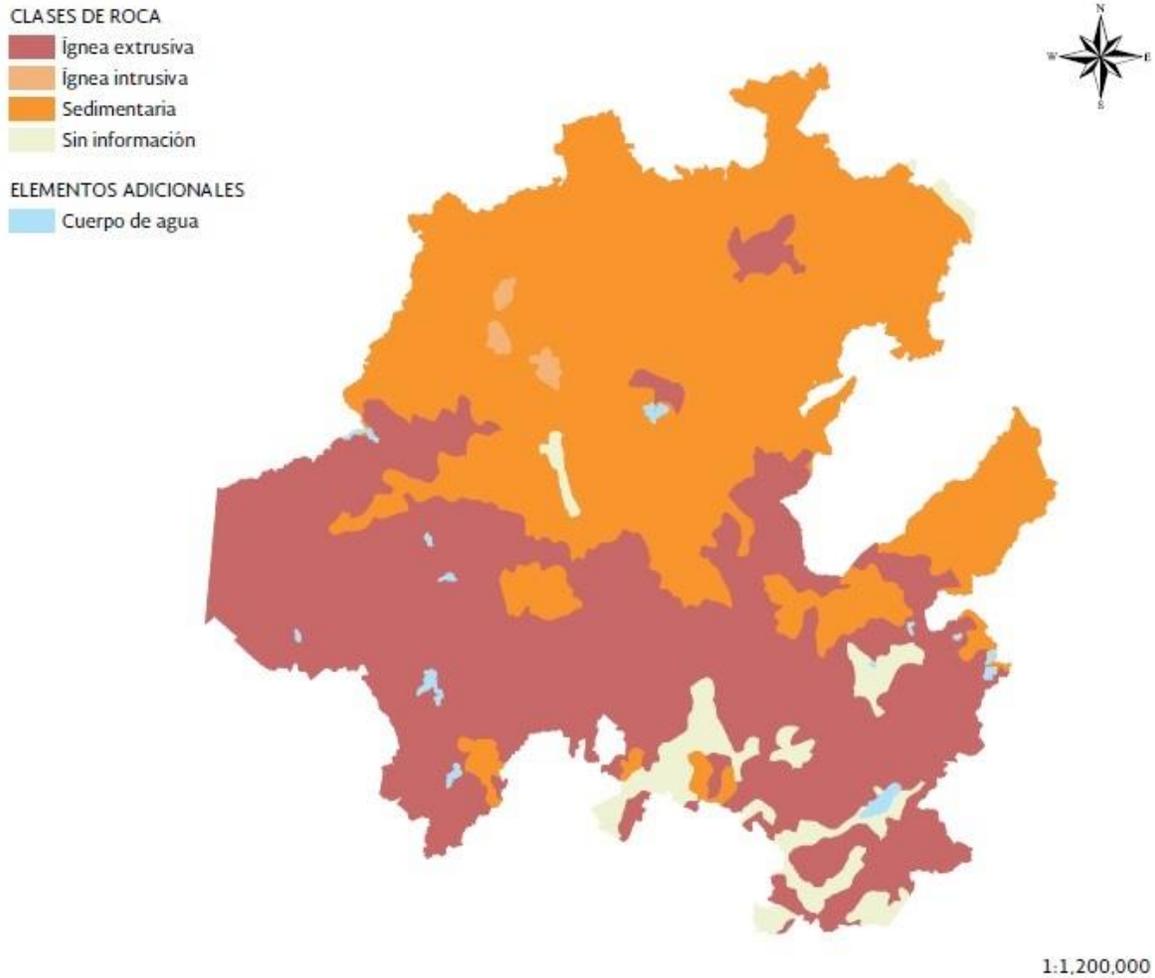
El estado de Hidalgo está casi en su totalidad dentro de la región hidrológica denominada Río Pánuco que tiene una superficie de 19,793.60 km², además forma parte en menor medida de la región Tuxpan-Nautal que tiene una superficie de 1,111.52 km² como se muestra en la imagen 1.4.

La principal región a la que pertenece el Río Pánuco es parte de la vertiente del Golfo de México la cual se ubica en cuarta posición a nivel nacional por su superficie y quinta posición por su volumen de escurrimiento (Club Ensayos 2013). Las corrientes pluviales principales están; el río Tula, Amajac y Metztlán.



*Imagen 1.4 Mapa hidrológico del estado de Hidalgo.
Fuente SEMARNAT 2014*

La composición geológica del Estado de Hidalgo es compleja, ya que se presenta rocas que van desde sedimentarias (marinas, de baja profundidad), volcánicas (continental o marina), intrusiva (superficial y subvolcanica) y metamórficas (actividad térmica regional o local) como se puede ver en la imagen 1.5. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2014)



*Imagen 1.5 Mapa geológico del estado de Hidalgo.
Fuente SEMARNAT 2014*

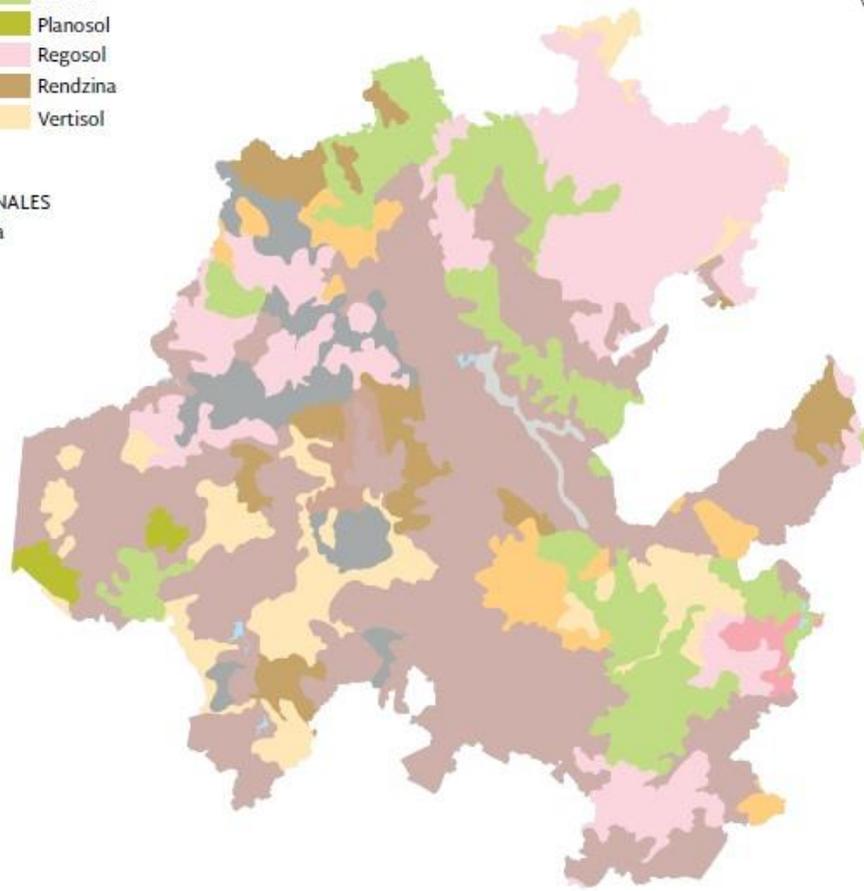
Al igual que los climas, en el estado de Hidalgo hay una gran variedad de suelos, teniendo como predominantes con un 73.88 % a los feozem, regosol y luvisol, en un 19.02 % los suelos de tipo vertisol, rendzina y litosol, y el resto del estado con cambisol, castañozem, planosol, andosol y fluvisol con 6.83 % como se puede ver en la imagen 1.6. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2014)

GRUPOS DE SUELO

Andosol	Luvisol
Cambisol	Planosol
Castañozem	Regosol
Feozem	Rendzina
Fluvisol	Vertisol
Litosol	

ELEMENTOS ADICIONALES

Cuerpo de agua



1:1,200,000

*Imagen 1.6 Mapa de suelos del estado de Hidalgo.
Fuente SEMARNAT 2014*

1.2 Legislación minera sobre protección ambiental

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), busca la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente, en todo el territorio nacional. Sus disposiciones son de orden público e interés social.

Los aspectos de la LGEEPA que están relacionados con actividades mineras o similares son los que se detallan a continuación:

- Las regulaciones de las actividades en donde se involucren la explotación, exploración y cualquier beneficio de los minerales y demás recursos del subsuelo que correspondan al territorio nacional, en lo relacionado a los efectos que estas actividades generan sobre el equilibrio ecológico y el ambiente, son facultades de la federación.
- En su capítulo III y en el artículo 108, establece las condiciones para prevenir y controlar los efectos generados en la explotación y exploraciones de los recursos no renovables, para la ubicación y formas de los depósitos de desmontes, relaves y escorias de las minas y establecimientos de beneficios de los minerales.
- En el artículo 120 se menciona que para evitar la contaminación de aguas, están las regulaciones federales o locales, por lo que las descargas de desechos, sustancias o residuos generados por actividades de extracción de recursos no renovables quedan a cargo de estas regulaciones.
- En el capítulo IV, artículo 135 se presentan los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo por la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos.
- En el capítulo VI, artículo 150, se hace énfasis en que los residuos peligrosos deberán de ser manejados conforme a la presente ley, su reglamento y las normas oficiales mexicanas que sean expedidas por la secretaria.
- En el capítulo VI, artículo 151 nos especifica que la responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genere, y en el caso de haber contratado una empresa dedicada a el manejo de estos, la responsabilidad de los residuos será de esta independientemente de la responsabilidad que tenga quien los generó.
- En el artículo VI, artículo 152 BIS especifica claramente que cuando un residuo peligroso genere algún tipo de contaminación en el suelo, el responsable de dichas operaciones tiene el deber de llevar a cabo las acciones de remediaciones necesarias para restablecer las condiciones del suelo, de tal manera que pueda ser destinado para alguna otra actividad.

En México el marco legislativo se compone de NOM y NMX, de las normas oficiales mexicanas en el tema de residuos mineros se tienen las siguientes:

Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNART-2003, que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.

La NOM-141-SEMARNART-2003 regula los residuos peligrosos conforme a la LGEEPA como asunto de alcance general de la Nación y de interés de la Federación. El campo de aplicación de esta norma es de orden público y de interés social, y es obligatoria para el generador de jales provenientes de la extracción de beneficios de minerales metálicos y no metálicos, sin incluir a los minerales radiactivos, y para las presas de jales que se construyan a partir de la fecha de entrada en vigor de la norma oficial mexicana.

Se incluyen a continuación algunas definiciones que se establecen en la NOM 141 y que son relevantes para la presente tesina:

- Caracterización: determinación cualitativa o cuantitativa de la distribución de un parámetro.
- Caracterización del sitio: determinación del medio físico y biótico del sitio de la presa de jales por sus atributos particulares.
- Jales: residuos sólidos generados durante la separación y agrupación de minerales.
- Lixiviado: líquido generado de los residuos, el cual se origina mediante reacciones químicas, arrastre o por filtración, los cuales contienen en suspensión o disueltos componentes que están presentes en los mismos residuos.
- Mena: cuerpo rocoso de composición mineralógica uniforme, que es generalmente metálica, que da forma a la parte económica de las reservas de un yacimiento.
- Postoperación: puesta fuera de servicio del depósito de la presa de jales en condiciones seguras cuando se ha terminado su vida útil.
- Presa de jales: se trata de una obra de ingeniería para la correcta disposición y/o almacenamiento de los jales, la cual opera al mismo tiempo en que se está construyendo.
- Sitio: espacio o lugar referido a la presa de jales o su área de influencia.

La NOM-141-SEMARNART-2003 da una serie de especificaciones que incluyen que el almacenamiento de los jales puede efectuarse en el lugar donde se generen, conforme a la información obtenida de la caracterización del sitio y los criterios de protección ambiental. Cuando se requiera construir una presa de jales en un área natural protegida, su autorización está determinada por la evaluación del impacto ambiental, así como lo dispuesto en el Decreto del Área Natural Protegida y el programa de manejo respectivo. Para el caso de zonas consideradas como patrimonio histórico o cultural, se debe cumplir con lo establecido en las leyes aplicables.

Cuando se tiene la intención de establecer una mina, en un cauce natural de corriente y/o zona federal, se tiene que solicitar un permiso por ocupación y/o concesión de zona federal y construcción de obra hidráulica a la Comisión Nacional del Agua, la cual determinará lo que procede.

Esta norma también establece los estudios y/o proyectos de ingeniería, la información técnica o científica a utilizar y las pruebas de cumplimiento con la norma, las cuales deberán estar clasificadas, y disponibles en todo momento por si se requiere una verificación de su existencia por parte de las autoridades correspondientes.

