



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Morelia

Exposición ocupacional en la Minería
Artisanal de Mercurio, al Sur de la Sierra Gorda de
Querétaro.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

MARÍA ISIDRA SÁNCHEZ MONROY

DIRECTOR(A) DE TESIS: D.C. CYNTHIA ARMENDÁRIZ ARNEZ
CO-DIRECTOR: M en I. JOSÉ LUIS MARTÍNEZ PALACIOS

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

MAYO, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA
NACIONAL
DE ESTUDIOS
SUPERIORES
UNIDAD MORELIA

10
años
(2011-2021)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE

DIRECTORA

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

P R E S E N T E

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 04** del **Comité Académico** de la **Licenciatura en Ciencias Ambientales** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia, celebrada el día **25 de abril de 2022**, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional de la alumna **María Isidra Sánchez Monroy** de la Licenciatura en **Ciencias Ambientales**, con número de cuenta **415016391**, con el trabajo titulado: "**Exposición ocupacional en la Minería Artesanal de Mercurio, al sur de la Sierra Gorda de Querétaro**", bajo la dirección como tutora de la **Dra. Cynthia Armendáriz Arnez** y como co-tutor el **Mtro. José Luis Martínez Palacios**.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

Presidente:	Dra. Hilda Rivas Solórzano
Vocal:	Dra. Ana Yésica Martínez Villalba
Secretario:	Dra. Cynthia Armendáriz Arnez
Suplente:	Dr. Jaime Paneque Gálvez
Suplente:	Dr. Juan Felipe Cherre Medellín

Sin otro particular, quedo de usted.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Morelia, Michoacán a 12 de mayo de 2023.

DRA. YUNUEN TAPIA TORRES
SECRETARIA GENERAL

CAMPUS MORELIA

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)689.3500 y (55)5623.7300, Extensión Red UNAM: 80614
www.enesmorelia.unam.mx

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A la beca otorgada por el proyecto PAPIIT IN223518 “Aplicación de pesticidas organofosforados en el cultivo de aguacate en Tingambato, Michoacán: determinantes ambientales y sociales de la salud” y a la beca UC MEXUS CONACYT CN20-187” Un enfoque participativo basado en la comunidad para evaluar los efectos de la exposición a plaguicidas en la salud de los trabajadores agrícolas de plantaciones de aguacate en Michoacán, México”.

Al laboratorio de Salud Ambiental en la Escuela Nacional de Estudios Superiores por permitir utilizar sus instalaciones y equipo de análisis para la parte cuantitativa del proyecto.

Al comité académico de Ciencias Ambientales por el apoyo y concederme el tiempo para la conclusión de este proyecto de titulación.

M en C. Hilda Rivas Solórzano, Dra. Ana Yésica Martínez Villalba, Dra. Cynthia Armendáriz Arnez, Dr. Jaime Paneque Gálvez y Dr. Juan Felipe Cherre Medellín por formar parte de la revisión de este proyecto y aportar sus valiosos comentarios.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

“Agradece a la llama su luz, pero no olvides el pie del candil que paciente la sostiene”

Rabindranath Tagore (1861-1941).

Este proyecto de investigación refleja el esfuerzo, dedicación, paciencia y mucho trabajo de quienes participaron en él por ello dedico los siguientes agradecimientos:

A mí, por no desistir en este arduo camino, que si bien tuvo muchos retos al final se logró. Lo que me llevo de este proceso son muchos aprendizajes personales que guiaran mis próximos pasos en este camino al que llamamos “vida”. Además, pude externar una cotidianidad de un grupo social a los ojos de otros grupos, para mí es un logro colectivo.

A mis guías espirituales, sobre todo en aquellos momentos donde ya no tenía fuerzas para seguir y estuvieron ahí para guiarme y continuar.

A mi tutora de tesis, la Dra. Cynthia Armendáriz Arnez por su grandioso esfuerzo que compartió para lograr este proyecto, además de académico, puso mucho de ella como ser humano, a usted muchas gracias.

A mi cotutor de tesis, el profesor José Luis Martínez Palacios por compartir el interés de la investigación en el medio rural, por compartirme su experiencia en la investigación y orientarme en el trabajo de campo.

A los mineros artesanales de la comunidad por aceptar formar parte de la investigación y compartir su valioso tiempo para resolver preguntas fuera de las minas o los recorridos en campo. Y, sobre todo, por confiarme su información.

A mis padres, mi hermana y hermanos, a mi pareja, a mi psicóloga (Manu) y amigas que desde sus diferentes perspectivas me ayudaron a concluir este proceso.

Finalmente, a los trabajos temporales que me ayudaron a financiar este proyecto, especialmente, al Dr. Milan Janda.

ÍNDICE

1	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	8
2	RESUMEN DE TESIS	10
3	INTRODUCCIÓN.....	13
4	OBJETIVOS.....	15
5	ANTECEDENTES	16
5.1	Minería prehispánica de mercurio en Sierra Gorda	16
5.1.1	Obtención de cinabrio y mercurio en la minería prehispánica.....	17
5.1.2	Exposición ocupacional al mercurio en la minería prehispánica	19
5.1.3	Exposición ocupacional al mercurio en la minería artesanal de oro	20
5.2	Concentraciones ambientales de mercurio en Sierra Gorda	21
6	MARCO TEÓRICO.....	23
6.1	MINERÍA ARTESANAL.....	24
6.1.1	Características de la Minería Artesanal en el mundo	25
6.1.2	Causas y consecuencias de la Minería Artesanal	26
6.2	MERCURIO.....	27
6.2.1	Características fisicoquímicas.....	27
6.2.2	Minería de mercurio.....	28
6.2.3	Toxicidad del mercurio.....	29
6.3	EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS.....	36
6.3.1	Rutas de exposición	36
6.3.2	Evaluación de la exposición	37
7	DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....	39
7.1	Caracterización Biofísica.....	39
7.2	Caracterización mineral	40
7.3	Sistema social	42
8	METODOLOGÍA.....	44
8.1	Métodos cualitativos.....	46

8.2	Métodos cuantitativos	47
9	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
9.1	CARACTERIZACIÓN DE LA MINERÍA ARTESANAL DE MERCURIO	54
9.1.1	Antecedentes de la minería en la comunidad.....	54
9.1.2	Actores de la MAM	72
9.1.3	Proceso artesanal para la obtención de mercurio	82
9.2	RUTAS DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL AL MERCURIO EN LA MAM	93
9.2.1	Factores que aumentan el riesgo de exposición ocupacional.....	97
9.3	CONCENTRACIONES DE MERCURIO	104
9.3.1	Mercurio total	104
9.3.2	Mercurio soluble en agua	115
9.3.3	Evaluación de la exposición y caracterización del riesgo.....	117
9.4	PERCEPCIÓN DEL RIESGO EN LA MAM	120
9.4.1	Percepción ocupacional de los síntomas de intoxicación por Hg	125
10	CONCLUSIONES.....	129
11	REFERENCIAS	132
12	BIBLIOGRAFÍA.....	138
13	ANEXOS.....	139
13.1	ANEXO 1. Lotes de concesiones mineras en la comunidad.	139
13.2	ANEXO 2. Guion de entrevista a mineros retirados.....	140
13.3	ANEXO 3. Guion de entrevista a mineros contemporáneos.....	142
13.4	ANEXO 4. Guion de entrevista para sistema social de la comunidad.....	145
13.5	ANEXO 5. Curva de calibración.	146
13.6	ANEXO 6. Tabla general de concentraciones de Hg en este estudio.....	147
13.7	ANEXO 7. Concesiones mineras en la comunidad en el año 1965	148
13.8	ANEXO 8. Plano de niveles de mina La Barranca.....	149
13.9	ANEXO 9. Concesiones actuales en la comunidad.	150
13.10	ANEXO 10. Representación de los ingresos y egresos en una mina artesanal de mercurio con proceso semi-mecanizado.	152

13.11 ANEXO 11. Dosis de ingesta e inhalación diaria de mercurio e índice de peligrosidad en trabajadores mineros expuestos en la MAM. 152

1 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acrodinia: Alteración del sistema nervioso vegetativo, que aparece con frecuencia en la infancia y se caracteriza por tener dolor en las extremidades, taquicardia, trastornos tróficos y vasomotores, de la sudoración y psíquicos.

Astrágalo: Hueso corto que forma parte del pie de los mamíferos.

Ataxia cerebelosa: Es el repentino movimiento muscular descoordinado debido a una enfermedad o lesión al cerebelo en el cerebro.

Azogue: Forma coloquial de llamar al mercurio líquido o mercurio elemental.

B-Hg: Mercurio en sangre.

CaCO₃: Carbonato de calcio

Calcáneo: Hueso que forma el talón del pie.

Calcinas: Residuos del proceso metalúrgico artesanal.

Cefaleas: Dolor de cabeza intenso y persistente que va acompañado de sensación de pesadez.

Coronariopatía: Lesión o enfermedad en los principales vasos sanguíneos del corazón.

Depósito de pacer: 1. Depósito mineral detrítico formado por la acción de agua corriente o viento. Los depósitos más comunes son de oro, diamante y casiterita. 2. Masa de grava, arena o material similar que contiene minerales valiosos; oro, plata, platino, estaño, entre otros, que han sido "liberados" de rocas y vetas. 3. Depósitos de minerales que han sido arrastrados por los ríos y se encuentran en sus lechos secos.

Disartria: Debilidad en los músculos que se usan para hablar, lo cual suele hacer que el habla suene lenta y confusa.

Disnea: Ahogo o dificultad en la respiración.

Escorias: Residuos provenientes de las operaciones de fundición por la acción química y la fusión, a través de la combinación de fundentes (carbonatos y silicatos) con la ganga o porción sin valor del mineral.

Galería: Túneles horizontales al interior de una mina subterránea.

Habón: Bulto pequeño que aparece en la piel en forma de roncha, que causa picor, producido por la picadura de un insecto o por urticaria.

Hematuria: Presencia de sangre en la orina.

Hg: Mercurio

Hiperinsuflación pulmonar: Es la inflación o expansión crónica y excesiva de los pulmones.

Hiperreflexia: Es una reacción del sistema nervioso autónomo (involuntario) a la estimulación excesiva. Dicha reacción puede incluir hipertensión arterial, cambio en la frecuencia cardíaca, cambios en el color de la piel (palidez, enrojecimiento, color azul grisáceo de la piel) y sudoración excesiva.

Mecapal: Dispositivo que sirve para cargar bultos sobre la espalda y que está hecho de una faja de tejido de ixtle que tiene sogas en sus extremos y se apoya en la frente.

MeHg: Compuesto orgánico de mercurio conocido como metilmercurio.

Mena: Mineral extraído directamente de los yacimientos, para luego por tratamientos metalúrgicos obtener el metal.

MO: Materia orgánica

Muesca: unión entre el escalón de la escalera y los soportes verticales.

Oliguria: Disminución anormal del volumen de orina emitida en 24 horas.

OMS: Organización Mundial de la Salud

Parestesia: Sensación de hormigueo o pinchazos, generalmente temporal, que suele producirse en brazos, manos, piernas o pies.

Pb: Plomo

Presión arterial diastólica: Se refiere a la presión de la sangre en la arteria cuando el corazón se relaja entre latidos. Es la cifra inferior (y más baja) en una medición de la presión arterial.

Presión arterial sistólica: Se refiere a la presión de la sangre en la arteria cuando se contrae el corazón. Es la cifra superior (y más alta) en una medición de la presión arterial.

Proceso de refinación en la ASGM: Consiste en requemar la amalgama para remover los residuos de mercurio del oro.

Proteinuria: Presencia en la orina de proteínas en una cantidad superior a la normal.

Rezaga: Material estéril fragmentado producto del tumbado mediante explosivo.

Terrero: Residuos conformados por apilamiento de material mineral de baja ley, provenientes del proceso de minado.

Tronadura: Fragmentación instantánea que se produce en la roca por efecto de la detonación de explosivos. depositados en su interior.

U-Hg: Mercurio en orina.

Yacimiento hidrotermal: Es un tipo de yacimiento mineral que corresponde a la clasificación genética de los yacimientos minerales por Smirnov (1976). A este tipo de yacimientos se les considera endógenos, es decir; se ubican en zonas estructurales geológicas profundas, relacionados con procesos geoquímicos internos de la tierra. Se forman a partir de fluidos calientes gaseo-líquidos. En estos yacimientos podemos encontrar minerales como: barita, fluorita, piritita, galena, platas rojas, cinabrio, plata y oro

2 RESUMEN DE TESIS

El mercurio es una de las 10 sustancias químicas que más preocupan a la salud pública debido a su toxicidad y a los efectos en la salud que puede tener, dentro de los cuales destacan la afectación al sistema nervioso central y periférico, sistema digestivo, inmunológico y a la piel, y por su característica de bioacumulación. En la actualidad, el mercurio se utiliza para diferentes industrias como la de cloro-alcálí, eléctrica, cemento, etc. Sin embargo, la minería artesanal de oro es la principal fuente de consumo de mercurio en el mundo por su utilización para la separación de oro. En México la producción de mercurio no se encuentra registrada desde 1994 por lo que se deduce que su producción proviene de la minería artesanal de mercurio (MAM). Esta investigación se realizó en una comunidad, al sur de la Sierra Gorda de Querétaro donde realizan este tipo de minería, con la finalidad de realizar un diagnóstico ambiental y de la salud sobre la exposición ocupacional al mercurio en esta actividad, para esto se identificaron los antecedentes, actores y procesos de la MAM en la comunidad, se identificaron las rutas y vías de exposición ocupacional al mercurio, se midieron las concentraciones de mercurio en suelo de residuos mineros, polvos de una voladura, agua de manantial y en vapor emitido por condensadores artesanales, se caracterizó el riesgo al que están sometidos los trabajadores mineros con base en el índice de peligrosidad para tóxicos no cancerígenos, así como también se evaluó la percepción que tienen los mineros artesanales sobre el riesgo de exposición al mercurio. El enfoque del estudio fue mixto donde se combinaron herramientas metodológicas cualitativas y cuantitativas.

Los resultados indican que a pesar de que se distinguen 5 periodos o épocas de la minería en la comunidad, cada uno con sus variantes en los procesos y organización en la minería, la exposición de los trabajadores al mercurio ha sido prácticamente la misma; solo en la etapa de concesiones mineras los casos de intoxicaciones por mercurio fueron más elevados por el tiempo dentro de las minas y durante el horneado. En este estudio también se encontró que en el proceso manual-completo los mineros se exponen por más tiempo y, finalmente, que los conocimientos, aptitudes y acciones que los mineros tienen respecto a la MAM, como el consumir alimentos durante la jornada laboral sin lavarse las manos, provocan un riesgo de exposición mucho mayor.

De forma general, se puede concluir que la exposición al mercurio en la MAM es resultado de estrategias económicas desarrollistas que valoran las ganancias por encima de la salud de quienes lo hacen posible, en este caso el extractivismo que, al realizarse de manera “ilegal”, se hace más complejo pues la intervención del sector salud por el Estado se ve limitado. Además,

el imaginario de desarrollo que se mide con crecimiento económico ya está tan arraigado en los pueblos mineros que la finalidad es obtener dinero y su acumulación, exponiendo su vida, agravado por las condiciones de “pobreza” que se dan en la región. Es importante replantear la relación de la sociedad minera con la naturaleza de su entorno desde el enfoque del Buen Vivir con la finalidad de encontrar otras formas de vida; no compitiendo con otras sociedades o individuos por ver quién es el “más desarrollado” sino aprender a convivir con su entorno.

Abstract

Mercury is one of the 10 chemical substances of greatest concern to public health due to its toxicity and the health effects, mainly on the central and peripheral nervous system, digestive system, immune system and the skin, and its bioaccumulation characteristic. Currently, mercury is used in different industries such as chlor-alkali, electricity, cement, etc. However, artisanal gold mining is the main source of mercury consumption in the world because of its use for gold separation. In Mexico, mercury production has not been registered since 1994, so it is deduced that its production comes from Artisanal Mercury Mining (MAM its spanish acronym). This research was carried out in a community, south of the Sierra Gorda, Querétaro, where this type of mining is a main economic activity, with the purpose of carrying out an environmental and health diagnosis on occupational exposure to mercury in this activity, for this purpose the background, actors and processes of MAM in the community were identified, the routes of occupational exposure to mercury, mercury concentrations were measured in soil from mining waste, dust from blasting, spring water and steam emitted by artisanal condensers, the risk to which mine workers are subjected was characterized based on the hazard coefficient for non-carcinogenic toxics, and the perception of artisanal miners on the risk of exposure to mercury was also evaluated. The approach of the study was mixed, combining qualitative and quantitative methodological tools.

The results indicate that despite the fact that there are 5 periods or eras of mining in the community, each with its variants in the processes and organization of mining, the exposure of workers to mercury has been practically the same; only in the mining concession stage were the cases of mercury intoxications higher due to the time spent in the mines and during baking. This study also found that in the manual-complete process miners are exposed for a longer time and, finally, that the knowledge, skills and actions that miners have regarding MAM, such as consuming food during the workday without washing their hands, cause a much higher risk of exposure.

In general, it can be concluded that mercury exposure in MAM is the result of developmentalist economic strategies that value profits over the health of those who make it possible, in this case extractivism, which, when carried out "illegally", becomes more complex because the intervention of the health sector by the State is limited. In addition, the imaginary of development that is measured with economic growth is already so deeply rooted in the mining towns that the purpose is to obtain money and its accumulation, exposing their lives, aggravated by the conditions of "poverty" that exist in the region. It is important to rethink the relationship of the mining society with the nature of its environment from the Good Living approach in order to find other ways of life; not competing with other societies or individuals to see who is the "most developed" but learning to coexist with their environment.

3 INTRODUCCIÓN

El mercurio es un elemento potencialmente tóxico para la salud humana. La Organización Mundial de la Salud lo identifica como una de las 10 sustancias químicas que más preocupan a la salud pública (OMS, 2020). Su toxicidad depende, entre otros factores, de su forma química: elemental, orgánica e inorgánica (Ramírez, 2008). El mercurio elemental y orgánico (metilmercurio) son tóxicos para los sistemas nerviosos central y periférico. La inhalación de vapor de mercurio puede causar efectos nocivos en los sistemas nervioso, digestivo e inmunológico, los pulmones y los riñones. Mientras que el mercurio orgánico tiene más efectos adversos en fetos debido a que este elemento puede traspasar la barrera hematoencefálica y afectar el sistema nervioso y el cerebro en crecimiento del bebé, lo que conlleva a trastornos de las funciones cognitivas, la memoria, la atención, el lenguaje y las habilidades finas y visoespaciales. Por otro lado, las sales inorgánicas son corrosivas para la piel, los ojos y el tracto gastrointestinal, y su ingestión puede inducir toxicidad en los riñones. (OMS, 2020; Poulin y Gibb, 2008)

De sus formas inorgánicas, el sulfuro de mercurio o cinabrio (HgS) es el mineral de mena más importante (Hinton y Veiga, 2001). En la Sierra Gorda de Querétaro, México, existen importantes yacimientos de cinabrio que se han explotado desde la época prehispánica del 200-300 a.C al 1450 d.C (Mejía y Herrera, 2006) para comercio y rituales (Ávila et al., 2014).

El uso del mercurio está ligado a la producción artesanal de oro (ASGM por sus siglas en inglés); este tipo de minería se practica en países de Latinoamérica y África, donde el mercurio se utiliza para separar el oro de otras sustancias mediante el proceso de *amalgamación* en una relación 1:3 oro-mercurio (INECC, 2017). Esto ha posicionado a la minería artesanal de oro como la fuente principal de emisiones, liberaciones y consumo de mercurio en el mundo (UNEP, 2013).

La producción de mercurio en México no está regulada. En 2018, el país exportó 230.189 ton de mercurio a Bolivia, Colombia, Argentina y Cuba quienes realizan ASGM (SGM, 2019), sin embargo, oficialmente desde 1994, México no hace extracción de mercurio (CCA, 2011). En 2007-2009 se estimó una producción de 13 ton que provienen de la Minería Artesanal de Mercurio-MAM (CCA, 2013), por lo que se deduce que en los años 2015 y 2016 este tipo de producción de mercurio se ha incrementado 10 veces en el país, principalmente en cuatro regiones del estado de Querétaro (Peñamiller, Pinal de Amoles, San Joaquín y Cadereyta) y una en San Luis Potosí (el Cedral) (Camacho et al., 2016).

En numerosas investigaciones se han documentado los efectos a la salud tras la exposición profesional al mercurio, sobre todo, en la ASGM. En la Amazonía Brasileña, región de ASGM, encontraron que los altos niveles de mercurio tanto en mineros como población aledaña a las zonas mineras están relacionados con un peligro potencial debido a la inhalación de vapor de mercurio y a la ingesta de pescado contaminado con MeHg (Castilhos et al., 2015). En la Costa Ecuatoriana, otra región ASGM, en las pruebas neuromotoras las concentraciones de B-Hg y U-Hg se asociaron con aumentos en la frecuencia central del temblor, así como en el tiempo de reacción y la estabilidad postural en mineros, comerciantes y refinadores (Harari et al., 2012). Por otro lado, en Almadén España, productor histórico de mercurio, se encontró que las exposiciones mayores ocurrieron durante la perforación, el funcionamiento del horno y la limpieza, así como el llenado de botellas por caída libre (García Gómez et al., 2007).

La presente investigación se llevó a cabo en una comunidad, al sur de la sierra gorda de Querétaro, donde la minería de mercurio se realiza de manera artesanal. Hasta la fecha, la mayoría de los estudios en la región abordan la cuantificación de los niveles de mercurio en matrices ambientales: aire, agua, suelo y plantas de maíz, indicando la contaminación por mercurio (Martínez-Trinidad, 2013), distribución del mercurio total en suelos, sedimentos y terreros (Hernández-Silva et al., 2012), el fraccionamiento del mercurio en suelos de diferente uso agrícola, terrero y forestal (Martínez-Pérez, 2015). Pocas son las investigaciones que se han realizado en el área social y de la salud, como es el estudio de caso en la comunidad de la Plazuela, donde se midieron las concentraciones de mercurio en matrices biológicas (sangre) y ambientales (suelos y sedimentos), además el análisis de la percepción del riesgo (Camacho et al., 2016).

Este estudio tiene la finalidad teórica de aportar al campo de la salud ambiental en la MAM, y socialmente, contribuir a la comunicación del riesgo con la difusión de los resultados a la población involucrada. Por lo anterior, el objetivo es realizar un diagnóstico ambiental y de la salud de la exposición de mercurio en la minería artesanal, y con ello responder a las preguntas de investigación ¿Cuál es la caracterización de la minería artesanal en la comunidad?, ¿Cuáles son las fuentes de exposición ocupacional al mercurio?, ¿Cómo se exponen los mineros al mercurio en este tipo de minería?, ¿Cuál es la percepción del riesgo de los mineros artesanales sobre su actividad? y ¿Cuáles son los niveles de mercurio en las fuentes de exposición ocupacional? Para lo cual se realiza una investigación mixta; incluyendo métodos cualitativos y cuantitativos. En primera instancia se realizaron entrevistas semiestructuradas para entender cómo ha sido la exposición de mercurio en el tiempo y cuál es la percepción social del riesgo de

la minería de mercurio. También, se realizó observación participante y no participante para identificar las fuentes y rutas de exposición, así como también, los procesos de producción de mercurio y la exposición de los mineros al mercurio. Finalmente, los niveles de mercurio se midieron utilizando el método Espectrometría de Absorción Atómica por generación de hidruros (EAA-GH).

4 OBJETIVOS

Objetivo general

Elaborar un diagnóstico ambiental y de las percepciones de los mineros sobre los efectos a la salud por la exposición ocupacional a mercurio en la minería artesanal, al sur de la Sierra Gorda de Querétaro.

Objetivos particulares

- I. Caracterizar la minería artesanal de mercurio: contexto histórico, actores sociales y procesos de extracción y beneficio del mineral.
- II. Identificar las fuentes y rutas de exposición ocupacional al mercurio en la minería artesanal.
- III. Cuantificar los niveles totales de mercurio en fuentes de exposición ocupacional: polvos generados en una tronadura, residuos mineros (escorias), agua de manantial y vapores de mercurio en hornos de beneficio artesanales.
- IV. Evaluar la percepción de los mineros sobre el riesgo y los efectos a la salud por la exposición al mercurio en la minería artesanal.

5 ANTECEDENTES

Los antecedentes comprenden tanto los procesos implicados en la minería prehispánica como los principales impactos a la salud de los mineros derivados de la exposición al cinabrio y al mercurio. Se describen en este mismo apartado las concentraciones ambientales de mercurio en las regiones de Sierra Gorda dedicadas a la minería de mercurio de acuerdo con algunos estudios previos.

5.1 Minería prehispánica de mercurio en Sierra Gorda

Durante el siglo XVI, la Sierra Gorda poseía una identidad cultural propia (área Pame). Los territorios de la región estaban ocupados por grupos recolectores-cazadores con niveles de organización de bandas, quienes perduraron hasta el siglo XVIII, muy entrada la época colonial. Por otra parte, se encontraban los agricultores sedentarios (Paul Kirchhoff 1943 y 1960 citado en Herrera-Muñoz, 2012). Los asentamientos serranos más importantes para esta época son: Ranas, Toluquilla, El Doctor, El Deconí, Mesa de Ramírez y San Joaquín (Herrera-Muñoz, 2012).

Una característica que distinguió a los grupos serranos fue la explotación de los recursos minerales. La explotación de cinabrio en la región durante la época prehispánica se dio en el periodo de 300 a.C y 1500 d.C. La zona arqueológica de Toluquilla fue una ciudad estratificada, bien organizada, especializada en la minería. Su función principal consistió en organizar la vida religiosa, y junto con Ranas, disponer de la producción y distribución de minerales de la sierra hacia otras regiones de Mesoamérica. De esta manera se puede afirmar que la Sierra Gorda es sólo uno de los lugares que abasteció de Cinabrio a Teotihuacán, a cambio recibía objetos de obsidiana (Mejía, 2016). En Mesoamérica al igual que en otras culturas de todo el mundo, el cinabrio fue utilizado con valor de atavío: “se utilizó para ofrendas funerarias en enterramientos primarios, para embadurnar huesos en enterramientos secundarios y para decoración corporal, cerámica y en obras arquitectónicas” (Langenscheidt, 1986 citado en Trejo Pérez, 2011).

5.1.1 Obtención de cinabrio y mercurio en la minería prehispánica

Para cubrir la demanda de cinabrio en la época, Velasco (1978) propuso que la dinámica productiva siguió una secuencia, primero se dio la localización de las minas lo que implicó un gran conocimiento del medio, después vino la explotación, y por último la extracción, concentración y distribución por medio del intercambio (Mejía & Herrera-Muñoz, 2013). Complementando el proceso, Langenscheidt (1989) propone tres etapas: la primera etapa hace referencia a la recolección del cinabrio que se encontraba en la superficie. En caso de agotar el cinabrio de la superficie recurrían a la segunda etapa: *Tumbe a cielo abierto* o como también Herrera-Muñoz (1994) lo llama *Rebajes y trabajos abiertos*, éstos probablemente se realizaban en áreas donde se hacía la recolección en la superficie debido a que se tenía conocimiento previo de la existencia de cinabrio en esas zonas. La tercera etapa consiste en obras subterráneas realizadas en espacios huecos muy reducidos en donde los mineros explotaron los puntos donde se concentraba el cinabrio, en ese sentido, el desarrollo de la obra se dio en función de la dirección de la veta, sus ramales y depósitos. Para esta etapa se requirió de mucho esfuerzo y tecnificación. La tecnología de la época consistía en instrumentos hechos de madera, astas, huesos y otras rocas que servían para golpear el mineral y desprenderlo. Se hacía entonces la selección y separación de otros elementos. Posteriormente, en el patio de mina, las piedras de cinabrio se ponían al sol para secarlas, pulverizarlas y de esta manera obtener el polvo de cinabrio (Trejo-Pérez, 2011).

La estructura de las minas en la época fue compleja, de acuerdo con Herrera-Muñoz (1994) los trabajos subterráneos consistían en túneles, tiros y galerías. Para desplazarse en los pozos muy inclinados utilizaron escaleras de muesca, trancas y travesaños o llaves hechos de troncos y ramas de árbol. Otra manera de desplazarse dentro de los tiros fue por medio de oquedades hechas en las paredes de la mina donde se apoyaban manos y pies, la espalda la sujetaban en la pared contraria y así subían y bajaban. Además, para sacar el mineral o la rezaga de las minas, utilizaban pasadizos y con la fuerza de gravedad movían los materiales (Trejo-Pérez, 2011).

Por otra parte, en la época prehispánica también se realizaba la producción de mercurio a partir de sus minerales como lo es el cinabrio. En este sentido, los autores Barba y Herrera-Muñoz (1986) señalan que los hornillos más rústicos y tradicionales en la Sierra Gorda consisten en dos vasijas embrocadas, selladas perfectamente con lodo (Figura 1). El recipiente superior es

llamado cámara de condensación. El recipiente inferior se denomina cámara de carga y contiene la mezcla de mena y cal. La posición a la que opera el hornillo son 45° , esto es importante ya que a esta inclinación los vapores de mercurio que pasan a la cámara superior y que condensan en sus paredes permanecen en la parte cóncava y no regresan a la cámara de carga (Trejo-Pérez, 2011).

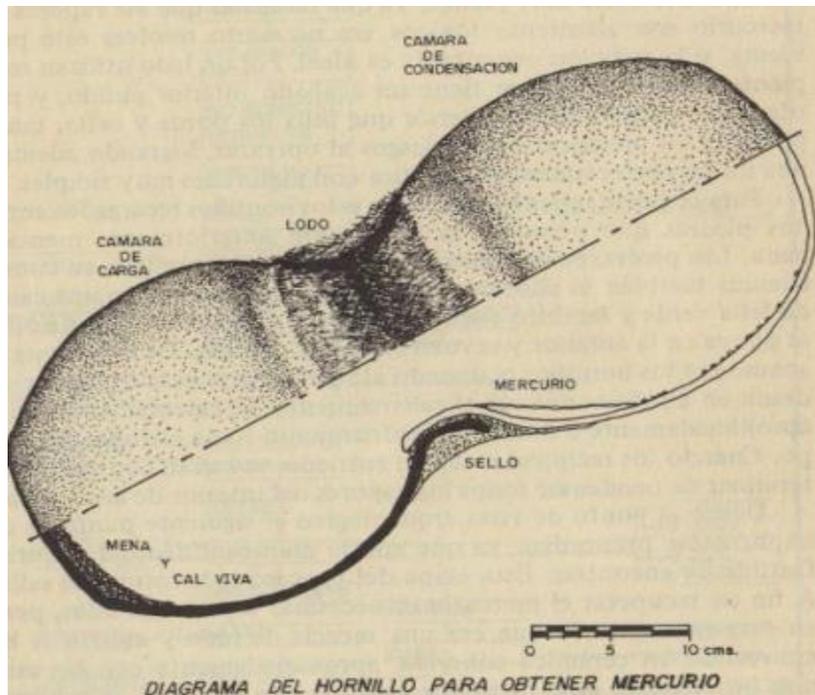


Figura 1. Diagrama de hornillo para obtener mercurio según Barba y Herrera-Muñoz (1986), tomado de Trejo-Pérez, 2011.

5.1.2 Exposición ocupacional al mercurio en la minería prehispánica

En la época prehispánica los mineros y población en general se expusieron de diferentes maneras al mercurio y otros metales que se encontraban asociados. En este sentido, Mejía y Herrera-Muñoz (2013) encontraron las concentraciones más altas de metales pesados en restos óseos prehispánicos de fetos. Un nonato de 27 semanas de embarazo presentó 35.20 ppm/arsénico cuando el límite máximo permitido (LMP) son 3 ppm. Se reportaron 84.50 ppm de plomo (LMP:5ppm). Para el cadmio se encontraron 23.80 ppm (LMP: 5 ppm), por último, en el caso del mercurio se encontraron 23.70 ppm (LMP:1.5 ppm) En comparación con el resto de la población (niños y adultos) las concentraciones de los metales pesados son menores, aunque siguen superando los límites de la normativa, por ejemplo, en el caso de arsénico la concentración más alta fue de 13.10 ppm, de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-93 que establece los límites permitidos para residuos tóxicos.

Estos autores concluyen que la acumulación de mercurio en el tejido óseo no se debe a la migración del sedimento al hueso sino de un proceso de bioacumulación. La intoxicación por mercurio en población prehispánica se debe a exposiciones prolongadas donde la bioacumulación tuvo efecto en su ciclo de vida. Por otro lado, considerando las altas cantidades de mercurio en los huesos de los fetos se puede suponer que las mujeres embarazadas fueron sometidas a una contaminación crónica y aguda, posiblemente por respirar el polvo, o por ingesta de alimentos contaminados (Mejía & Herrera-Muñoz, 2013).

Por otra parte, la manera en que realizaron la minería impactó su sistema óseo desarrollando diferentes patologías. Actividades mineras como iniciar las minas, seguir las vetas, triturar las rocas y conseguir espacios de ventilación representó impactos permanentes en codos, muñecas y hombros debido a la utilización de percutores de piedra. Aunado a esto, la exposición al polvo durante el tiempo de perforación provocó enfermedades respiratorias. También, en ocasiones, los lugares donde los mineros obtenían el cinabrio generaban gases tóxicos que al ser inhalados eran letales, causando una muerte instantánea (Mejía & Herrera-Muñoz, 2013).

La extracción y transporte del mineral a cuevas (con mecapal) produjo una presión en tobillos, rodillas, columna vertebral y en la frente por el peso transportado de forma constante. La posición en la que se realizaba el trabajo influía mucho en el daño óseo, por ejemplo, si el trabajo se realizaba hincado, la presión se aplica en los pies, los tobillos, las rodillas y en la columna posiblemente afectando las vértebras cervicales y lumbares (Mejía & Herrera-Muñoz, 2013).

En los restos óseos prehispánicos se encontraron evidencias de enfermedades degenerativas como artritis y traumatismos. También, se encontraron restos con callosidades, huellas de fracturas, fusionadas debido al exceso de carga. La topografía muy accidentada de la sierra ocasionó un esfuerzo extraordinario que provocó que huesos como el calcáneo y astrágalo produjeran excrescencias (crecimientos óseos), fenómeno que se observa en las personas dedicadas a cargar en pendiente, como es el caso de los trabajadores de construcción o en lapidaria (Lara, 2007 citado en Mejía & Herrera-Muñoz, 2013).

5.1.3 Exposición ocupacional al mercurio en la minería artesanal de oro

En la minería de oro a pequeña escala se producen vapores de mercurio al quemar la amalgama, los cuales tienen efectos a la salud tanto para la población involucrada en la minería como en la población que vive cerca de las zonas donde realizan este tipo de minería. Gibb y Grace (2014) hicieron una revisión de diversos estudios que demuestran los efectos a la salud en trabajadores expuestos al vapor de mercurio en este tipo de minería, los principales efectos en la población expuesta al vapor de mercurio fueron neurológicos como: temblor, ataxia, problemas de la memoria y de la vista, relacionados a los 100 $\mu\text{g}/\mu\text{g-Cr}$ y efectos renales relacionados con los 50 $\mu\text{g}/\mu\text{g-Cr}$. Además, se presentan síntomas como: dolores de cabeza, desordenes del sueño, dificultad para caminar, mareos, ataques de nerviosismo, heridas e irritación en la boca, cansancio inusual, piquetes en las manos y pies, tos persistente, dolor torácico y rinitis.