Dentro de las especificaciones se incluyen criterios como los enlistados a continuación:

- Cambio de uso de suelo en terrenos forestales, utilizando cauces y zonas federales
- Caracterización del jal
Para llevar a cabo esto se obtiene las muestras del jal del almacenamiento o de pruebas metalurgias realizadas al inicio las actividades de la mina.
- Caracterización del sitio
Para poder caracterizar el sitio, se debe de tener definida la peligrosidad que la actividad minera provocará en el sitio por el proceso de extracción de minerales, por lo cual el responsable debe realizar los estudios necesarios para identificar los elementos del ambiente y biota que sean susceptibles por la actividad que involucra el depósito de jales.

Como un medio de prevención y evitar que la presa de jales afecte el ambiente es necesario tomar en cuenta los siguientes factores climáticos e hidráulicos: a) zona hidrológica del sitio, b) precipitación media y anual, tomando sus valores máximos y mínimos, c) tormenta máxima observada en 24 horas, d) tormenta de diseño para un periodo de retorno establecido de acuerdo con la clasificación del jal, la zona hidrológica y la topografía del sitio, y e) velocidad, dirección y frecuencia de los vientos. En la tabla 1 tomada de NOM-141-SEMARNAT-2003 se puede ver el periodo de retorno que se toma como referencia de acuerdo a la zona hidrológica y a la topografía.

Tabla 1.1 Periodo de retorno de la tormenta de diseño (años).

Topografía	Zona Hidrológica					
	Seca		Húmeda		Ciclónica	
	1	2	1	2	1	2
Montañosa	2	25	25	50	50	50
Lomerío	25	100	25	100	50	100
Plano	25	100	50	100	100	100

Fuente: NOM-141-SEMARNAT-2003

- (1) Jal no peligroso por su toxicidad
(2) Jal peligroso por su toxicidad

- Aspectos geotécnicos
Los principales aspectos geotécnicos que se deben considerar son: una descripción general de las estructuras geológicas y una descripción a detalle, propiedades mecánicas, condiciones de fisuramiento, y el grado de intemperismo de la roca. Las propiedades mecánicas de los depósitos del suelo, y la región sísmica de acuerdo a la ubicación del sitio.
- Criterios de preparación del sitio
Esto aplica cuando se detecta que hay elementos del ambiente que son susceptibles a ser dañados por la actividad de los depósitos de jales, por lo que se debe preparar el sitio para reducir o eliminar el daño sobre los elementos detectados.
- Criterios de proyecto.

- Criterios de construcción-operación.
- Criterios de post-operación.
- Monitoreo.

Norma Oficial Mexicana NOM-120-SEMARNAT-1997, que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.

Su objetivo es reducir el impacto en este tipo de vegetación y en consecuencia en el entorno social, así como establecer las condiciones de protección ambiental para la realización de las actividades de exploración minera directa, sin incluir las radioactivas y las que estén ubicadas en áreas naturales protegidas.

El campo de aplicación de esta norma es para los proyectos de exploración minera directa que se efectúen en zonas con climas secos y templados.

La norma nos brinda algunas definiciones y aquí se presentan las más importantes para la tesina:

- Climas secos: también se les llama climas áridos, son climas en donde la evaporación es mayor que la precipitación, por consecuencia no hay suficiente agua para mantener corrientes permanentes. Estos climas se subdividen a su vez en climas BW áridos o desérticos y climas BS o semiáridos.
- Climas templados: dentro de estos climas se incluyen a los húmedos y a los subhúmedos, para los cuales el mes más frío tiene temperaturas menores de 18 °C y superiores a -3 °C, estos climas se subdividen en tres tipos principales el C (fm) templado húmedo sin estación seca definida, con lluvias uniformemente repartidas, el C (m) templado subhúmedo con lluvias en verano, y el C (w) clima con lluvia en invierno.
- Exploración minera: es el trabajo realizado y obras en el sitio para lograr identificar los depósitos minerales, así como cuantificarlos con base en las reservas económicamente aprovechables que se puedan encontrar.
- Pozo: Excavación vertical o con inclinación realizada sobre el terreno.
- Bosque tropical caducifolio: este comprende árboles que alcanzan 15 m de altura o menos, por lo regular se encuentran en el rango de 2 a 8 metros, y en las zonas más secas es fácil de encontrar cactáceas columnares y cadelabriformes y rosetófilos.
- Bosque de coníferas o encinos: están constituidos por *Abies*, *Quercus*, *Pinus*, *Juniperus* los cuales están entre los 300 y 4,200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

La NOM-120-SEMARNAT-1997 da una serie de especificaciones dentro de las cuales describe que los proyectos de exploración y las actividades relacionadas con la minería que no cumplan con lo descrito en la misma, quedan sujetas a los procedimientos de evaluación en materia de Impacto Ambiental conforme a la legislación vigente.

Así mismo sugiere que el responsable del proyecto cuente con una copia de Aviso de Inicio de Actividades con las certificaciones con el área del proyecto. Esto se solicita por si en algún momento durante las actividades de inspección y verificación es requerido.

Para la identificación de los tipos de climas correctos se sugiere utilizar las cartas temáticas del clima del Instituto Nacional de Estadística y Geográfica, escala 1: 1'000, 000 (uno a un millón). Para los tipos de vegetación se sugiere determinarlos con la clasificación vegetal de México de Rzedowski (1988), que se puede encontrar en las oficinas del Instituto Nacional de Ecología de la UNAM.

Previo a la realización de cualquier actividad de exploración minera directa se debe de verificar con la Comisión Nacional del Agua, la posible presencia de mantos acuíferos en el sitio en que se llevará a cabo dicha actividad.

La norma también hace especial énfasis en el manejo del material removido por las actividades realizadas, el cual deberá ser depositado en sitios seleccionados para tal fin. Para lo cual, previo a la realización de las actividades el responsable del proyecto, debe garantizar que el material no deberá arrastrado por corrientes pluviales o por crecimiento de cuerpos de agua, que no obstruirá cauces naturales y que no afectara a la vegetación.

Al término de un proyecto de exploración minera directa, el responsable del proyecto debe de llevar a cabo un programa de restauración, el cual deberá de contar con un calendario de actividades.

Dentro de las especificaciones incluye obras que consideran como particulares que se enlistan a continuación:

- Para barrenos
- Para caminos de acceso
- Para campamentos
- Para patios de maniobras
- Para planillas de barrenacion
- Para pozos
- Para socavones
- Para zanjas
- Para los límites máximos de afectación por hectáreas

Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009, que establece los elementos y procedimientos para la instrumentar planes de manejo de residuos mineros.

El objetivo de esta norma es establecer los elementos y procedimientos que deben considerar al formular y aplicar los planes de manejo de residuos mineros, con el propósito de promover la prevención de la generación y la valorización de los residuos, así como alentar su manejo integral a través de nuevos procesos, métodos y tecnologías que sean económicas, técnicas y ambientalmente factibles.

Esta norma es de observancia obligatoria para todas aquellas personas físicas y morales que generen residuos mineros.

La presentación del plan de manejo no exime al generador o a los responsables de la ejecución del plan de manejo de tramitar y obtener las autorizaciones correspondientes para llevar a cabo las actividades de manejo integral de los residuos mineros.

La NOM-157-SEMARNAT-2009 clasifica a los residuos mineros de acuerdo al proceso que los genera, como se presenta en la siguiente clasificación:

- Residuos provenientes del minado
 - Terreros
 - Tepetates
- Residuos provenientes del beneficio de minerales
 - Residuos de la concentración de minerales
 - Residuos del beneficio físico
 - Residuos del beneficio físico-químico
 - Residuos del beneficio de minerales por procesos químicos o bioquímicos
 - Residuos de los procesos pirometalúrgicos
 - Residuos de los procesos hidrometalúrgicos

Los planes de manejo tienen como propósito, definir y aplicar las medidas necesarias que aseguren el manejo integral de los residuos mineros, establecer las modalidades de manejo que respondan a las particularidades de los residuos y de los materiales que los constituyen, y alentar la innovación de procesos, métodos y tecnologías, para lograr un manejo integral.

La gestión integral tiene como propósito establecer las actividades para el manejo integral de residuos, con objeto de lograr su prevención, minimización y valorización. En el plan de manejo se deberán describir los procesos bajo los cuales se desarrollaran dichas actividades, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- a) Reducción en la fuente
- b) Separación
- c) Valorización
- d) Tratamiento
- e) Almacenamiento
- f) Disposición final

Caracterización de los residuos: el residuo se determinara según sea el caso

- i. Concentraciones totales (base seca) de antimonio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, mercurio, plata y selenio.
- ii. La movilidad de los metales y metaloides presentes en el residuo, conforme a la determinación de las concentraciones totales, con base en los métodos de prueba aplicables (de acuerdo a la granulometría).
- iii. El potencial de generación de drenaje ácido.
- iv. El pH de la disolución del residuo en agua.

Criterios para el almacenamiento y disposición final de residuos.

- Se deben de identificar los elementos del ambiente presentes en el sitio en que se depositarán los residuos.
- Durante el proyecto, construcción, operación y cierre de los depósitos de almacenamiento y disposición final de residuos, se deberán contar con las especificaciones de ingeniería y mantenimiento que aseguren su estabilidad física.
- Durante las etapas de operación y post-operación, en todo depósito se deberá monitorear los cuerpos de agua vulnerables.
- Se deberá proceder a la restauración forestal de las zonas de los depósitos que vayan quedando fuera de operación.

Capítulo 2

2. Actividad minera en el estado de Hidalgo

Una de los aspectos que ha caracterizado al Estado de Hidalgo es ser de los principales estados mineros del país también por contar con una historia larga de aproximadamente 500 años de minería.

Actualmente la mayor aportación minera de Hidalgo es manganeso y cadmio ocupando el tercer puesto a nivel nacional (hasta el 2011), contribuye también con la explotación de oro, plata, plomo y zinc.

2.1 Contexto de la minería en el estado de Hidalgo

Uno de los principales distritos mineros es Real del Monte (imagen 2.1) el cual tiene hasta la fecha 467 años de producir entre otras cosas oro y plata, teniendo como origen el descubrimiento por parte de Alfonso Pérez de Zamora quien registró la mina en el año 1552.

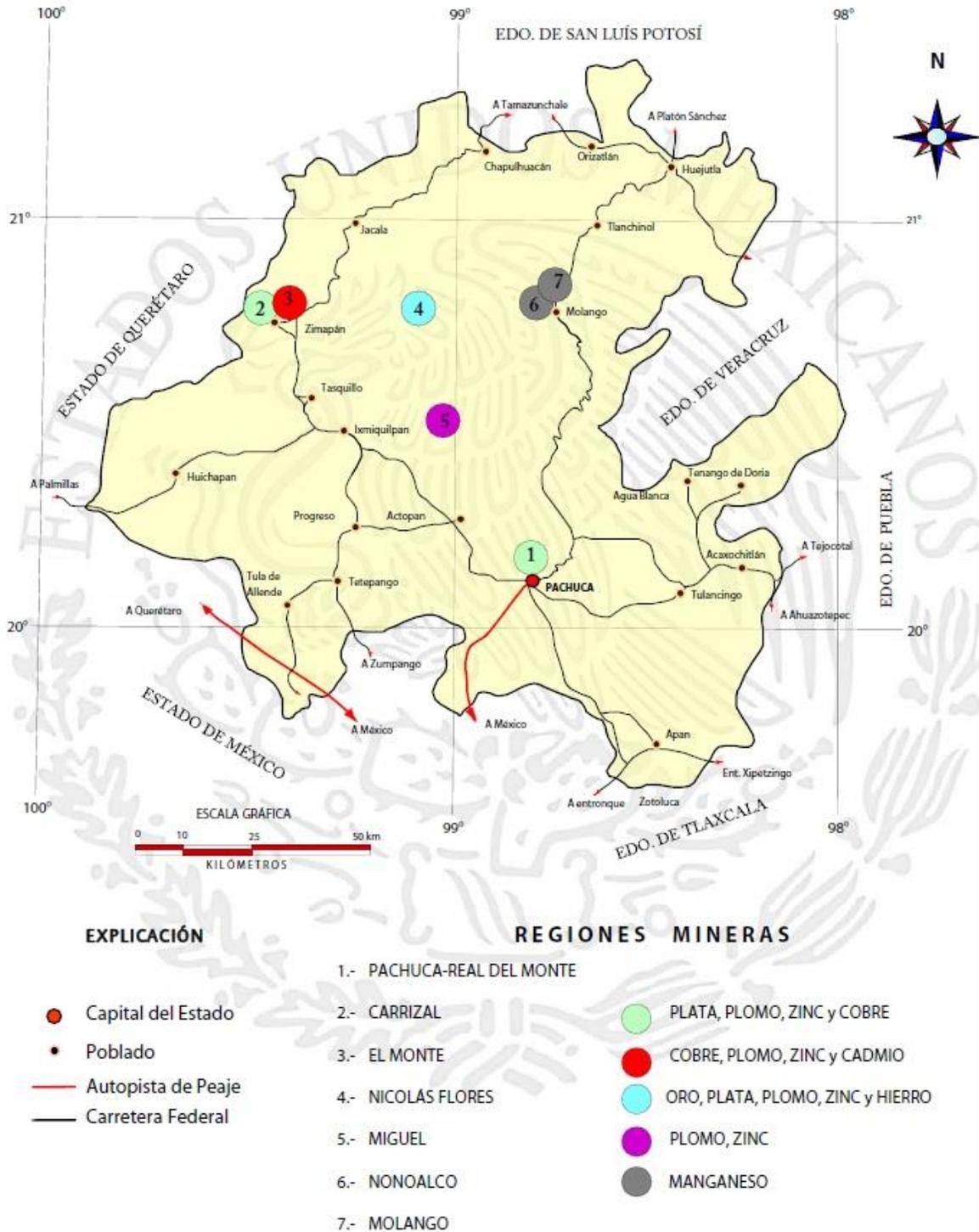


Imagen 2.1 Distritos mineros metálicos de Hidalgo.
Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016.

Posteriormente para el año 1555 se aplicaron mejoras en la extracción de metales preciosos con la implementación del método de amalgamación, con lo cual se tuvieron que crear las haciendas de beneficio San Francisco, San Antonio, San Miguel y Santa María de Regla. (Servicio Geológico Mexicano 2016)

Para el año de 1632 en el distrito minero Zimapán (imagen 2.2) se descubrieron minerales oxidados cerca del El carrizal (imagen 2.1) en donde se desarrollaría la mina Lomo de Toro, haciendo con esto que comenzara la minería en este distrito.

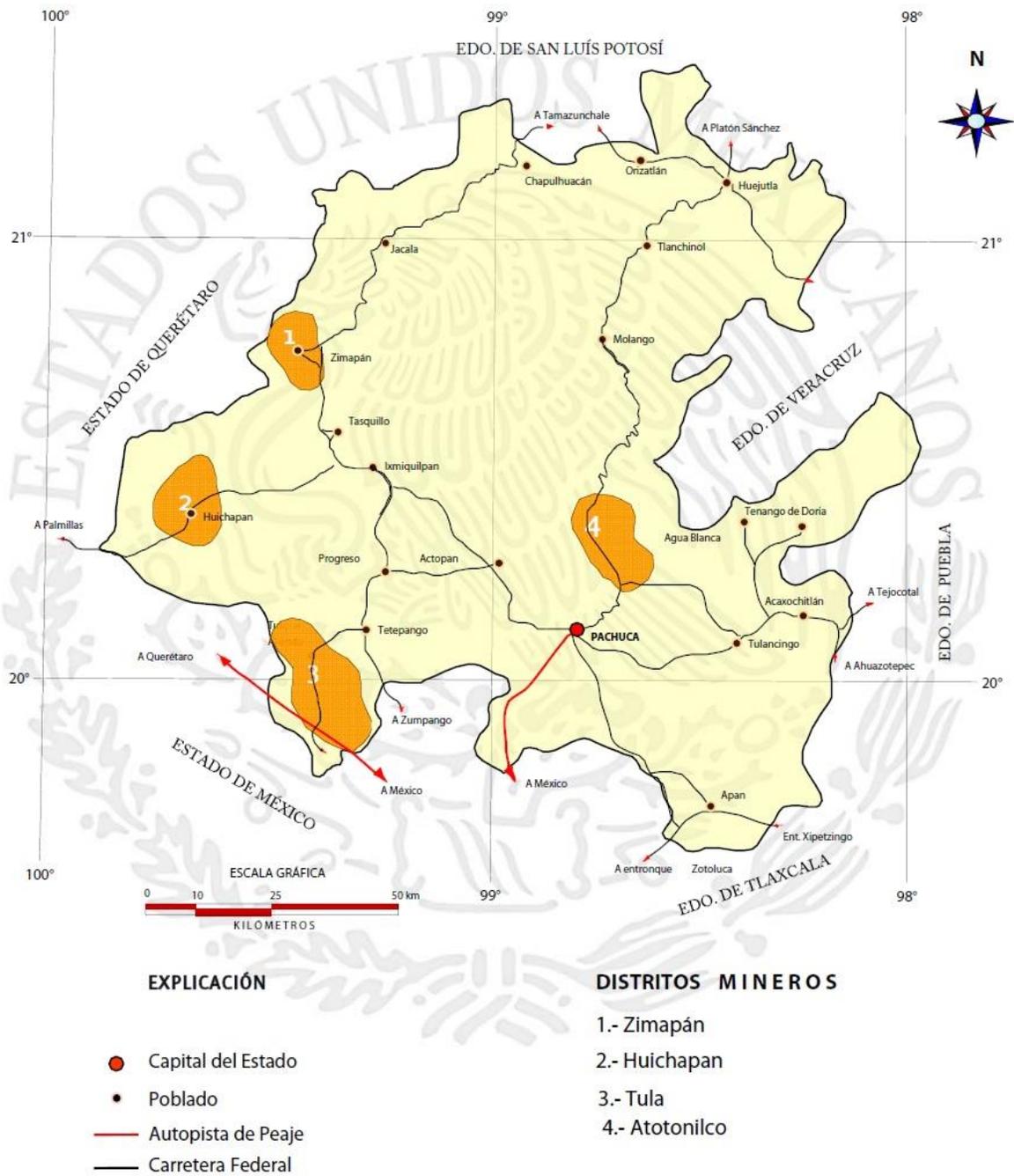


Imagen 2.2 Distritos mineros no metálicos de Hidalgo.
 Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016.

En el lapso de la independencia mexicana (de 1810 a 1870) y posteriormente de la revolución mexicana (de 1910 a 1920), los trabajos mineros tuvieron que ser suspendidos, teniendo el

surgimiento de la cementera Tolteca del año 1909 a 1910, aunque en ese mismo año no pudieron hacer grandes producciones por la revolución mexicana. Para el año 1920 en el Estado de Hidalgo había en operación 18 minas en las cuales la producción era fundida en hornos de la región. (Servicio Geológico Mexicano 2016)

Para el año 1945 se descubrieron cuerpos de óxidos en la mina Lomo de Toro, en la misma década la compañía Fresnillo S. A. de C. V. inicio su explotación de óxidos y sulfuros en el área de El Monte (imagen 2.2).

Con base en lo anterior, se aprecia cómo fue creciendo la minería en el Estado de Hidalgo y como ésta contribuyó al desarrollo a través de caminos, el desarrollo de asentamientos y contribuyó también al avance de la minería en el país

2.2 Aspectos generales de la minería en el estado de Hidalgo

Como se ha visto reflejado en el contexto histórico, el estado de Hidalgo es de gran importancia en el ámbito de la minería en el país, actualmente sigue siendo un referente en minería teniendo como productos explotados oro, plata, cobre, manganeso, plomo y zinc en lo que se refiere a productos metálicos, pero su producción no se detiene en los metálicos siendo los productos no metálicos en los que tiene una mayor variedad como: agregados y pétreos, arcillas, arena, azufre, calcita, material de cantera, caolín, grava, puzolana, rocas dimensionales, tepetate, tezontle y yeso, como se ve en la tabla 2.1 y a su vez los que generan más ganancias para el estado como se ve en la tabla 2.2.

Tabla 2.1 Volumen de la producción minera 2015 en toneladas.

Volumen de la producción minera (Toneladas) 2015			
Producto	Metálicos	Producto	No metálico
Oro (kg)	118.9	Agregados pétreos	2,881,100
Plata (kg)	59,274	Arcillas	1,065,000
Cobre	1,932	Arena 1/	8,266,920
Manganeso	192,166	Azufre 2/	40,300
Plomo	3,155	Calcita 3/	585,090
Zinc	12,119	Caliza	8,100,000
1/ Mineral para construcción. Basado en el consumo de cemento y cal		Cantera	36,600
2/ Extracción minera y el obtendo de petroleo crudo		Caolin	15,450
3/ Carbonato de calcio		Grava 4/	13,936,860
4/ Mineral para construcción. Basado en el consumo de cemento		Puzolana	690,775
		Rocas Dimensionales	651,639
		Tepetate	-
		Tezontle	814,200
		Yeso	544,825

Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016.

Tabla 2.2 Valor de la producción minera 2015 en toneladas.

Valor de la producción minera (Pesos corrientes) 2015			
Producto	Metálicos	Producto	No metálico
Oro (kg)	70,208,926.27	Agregados pétreos	347,248,132.18
Plata (kg)	473,260,894.72	Arcillas	88,081,425.00
Cobre	167,721,751.99	Arena	828,921,750.77
Manganeso	413,564,665.82	Azufre	43,524,064.12
Plomo	88,964,184.59	Calcita	180,506,356.74
Zinc	369,509,401.91	Caliza	1,719,053,137.50
	1,583,229,825.30	Cantera	3,553,016.70
		Caolin	228,004.08
		Grava	1,711,247,865.69
		Puzolana	26,808,563.29
		Rocas Dimensionales	448,934,258.47
		Tepetate	-
		Tezontle	42,964,363.06
		Yeso	81,191,486.04
			5,522,262,423.64

Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016.

Como se mencionó al principio del capítulo 2, el estado de Hidalgo es un gran productor de manganeso, teniendo el tercer lugar en producción de cadmio, aportando también en la extracción de oro, plata, plomo, zinc entre otros como se puede ver en la tabla 2.3 producción de metales (para el año 2015).

Tabla 2.3 Participación en el volumen y valor en la producción nacional metálicos.

PRODUCTO	VOLUMEN PRODUCCIÓN NACIONAL (t)	VOLUMEN PRODUCCIÓN ESTATAL (t)	VALOR PRODUCCIÓN NACIONAL (mdp)	VALOR PRODUCCIÓN ESTATAL (mdp)	PORCENTAJE
MANGANESO	217,466.00	192,166.00	468,013,351.05	413,564,665.87	88.36
ZINC	786,774.00	12,119.00	23,988,810,147.37	369,509,401.91	1.54
PLOMO	263,772.00	3,155.00	7,437,800,601.22	88,964,184.59	1.19
PLATA	5,955,151.00	59,274.00	47,547,661,545.72	473,260,894.72	0.99
COBRE	594,451.00	1,932.00	51,605,778,050.83	167,721,751.99	0.32
ORO	134,758.70	118.90	79,573,285,386.31	70,208,936.27	0.08

Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016

Los productos no metálicos tienen una gran aportación para el estado y tanto en volumen como en valor (ver tablas 2.1 y 2.2), y en la tabla 2.4 se presentan los productos no metálicos que más generan a nivel estatal y a nivel nacional.

Tabla 2.4 Participación en el volumen y valor de la producción nacional no metálicos.

PRODUCTO	VOLUMEN PRODUCCIÓN NACIONAL (t)	VOLUMEN PRODUCCIÓN ESTATAL (t)	VALOR PRODUCCIÓN NACIONAL (mdp)	VALOR PRODUCCIÓN ESTATAL (mdp)	PORCENTAJE %
GRAVA	109,002,793.89	21,999,700.00	6,130,723,742.57	1,237,345,193.64	20.18
CALIZA	569,505,215.75	22,098,463.00	44,302,163,818.23	1,719,053,137.50	3.88
ARCILLA	7,651,234.97	1,215,000.00	552,875,687.65	88,081,425.00	15.84
CALCITA	3,947,721.00	590,850.00	1,206,040,001.90	180,506,356.74	14.96
ARENA	115,565,572.66	9,416,000.00	9,433,716,336.60	827,921,750.77	8.15
YESO	7,101,611.75	544,825.00	1,058,303,879.66	81,191,486.04	7.67
AZUFRE	858,527.00	35,360.00	1,384,652,934.86	57,029,456.01	4.14
CAOLIN	366,049.00	100.00	834,606,639.23	228,004.08	0.02

Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016

En la imagen 2.3 se presenta sobre el estado de Hidalgo las regiones mineras metálicas y en el recuadro el nombre, tipo de yacimiento, sustancias y el tipo de yacimiento del que se trata. Cabe mencionar que estos yacimientos se han explotado desde la época colonial. (Servicio Geológico Mexicano 2016)