Por otro lado, se encontró que los factores determinantes en las concentraciones de mercurio en trabajadores de la ASGM son: el tiempo de exposición, obteniendo diferencias significativas en un grupo que había trabajado por más de 20 años en la mina, en comparación con otro grupo que tenía de 0 a 10 años, las actividades mineras también influyen, por ejemplo los trabajadores que queman amalgama presentaron concentraciones más altas que el resto de los trabajadores, por su parte las concentraciones más altas de mercurio orgánico (Me-Hg) se asocia a los individuos que queman más veces amalgama y que su consumo de pescado es más frecuente. Factores como el género, el índice de masa corporal y el tiempo de exposición no influyen en las concentraciones de mercurio de los individuos expuestos (Calao-Ramos et al., 2021).

5.2 Concentraciones ambientales de mercurio en regiones de la Sierra Gorda

Debido a su riqueza mineral, específicamente en mercurio, algunos municipios del estado de Querétaro han sido ampliamente estudiados, sobre todo en concentraciones de este metal. En la tabla 1 se presentan concentraciones de mercurio en diferentes matrices ambientales.

En los suelos agrícolas y forestales, sedimentos y terreros del distrito minero de San Joaquín se encontraron concentraciones de mercurio total hasta de 3694 mg/kg (Martínez-Pérez, 2015), siendo los terreros los ambientes con la mayor concentración. Estos suelos proporcionan mercurio por mecanismos de translocación a los cultivos de maíz (Hernández-Silva et al., 2012), generando un punto potencial de exposición a mercurio orgánico en la población de la región.

Tabla 1. Concentraciones ambientales de mercurio en la región minera de Querétaro.

Muestra	Mercurio	Región	Fuentes
Suelo	30.1-300 mg/kg	Calabacillas-Santa Rita y La Lana, San Joaquín, Querétaro	(Hernández-Silva et al., 2012)
Suelos, terreros y sedimentos	3-3694 mg/kg	Distrito minero, San Joaquín, Querétaro.	(Martínez-Pérez, 2015)
Suelo de mina "La Laja"	30-16,654 mg/kg	Pinal de Amoles, Querétaro	(INECC, 2020)
Suelo de casas donde se ha realizado calcinación de traspatio	7-152 mg/kg	Llano de San Francisco, Pinal de amoles, Qro.	
Calcinas	47-1314 mg/kg	Pinal de Amoles, Qro.	
Agua de Lluvia	36.49 µg/L	Distrito minero, San Joaquín, Querétaro	(Hernández-Silva et al., 2012)
Agua potable	1-7.1 µg/L		
Aire	67 ng/m ³		
Aire en mina "Estrella"	4-197 µg/m ³	Pinal de Amoles, Querétaro	(INECC, 2020)
Aire mina la soledad (área de hornos, ambiente cerrado)	132-486 µg/m ³		
Plantas de maíz (grano)	0.04-0.87 mg/kg	Distrito minero, San Joaquín, Querétaro	(Hernández-Silva et al., 2012)
Hojas de los árboles en hogares con hornos	50 mg/kg	Pinal de Amoles, Querétaro	(INECC, 2020)

Los límites máximos permisibles de mercurio para suelo, calcinas, sedimentos y terreros son 23 mg/kg según la norma mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. En aire es de 10µg/m³ (ATSDR, 2012). Las concentraciones máximas de mercurio en peso seco para que una planta de cebada no presente daño en sus estructuras debe ser 3 mg/kg, para el grano de maíz 0.5 mg/kg según la OMS y finalmente el límite máximo permisible de mercurio para agua de consumo humano es de 1 µg/L de acuerdo con NOM-127-SSA1-1994. Fuente: elaboración propia.

Para determinar un riesgo de exposición se debe considerar las diferentes fracciones en las que se encuentra el mercurio; es decir si es disponible para los humanos y en qué proporción. En el caso de los suelos del distrito mineros de San Joaquín, la distribución se encuentra de la siguiente manera; la F1 (fracción soluble) representa <1% de la concentración total de Hg, lo cual no representa un aporte significativo a la fracción disponible, contemplando que la fracción

disponible se da por la suma de la fracción soluble e intercambiable. La F2 (fracción intercambiable) representa más del 90% de la concentración de Hg en la fracción disponible y menos del 20% de la concentración total, lo que sugiere que la movilidad de Hg está dada por la cantidad de mercurio intercambiable. Las fracciones F3 (arcillas y óxidos de Fe y Mn), F4 (ácidos orgánicos), F5 (Sulfuros) y F6 (residual; mercurio no extraído o muy estable) contienen más del 80% del mercurio total lo que indica una baja disponibilidad para los seres vivos (Martínez-Pérez, 2015).

Se tiene documentado que en el distrito minero de San Joaquín la minería de mercurio primaria no es actual, a diferencia del municipio de Pinal de Amoles, en este sentido las concentraciones más elevadas del metal se encuentran en el ambiente de Pinal de Amoles. Sin embargo, en ambos lugares los niveles de mercurio superan la normativa nacional e internacional, evidenciando la contaminación ambiental por liberación de emisiones de mercurio actuales y acumuladas, lo cual se traduce en un riesgo potencial para la salud humana.

6 MARCO TEÓRICO

En la figura 2 se presentan los componentes que aportan al desarrollo del diagnóstico ambiental y de la salud en la exposición ocupacional al mercurio. Se considera que la MAM en la comunidad es el resultado de la interacción entre los componentes sociedad-naturaleza de su territorio. Esta actividad se ha desarrollado en la comunidad desde la época prehispánica hasta la actualidad como la principal actividad económica. Debido a la MAM surge la exposición ocupacional al mercurio donde se generan efectos adversos en la salud de los mineros. Por otro lado, como resultado de la MAM se generan residuos mineros que contaminan las matrices ambientales; agua, biota, tierra y aire; los habitantes se ponen en contacto con estas fuentes perpetuando el ciclo de exposición ambiental. Finalmente, los residuos no sólo contaminan el territorio de la comunidad, sino que las emisiones y lixiviados pueden emigrar a otros ambientes desde lo regional hasta lo global.

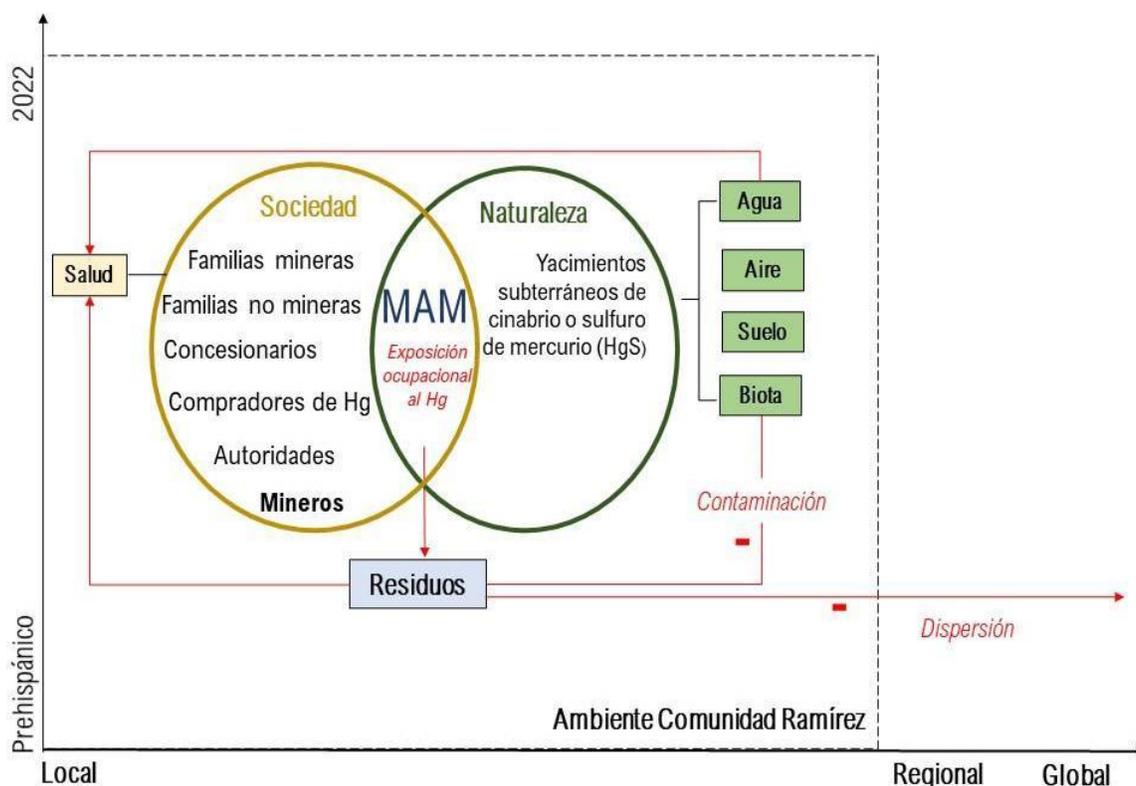


Figura 2. Componentes de un diagnóstico ambiental y de la salud en la exposición ocupacional a mercurio en la MAM. **Fuente:** elaboración propia

En síntesis, para abordar el diagnóstico ambiental y de la salud en la exposición ocupacional de la MAM se consideran los siguientes componentes: i) procesos y lugares de operación; de esta manera se conoce dónde, cómo y cuándo ocurre la exposición, ii) los antecedentes de la minería en la comunidad, permite conocer los patrones de exposición, iii) la identificación de rutas y vías de exposición, con esto se reconoce quiénes, dónde, duración y cómo se exponen, iv) la cuantificación de mercurio en fuentes de exposición; permite generar una aproximación de cuánto mercurio está entrando en el organismo de los mineros y v) la percepción de los mineros sobre la MAM; esto con la finalidad de conocer si la minería se percibe como un riesgo a la salud.

Las bases teóricas que comprende este apartado son minería artesanal, mercurio y exposición a sustancias tóxicas.

6.1 MINERÍA ARTESANAL

Hasta el momento no existe una definición formalmente aceptada de la minería artesanal y de pequeña escala (IIED & WBSCD, 2002). Las definiciones locales varían de un país a otro según la situación macroeconómica, el marco geológico, la historia minera y las condiciones locales. Hay países que tienen programas para la pequeña minería y no están considerados en la ley minera del país, y hay países con leyes especiales que aplican un tratamiento diferente a la pequeña minería como es el caso de Brasil con la Ley Garimpo (Hentschel *et al.*, 2002).

En México la minería artesanal no está formalmente definida, en el país, la clasificación de la minería se da con base en la aportación al valor total de la producción minero-metalúrgica. De esta manera, existe la gran minería que aporta el 84.1%; hacia este tipo de minería se dirigen las directrices del estado en materia minera. La mediana minería que aporta el 13% y la pequeña minería que aporta el 2.9%. De acuerdo con el reglamento de la Ley Minera, se considera pequeño minero a quien cumpla con cualquiera de las características siguientes: a) los ingresos brutos por ventas anuales de minerales o sustancias concebibles sean inferiores a los 5 mil salarios mínimos, b) la extracción mensual de mineral sea hasta de 3 mil toneladas, y c) la aportación a la producción nacional anual del mineral o sustancia que se trate sea hasta del 1%. Los límites superiores de este tipo de minería están formalmente definidos. No obstante, establecer un límite inferior representa un problema debido a que existe una gran cantidad de mineros artesanales que producen volúmenes muy bajos y no operan como empresarios sino como autoempleo. Las percepciones económicas de éstos a duras penas alcanzan para la

manutención de su familia. Asimismo, su producción pasa desapercibida debido a que la transacción se realiza de manera directa e informal de productor a comprador (González-Sánchez & Camprubí, 2010).

6.1.1 Características de la Minería Artesanal en el mundo

Existen una serie de condiciones generales que caracterizan a este tipo de minería: falta o muy reducido grado de mecanización; gran cantidad de trabajo físicamente exigente, bajo nivel de seguridad y salud en el trabajo, personal no calificado, ineficiencia en la explotación y producción mineral (baja recuperación de valores), explotación de depósitos marginales o muy pequeños, bajo nivel de productividad, bajo nivel de salarios e ingresos, operación periódica de acuerdo con el desarrollo del precio en el mercado, falta de seguridad social, consideración insuficiente de los problemas ambientales, falta crónica de capital e inversión y operaciones sin ningún título o concesión minera (Hentschel *et al.*, 2002). Este tipo de minería tiene graves consecuencias en la salud de los mineros debido al trabajo físico desgastante, principalmente, impactos negativos en el sistema óseo y el desarrollo de diferentes patologías.

En la minería artesanal participan niños y mujeres, debido principalmente, a que se trata de una actividad de subsistencia donde participa toda la familia. En otro tipo de minería, las mujeres participan muy poco o no participan, en la minería artesanal y de pequeña escala representan del 40% al 75% de la fuerza laboral, por ejemplo, en Bolivia el 40%, en Madagascar, Malí y Zimbabue el 50% y en Guinea el 75% (United Nations Economic and Social Council, 1996 citado en Hentschel *et al.*, 2002).

La minería artesanal se lleva a cabo en todo el mundo, principalmente en zonas rurales remotas de países de África, Asia, Oceanía, América central y del Sur. Esta minería se encuentra en diferentes depósitos: placeres, subterránea o a cielo abierto. Es de tipo metálica, principalmente, en oro, gemas y piedras preciosas como diamantes, zafiros y granates, y otros minerales como la plata, el zinc, bauxita, mineral de hierro. También, es no metálica por la producción de carbón y materiales para la construcción como mármol y caliza (IIED & WBSCD, 2002).

La contribución de la minería artesanal a la producción mineral es de aproximadamente del 15 al 20%, según la Organización Internacional del trabajo (OIT). A pesar de los niveles bajos de producción de este tipo de minería en todo el mundo, en algunos casos, la producción puede

ser igual o superior a la producción por las grandes minas. Por ejemplo, en Indonesia, la producción total de estaño por el sector de pequeña escala es igual a la producción de gran escala (Hentschel et al., 2002). En minerales como el Tungsteno y las esmeraldas toda la producción proviene de la MAPE. Este tipo de minería, en la mayoría de los países representa del 90 al 100% de la producción de piedras preciosas; en Ghana el 80% de la producción de diamantes (IIED & WBSCD, 2002).

6.1.2 Causas y consecuencias de la Minería Artesanal

Las causas que impulsan este tipo de minería están relacionadas directamente con la pobreza (López Bravo et al., 2016). Ejemplo de ello es la alta tasa de desempleo en las regiones de la MAPE donde campesinos, mineros, migrantes, etc. recurren a realizar esta actividad porque es la única, y en algunos casos, la mejor pagada (Hentschel et al., 2002).

De acuerdo con el Banco Mundial (1996), el problema principal es que tanto mineros artesanales y gobiernos están atrapados en un círculo negativo de causa y efecto (Figura 3). Por una parte, los mineros artesanales utilizan técnicas y equipos de extracción y procesamiento inadecuados, lo cual los conduce a una baja productividad de las operaciones y una baja recuperación de minerales, que a su vez resultan en bajos ingresos y ahorros lo cual impide que inviertan, y esto finalmente deriva en condiciones precarias para la salud y seguridad laboral, así como daños al ambiente por gran cantidad de residuos con metales. Por otro lado, las autoridades locales y nacionales no cuentan con recursos operacionales para gestionar este sector de la minería, lo cual resulta en no regular ni apoyar este tipo de minería, lo cual conduce a las operaciones ilegales.

Si bien la pobreza, la falta de recursos operacionales por parte de los gobiernos, la falta de equipo para extraer y procesar los minerales de manera eficiente es alguna de las causas que impulsan la minería artesanal, no obstante, existen otros factores como las *fiebres de minerales*, éstas suceden cuando el precio del mineral aumenta en el mercado o se encuentran yacimientos de alta riqueza, otros mineros lo hacen por tradición minera. Todos estos factores suman complejidad para entender el ser de la minería artesanal. A pesar de sus impactos negativos y de la precariedad en la que se desarrolla, la minería artesanal contribuye al desarrollo rural y a la economía de muchas familias, según la OIT en el mundo pueden existir de 11.5 a 13 millones de personas que se dedican a esta actividad (1.4 a 1.6 millones en América Latina y el Caribe);

asignándoles un salario mensual promedio de US\$ 150 dólares, cifras que se incorporan al flujo económico de las regiones con minería artesanal y de pequeña escala (CEPAL, 2000).

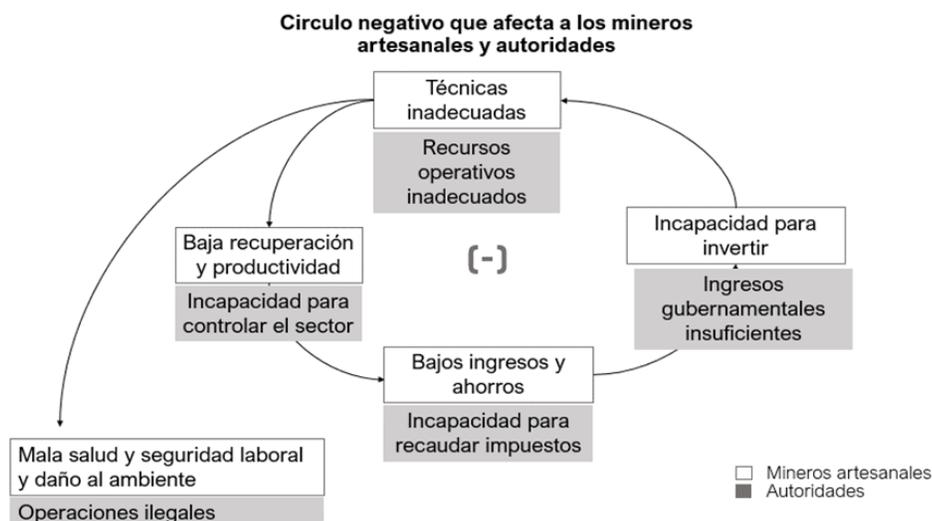


Figura 3. Circulo negativo de causa-efecto que afecta a los mineros artesanales y autoridades locales y nacionales. **Fuente:** Banco Mundial, 1996.

6.2 MERCURIO

6.2.1 Características fisicoquímicas

El mercurio (Hg) es un elemento metálico de color blanco plateado brillante, se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente. Sus características fisicoquímicas son: número atómico 80, peso atómico 200.59 g/mol, temperatura de fusión -38.87°C , temperatura de ebullición 356.58°C , densidad relativa a temperatura ambiente 13.456 g/ml y la presión del vapor 0.16 pa. Tiene una elevada tensión superficial, es mal conductor de calor y buen conductor de la corriente eléctrica (The Merck Index, 2001).

Es un elemento que se encuentra en las rocas de la corteza terrestre, incluidos depósitos de carbón. Se encuentra de manera natural representado en diferentes formas. En su forma pura, se le conoce como mercurio elemental o metálico (Hg^0) rara vez lo encontramos en esta forma, es más común encontrarlo en sales inorgánicas (Heron, 2001). Tales como el sulfuro de mercurio (HgS), óxido de mercurio (HgO) y cloruro de mercurio $HgCl_2$, la mayoría de estas sales son polvos y cristales blancos, a excepción del HgS, que es rojo y se vuelve negro a la exposición de la luz. Algunas sales del Hg como el $HgCl_2$ son muy volátiles y tienen una alta solubilidad en el agua y

reactividad química, lo que significa que en la atmósfera tienen menor vida que los gases de mercurio elemental (Hinton y Veiga, 2001). El Hg^0 tiene distancias de transporte global de miles de kilómetros, con un tiempo de residencia en la atmósfera de 6 meses a un año, mientras que las sales de Hg (II) es de algunas horas a una semana (Schroeder y Munthe, 1998).

Por otro lado, cuando el Hg se combina con carbono se originan los compuestos orgánicos de mercurio: dimetil, fenil, etil y metilmercurio. Cuando son puros, la mayoría de fenil y metilmercurio son sólidos y cristalinos. En cambio, el dimetilmercurio es un líquido incoloro (Hylander, 2001).

Ciertos microorganismos y procesos fisicoquímicos pueden hacer que el mercurio pase de una forma a otra. El Hg^0 en la atmósfera puede transformarse en formas inorgánicas y sedimentar mediante deposición húmeda o seca (Lindberg *et al.*, 2005). En el suelo, el mercurio inorgánico puede ser adsorbido por las plantas y bioacumularse, mientras que el cinabrio (HgS) y el mercurio metálico no. Otra parte de las sales inorgánicas pueden formar complejos inorgánicos y dentro de aniones orgánicos, pueden atraparse en las arcillas, otra parte Hg (II) puede absorberse en el Carbono Orgánico Disuelto (COD). En el medio acuático sucede algo similar como en el suelo, el Hg^0 sufre fotooxidación para formar Hg (II), el cual en su fracción disuelta es consumido por organismos como peces, dentro de los mismos sucede la metilación de mercurio y así este metal se introduce en la cadena trófica (Gaona-Martínez, 2004). La eliminación del metilmercurio en peces es muy lenta. Las concentraciones más bajas de mercurio se encuentran en peces pequeños no depredadores y aumenta significativamente conforme se asciende en la cadena alimentaria, llevando a cabo el proceso de biomagnificación (PNUMA, 2005).

6.2.2 Minería de mercurio

De sus formas inorgánicas el cinabrio o sulfuro de mercurio (HgS) es el más importante para la obtención de Hg. Otros minerales de Hg son la livingstonita ($HgS \cdot 2Sb_2S_3$), el calomelano o Hg córneo (Hg_2Cl), la tiemannita, ($HgSe$) y la coloradita ($HgTe$). La tetraedrita de Hg (Schwazita o hermesita) no tiene ninguna importancia económica (Rodríguez-Galeotti, 2006).

Las áreas geológicas enriquecidas con Hg están relacionadas con los límites de placas, vulcanismo reciente, mineralizaciones de metales preciosos y altos flujos de calor. En la mayoría

de los yacimientos de Hg existe una asociación con fallas y fracturas regionales (Rodríguez-Galeotti, 2006).

Los depósitos de Hg pueden clasificarse en tres grandes grupos: *Silícico-carbonatados*, *Hot-spring* y *Almadén*. Los primeros están asociados principalmente a serpentinitas alteradas a una asociación de minerales carbonatados y de sílice, generalmente son pequeños, 0.1-10 millones de toneladas métricas de mena y con espesores de veta de 0.5-10 metros. Los depósitos hot spring están asociados a zonas volcánicas formados cerca de la superficie, su tonelaje métrico de mena es de 10 a 100 millones y sus espesores de veta de más de 10 metros. En tanto, los depósitos de Almadén son los más grandes y de más alta calidad, contienen cinabrio masivo y es probable, según estudios, que los cuerpos mineralizados hayan sido formados por volcanismo submarino máfico (Rodríguez-Galeotti, 2006).

Para refinar el mercurio metálico del cinabrio, éste último se calienta a temperaturas superiores a 540°C. De esta manera se vaporiza el mercurio elemental contenido en el cinabrio, se captan y enfrían los vapores del mercurio metálico para formar el Hg metálico líquido (Horvath, 1986 citado en PNUMA, 2005).

6.2.3 Toxicidad del mercurio

La toxicidad del mercurio en los seres humanos depende de una serie de factores. En primer lugar, de su estado de oxidación (Tabla 2) ya sea como compuesto orgánico de mercurio, como sales inorgánicas o mercurio elemental. Así como también de la dosis, duración a la exposición, concentración de compuestos de mercurio en la sangre, concentración de grupos sulfidrilos libres, afinidad de los compuestos celulares, velocidad de asociación/disociación del complejo mercurio-proteína (Ramírez, 2013).

Tabla 2. Toxicidad del mercurio según su forma química.

Nombre	Mercurio	Cloruro de mercurio	Sulfuro de mercurio	Mercurio protocloruro	Dimetil-mercurio	Metil-mercurio
Fórmula	Hg	$HgCl_2$	HgS	Hg_2Cl_2	C_2H_6Hg	CH_3Hg
Valencia	0	+2	+2	+1	+2	+2
Peso molecular	200.59	271.5	232.6	472.09	230.66	215.6
Estado químico	Elemental	Inorgánico	Inorgánico	Inorgánico	Orgánico	Orgánico
Estado físico	Líquido	Sólido	Sólido	Sólido	Líquido	Sólido
Toxicidad	Alta	Moderada-alta	Moderada-alta	Moderada-alta	Alta	Moderada-alta

Fuente: Larry et al., 2002

6.2.3.1 Modelo toxicocinético del mercurio

En este apartado se abordará el recorrido que hace el mercurio por el cuerpo humano; el porcentaje de absorción según su forma, de igual manera los órganos donde puede almacenarse y los mecanismos de eliminación del cuerpo (figura 4). Las formas químicas del mercurio que se presentan son la elemental e inorgánico que están presentes en la minería artesanal de mercurio.

El mercurio elemental popularmente conocido como azogue es utilizado en la industria médica, eléctrica, principalmente, en la pequeña minería de oro. La Conferencia Americana de higienistas industriales gubernamentales (ACGIH) ha establecido un límite máximo permisible de vapor de Hg de 0.05 mg/m³ de aire para una exposición continua de 40 horas a la semana (Larry et al., 2002).

En humanos, la ruta de exposición al mercurio elemental es principalmente por la inhalación de vapores de Hg; aproximadamente del 70-85% es absorbido por los pulmones (Hursh et al., 1989). Cuando se presenta en estado líquido del 7-10% se absorbe por el sistema gastrointestinal (GI) y otra pequeña parte: 1% por la piel (Berlin et al., 2007). Cuando el Hg elemental entra al cuerpo por el GI no se considera de alta toxicidad por su baja reactividad con los compuestos orgánicos.

Esta forma de mercurio es altamente liposoluble; característica que facilita su difusión a través de los alveolos en el torrente sanguíneo, así como su distribución en todos los compartimientos lipófilos del cuerpo; incluyendo la barrera hematoencefálica en el sistema nervioso central y la barrera de la placenta donde es alojado en el cerebro del feto (Larry et al., 2002).

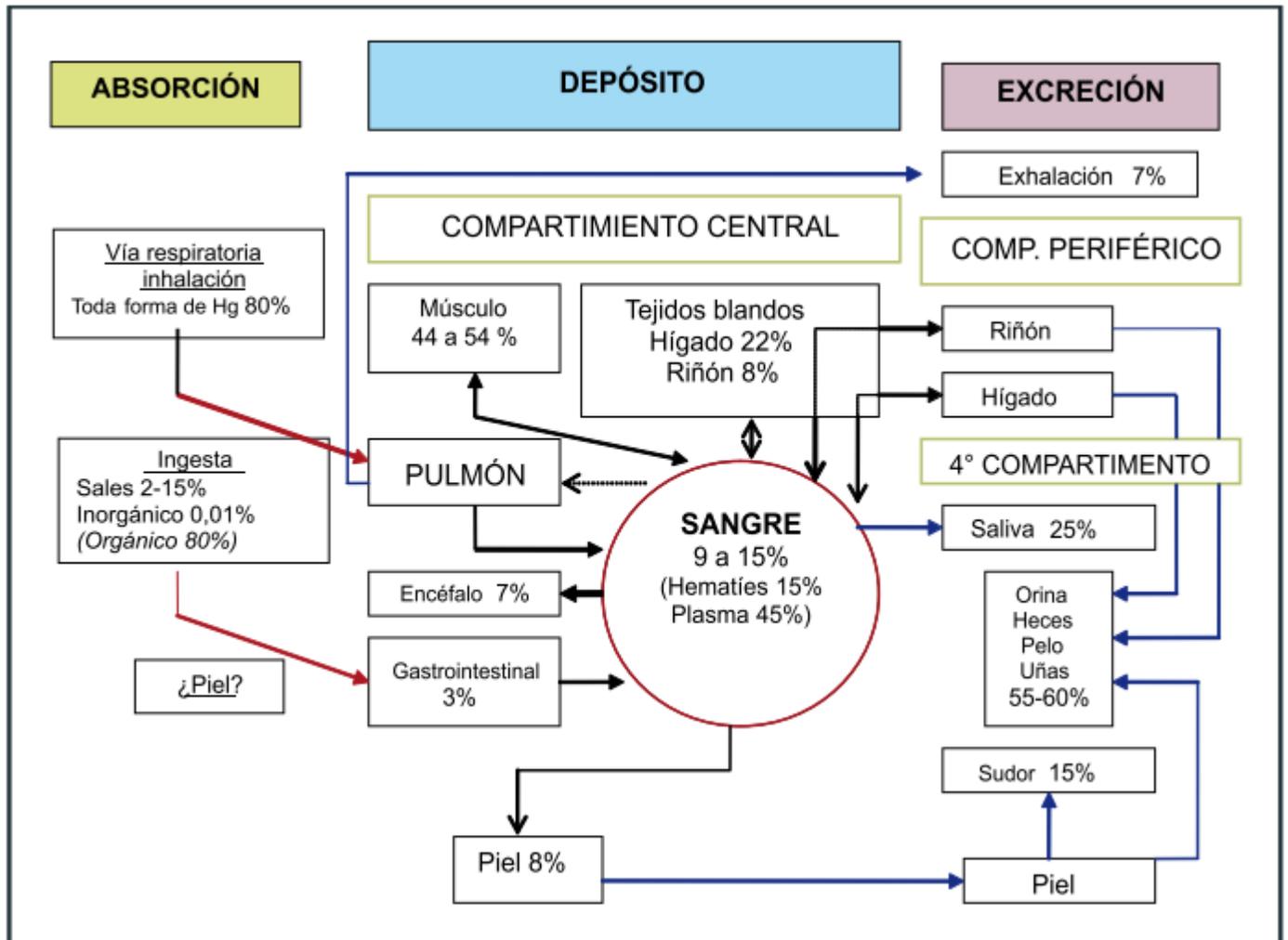


Figura 4. Modelo toxicocinético de mercurio elemental e inorgánico. Fuente: (Ramírez, 2008).

Cuando el mercurio está circulando a través de la sangre se une a numerosos tejidos, proteínas y eritrocitos. En los últimos, la catalasa puede oxidar el mercurio elemental a mercurio inorgánico. Si el mercurio elemental penetra en la barrera hematoencefálica, se ioniza y se acumula para su neurotoxicidad (Larry et al., 2002). Además del cerebro, el mercurio metálico puede ser depositado en la tiroides, senos, miocardio, músculos, células adrenales, hígado, riñones, piel, glándulas sudoríparas, páncreas, pulmones, glándulas salivales, testículos y próstata. Adicionalmente, el mercurio se deposita fácilmente en la placenta y se encuentra en la leche materna (Bernhoft, 2012).

La vida media del mercurio elemental en adultos es de 60 días en un intervalo de 35 a 90 días (Moyer, 1999). Por otro lado, la eliminación de este compuesto se hace en pequeñas cantidades a través de la exhalación, sudor, pelo, saliva y lágrimas, y la mayor parte a través de las heces y orina (Gutiérrez, 1997).

Algunas sales inorgánicas de mercurio como el cloruro de mercurio ($HgCl_2$) se utilizan como componentes en las cremas para aclarar la piel. Aproximadamente el 2% de este compuesto es absorbido por ingesta. Es corrosivo para el intestino, de tal manera que incrementa su permeabilidad y con una exposición prolongada la absorción en el intestino (Norseth y Clarckson, 1971 citado en Bernhoft, 2012).

Por otro lado, el mercurio divalente al igual que el mercurio elemental, en la sangre, se adhiere a los grupos sulfidrilos de los eritrocitos y se suspende en el plasma. Este compuesto no cruza la barrera hemato-encefálica eficientemente, pero se acumula en grandes cantidades en la placenta, tejidos fetales y líquido amniótico (Suzuki et al., 1977 citado en Bernhoft, 2012). Se deposita en los túbulos renales, hígado y en cantidades menores, en los tejidos epiteliales, plexo coroideo y testículos (Bernhoft, 2012). Finalmente, la excreción de este compuesto es en gran parte a través de la orina y heces, aunque también se elimina a través del sudor, lágrimas, leche materna y saliva (25%) (Berlin et al., 2007).

6.2.3.2 Efectos a la salud: estudios de dosis-respuesta por la exposición ocupacional al mercurio

Los efectos a la salud como respuesta a la exposición por mercurio se han estudiado ampliamente, sin embargo, de acuerdo con la NIOSH (1991) no se tiene certeza qué efectos a la salud encontrar según el nivel de exposición (Fields et al., 2017), debido a los múltiples factores que se involucran como: la edad de la persona expuesta, tiempo de exposición, método de evaluación, factores de riesgo, tipo de mercurio, etc.

En la tabla 3 se presentan algunos estudios que evaluaron las diferentes dosis a las que son expuestos trabajadores en diferentes ambientes laborales y los efectos a la salud que presentaron. Todos los estudios coinciden en encontrar una correlación positiva entre los niveles de mercurio en orina y los efectos.

Harari y colaboradores (2012) encontraron que en la minería artesanal de oro donde utilizan una amalgama de mercurio para separar el oro de otros elementos, los compradores son quienes están más expuestos a mercurio y quienes obtuvieron los valores más altos de mercurio en orina, ya que diariamente queman las amalgamas para asegurarse que es oro lo que están comprando.

Por otro lado, Gul y colaboradores (2015) encontraron más prevalencia (88%) de enfermedades físicas que de enfermedades neurológicas (53%). El temblor es uno de los signos

más representativos de intoxicación por mercurio y aumenta cuando los individuos presentan un nivel superior de 300 µg/l de mercurio en orina; existe una correlación significativa entre los niveles de mercurio en orina y la prevalencia del temblor, otro factor importante para el aumento de los temblores es la duración de la exposición (Fields et al., 2017).

Tabla 3. Estudios de dosis-respuesta por exposición a mercurio.

Estudio	Tipo de trabajo	Concentraciones de Hg en Orina (promedio/rango)	Efectos a la salud/respuesta
(Harari et al., 2012)	Minería de oro, Ecuador	Mineros: 3.3 (0.23-170 µg/gcr) Comerciantes: 37 (3.2-420 µg/gcr) Control: 1.6 (0.2-13 µg/gcr)	-Neurotoxicidad: Aumento en la frecuencia central del temblor postural, falta de coordinación en las manos).
(Gul et al., 2015)	Extracción de oro por tueste y amalgama	167 µg/l	-Enfermedades físicas: alergias en la piel, disfunción sexual, trastornos estomacales, pérdida de apetito y debilidad muscular. -Enfermedades neurológicas: demencia, vértigo, estrés y temblor.
(INECC, 2020)	Minería primaria de mercurio, Querétaro México	Mina Camargo M1(2017): 263 (69-2599 µg/gcr) M2(2019): 295 (55-4964 µg/gcr) Mina Soledad 106 (10-310 µg/gcr)	-Afectación motora superior (75% de los mineros de Camargo). -Afectación de la motricidad fina (50 % de los mineros de Camargo).
(Fields et al., 2017)	Plantas de cloro-álcali, industria de termómetro, de baterías, de lámparas, minería de Hg, etc.	Categoría Alta ≥200µg/l 447 (3-7100 µg/l)	-Temblor -Problemas con la coordinación motriz: ataxia y anomalías en la marcha -Función sensorial: adormecimiento y hormigueo. -Dificultad para caminar y mantener el equilibrio -Debilidad muscular -Neuropatía periférica -Problemas de la vista
		Categoría Media 100-199 µg/l 145 (2-819 µg/l)	-Problemas con la coordinación -Temblor
		Categoría baja 50-99 µg/l 66 (6-1200 µg/l)	-Temblor -Problemas con la coordinación motriz (tipo cerebelosa)
		<BEI* <50 µg/l 23 (0.3-121 µg/l)	-Debilidad muscular -Problemas para mantener el equilibrio

*BEI= Por sus siglas en inglés índice de Exposición Biológica que indica la concentración bajo la cual ningún trabajador debería presentar efectos adversos (ACGIH, 2012, citado en Fields et al., 2017). **Fuente:** elaboración propia a partir de varios estudios

Las altas concentraciones de vapor de mercurio en un entorno laboral pueden desencadenar una exposición aguda, sobre todo, cuando se dan malas prácticas de higiene entre los trabajadores, generando riesgos laborales. Esto favorece el desarrollo de una intoxicación manifestada en el

cuadro clínico mercurialismo o hidrargirismo (Ramírez, 2008). Este cuadro tiene dos etapas, la primera, absorción o impregnación: los síntomas son más sutiles y no específicos como debilidad, fatiga, pérdida de peso, cefaleas y malestar gastrointestinal, a veces, referido como micro-mercurialismo. La segunda etapa es Intoxicación donde ocurre el temblor fino mercurial por agitación gruesa, eretismo, gingivitis y salivación excesiva, susceptibilidad emocional, también se ha descrito la disfunción inmunitaria. Finalmente puede llegar a la encefalitis y la demencia (Berlín *et al.*, 2007).