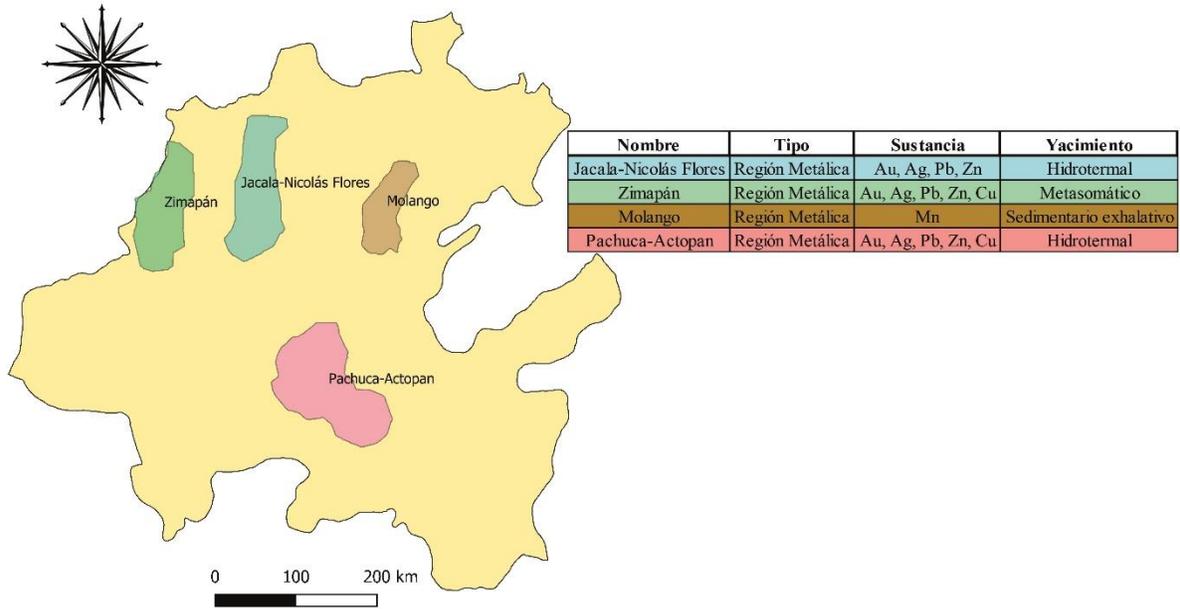


Imagen 2.3 Regiones mineras metálicas de Hidalgo.
Fuente Servicio Geológico Mexicano

Las regiones mineras no metálicas se presentan en la imagen 2.4 en la cual también se aprecia un recuadro en donde se detalla el nombre de la región, el tipo y la sustancia que se explota ahí.

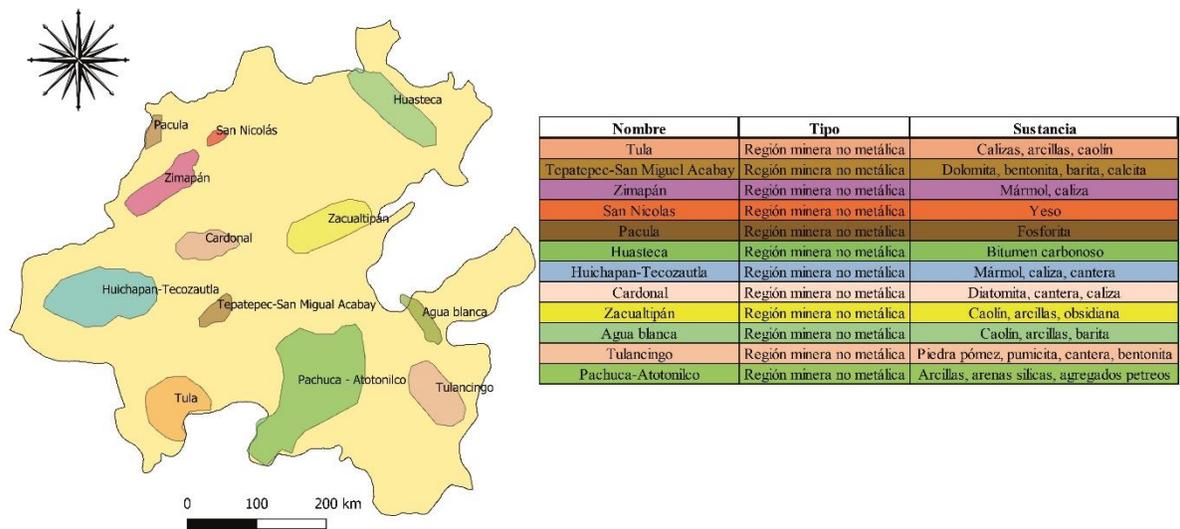


Imagen 2.4 Regiones mineras no metálicas de Hidalgo.
Fuente Servicio Geológico Mexicano

En la imagen 2.5 se presentan las principales minas en explotación a la fecha de publicación del documento panorama minero en el estado de Hidalgo del Servicio Geológico Mexicano (Servicio Geológico Mexicano 2016), la cual muestra la ubicación de estas, así como la empresa, la sustancia explotada y la cantidad en toneladas por día. Mientras que la imagen 2.6 muestra lo mismo, pero para las minas no metálicas.

NO.	NOMBRE	EMPRESA	MUNICIPIO	T/DIA	SUSTANCIA
1	EL MONTE	CIA. CARRIZAL MINING,S.A. DE C.V.	ZIMAPÁN	2,600	Zn, Cu, Ag
2	MINA SAN JUAN	REAL DEL MONTE Y PACHUCA, S.A. DE C.V.	PACHUCA	2,000	Au, Ag
3	LOLOTLA, NONOALCO, BUENAVISTA	CIA. MINERA AUTLÁN, S.A. DE C.V.	LOLOTLA, NONOALCO, MOLANGO	1,700	Mn.
4	ZIMAPAN	CIA. MINERA EL ESPIRITU, S, DE R.L.	ZIMAPAN	800	Pb, Zn.
5	ZIMAPAN	CIA. MINERA Y BENEFICIADORA PURISIMA, S, DE R.L.	ZIMAPAN	1,000	Pb, Zn

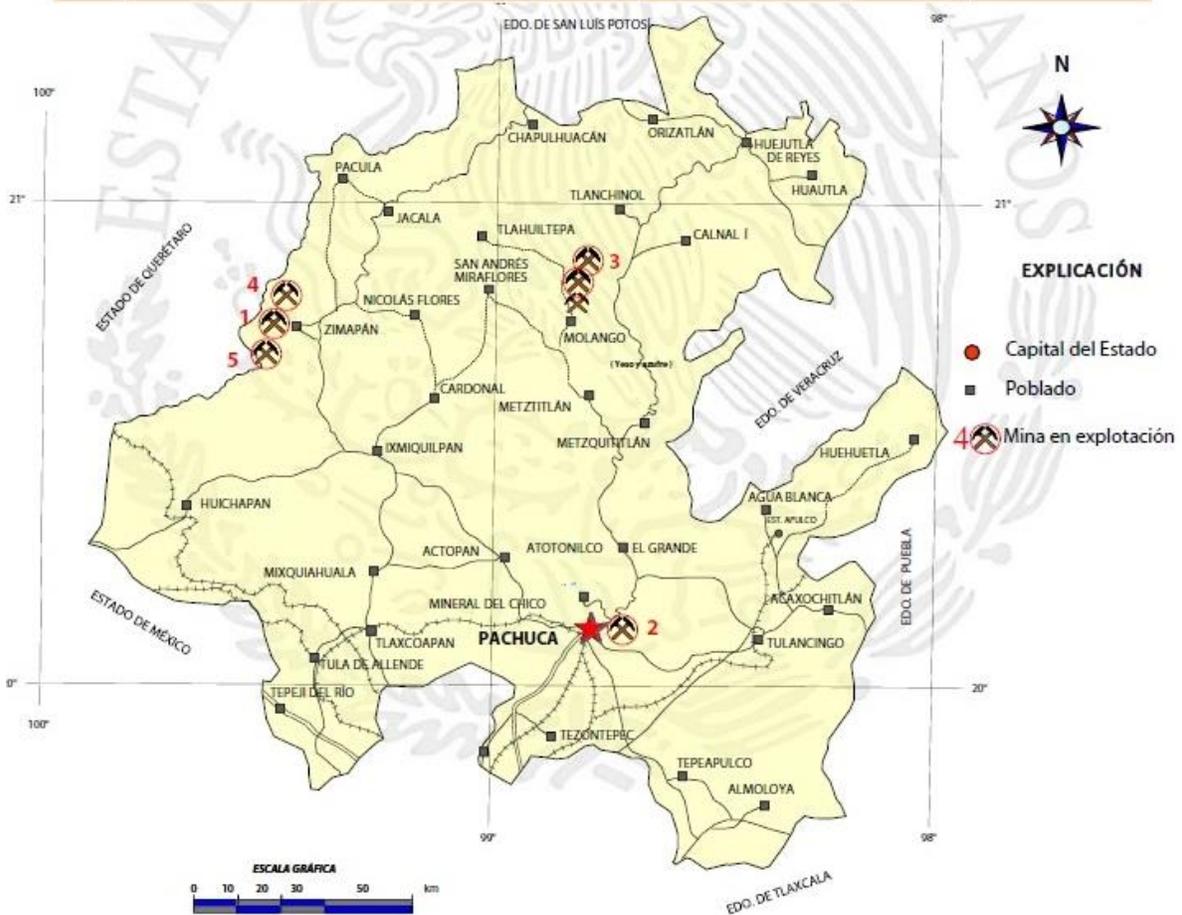


Imagen 2.5 Principales minas en explotación de minerales metálicos.
Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016.

No	NOMBRE	EMPRESA	MUNICIPIO	T/AÑO	SUSTANCIA
1	PLANTA HUICHIAPAN	CEMEX, S.A. DE C.V.	HUICHIAPAN	6'350,238	CALIZA
2	LA PALMA	AGREGADOS CEMEX,S.A. DE C.V.	ATOTONILCO DE TULA	420,000	CALIZA
3	TEPEJI	CAL DE APASCO,S.A. DE C.V.	TEPEJI	7000	CALIZA
4	EL TOPOZÓN	SOCIEDAD COOPERATIVA CRUZ AZUL, S.A. DE C.V.	TULA DE ALLENDE	1,300,000	CALIZA
5	CERRO LOS ORDAZ	CALERAS BELTRAN,S.A. DE C.V.	ATOTONILCO DE TULA	900,000	CALIZA
6	ESTANZUELA	MOLIENDAS Y MEZCLAS MINERALES,S.A. DE C.V.	ZIMAPAN	13,200	CALIZA, DOLOMITA
7	ROSARIO	CARBONATOS INDUSTRIALES,S.A. DE C.V.	ZIMAPAN	540,000	CaCO ₃
8	ATOTONILCO	COOPERATIVA CAL EL TIGRE,S.A. DE C.V.	ATOTONILCO DE TULA	600,000	CALIZA
9	SAN FRANCISCO	FOSFORITA DE MEXICO,S.A. DE C.V.	PACULA	86,400	FOSFORITA
10	EL REGUCIO	CEMENTOS LAFARGE,S.A. DE C.V.	ATOTONILCO DE TULA	2,300,000	CALIZA

Fuente anuario SGM 2014

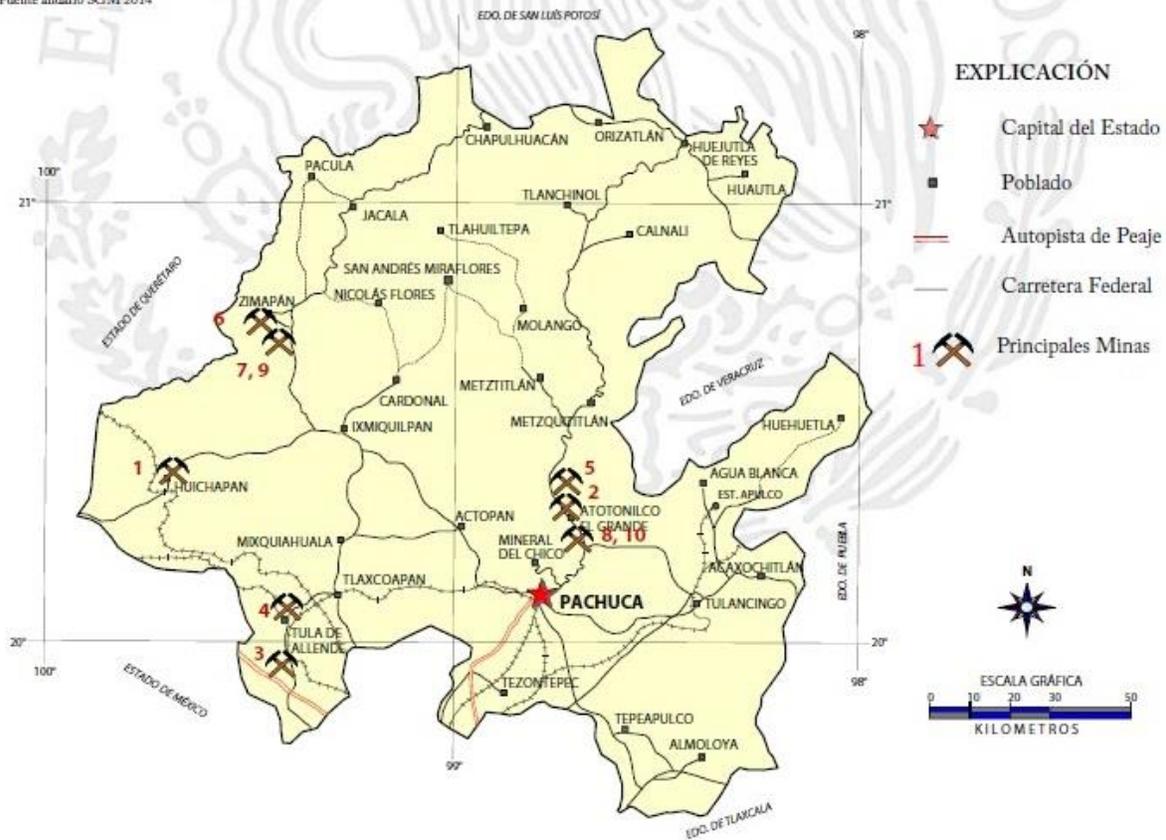


Imagen 2.6 Principales minas en explotación de minerales no metálicos.
Fuente Servicio Geológico Mexicano 2016.