Por otro lado, en los compuestos orgánicos del mercurio como el metilmercurio, los efectos adversos sobre el desarrollo neurológico son el criterio más sensible en la valoración de toxicidad, debido a que, este compuesto puede atravesar la barrera placentaria y dañar irreversiblemente el sistema nervioso central del feto (Poulin y Gibb, 2008).

En la tabla 4 se presentan los principales efectos a la salud por la exposición a diferentes formas de mercurio, de acuerdo con Poulin y Gibb (2008), se basan en revisiones sobre la toxicidad de mercurio de diferentes reportes por las agencias de salud (ATSDR, 1999; NRC, 2000; OMS/IPCS, 1990; OMS/IPCS, 1991; OMS, 2003; OMS/IPCS 2004).

Tabla 4. Principales efectos a la salud derivados de la exposición a las diferentes formas del mercurio.

Efectos a la salud	Formas de mercurio	
	Elemental e inorgánico	Orgánico (metilmercurio)
Sistema nervioso	Trastornos neurológicos y conductuales: temblores, eretismo, inestabilidad emocional, insomnio, pérdida de memoria, alteraciones neuromusculares, cefaleas, déficit en las pruebas cognitivas y motoras.	Alteraciones sensitivas motoras: parestesias, neuropatía periférica, temblor, disartria, ataxia cerebelosa y trastornos de la marcha y el equilibrio, disfunciones visuales y auditivas. Posibilidad de daño irreversible en el sistema nervioso central del feto: retraso mental, alteración del desarrollo mental, disartria, alteraciones sensoriales (ceguera y sordera), parálisis, hiperreflexia, ataxia cerebelosa, parálisis cerebral, trastornos del crecimiento físico y deformidades de las extremidades.
Renales	Proteinuria transitoria macroscópica o leve, alteraciones en la excreción urinaria de ácido, hematuria, oliguria e insuficiencia renal aguda.	
Cardiovasculares	Elevación de la presión arterial, palpitaciones y aumento de la frecuencia cardíaca.	Elevación del riesgo de infarto agudo de miocardio, muerte por coronariopatía, riesgo elevado de enfermedades cardiovasculares, aumento de la presión arterial sistólica y diastólica (en niños).

Cutáneos	Erupciones, habones, dermatitis, Acrodermia (contacto profesional o accidental).	
Respiratorios	Tos, disnea, sensación de opresión en el pecho, neumonitis, disminución de la función respiratoria, obstrucción de las vías respiratorias, hiperinsuflación, edema pulmonar, fibrosis por neumonía lobular.	

Fuente: (Poulin y Gibb, 2008).

En cuanto a efectos teratógenos y cancerígenos, la exposición a mercurio elemental o a compuestos inorgánicos no produce cáncer ni teratogenicidad, que si están demostrados en los compuestos orgánicos (Ramírez, 2008).

6.2.3.3 Normatividad del mercurio

En esta sección se presenta la normativa nacional e internacional (Tabla 5) relacionada con los límites máximos de exposición al mercurio, a partir de los cuales se presentan efectos adversos en la salud del humano y en el ambiente. Cabe mencionar, la mayoría de la normativa está dirigida a mercurio total, es decir, no se regulan las cantidades de mercurio orgánico, disponible, residual, sulfuros, etc. En este sentido, existe la posibilidad que aún por debajo de los límites máximos existan casos de toxicidad y contaminación debido a la forma predominante de mercurio; orgánico y disponible.

Tabla 5. Normativa nacional e internacional sobre límites máximos de mercurio.

	Límite	Agencia
Aire (vapor de mercurio)	0.025 mg/m ³ Durante una jornada laboral de 8 horas	Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH por sus siglas en inglés) (OSHA, 2021)
Agua	0.006 mg/L	NOM-127-SSA1-2021
Suelo Agrícola	23 mg/Kg	NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004
Residuos mineros	4 mg/Kg	NOM-157-SEMARNAT-2009

Fuente: elaboración propia.

6.3 EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS

La capacidad de una sustancia para causar riesgo depende de dos componentes principales: la toxicidad de la sustancia y el grado de exposición que la población afectada tiene a la sustancia. Si no existe exposición, no hay riesgo (Evans et al., 2003).

La exposición se define como el contacto de una sustancia con las barreras del cuerpo: piel, boca, fosas nasales y las lesiones (Evans et al., 2003; ATSDR, 2019).

6.3.1 Rutas de exposición

Se entiende por ruta de exposición el camino que sigue un agente químico en el ambiente desde el lugar donde se emite hasta que llega a establecer contacto con la población o individuo expuesto. Mientras que una vía de exposición es el mecanismo mediante el cual la sustancia entra al cuerpo humano ya sea por vía oral por ingestión de comida, agua o suelo; respiratoria por inhalación o dérmica, por contacto con la piel (Evans et al., 2003).

Las rutas de exposición pueden ser completas o potenciales, y pueden presentarse en el pasado, presente y futuro. Una ruta completa (Figura 5) tiene los siguientes componentes: fuente de contaminación, compartimento ambiental, punto de exposición, vía de exposición y población expuesta o potencialmente expuesta. En cambio, una ruta potencial carece de alguno de los componentes anteriores. La fuente de contaminación o fuente primaria es la fuente de emisión del contaminante al ambiente. El compartimento ambiental es el responsable de la contaminación de un punto de exposición, se compone de fuentes secundarias y mecanismos de salida y transporte del contaminante. El punto de exposición es donde ocurre o puede ocurrir el contacto del humano con el compartimento ambiental contaminado. La vía de exposición es el mecanismo por el cual la población expuesta tiene contacto con el compartimento contaminado, tales como ingestión, inhalación y contacto con las mucosas y dérmico. Finalmente, la población expuesta son las personas que tiene contacto con el punto de exposición, o potencialmente expuestas (Miguel, 2008).

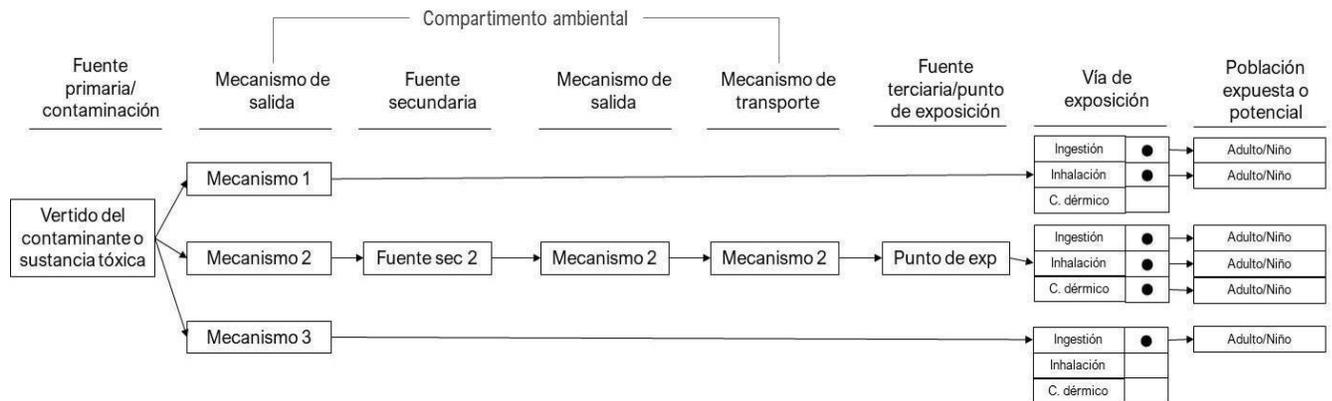


Figura 5. Ruta completa de exposición a un contaminante. Fuente: (Miguel, 2008).

6.3.2 Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición es el proceso de medir o estimar la intensidad, frecuencia, ruta y duración de la exposición o la estimación de la exposición que pudiera ocurrir por la liberación al ambiente de sustancias tóxicas, y se evalúa a fin de identificar la población afectada (McKone y Daniels 1991 citado en Evans et al., 2003; ATDSR, 2019). Se lleva a cabo para cada agente tóxico para cada vía de exposición completa.

Métodos de medición

La evaluación de la exposición puede involucrar métodos directos e indirectos. En el primer caso se obtienen mediciones de exposición personal, las cuales se pueden llevar a cabo de dos maneras: muestreo biológico el cual determina la concentración del tóxico y de sus metabolitos en uno de los medios corporales (sangre, orina, leche materna, cabello, entre otros) o por medio de biomarcadores; es decir, los cambios medibles de origen bioquímico, fisiológico o morfológico que ocurren en el cuerpo por la exposición a una sustancia tóxica. Por ejemplo, niveles bajos de colinesterasa en sangre debido a la exposición a plaguicidas organofosforados. Por otro lado, los métodos indirectos de medición combinan la información de las concentraciones ambientales del tóxico con la información sobre los patrones de actividad de la población expuesta, tomando en cuenta el contacto con la sustancia a través de diferentes vías.

Esta combinación de datos nos permite hacer una estimación de la exposición con la ayuda de un modelo matemático (Evans et al., 2003).

Dosis diaria promedio

Existen varias mediciones de dosis en la evaluación de la exposición, generalmente, en este campo se utiliza la dosis potencialmente administrada; se refiere a la concentración o cantidad de la sustancia que entra en contacto con el organismo por cualquiera de sus vías (Evans et al, 2003). La manera más común de expresar la magnitud de la exposición es a través de la dosis-respuesta, mediante la dosis diaria promedio (ADD por sus siglas en inglés), con unidades de masa del contaminante contactada (o absorbida, en el caso de exposición por contacto dérmico) por kilogramo de peso corporal y por día (Miguel, 2003).

Fórmula genérica de cálculo de las dosis diarias de exposición:

Ecuación 1

$$ADD = \frac{C * I * EF * ED}{BW * AT}$$

Donde:

C: Concentración del contaminante

I: Tasa de ingesta (L/día, etc.)

ED: duración de la exposición (años)

BW: peso corporal (Kg)

AT: Tiempo promedio, promedio sobre el cual se promedia la exposición (días). Para contaminantes no cancerígenos, se considera, por defecto que $AT=365*ED$; para contaminantes cancerígenos, el tiempo de promedio se considera que es una vida completa (70 años por defecto), es decir, $365*70 = 25.55$ días.

La magnitud de la dosis administrada depende de la concentración, la duración y la frecuencia de exposición. Se clasifican de acuerdo con el periodo de exposición; crónica: exposiciones que duran entre 10% y 100% del tiempo de vida; sub-crónica: de corta duración, menores al 10% del tiempo de vida y aguda: un día o menos sucede en un único evento (Evans et al., 2003).

7 DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

Para fines de esta investigación el sitio de estudio será llamado Comunidad Ramírez por petición explícita de los participantes en mantener la confidencialidad de los datos, su ubicación se encuentra al Sur de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, en el estado de Querétaro, región donde se distribuye la minería de mercurio (Figura 6). Con base en los registros oficiales, existen aproximadamente 96 yacimientos donde se extrae Hg y otros minerales, los cuales se encuentran en los municipios de Peñamiller, Cadereyta de Montes, Pinal de Amoles, San Joaquín y Tolimán (SGM, 2021).

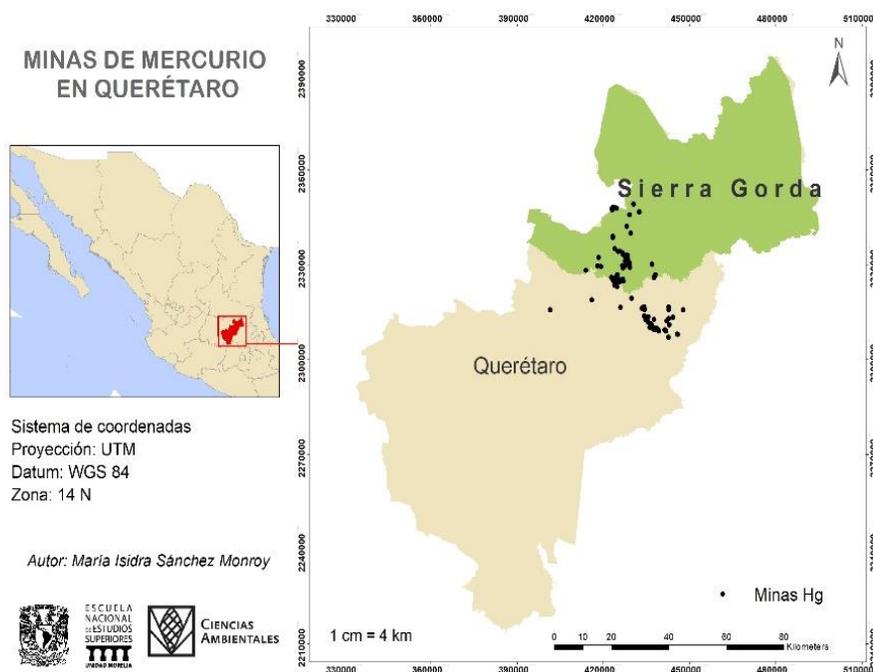


Figura 6. Minas de mercurio en el estado de Querétaro. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2021).

7.1 Caracterización Biofísica

La fisiografía de la comunidad está compuesta de roca sedimentaria marina y forma sierras alargadas con orientación noroeste-suroeste, fuertemente plegadas y fracturadas, lo que originó importantes elevaciones y escarpes, dando como resultado una topografía ampliamente accidentada. Tiene una altitud de 2600 msnm y sus sierras están formadas por roca caliza gris a negra, estratificación delgada con lentes de pedernal negro y en ocasiones de color blanco,

bastante plegadas con un contenido alto de pequeñas fracturas rellenas de calcita blanca y microcristalina (CRM, 2004).

En la comunidad existen dos tipos de suelo: luvisol y leptosol, siendo el segundo predominante (INEGI, 2022). Este tipo de suelo se caracteriza por ser muy delgado, pedregoso, poco desarrollado y pueden contener una gran cantidad de material calcáreo, además están asociados a sitios de compleja orografía. Se encuentran en todos los tipos climáticos y son comunes en las zonas montañosas. Su potencial agrícola está limitado por su poca profundidad y alta pedregosidad, pues los hace difíciles de labrar, aunado a esto el calcio que contienen puede inmovilizar los nutrientes minerales (FAO, 2015). Por lo que el uso del suelo, en la comunidad, mantiene su vegetación original; bejucos y bosque de pino, y en menor proporción se encuentran plantaciones forestales (INEGI, 2016).

La comunidad pertenece a la Región Hidrológica Pánuco RH26, subcuenca Río Extórax, microcuenca Orduña. El arroyo Orduña nace de escurrimientos al norte provenientes de la sierra que forma el poblado Mesa del Niño para posteriormente unirse al arroyo culebras en la cañada el Ángel. Por otro lado, tiene dos tipos de climas Templado Subhúmedo (Cw2/Cw0) y Semiárido Templado (Bs1Kw), ambos con una temperatura media anual de 12°C y 18°C, la temperatura del mes más frío es de -3°C a 18°C y la temperatura del mes más caliente es <22°C con lluvias en verano. La precipitación media anual de la región es de 806.6 mm (CRM, 2004).

7.2 Caracterización mineral

El total del territorio de la comunidad se encuentra concesionado por diferentes compañías mineras que extraen los principales minerales de la región; oro, plata, cobre, mercurio, minerales polimetálicos (POT) y toda sustancia posible (TSP) o concebible. Son 20 concesiones vigentes en la comunidad (ver Anexo 1). La concesión más grande es por Industrial Minera México S.A de C.V (7,223.6449 ha) de grupo México, seguido de Antimonio de México S.A de C.V (2,236.0714 ha) y por pequeños concesionarios (3-100 ha) que extraen principalmente mercurio (Secretaría de Economía, 2019).

De acuerdo con el Concejo de Recursos Minerales (CRM) la producción minera principal de la comunidad es mercurio. Las obras mineras en esta localidad son tiros, socavones inclinados y pozos, desarrollados sobre fracturas de calcita blanca ($\text{CaCO}_3 >25\%$), hematita (Fe_2O_3 0.1-1%) y diseminación pobre a media de cinabrio (HgS 1-10%). Algunas de estas obras mineras son: Rica del Niño, Palo Santo, La Garita, El Carrascal, La Lana, La Guadalupe, Socavón el Sótano, Tres Flores, Camino al cielo y La Mora. La producción histórica de mercurio por mina a la semana fue de 20 Kg, destacando la mina de La Lana y La Guadalupe mismas que lograron una producción de toneladas por semana (CRM, 2004). En la figura 7 se indica la distribución de bocaminas, hornos de beneficio y jales de mercurio en la comunidad. Existen alrededor de 22 bocaminas de mercurio de las cuales 8 están activas y 14 abandonadas, para 2019 se contaban con 18 hornos artesanales de beneficio y, generalmente, por cada bocamina y horno se encuentran residuos mineros apilados a los que localmente se les llama *rodaderos*.