Capítulo 3

3. Análisis y resultados del daño potencial por presas de jales en el estado de Hidalgo

En este capítulo se hace una descripción de los elementos analizados y herramientas utilizadas, para poder llegar a los resultados que se presentan en forma de imágenes, así como una descripción de los elementos generados para determinar las zonas con mayor vulnerabilidad a la contaminación del agua desde el punto de vista del presente trabajo.

3.1 Programa QGis

Para el presente trabajo para el procesamiento de imágenes y de información de sistemas de información geográfica, se utilizó el programa de código abierto QGis, en el cual mediante su página de internet nos brinda la siguiente información: “*QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos.*” (Open Source Geospatial Foundation 2002)

Cabe mencionar que para algunas cuestiones pequeñas en donde no se apreciaba bien algún detalle en QGis se optó por usar Google Earth como apoyo secundario para el procesamiento de imágenes.

3.2 Recopilación de información

La metodología que se siguió para la realización del presente trabajo comenzó con el apoyo de la legislación minera (principalmente la NOM-141-SEMARNAT-2003), de donde se obtuvieron las características generales de los jales mineros, así como su ubicación, preparación del sitio, construcción, operación, y post-operación de presas de jales.

Cuando se determinó la información necesaria para la elaboración del trabajo, lo siguiente fue buscar los datos necesarios (archivos SHP, KMZ, PDF, JPG, etc.) en geo portales, y en algunos casos fue necesario hacer un tratamiento a ciertas imágenes (georreferenciación) ya que no existía el archivo o no era el adecuado para lo que se debía realizar.

El siguiente paso fue descargar la información, utilizando el programa QGis o generarla en el mismo (o en Google Earth) para identificar las zonas en donde existe un mayor riesgo de que el agua esté contaminada por actividad minera (jales) y que afecte a la población cercana.

Para finalizar se delimitaron las zonas con riesgo de contaminación de agua por actividad minera, haciendo un análisis para determinar las poblaciones y áreas naturales protegidas con problemas y/o riesgos latentes que generan los incumplimientos normativos, como se aprecia en la imagen 3.1.

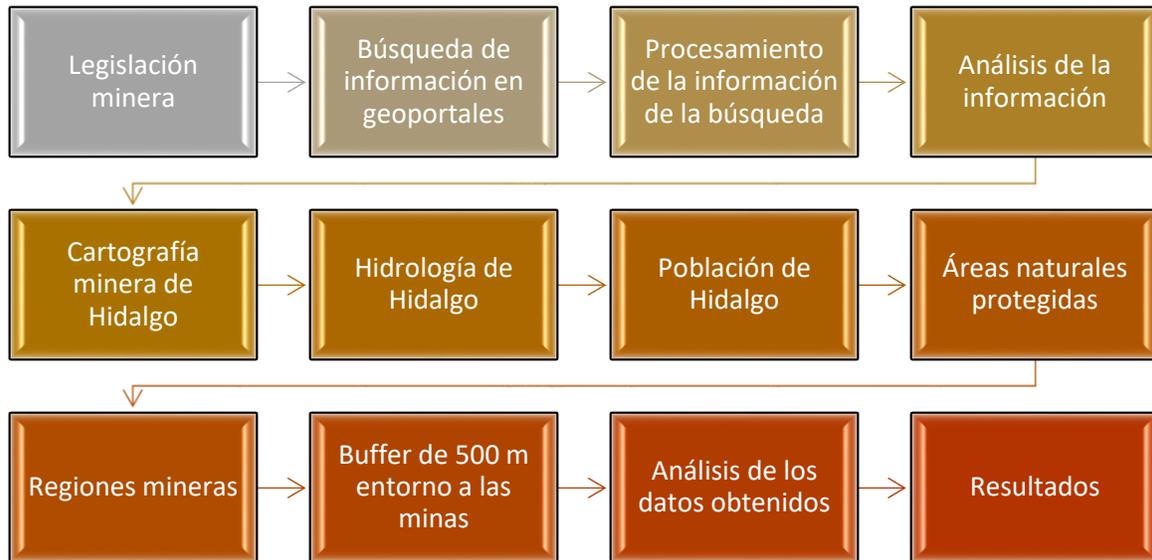


Imagen 3.1 Metodología

3.3 Tratamiento y modelado de la información con QGis

Para poder continuar con la modelación en el programa QGis se descargaron las capas de información geográfica presentadas en la tabla 3.1, en donde se menciona el tipo de archivo, así como el geo portal de donde se obtuvo la información para poder cumplir con los objetivos del presente trabajo siguiendo lo que indica la NOM-141_SEMARNAT 2003.

Tabla 3.1 Archivos para análisis y modelado.

Información	Tipo de archivo	Geo portal
Mapa base a nivel estatal, Formato vectorial	.shp	CONABIO
Sitios de monitoreo de calidad del agua superficial en México, 2013	.shp	CONABIO
Hidrografía	.shp	CONABIO
Manchas urbanas y rurales, 2015	.shp	CONABIO
Regiones potenciales de deslizamiento de laderas en México	.shp	CONABIO
Áreas naturales protegidas federales de México. Noviembre 2017	.shp	CONABIO
Climas	.kmz	CONABIO
Precipitación media anual	.kmz	CONABIO
Yacimientos minerales (minas)	.shp	SGM
Subcuencas hidrológicas	.shp	CONABIO
Subregiones Hidrológicas, escala 1:250000. Republica mexicana	.shp	CONABIO

A partir del mapa estatal y ubicando el estado de Hidalgo como se muestra en la imagen 1.1, se realizaron las capas enfocándose en el estado en cuestión logrando delimitarlas en sus límites estatales.

De esta manera se obtuvieron las siguientes capas: capa de cartografía minera (imagen 3.1 a), monitoreo de agua (imagen 3.1 b), de población (imagen 3.1 c), de hidrología (imagen 3.1 d), de áreas naturales protegidas (imagen 3.1 e), de potencial de deslizamiento (imagen 3.1 f) y de subcuencas hidrológicas, como se ve en la imagen 3.1.

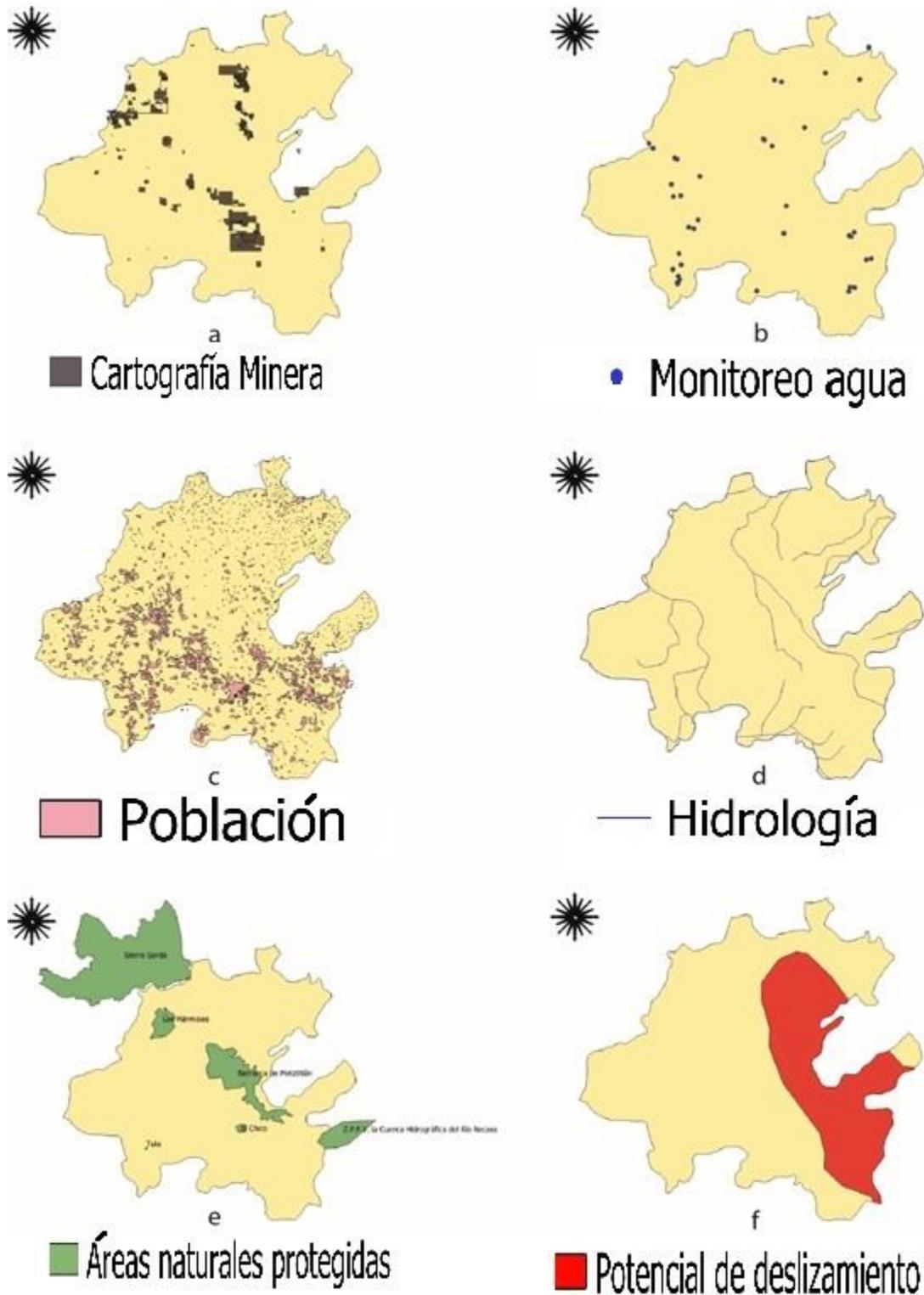


Imagen 3.1 Mapa base estado de Hidalgo, a) cartografía minera, b) monitoreo de agua, c) población, d) hidrología, e) áreas naturales protegidas, f) potencial de deslizamiento.

En la NOM 141 SEMARNAT se cita a la Norma Oficial Mexicana 052 SEMARNAT 2005, donde se especifica cuáles minerales de una planta de beneficio son considerados peligrosos

por su toxicidad, siendo plata (Ag), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) los minerales que cumplen con esta característica en la explotación minera en el estado de Hidalgo.

Es importante señalar que en el presente trabajo no se incluyen todos los elementos de la NOM-141-SEMARNAT, debido a que no hay la información suficiente disponible para ser utilizada en SIG.

La primera capa a la que se modificó fue la capa de cartografía minera (imagen 3.1 a), a la cual con base en la información en su tabla de atributos, se editó la capa para mostrar los lugares con minerales considerados peligrosos por su toxicidad como se muestra en la imagen 3.2.

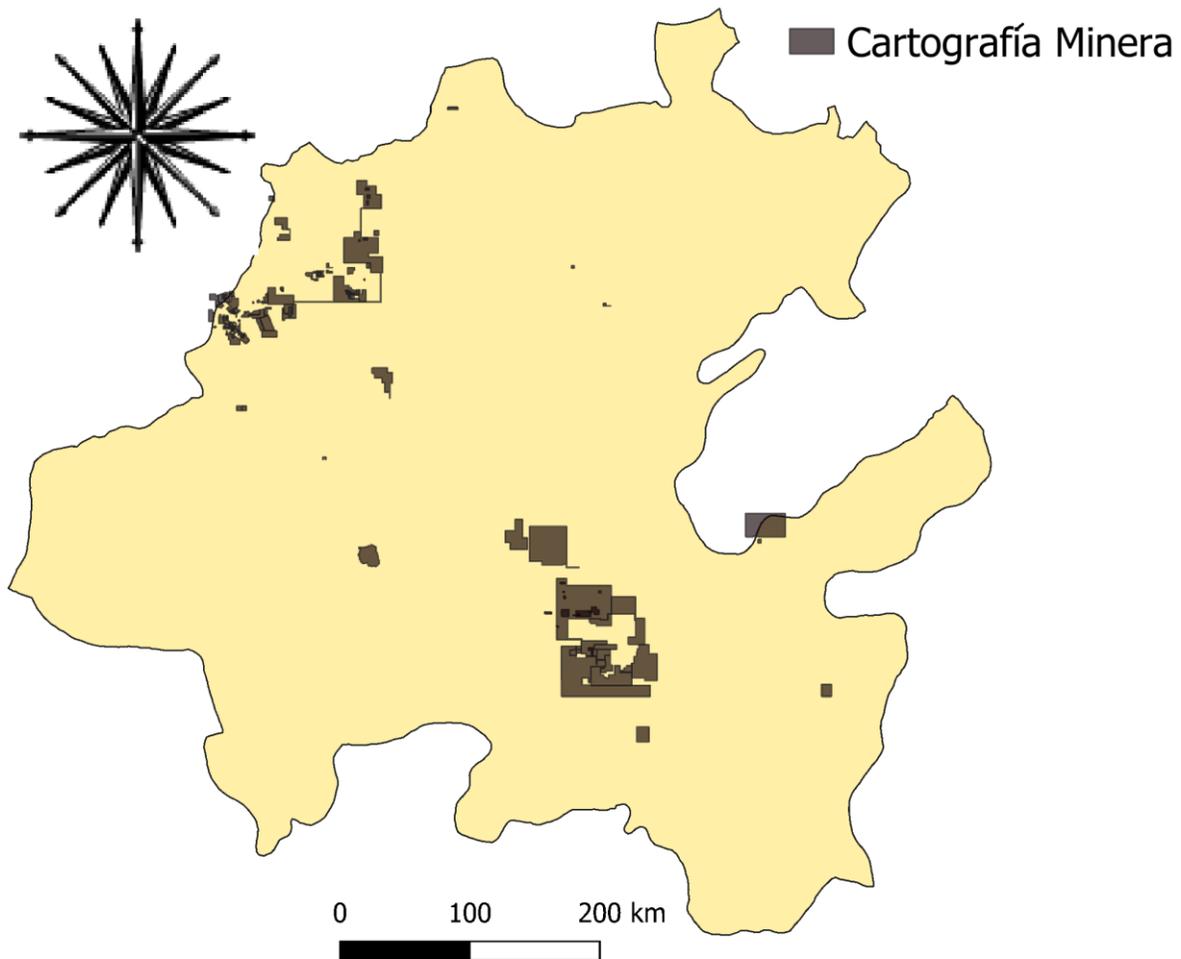


Imagen 3.2 Cartografía minera por toxicidad.

A la capa de monitoreo de agua (imagen 3.1 b) se le realizaron dos modificaciones basadas en la información de su tabla de atributos. En la tabla se incluyen datos como, si el agua del punto de monitoreo está contaminada, de esta manera en un primer tratamiento se eliminaron los puntos en donde el agua es de buena calidad como se muestra en la imagen 3.3 a. Y el segundo tratamiento fue eliminar los puntos contaminados por material orgánico dando como

resultado la imagen 3.3 b, en donde se presenta contaminación por sólidos suspendidos totales y/o coliformes.

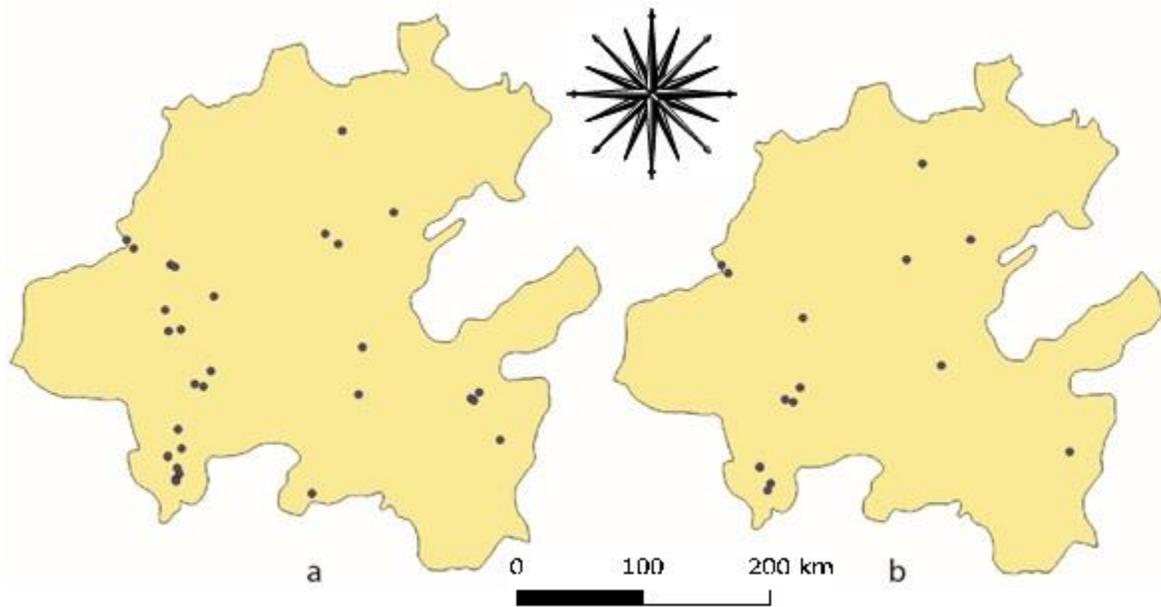


Imagen 3.3 Tratamiento de la capa monitoreo de agua, a) puntos que presentan cualquier tipo de contaminante, b) puntos con contaminación de sólidos suspendidos totales y/o coliformes.

El siguiente proceso fue realizar una capa donde se muestra la intersección entre la capa cartografía minera por toxicidad (imagen 3.2) y la capa de población (imagen 3.1 c) como se muestra en la imagen 3.4, para tener una capa en donde se muestren las zonas de población que están en contacto directo con minas y puedan resultar afectadas de manera inmediata.

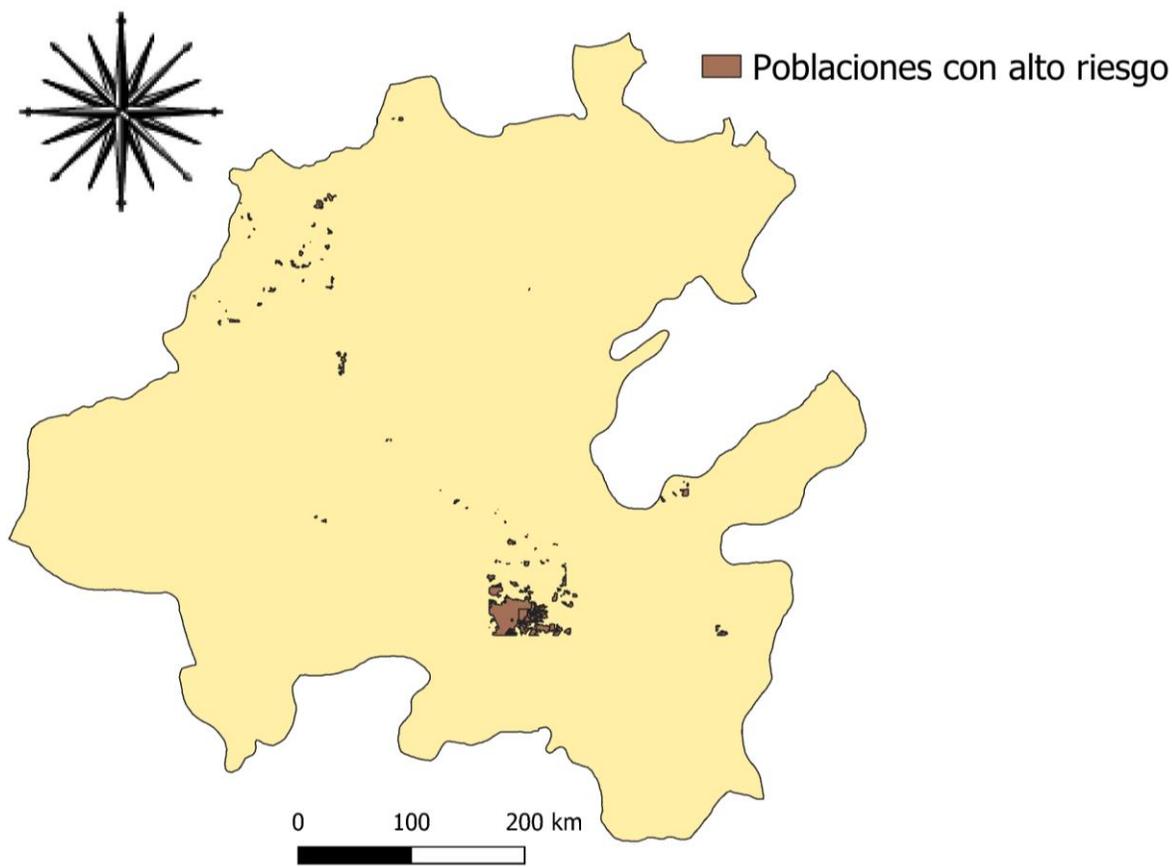


Imagen 3.4 Poblaciones con alto riesgo.

Para la capa de puntos con contaminación de sólidos suspendidos totales de origen inorgánico (imagen 3.3 b), se aplicaron dos procesos. El primero fue un buffer de 500 m por recomendación de la NOM-141-SEMARNAT-2003, para aislar un área en donde puede haber contaminación de agua por sólidos suspendidos totales y/o coliformes como se muestra en la imagen 3.5 a. El segundo proceso fue para ver las poblaciones que son afectadas por este radio, se interceptó con la capa de población (imagen 3.1 c) para tener de este modo las zonas pobladas que podrían estar bebiendo agua contaminada con minerales tóxicos como se muestra en la imagen 3.5 b.

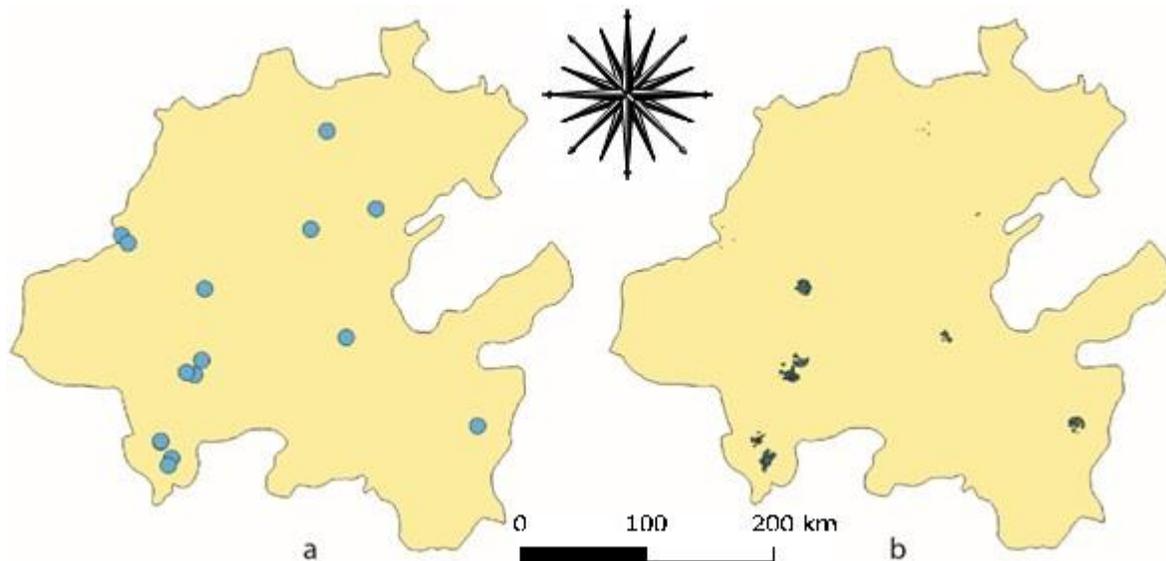


Imagen 3.5 Población con monitoreo de agua, a) buffer monitoreo de agua Hidalgo, b) agua población

A la capa potencial de deslizamiento (imagen 3.1 f) también se le aplicaron dos procesos obteniendo un área de afectación a la población. El primero fue una intercepción con la capa cartografía minera (imagen 3.1 a) para tener las minas que están en esa zona de deslizamiento como se ve en la imagen 3.6 a. El segundo fue una intercepción con la capa población (imagen 3.1 c) dando como resultado ver las zonas que por la cantidad de lluvia en la región están en constante peligro de que la presa de jales se rompa por un deslizamiento como se ve en la imagen 3.6 b.