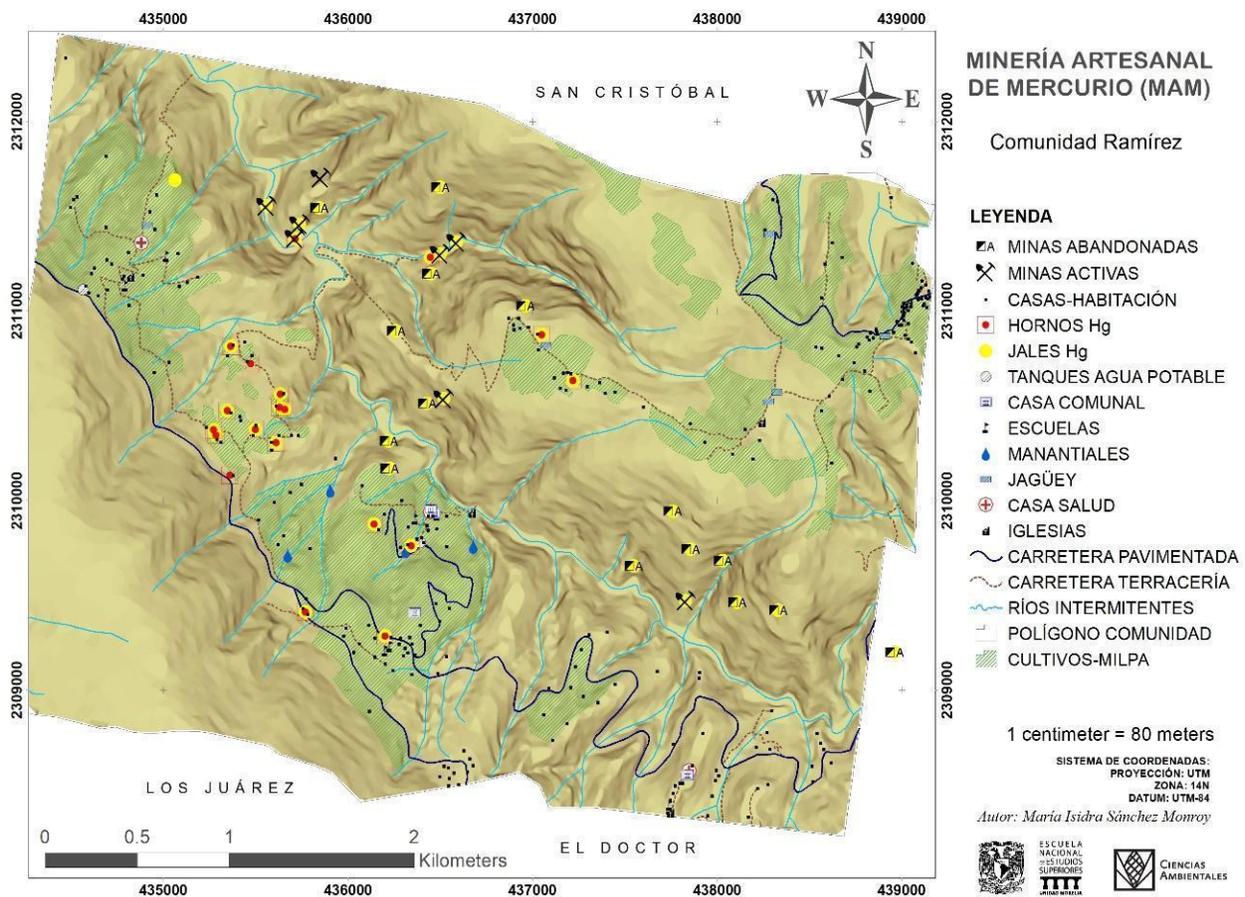


Figura 7. Distribución de minas, hornos artesanales de beneficio y apilamiento de residuos mineros.
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el Concejo de Recursos Minerales (CRM) la producción minera principal de la comunidad es mercurio. Las obras mineras en esta localidad son tiros, socavones

7.3 Sistema social

El sistema social (Figura 8) de la comunidad se compone de siete subsistemas: organización social, salud, educación, actividades económicas, servicios, tenencia de la tierra y festividades.

La comunidad está conformada por 332 habitantes, de los cuales 164 son mujeres y 168 hombres (SEDESOL, 2013). Está organizada en 8 barrios. Tiene una extensión de 1678 ha y la propiedad social total es de uso común (RAN, 2018).

La organización social incluye a la asamblea comunal y la subdelegación municipal. Las comunidades agrarias fueron creadas en la época de la colonia por medio de cédulas reales donde se otorgaban tierras a los pueblos originarios para el asentamiento humano, parcelas de labor y tierras de uso común. En la actualidad por medio de la ley agraria del Estado Mexicano no se permite que las tierras de labor sean tituladas de manera individual, aunque así se trabajen, tampoco se pueden vender (Morett-Sánchez & Cosío-Ruiz, 2017). La autoridad máxima de las comunidades agrarias es la Asamblea Comunal por medio de la cual todos los comuneros reconocidos se reúnen cada dos meses para generar acuerdos y exponer inquietudes en asuntos relacionados con la gestión del agua, las minas, las tierras, el ganado, apoyos gubernamentales al campo y para elegir representantes. Los órganos de representación de la Asamblea Comunal son el comisariado de bienes comunales y el consejo de vigilancia. Por otro lado, la subdelegación se encarga de gestionar apoyos gubernamentales estatales o municipales para el desarrollo de la comunidad. El comité se elige cada 3 años por la mayoría de los votos de los ciudadanos que se encuentren presentes y se compone por un presidente, secretario, tesorero y dos vocales.

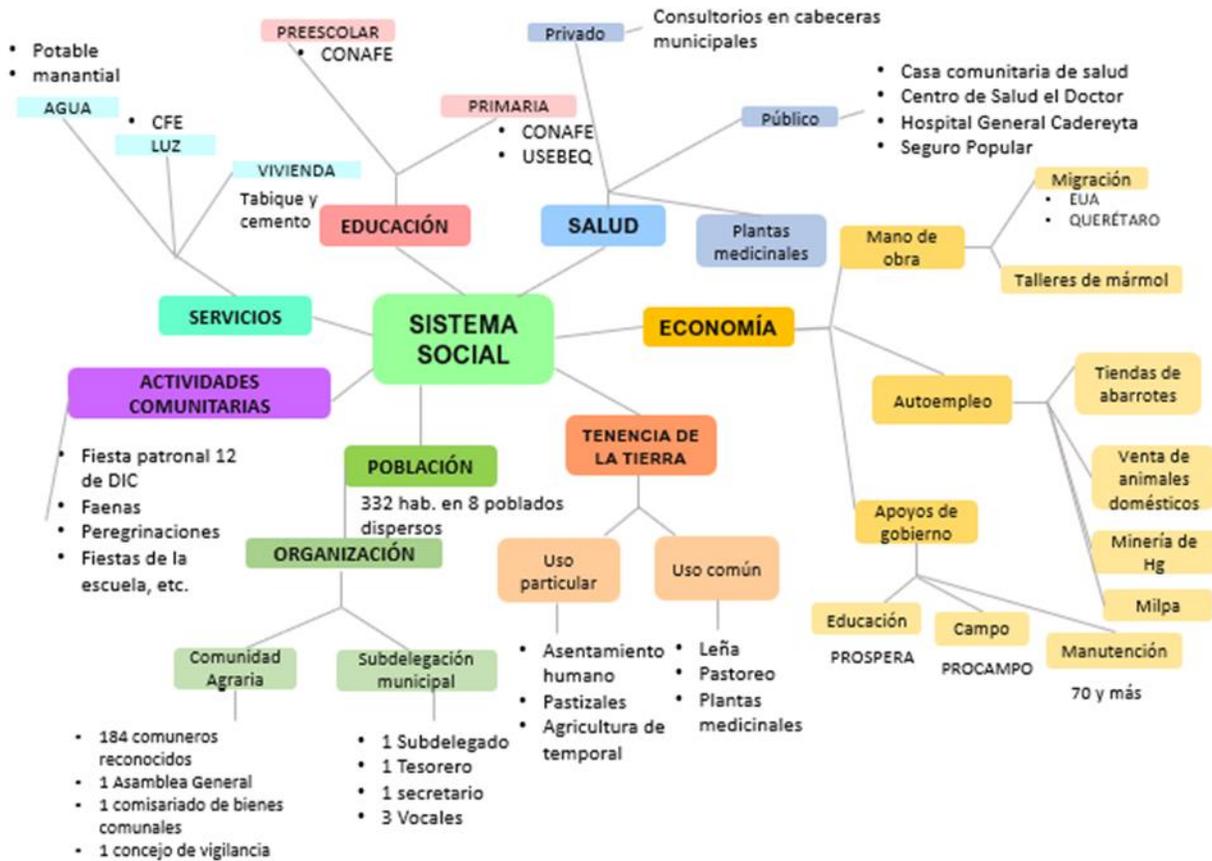


Figura 8. Diagrama del sistema social del sitio de estudio. **Fuente:** elaboración propia a partir de recopilación de datos en campo e información de (SEDESOL, 2013).

8 METODOLOGÍA

En este proyecto de investigación, la metodología consistió en dos etapas (Tabla 6). La primera relacionada con el prediagnóstico, centrado en la caracterización física, social y mineral del sitio de estudio para lo cual se realizó una amplia revisión bibliográfica, visitas a la comunidad para la construcción histórica del proceso minero y reuniones con la asamblea comunal para la autorización del proyecto, a su vez esto sirvió como el consentimiento informado de los participantes. Se hicieron 3 recorridos de campo para el mapeo de apilamiento de residuos mineros en la comunidad, ubicación de los hornos de beneficio artesanales y minas activas y abandonadas; producto de lo anterior se obtuvo la cartografía (Figura 7) de la distribución de estos elementos como parte de la Minería Artesanal de Mercurio (MAM) en la comunidad. En esta etapa, también se identificaron los potenciales sitios de muestreo para la cuantificación de mercurio en diferentes fuentes de exposición ocupacional. Por otro lado, utilizando observación no participante y participante en eventos organizativos de la comunidad como las faenas se logró establecer comunicación con los actores claves quienes por método bola de nieve sugirieron a sus compañeros como posibles participantes de la investigación.

En la etapa II (diagnóstico) se utilizaron métodos e instrumentos de análisis cualitativo: entrevistas individuales semiestructuradas, grupos focales y observación participante y no participante. Para obtener las concentraciones ambientales de mercurio se recurrió al método cuantitativo de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros (EAA-GH), que en apartados más adelante se detallan los procedimientos utilizados.

La MAM es una actividad de alta variación estacional en la comunidad, esto influyó en el número de entrevistas y muestras ambientales obtenidas. El trabajo de campo se llevó a cabo en el periodo 2018-2020; al inicio de este (finales de 2018) se encontraban trabajando 40 mineros, en la actualidad hay aproximadamente 10 trabajadores mineros, no obstante, la dinámica cotidiana permite que otros trabajadores se incorporen dependiendo del precio comercial del mercurio. El número de hornos artesanales es proporcional al número de gambusinos, aunque algunos se organizan en grupos de aproximadamente 3 mineros y procesan su mineral en un horno.

METODOLOGÍA		Etapas		Herramientas y técnicas	Actividades de recolección de datos/muestreo	Análisis de datos	¿Para qué?/Objetivos		
Etapas	Etapas I: Pre-diagnóstico	Revisión bibliográfica.	Sistematización de la información.				1. Caracterización física, social y minera del sitio de estudio.		
		Diálogo con asamblea común	Asistencia a la asamblea comunal y presentación del proyecto.				2. Obtener autorización de la comunidad para llevar a cabo el estudio en su territorio		
		Identificación actores clave.	Asistencia a eventos sociales de la comunidad, aplicación de entrevistas informales y selección de participantes por el método bola de nieve.				3. Obtener los sitios potenciales para el muestreo.		
		Mapeo de apilamientos de residuos mineros, hornos, minas activas y abandonadas.	Recorridos en campo y toma de coordenadas.	Elaboración de un mapa con la distribución de minas, residuos mineros y hornos de la comunidad en el programa ArcGis 10.5			1. Caracterizar la MAM: antecedentes, actores y procesos.		
		Entrevista individual semi-estructurada: Diseño y análisis de entrevistas semi-estructuradas individual o en grupo de Bauer y Gaskell (2000).	Diseño de entrevistas y grupo focal	Transcripción de las entrevistas, notas y diario de campo			2. Identificar las rutas y vías de exposición ocupacional al mercurio en la MAM.		
	Etapas II: Diagnóstico	Grupo focal	Aplicación a trabajadores mineros retirados n=9	Aplicación a trabajadores mineros activos n=10	Clasificación de la información por códigos y familias con ayuda del Software de Análisis Cualitativo de datos (CAQDAS), es este caso ATLAS.ti®.			3. Evaluar la percepción ocupacional del riesgo en la MAM.	
		Observación participante y no participante	Aplicación a trabajadores mineros activos n=2	Aplicación a trabajadores mineros activos n=2	Se obtuvieron 5 familias: antecedentes, actores, procesos, exposición al mercurio y percepción del riesgo sobre la minería. Cada una de estas está compuesta de sub-familias y códigos.				
			Tipo de muestreo: exploratorio		Equipo:				
			Distribución de los puntos de muestreo: dirigido			Espectrómetro de Absorción Atómica Perkin-elmer 1100 B con un generador de hidruros MHS-10			
			Muestra: simple						
		Tipo muestra	Normativa muestreo	n	Tratamiento	*Análisis	4. Cuantificar los niveles de mercurio total en fuentes de exposición ocupacional:		
	Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros (EAA-GH)	Sólido: polvo de una detonación minera y residuos mineros	NMX-AA-132-SCFI-2016	4	1. TAMIZAR: desde malla 44 µm hasta 4.76 2. PROCESADO: con ácido nítrico concentrado 3. FILTRADO: papel filtro #41	Se seleccionaron muestras con tamaño de partícula de 0.044 a 0.42 mm y se aplicaron las técnicas MEB Y EAA-GH.	polvos generados en una tronadura, residuos mineros (escorias), agua de manantial y vapores de mercurio en hornos de beneficio artesanales.		
		Líquido: manantial para consumo humano y de ganado	NMX-AA-051-SCFI-2016	1	1. PRESERVAR a pH <2 2. FILTRADO: en papel filtro #41				
		Gas: vapor de mercurio en condensadores artesanales	Norma 6009 NIOSH	2	1. BURBUJEAR el vapor de los hornos en 25 ml de HN03 y preservar en pH <2				

* El análisis estadístico de resultados consistió en aplicar estadística descriptiva; medidas de tendencia central y dispersión de datos.

Tabla 6. Metodología empleada en la investigación para cumplir los objetivos planteados. **Fuente:** elaboración propia

8.1 Métodos cualitativos

Se aplicaron las herramientas cualitativas: entrevistas individuales semiestructuradas y grupos focales o entrevistas en grupo; el diseño, aplicación y análisis de éstas se fundamentó en el análisis narrativo y secuencial que proponen Bauer y Gaskell (2000) en su libro *Qualitative researching with text, image and sound*. También, se realizó observación participante y no participante para conocer el proceso minero desde la extracción hasta el beneficio, así como las rutas y vías de exposición en la minería artesanal. La aplicación de estos instrumentos se realizó en dos fases: en la primera se aplicaron 10 entrevistas históricas a mineros retirados entre los 58 y 88 años de edad, con la finalidad de abordar los antecedentes de la minería en la comunidad. En la segunda fase, se aplicaron 9 entrevistas a mineros vigentes entre los 17 y 57 años para abordar de manera general la situación actual de la minería en la comunidad: procesos, percepción del riesgo, condiciones laborales, etc. De forma paralela, se aplicaron dos grupos focales de 7 mineros vigentes cada uno, con el mismo objetivo que las entrevistas individuales.

De acuerdo con la técnica de entrevista semiestructurada que propone Bauer y Gaskell (2000) se consideraron las siguientes fases para llevar a cabo una entrevista ya sea de manera individual o en grupo (grupo focal):

Preparación de la guía de temas: se elaboró un guión de temas y preguntas clave (Anexo 2,3 y 4) con base en los objetivos de investigación y la observación participante. Los temas fueron: saberes locales sobre la historia de la minería en la comunidad y alrededores, condiciones laborales: horarios, salarios y protección personal, actividades mineras, venta de mineral, organización laboral, procesos y percepción sobre los riesgos a la salud de la minería artesanal.

Selección de participantes: el propósito de la investigación cualitativa no es contabilizar el número de opiniones o personas, sino más bien explorar la gama de opiniones y las diferentes representaciones o visiones (Jovchelovitch y Bauer, 2000). En este sentido el número de entrevistas que se debe realizar en un estudio cualitativo está dado por lo que se conoce como punto de saturación. Este se refiere al momento en que una entrevista ya no ofrece nuevos datos a los recolectados en las entrevistas previas (Díaz *et al.*, 2013). Para este estudio, el punto de saturación se logró con 10 participantes para las entrevistas históricas y 9 sobre la minería en la actualidad, estas cifras guardan proporción con la cantidad de habitantes dedicada a la minería en la comunidad.

Los participantes fueron seleccionados mediante el método no probabilístico de conveniencia; es decir participantes que trabajaron en algún momento de su vida como mineros. Una vez que se identificó el primer participante por método bola de nieve se seleccionaron los demás.

Selección del método de entrevista: las entrevistas semiestructuradas individuales se aplicaron a domicilio, mientras que los grupos focales en las minas donde laboran los mineros.

Conducción de la entrevista y grupo focal: en esta etapa se inició la entrevista con la presentación, objetivo del estudio, la confidencialidad de sus datos, así como la disponibilidad del estudio para que consulten sus experiencias y saberes compartidos. Se obtuvo el consentimiento informado de los participantes. Al finalizar la entrevista se preguntó si consideraban pertinente aportar algo más y se agradeció su participación.