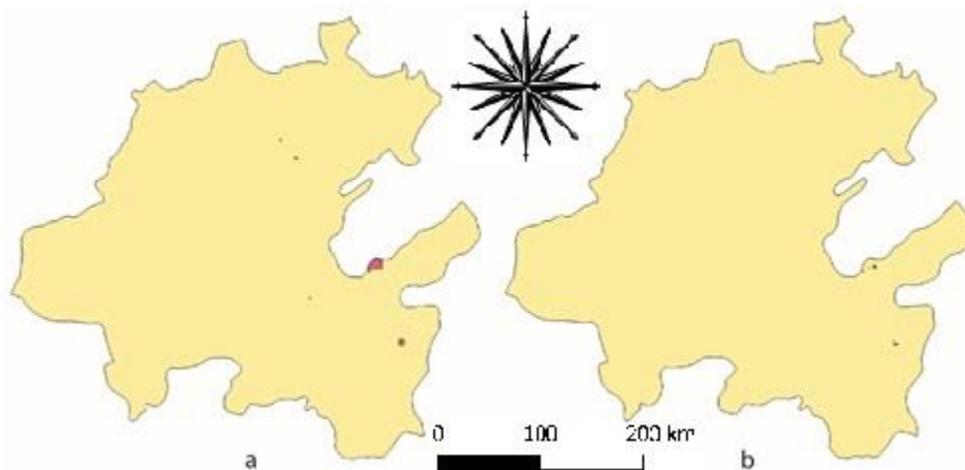


Imagen 3.6 Población con potencial de deslizamiento, a) minas deslizamiento, b) población deslizamiento

A la capa de áreas naturales protegidas se le aplicaron tres procesos, el primero con la capa de cartografía minera (imagen 3.1 a) con una intercepción se delimitaron las minas que caen dentro de las áreas naturales protegidas como se ve en la imagen 3.7 a. El segundo proceso fue otra intercepción con la capa de monitoreo de agua (imagen 3.1 b) creando una capa que muestra los puntos en donde hay riesgo de contaminación a las áreas naturales protegidas por agua contaminada con minerales tóxicos como se ve en la imagen 3.7 b. Finalmente en la

imagen 3.7 c se muestra los lugares dentro de las áreas naturales protegidas que tienen una alta probabilidad de estar contaminados con minerales tóxicos.

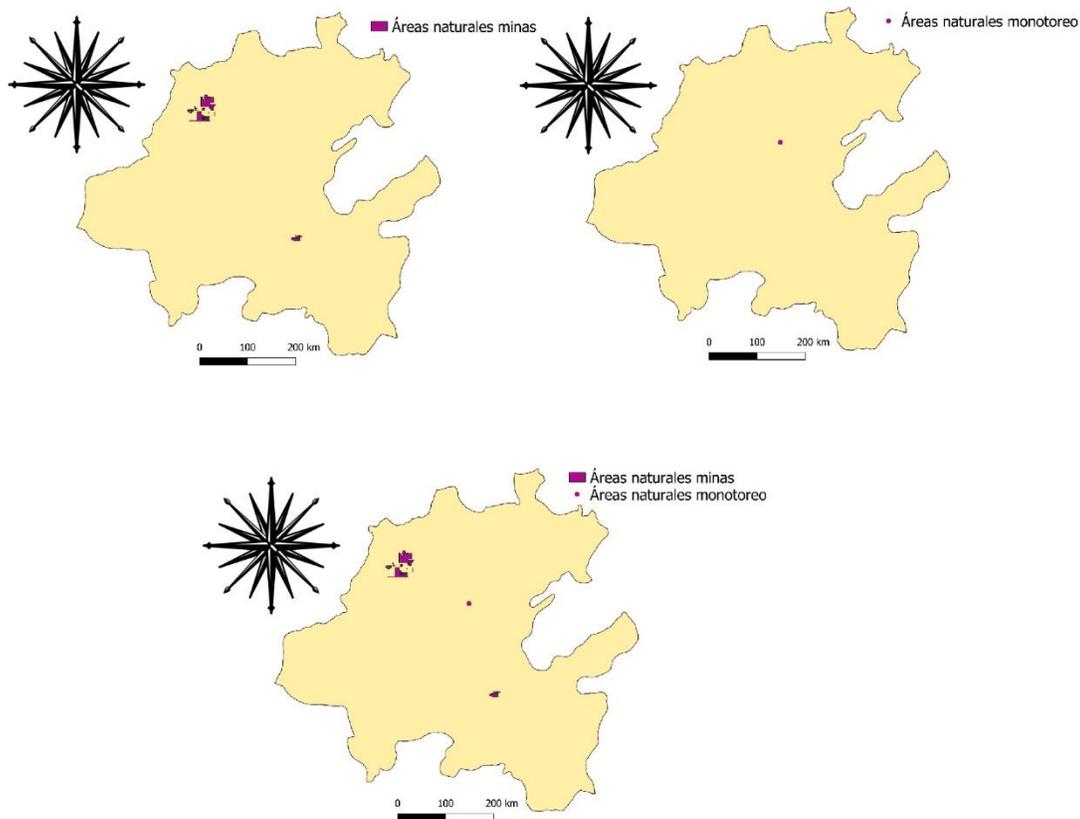


Imagen 3.7 Capa de áreas naturales tratada, a) áreas naturales minas, b) áreas naturales monitoreo, c) áreas naturales capa tratada

Con todas estas capas se tiene un panorama amplio de las zonas en donde existe probabilidad de contaminación de agua por la actividad minera como se muestra en la imagen 3.8, de donde la leyenda que dice “población deslizamiento” existe un riesgo de deslizamiento de tierras por actividad de lluvia normal de la zona, la leyenda que dice “agua población” representa las zonas en donde hay población con un punto identificado con posible contaminación por actividad minera; la leyenda que dice “áreas naturales minas” señala las zonas en donde las áreas naturales tienen riesgo de estar en contacto con aguas contaminadas por actividad minera, y finalmente la leyenda “poblaciones con alto riesgo” señala las zonas en donde hay poblaciones con un riesgo de presentar algún problema expresado en la tabla 3.2 (que se presenta más adelante) derivado de minas de donde se extraen minerales metálicos.

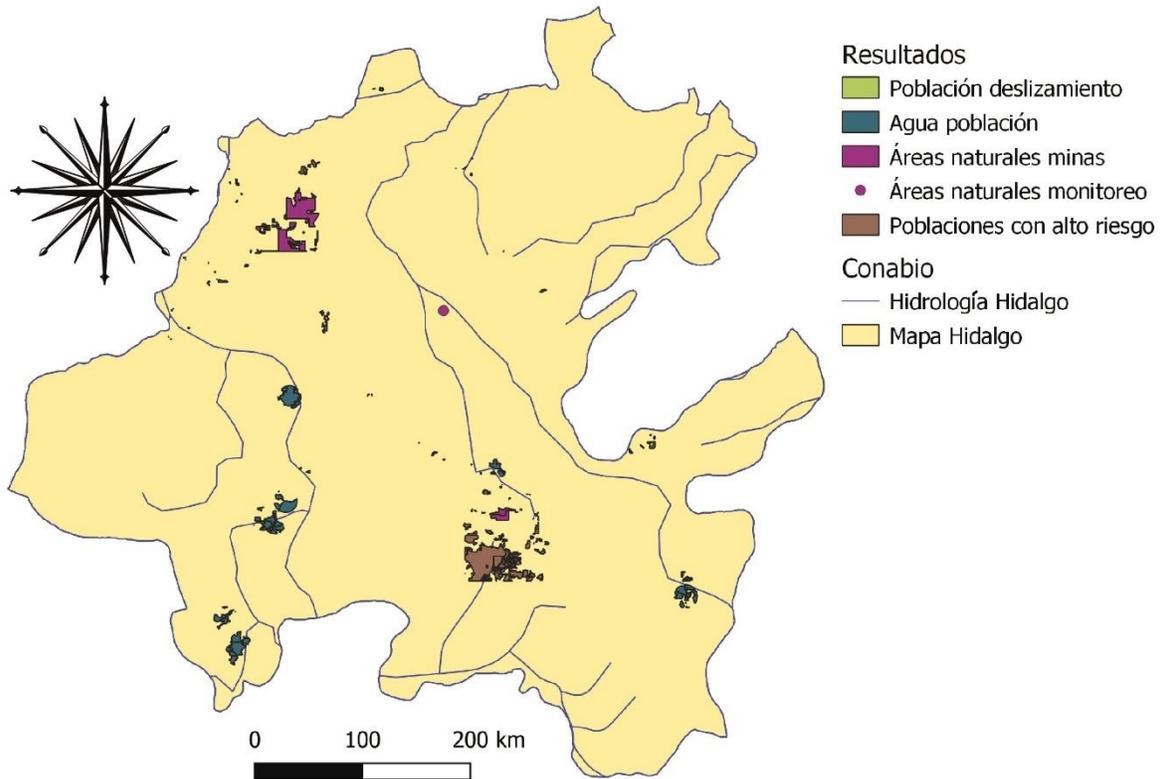


Imagen 3.8 Mapa de Hidalgo con probabilidad de contaminación por agua por la actividad minera

3.4 Resultados y análisis de resultados

El presente trabajo tiene como objetivo hacer un análisis de las zonas en el Estado de Hidalgo con probabilidad de tener contaminación en sus aguas por la actividad minera, con base principalmente a la NOM-141_SEMARNAT, la cual establece que las minas deben de construir sus presas de jales in situ, por lo que las minas son sitios con altas probabilidades de ser un riesgo al medio ambiente.

Para poder determinarlo se hizo un tratamiento de la información recabada de geo portales como se puede observar en el capítulo 3.3, siguiendo lo que la norma dice al respecto, se obtuvo como resultado un mapa en donde se puede ver de manera rápida los puntos de interés buscados.

Por lo que en la figura 3.9 se dividió en dos, una para comparar el resultado obtenido con las regiones mineras metálicas (imagen 3.9 a) y las regiones mineras no metálicas (imagen 3.9 b) y ver como de manera directa o indirecta las zonas que en la imagen 3.8 muestra las zonas con probabilidad de contaminación de agua por actividad minera están relacionadas directamente con estas regiones.