Análisis de entrevistas, grupos focales y notas de observación.

Se hizo la transcripción de grabaciones, notas y descripciones, la cual incluyó todas las palabras habladas, pero no las características paralingüísticas. Posteriormente, se codificó con ayuda del Software de Análisis Cualitativo de Datos (CAQDAS siglas en inglés), ATLAS.ti® y Excel.

8.2 Métodos cuantitativos

La cuantificación de mercurio total en muestras ambientales: polvo producido en una voladura, residuos mineros, vapor emitido de los condensadores artesanales y en un manantial se realizó con el método Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros) (EAA-GH) en el Laboratorio de Contaminación y Salud Ambiental en la Escuela Nacional de Estudios Superiores, unidad Morelia-UNAM. A continuación, se detallan las fases de muestreo, tratamiento de las muestras y su análisis químico. Adicionalmente, para observar la presencia de mercurio en las muestras de suelo se utilizó la técnica de Microscopía electrónica de Barrido (MEB).

Materiales

Tabla 7. Materiales, equipo, sustancias y reactivos utilizados en la parte cuantitativa de la investigación.

Equipo	Material de laboratorio	Sustancias y reactivos
1. Espectrofotómetro Perkin Elmer 1100B	1. Piceta	1. HNO ₃
2. Generador de Hidruros MHS10	2. Botes plásticos 1l y 250 ml	2. Agua destilada
3. Muestreador de partículas de bajo volumen (CiB)	3. Tubos de ensayo	3. NaBH ₄
4. Microscopio Electrónico de Barrido JSM-IT300	4. Papel filtro #41	4. NaOH
5. GPS	5. Matraces volumétrico 25 ml, 125 ml	5. KMnO ₄
6. pHmetro Hanna pHep tipo pluma	6. Pipetas 2 ml	6. HCl
7. Agitador	7. Gradillas	7. Soluciones Stock
8. Mezcladora	8. Tamiz No 4 a 325	
	9. Balanza granataria y analítica	
	10. Bolsas Ziploc	
	11. Agitadores magnéticos	
	12. Vasos de precipitado	
	13. Probetas 10 ml	
	14. Vidrios reloj	
	15. Embudos	
	16. Matraz 50 ml	

Fuente: elaboración propia.

Muestreo

Se recolectaron muestras ambientales de residuos mineros, vapor emitido en condensadores artesanales y agua de manantial. Tomando en cuenta el tamaño de los sitios de exposición (<0.1 ha), se realizó un muestreo de tipo exploratorio, es decir, se colectaron muestras simples en cada punto de muestreo; una muestra por sitio. La distribución de los puntos de muestreo fue dirigida. El criterio general que se estableció para dirigir el muestreo fue: sitios que constituyeran una fuente de exposición al mercurio donde los mineros estuvieron en contacto con el contaminante. La cantidad de muestras dependió de la disposición de los mineros en participar y del acceso a las minas.

Muestras sólidas: se obtuvieron tres muestras simples de residuos mineros (escorias) de hornos diferentes (Figura 9) y una muestra simple de polvos en el interior de una mina después de una detonación minera. La toma de muestras sólidas se fundamentó en la Norma Mexicana **NMX-AA-132-SCFI-2016** donde se establecen los criterios para la toma y manejo de muestras para la identificación de metales y metaloides. En el caso de los residuos mineros se colectó al menos 1 kg de material, el cual se extrajo de los primeros 5 cm de los residuos recientes (1 a 8 días después de que el mineral de mena es procesado). Por otro lado, en el interior de la mina,

la muestra se colectó después de un periodo aproximado de 24 horas de una detonación, de igual manera se colectó al menos 1 Kg de mena de los primeros 5 cm. Las muestras se almacenaron y transportaron en bolsas de polietileno con sello hermético “zipper”.



Figura 9. Muestra de escorias de un horno artesanal. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

Muestras de vapor: se obtuvieron 2 muestras simples del volumen de vapor emitido en los condensadores artesanales por una hora durante el proceso de quema.

En México aún no se cuenta con un marco legal para regular el muestreo de emisiones de mercurio en forma de vapor. Sin embargo, el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad ocupacional (NIOSH por sus siglas en inglés) mediante la norma 6009 regula este proceso. En este caso, se utilizó un muestreador de partículas de bajo volumen (CiB) para capturar el volumen del vapor y burbujearlo en 4 ml de ácido nítrico concentrado (Figura 10), con la finalidad de fijar y preservar el mercurio en ácido para su análisis.

Las muestras se conservaron en frascos de polietileno sellados herméticamente a una temperatura de 4°C. El tiempo entre el momento de muestreo y el análisis no excedió los 30 días.



Figura 10. Condensador artesanal y esquema del funcionamiento del muestreador de bajo volumen para obtener las muestras de vapor de mercurio. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

Muestras líquidas: la colecta de muestras de agua se fundamentó en la norma mexicana **NMX-AA-051-SCFI-2016**, la cual refiere el análisis de agua para la determinación de metales pesados por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y tratadas.

En frascos de polietileno se colectaron 4 muestras simples de 500 ml cada una, de un manantial superficial (Figura 11), se acidificaron a un $\text{pH} < 2$ y se almacenaron a 4°C hasta su análisis.



Figura 11. Muestreo de agua de manantial. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

Tratamiento de las muestras

Mercurio total

Muestras sólidas

De acuerdo con la NMX-AA-132-SCFI-2016 para analizar las muestras con la técnica de *Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros (EAA-GH)* se requiere del tratamiento de las muestras, sobre todo de las sólidas. En este caso, la primera etapa fue el tamizado de las muestras de suelo, para lo cual se homogeneizaron y se extrajeron 500 gramos de cada una, posteriormente se cribaron utilizando diferentes tamaños de malla; de $44\mu\text{m}$ - 4.76 mm. Con la finalidad de analizar la concentración de mercurio total en los tamaños más pequeños de partículas que fueron los intervalos $\geq 44\mu\text{m}$ a $<74\mu\text{m}$ y $\geq 74\mu\text{m}$ a 0.42 mm.

Después, las muestras se procesaron con ácido nítrico concentrado. Nuevamente, las muestras se homogeneizaron y se extrajo 1 g. de cada una. Se les agregó 10 ml de HNO_3 concentrado (65.7%) y se aforaron a 50 ml con agua destilada. Enseguida se agitaron por 2 horas a temperatura ambiente; para extraer el mercurio lixiviable y evitar su evaporación. Finalmente se filtraron en papel filtro Whatman #41, se etiquetaron y almacenaron en frascos de polietileno a 4°C .

Muestras de vapor y agua

Las muestras de vapor de los condensadores artesanales y agua de manantial, luego de ser colectadas se preservaron con ácido nítrico para su análisis. Las muestras de agua de manantial fueron filtradas para eliminar las impurezas.

Mercurio soluble en agua

Adicionalmente al tratamiento para extraer el mercurio total, se cuantificó la fracción de mercurio soluble en agua de una muestra de polvo producido en la voladura y una de residuos mineros, en los tamaños más pequeños de las partículas tamizadas; intervalos $\geq 44\mu\text{m}$ a $<74\mu\text{m}$ y $\geq 74\mu\text{m}$ a 0.42 mm de cada muestra. Para esto, las muestras se homogeneizaron y se extrajo 1 g de cada una. Se les agregó 50 ml de agua destilada. Enseguida se agitaron por 2 horas a temperatura ambiente y se filtraron en papel filtro Whatman #41, se etiquetaron y almacenaron en frascos de polietileno a 4°C .

Etiquetado

De esta sección en adelante nos referimos a las muestras de acuerdo con las siguientes etiquetas.

Tabla 8. Etiquetado de las muestras para analizar.

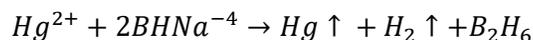
Fracción de Hg	Fuente	Tamaño de partícula (mm)	Etiqueta
Hg-Total	Residuos mineros (escorias)	≥ 0.044 a <0.074	HE-1
			HB-1
			HP-1
		≥ 0.074 a <0.42	HE-2
			HB-2
			HP-2
	Polvos producidos en una voladura (mena)	≥ 0.044 a <0.074	M-1
		≥ 0.074 a <0.42	M-2
	Vapor de mercurio emitido en condensadores artesanales		HE-VHg
			HB-VHg
Agua de manantial		AM-1	
		AM-2	
		AM-3	
		AM-4	
Hg-Soluble en agua	Residuos mineros (escorias)	≥ 0.044 a <0.074	HE-1W
		≥ 0.074 a <0.42	HE-2W
	Polvos producidos en una voladura (mena)	≥ 0.044 a <0.074	M-1W
		≥ 0.074 a <0.42	M-2W

Notas: descripción de etiquetas **H:** horno de donde se extrajeron los residuos mineros sólidos y las muestras de vapor, **E, B y P** inicial del nombre del dueño del horno, **1** rango tamaño de partícula (≥ 0.044 a <0.074 mm), **2** rango de tamaño de partícula (≥ 0.074 a <0.42 mm), **M** mina de donde se extrajeron las muestras de polvo de mena, **VHg** muestra de vapor, **AM-1 a 4** muestra de agua de manantial, **W** muestras que fueron procesadas en agua. **Fuente:** elaboración propia.

Análisis

Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros (EAA-GH).

Todas las muestras se analizaron con la técnica EAA-GH que consiste en reducir el mercurio divalente a mercurio metálico (abajo se indica la reacción), para luego con un gas inerte, en este caso Nitrógeno, ser arrastrado, teniendo lugar la detección por absorción atómica a una longitud de onda de 253.7 nm (Pehne *et al.*, 2010).



Antes de la lectura de las muestras se procedió a la calibración del equipo (Anexo 5 curva de calibración) y posteriormente cada muestra se analizó por triplicado.

Microscopía electrónica de Barrido (MEB)

Se analizaron 4 muestras sólidas de residuos mineros (HE-1, HE-2) y de polvos de una voladura (M-1, M-2) con la finalidad de observar la forma y tamaño de las partículas de mercurio. Para esto se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido JSM-IT300. La técnica MEB permite la observación de la superficie de los materiales orgánicos e inorgánicos, obteniendo imágenes de hasta un millón de aumentos y una resolución de 3 nm a presión variable. El funcionamiento se basa en la incidencia de un haz electrónico sobre una muestra conductora. Este haz se enfoca en un punto en el que se lleva a cabo un barrido de la superficie. El resultado de dicha interacción es la emisión de diversas señales: electrones retrodispersados, electrones secundarios, rayos X, etc. Éstas señales son captadas por detectores que los procesan, posteriormente se amplifican y se transforman en señales eléctricas que son codificadas como píxeles en un monitor (Lentes *et al.*, 2011).

Análisis estadístico de resultados

Se aplicó estadística descriptiva; promedios y desviación estándar con ayuda del programa Excel.

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se detallan los resultados obtenidos en esta investigación y se discuten a la par los argumentos relacionados con cada uno de estos hallazgos. De esta manera se pretende facilitar la comprensión del lector puesto que separar en este trabajo cada resultado de su discusión haría que pudiera perderse el hilo conductor.

9.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MINERÍA ARTESANAL DE MERCURIO

En este apartado se presentan los resultados del objetivo uno, incluye la caracterización de la Minería Artesanal de Mercurio en la comunidad (MAM); 9.1.1 Antecedentes, 9.1.2 Actores y 9.1.3 Procesos con la finalidad de conocer de una manera detallada esta actividad e indirectamente los factores que inciden en la exposición ocupacional al mercurio y cómo se presenta en el tiempo.

9.1.1 Antecedentes de la minería en la comunidad

La historia de la minería de mercurio en la comunidad se describe en cinco momentos principales (Figura 13): minería prehispánica: elaboración de *Chocolones*, ii) sociedades mineras: reapertura de *Chocolones*, iii) concesiones o denuncios mineros: *el jefe y la raya*¹, iv) contratos típicos mineros y v) la minería en la actualidad: grupos familiares mineros. Cada uno de éstos presenta cambios ya sea en la organización social para trabajar las minas, el proceso de trabajo o en las herramientas e insumos utilizados para dicha actividad.

¹ La Raya en la comunidad es un salario. En este caso percibido en la minería durante la época de las concesiones.

9.1.1.1. Minería prehispánica: Elaboración de Chocolones

Sabemos que la minería prehispánica de mercurio en la Sierra Gorda de Querétaro tuvo lugar del año 300 a.C y 1500 d.C. por diferentes grupos que extraían principalmente cinabrio para utilizarlo en sus diferentes rituales y ceremonias (Mejía, 2016; Langenscheidt, 1986 citado en Trejo Pérez, 2011). El cinabrio, por su pigmentación roja, se usaba como símbolo de estatus, reservado para la élite. Otro uso muy frecuente era en los entierros donde simbolizaba el renacimiento de los muertos (Gazzola, 2022).

Esta época de la minería en la comunidad es identificada, sobre todo, por los mineros contemporáneos quienes reconocen que “alguien” diferente a la generación de sus abuelos y papás trabajó las minas; los llaman *Aztecas*². Este grupo dejó en los territorios de la comunidad todas las obras mineras incipientes, conocidas como *Chocolones*.

La obtención de cinabrio por los *Aztecas* fue mediante el uso de instrumentación rudimentaria como mazos de piedra (Figura 12) y cuñas de hueso. En este sentido, mineros locales mencionan que cuando exploraron las minas por primera vez, después de los *Aztecas*, encontraron diversos instrumentos como *Pishcadores*³ utilizados por sus antepasados en la minería.

En la comunidad, la minería prehispánica representa una herencia de conocimiento y de modo de vida que dejaron los antepasados. Hoy día es parte de la economía, paisaje e historia de la comunidad.



Figura 12. Marro de piedra utilizado en la época prehispánica. Identificado por un minero de la comunidad. Foto por María Isidra Sánchez Monroy

² El que los mineros locales utilizaran la denominación Azteca en este contexto no hace referencia a la civilización prehispánica del mismo nombre.

³ Instrumentos elaborados con huesos de animales que utilizaban los grupos prehispánicos para extraer el cinabrio.

9.1.1.2. Sociedades mineras: Reapertura de Chicolones

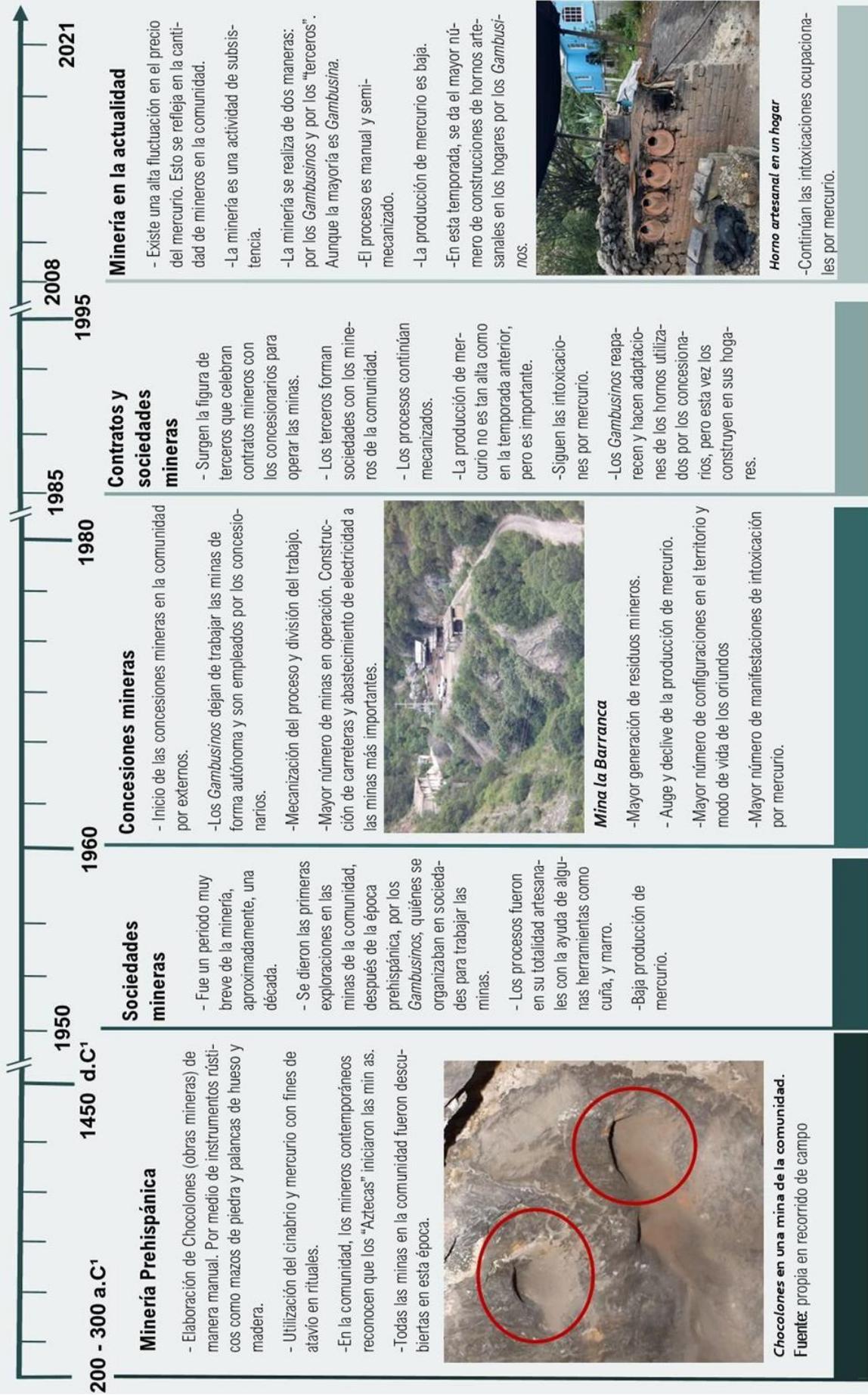
En esta temporada, que duró aproximadamente una década (1950-1960), la finalidad de extracción de cinabrio cambia radicalmente; de considerar este mineral con un valor intrínseco para los rituales en época prehispánica, pasó a tener un valor económico.