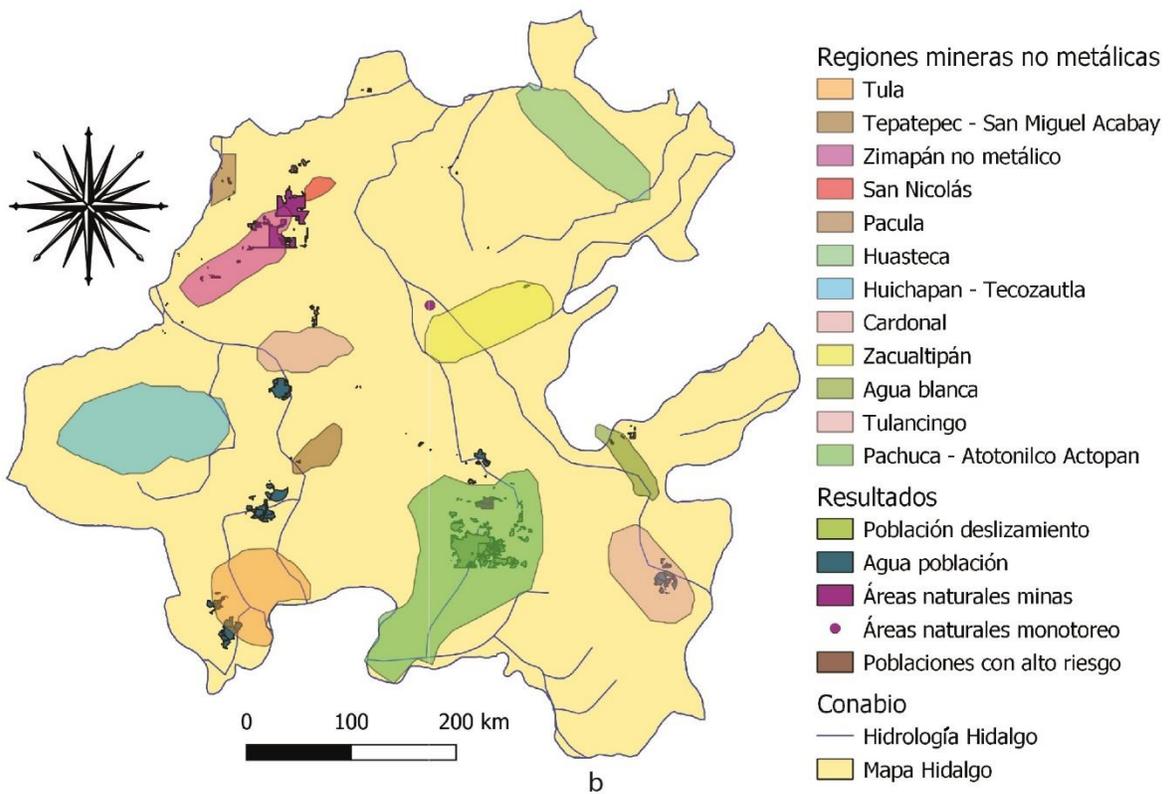
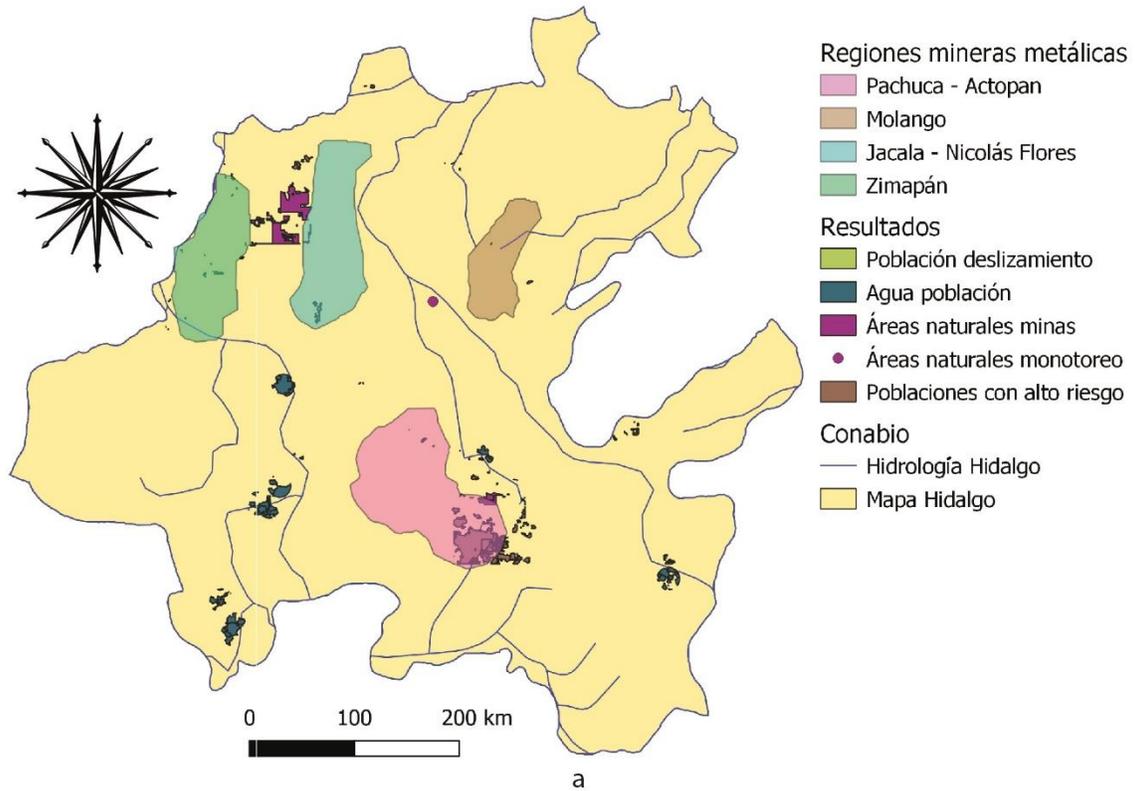


Imagen 3.9 Mapa de resultados con regiones mineras, a) regiones mineras metálicas y b) regiones mineras no metálicas

Con la identificación de las zonas mostradas en las imágenes 3.8 y 3.9, se concluye que es necesario identificar el tipo de contaminantes presentes en los puntos de muestreo reportador en el geo portal CONABIO ya que con la información de la NOM-052-SEMANART tenemos que en Hidalgo se cuenta con Ag, Cu, Pb y Zn como potenciales contaminantes en los puntos de muestreo que pueden llegar a contaminar agua de consumo humano, y con la tabla 3.2 se puede ver como estos elementos afectan la salud humana.

Tabla 3.2 Efectos en la salud por Ag, Cu, Pb y Zn

Elemento	Afectación
Plata (Ag)	Como nitrato de plata en concentraciones de 2 g es letal
	En contacto con los ojos puede causar graves daños a las corneas
	En contacto con la piel puede causar dermatitis alérgica
	Si se ingiere puede causar malestares estomacales, náuseas, vómitos, diarrea y narcosis
Cobre (Cu)	Exposición prolongada puede causar irritación en la nariz, boca y ojos, causando dolor de cabeza, estómago, mareos, vómito y diarrea
	Si se ingiere en grandes cantidades puede causar daño al hígado y los riñones
	Hay artículos que en donde se señala que puede causar disminución de inteligencia en adolescentes
Plomo (Pb)	Incremento en la presión arterial
	Daño en los riñones
	Abortos espontáneos
	Problemas en el sistema nervioso
	Causa de infertilidad en hombres
	Disminución en el aprendizaje en niños
	Cambios de comportamiento en niños, causando agresión, comportamientos impulsivos e hipersensibilidad
Zinc (Zn)	La acumulación del zinc puede causar defectos de nacimiento
	Úlceras estomacales, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia
	Niveles muy altos pueden dañar el páncreas
	Puede causar gripe conocida como, fiebre de metal

Fuente (Lenntech 1993)

Lo cual representa un problema a la salud y al ambiente en las localidades que se muestran en la imagen 3.8, seguramente estas afectaciones se pueden incrementar debido a las limitaciones del presente trabajo, y no identificar todas características y la situación de los cuerpos de agua subterráneos, teniendo el potencial de llevar a mayores distancias los contaminantes tóxicos.

Capítulo 4

4. Propuestas con base al análisis de resultados

El estado de Hidalgo es muy rico desde el punto de vista histórico, ambiental, minero, hidrológico, geológico, etc. Por lo que la actividad minera aparte de ser importante económicamente hablando, representa un reto ambiental por las regiones naturales que deben de ser protegidas y a su vez un reto de salud humana por la gran cantidad de ríos que existen en el estado, y sus posibles afectaciones.

Sería de gran ayuda para la salud humana y al medio ambiente, es el cumplimiento de la NOM-141-SEMARNAT para lograr tener un control total sobre el impacto al medio ambiente por productos metálicos y no metálicos, que si bien estos últimos no representan un riesgo tan evidente como los metálicos, algunos requieren un proceso en cual se usan químicos igual de tóxicos o más que los encontrados de manera natural.

La aplicación de modelados similares al presentado en este trabajo (o el mismo) resultarían de gran ayuda para delimitar de manera eficaz los problemas medio ambientales y de salud, pero lo primero que se debe de tener en consideración es actualizar los datos de información geográfica, debido a que resulta con algunas capas muy complicado trabajar por información incompleta o complementar la inexistencia de esta, dificultando el poder tener un control del cumplimiento de las normatividades.

Es importante vigilar que las empresas mineras cumplan con la normatividad en el momento de construcción como de operación, hasta el manejo de jales mineros, ya que sin ser el objetivo del presente trabajo quedan dudas si es que todas las minas de Hidalgo cuentan con los lineamientos pertinentes, debido a la cercanía de cuerpos de agua, poblaciones y áreas naturales protegidas, para preservar las condiciones medio ambientales del estado de Hidalgo.

Sería de gran ayuda tener información en sistemas de información geográfica o geo portales acerca de concentraciones en puntos fijos tanto de elementos o compuestos tóxicos como de elementos o compuestos considerados no tóxicos, pero que en grandes cantidades se vuelven un riesgo a considerar tanto para la biodiversidad local como a las poblaciones locales.

Capítulo 5

5. Conclusiones

El presente trabajo se sustentó en las NOM-141-SEMARNAT y la NOM-052-SEMARNAT teniendo énfasis en la explotación de minerales que contengan plata, cobre, plomo y zinc que están citados en las normas como productos tóxicos para la salud humana y medio ambiente.

Para llevar a cabo estos fines, se utilizó información recabada de geo portales, y la generación de información para este trabajo, teniendo que georreferenciar dos imágenes, teniendo en consideración utilizar la información más actual disponible.

En el caso de este trabajo se partió de la información que nos brindan las normas previamente citadas para dar el enfoque necesario para tener zonas con riesgo de contaminación de agua por actividad minera, cuya metodología se puede observar en el capítulo 3, delimitando primero el estado de hidalgo, obteniendo la hidrología local, así como las minas que existen, las áreas naturales protegidas y de gran importancia los puntos de muestreo que dan información de la calidad del agua, para finalmente crear zonas con riesgo.

Como resultado de la metodología aplicada se obtuvo que son 146 minas que producen uno o varios de los elementos tóxicos obtenidos de las normas.

Con los resultados obtenidos es claro que es de gran importancia hacer estudios más precisos sobre la posible afectación a cuerpos de agua por contaminantes provenientes de las minas, sin embargo, no solo los minerales denominados tóxicos representan un riesgo para la salud humana y al medio ambiente, ya que minerales no tóxicos en grandes cantidades pueden representar un problema aun mayor de manera local o más generalizada.

Resulta evidente, que debe realizarse un plan de manejo de residuos para mitigar la propagación de estos en cualquier medio, lo que tendría un impacto benéfico en las poblaciones y el medio ambiente, ya que como se presentó en Hidalgo hay zonas denominadas con potencial de deslizamiento que son influenciadas por la lluvia, y esto impacta de manera inmediata en las presas de jales dentro de las zonas y que al menos dos están dentro de áreas naturales protegidas.

Otro aspecto a considerar es el poder ver si todas las minas del estado cumplen con la normatividad, ya que al estar tan cercanas a cuerpos de agua, localidades y áreas naturales protegidas, resulta de gran importancia su cumplimiento, o en todo caso que se cree alguna nueva normatividad más exigente referente al medio ambiental para la ubicación, creación y operación de presas de jales teniendo un mejor plan de manejo de residuos, junto con una mayor cercanía con las empresas dedicadas a la verificación de la normatividad.

Bibliografía

- Artículos Técnicos Internacionales en Minería. *Publicaciones Artículos Internacionales en Minería*. 06 de Febrero de 2017. <http://www.publicacionesmineria.com/contenido.php?id=70> (último acceso: 24 de Febrero de 2019).
- . *Publicaciones Artículos Técnicos Internacionales en Minería*. 05 de Mayo de 2017. <http://www.publicacionesmineria.com/contenido.php?id=12> (último acceso: 24 de Febrero de 2019).
- Club Ensayos. *ClunEnsayos*. 19 de Noviembre de 2013. <https://www.clubensayos.com/Temas-Variados/HIDROLOGIA-DEL-ESTADO-DE-HIDALGO/1273477.html> (último acceso: 23 de Abril de 2019).
- Lenntech. *Lenntech*. 1993. <https://www.lenntech.es> (último acceso: 24 de Febrero de 2019).
- LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE*. DOF 07-12-2005 (Diario oficial de la federación, 7 de Diciembre de 2005).
- Muñoz, Joaquin. «La minería en México. Bosquejo histórico.» *Quinto centenario*, 1986: 145 - 156.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-SEMARNAT-2005*. DOF: 23-06-2006 (Diario oficial de la federación, 23 de Junio de 2006).
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-141-SEMARNAT-2003*. DOF: 13-09-2004 (Ciudad de México, 13 de Septiembre de 2004).
- Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009*. (Diario Oficial de la Federación, 12 de 09 de 2016).
- Open Source Geospatial Foundation . «QGIS.» *QGIS*. Julio de 2002. <https://www.qgis.org/es/site/index.html> (último acceso: 29 de Enero de 2019).
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. *Pofepa - Gobierno de México*. 30 de 11 de 2006. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/4140/1/reg_lpggir.pdf (último acceso: 19 de 06 de 2019).
- Sariego Rodríguez, Juan Luis. «Minería y territorio en México: tres modelos historicos de implantación socioespacial.» *Estudios Demográficos y Urbanos*, 1994: 327 - 337.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Inventario estatal forestal y de suelos*. 2014. http://187.218.230.30/filesconafor/userfiles/IEFYs/IEFYs_Hidalgo_2014/IEFYs_Hidalgo_2014.pdf (último acceso: 13 de 03 de 2019).
- Servicio Geológico Mexicano. *Panorama Minero del Estado de Hidalgo*. Informe minero, Ciudad de México: Servicio Geológico Mexicano, 2016.
- Servicio Geológico Mexicano. *Panorama Minero en el Estado de Hidalgo*. Para actividad minera, Ciudad de México: Secretaria de Economía, 2016.
- Trejo Nava, Tania Itzel. *Evaluación del daño potencial al ambiente por la producción de jales en el estado de Oaxaca, mediante el uso de SIG*. Ciudad de México, 2018.
- Universidad de Sonora. *Biblioteca digital de la universidad de Sonora*. 1984. tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3377/Capitulo1.pdf (último acceso: 18 de Agosto de 2018).
- Wordpress. *S. I. G*. Marzo de 2010. <https://psychedelika.wordpress.com/campo-de-aplicacion/>.