Antes de la reactivación de la minería en la comunidad los habitantes migraban a otros estados y municipios a emplearse como mineros, principalmente, a la mina de Santo Entierro y Maravilla en San Cristóbal en el municipio de San Joaquín y a la mina del Soyatal en Pinal de Amoles. Otras de las actividades de subsistencia en la comunidad fueron la siembra, crianza de animales domésticos y el comercio.

Los mineros, también llamados *Buscones* o *Gambusinos* eran habitantes de la comunidad. Los primeros *Gambusinos* fueron los señores Manuel Ledesma y Guadalupe Herrera quiénes encontraron y destaparon el *Chocolón* de La Barranca o Guadalupe; la primera mina que se trabajó después de los grupos prehispánicos y por tanto la más antigua en la comunidad. Otro pionero fue Don Lole Morán a quién se le atribuye el descubrimiento de la veta “La Perla”, mina que se ubica en el territorio del ejido de San Joaquín. Descubrir estas obras mineras dependía de las características físicas del mercurio y del conocimiento empírico que adquirían los *Gambusinos* al haber trabajado en otras minas. Es así como los primeros mineros contaban que: “*por la superficie de la tierra se veían pequeñas bolitas líquidas de color plateado (mercurio legítimo o azogue), lo cual nos indicaba que estaban cerca de un Chocolón*” (P5GSta, 2018).

Encontrar el *Chocolón* de la Barranca fue, sin duda, el parteaguas para que en la comunidad se iniciara la búsqueda de *Chicolones* y con ello la minería de mercurio como actividad de subsistencia.

HISTORIA DE LA MINERÍA DE MERCURIO EN LA COMUNIDAD



¹Fuente: (Mejía y Herrera, 2006).

Figura 13. Antecedentes de la minería de mercurio en la comunidad. Desde la minería prehispánica hasta nuestros días. Fuente: elaboración propia.

Años después, en la década de 1950 los *Gambusinos* de la comunidad como Don Lole Morán se organizaron en sociedades para trabajar las minas; sin la figura de un patrón. En este periodo de la minería, una sociedad minera funcionaba como un convenio en el cual todos trabajaban para todos; se repartían los gastos de los insumos y las ganancias en partes iguales. Sin intermediarios, con venta directa al comprador de mercurio. Se trata de un mercado sumamente opaco debido a su condición de ilegalidad por lo que se desconoce el perfil de los compradores, así como el uso para el que compran el mercurio. No obstante, se sospecha que se destina a la minería de oro artesanal. Además de las sociedades, había *Gambusinos* que trabajaban *por su cuenta*, es decir de manera individual.

La minería fue totalmente *manual* o *artesanal* al igual que en la minería prehispánica; sustituyendo la piedra por el hierro. Además, los *Gambusinos* realizaban desde la exploración hasta la venta. El proceso para la obtención de mercurio en esta temporada consistió en 9 etapas como se muestra en la figura 14.

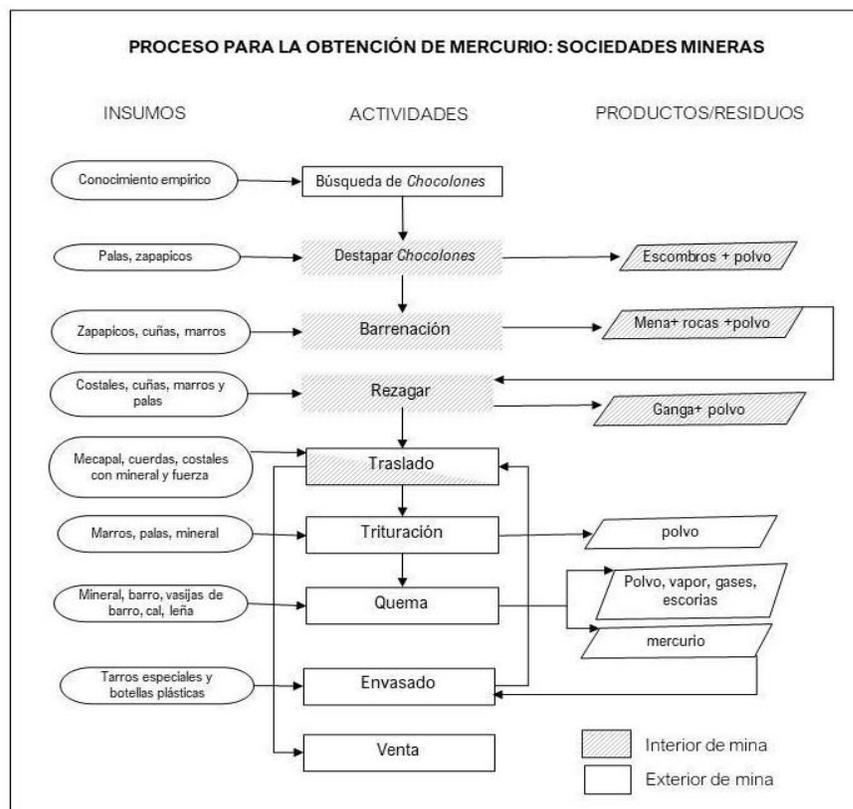


Figura 14. Proceso para la obtención de mercurio en la temporada de las sociedades mineras. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo etnográfico.

Debido a la minería incipiente y artesanal, la producción de mercurio fue muy baja, alrededor de 75 kg a la semana, conforme reportaron los entrevistados.

Por otro lado, el no contar con maquinaria especializada impidió que los mineros excavaran a mayores profundidades. Esta situación les favoreció pues de esta manera no se exponía a intoxicaciones por el vapor de mercurio y la falta de ventilación.

Aunque la minería en esta época fue poco redituable, era autónoma y representaba una entrada económica en la comunidad ya que ayudaba a la economía familiar y a su subsistencia. Sin embargo, esto no duró mucho tiempo, aproximadamente 10 años, después los compradores de mercurio se convirtieron en concesionarios de la mina La Barranca y La Lana, lo cual dio pie a la siguiente temporada minera.

9.1.1.3. Concesiones mineras: El jefe y la raya

Esta temporada de la minería en la comunidad, además de la época prehispánica, es la que ha durado más tiempo; desde principios de la década de 1960 hasta finales de la década de 1980. Se caracteriza por tener una serie de configuraciones en la actividad minera, las cuales representaron cambios inminentes en el territorio de la comunidad y en el modo de vida de los oriundos.

El primer cambio fue cuando los habitantes de la comunidad dejaron de explotar los *Chocolones* y éstos pasaron a manos de particulares externos a la comunidad; dando origen a las concesiones mineras en el lugar. Los compradores de mercurio en la temporada de *Sociedades mineras* se dieron cuenta que la mina de la Barranca o Guadalupe tenía importantes yacimientos de cinabrio y *azogue*, y que la actividad minera por los *Gambusinos* era ilegal; situación que aprovecharon para convertirse en dueños de los Títulos mineros.

En 1963, las minas que estaban en operación en la comunidad eran La Fe o la Lana, La Barranca o La Guadalupe y Rosa María (Anexo 7). En exploración se encontraba El Zopilote. Las 4 minas contaban con alguna concesión vigente y sus dueños eran: Juan Llaca Ortega, José Llaca Nieto e Ing. Enrique Llaca Nieto de la mina La Barranca; Anatolio de la Vega y Benjamín Velázquez de la mina La Fe; Salvador Torres Martínez de la mina El Zopilote y Vicente Arreguín Vega de la mina Rosa María (Zamora & Piñeiro, 1964). Otras minas que se encontraban en la

misma situación son las minas de La Perla del Ejido de San Joaquín y La Maravilla en la comunidad San Cristóbal.

El establecimiento de las concesiones mineras causó que los *Gambusinos* perdieran su autonomía como empleados y fueran asalariados de los concesionarios con sueldos inaceptables o “de a raya”; como le llaman algunos mineros en la actualidad. Aún con las concesiones establecidas, los *Gambusinos* continuaron con las sociedades mineras. Sin embargo, no funcionaron, ya que el mercurio obtenido se lo vendían a los concesionarios quiénes fijaban el precio. Al final, los *Gambusinos* ganaban más dinero si vendían su fuerza de trabajo en las minas; así que todos se vieron obligados a trabajar para los concesionarios.

En esta época, el proceso minero deja de ser manual y se convierte, en su mayoría, mecánico (Figura 15) debido a la instalación de compresores, perforadoras neumáticas, hornos rotatorios, malacates y winches⁴. Esto originó que se exploraran más minas, en la comunidad: El Nopal, La Ruda, El palo Santo y El Zopilote, y en comunidades cercanas: La Perla u Orduña, La Porfía, El Sótano, La Colorada, El Cristo y El Peñasco, lo cual condujo a contratar más mineros. La mecanización de los procesos dio pie a la división del trabajo y surgen las figuras laborales de *mineros, barreteros, horneros y faeneros*⁵. Cabe mencionar que no en todas las minas se mecanizó el proceso, sólo en las minas con mayor producción de mercurio como La Lana o Fe y La Barranca o Guadalupe donde se instalaron luz y carreteras. Las demás minas se operaron de manera manual e igualmente al mando de los concesionarios. Además, la mecanización no fue inmediata pues dependía de la apertura de la carretera, lo cual demoró varios años debido a que se construyó manualmente. En la figura 7 se aprecian 14 minas abandonadas en la actualidad, pero que estuvieron en operación en esta época.

Los mineros de esta época mencionan que fue la temporada de bonanza de mercurio en las minas, sobre todo de la Fe y la Barranca, no se sabe con exactitud cuánto mercurio producía cada mina (CRM, 2004). Zamora y Piñeiro (1965) estimaron que la producción semanal de la

⁴ También llamados malacates son una herramienta compuesta de un mecanismo de engranaje, sirve para arrastrar, levantar o desplazar cargas pesadas, se puede operar de manera manual y eléctrica.

⁵ Los mineros se encargaban de identificar las vetas de mercurio y amacizar; es decir colocar las estructuras de madera donde los demás trabajadores pudieran sostenerse y desplazarse. Los barreteros se dedicaban a realizar las barrenaciones o perforaciones para posteriormente realizar la voladura o tronadura. Los faeneros, realizaban la labor de faena, es decir, funcionaban como ayudantes en general. Los Horneros, se encargaban de preparar el mineral para quemarlo y obtener el mercurio líquido. Su lugar de trabajo era en los hornos y condensadores.

mina de la Barranca para ese año fue de 15 frascos; 1400-1750 Kg de mercurio metálico, en la mina La Lana la producción variaba entre 15 a 25 frascos, su máxima producción fue de 52 frascos (2 toneladas), En la década de los sesenta, Querétaro fue el primer productor de mercurio nacional, se estima una producción mensual de 4 mil frascos (140 toneladas), cotizando cada frasco entre 550 y 600 dólares americanos (SGM, 2018).

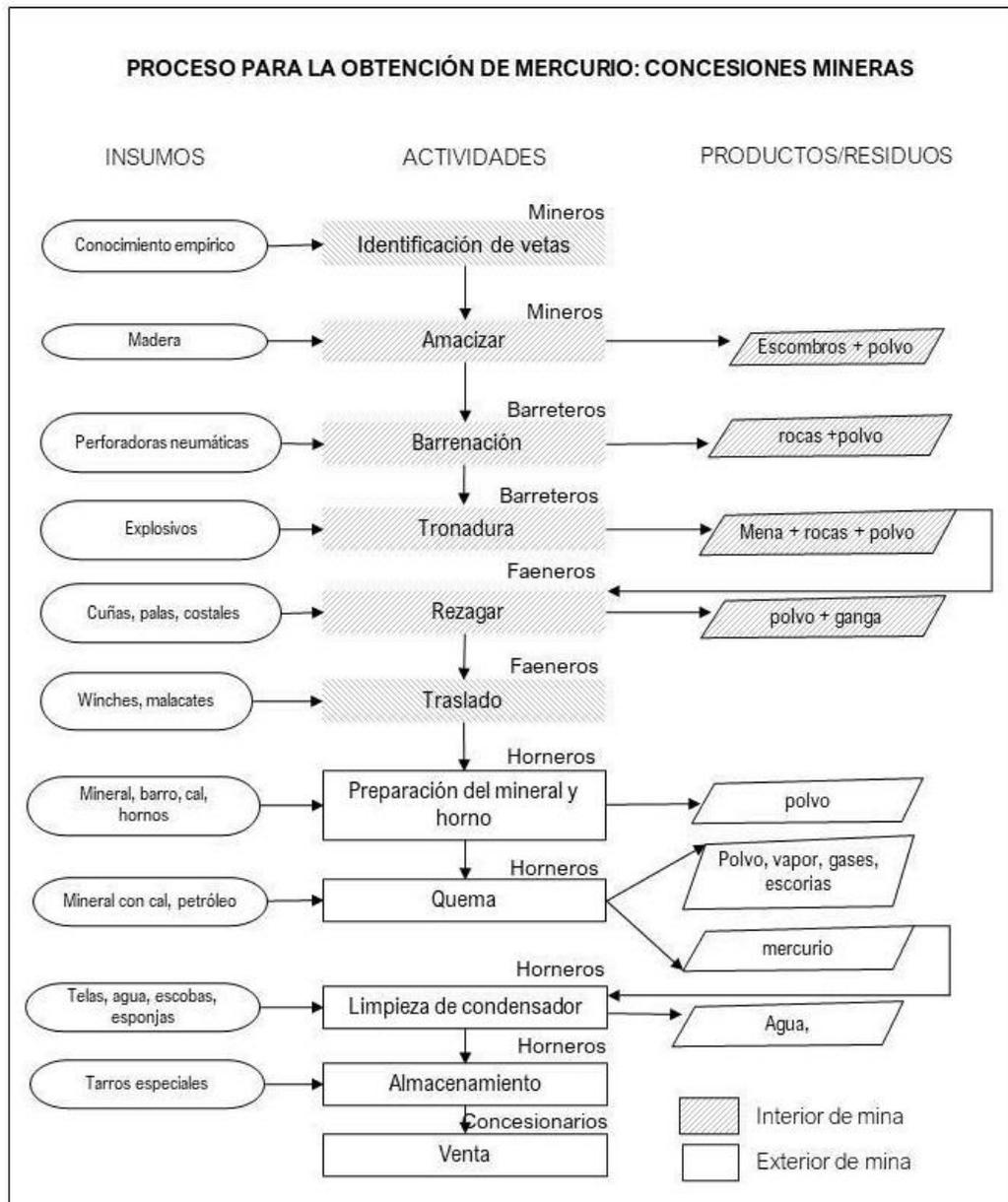


Figura 15. Proceso de obtención de mercurio en la temporada de Concesiones mineras. Fuente: elaboración propia.

Con la implementación de nuevas tecnologías, los mineros se enfrentaban a otros riesgos laborales como estar en lugares profundos expuestos a gases tóxicos y poca ventilación. Por otro lado, el no estar familiarizados con las máquinas y no recibir capacitación adecuada para su operación los exponía a diferentes accidentes. Aunado a esto, las condiciones de trabajo para los mineros eran inadecuadas: largas jornadas de trabajo, sueldos muy bajos, en caso de fallecimiento por accidente laboral los familiares del minero no recibían indemnización, en caso de intoxicación por mercurio no recibían apoyo médico y tampoco contaban con equipo de protección personal para trabajar. Todos estos factores desencadenaron graves problemas de salud pública en la comunidad, sobre todo, la exposición crónica a mercurio.

En la Figura 16 se presentan los principales riesgos a la salud que los mineros retirados (n=10) perciben en la minería durante esta temporada. El 100% de los mineros identificó como un riesgo a la salud la exposición a gases y vapores dentro de las minas; los cuales los asociaban a la presencia de *azogue* en las mismas. La presencia de mercurio nativo, de acuerdo con Zamora y Piñeiro (1965) se encontró en las minas de la Barranca y La fe, con mayor abundancia en la primera mina (Anexo 8), la presencia de este mineral se asocia con el tipo de geología y mineralización de esta zona. Por otro lado, sólo el 33% de los mineros identifica los vapores emitidos en el horno como riesgo, esto principalmente, porque consideran que el mercurio pasa por un proceso de purificación al ser quemado en los hornos.



Figura 16. Percepción de los riesgos a la salud en la minería de mercurio. Fuente: elaboración propia.

El 100% de los mineros entrevistados que trabajaron en esta temporada presentaron algún síntoma relacionado con la intoxicación ocupacional por mercurio. Los síntomas que identificaron fueron: temblor, adormecimiento de encías, sensibilidad en los dientes, olor metálico en la boca, falta de fuerza e irritabilidad emocional. Cuando los mineros presentaban estos síntomas sabían que ya estaban enfermándose con el “gas de mercurio”, así que, optaban por salirse de la mina antes de empeorar. Sentían que de esta manera se curaban. Otra estrategia que utilizaban para curarse era tomar té por las mañanas de plantas medicinales como el orégano, poleo, pirul y la gobernadora. Otros mineros dejaban de ir a la mina que contenía vapor de mercurio y se cambiaban a una que no tenía, sabía que una mina no tenía “gas” o vapor de mercurio porque no era tan profunda y porque por conocimiento tradicional sabían que el vapor estaba asociado a la presencia de *azogue*. Otros se salían definitivamente y se dedicaban a otros oficios como el comercio o migrar a otros municipios para conseguir trabajo.

Debido al auge de la minería, la presencia de máquinas, la instalación de electricidad y la construcción de la carretera se dieron los principales cambios en el modo de vida de los oriundos; así como en el paisaje. Por ejemplo, la carretera se construyó con la finalidad de acercar los insumos (petróleo, pólvora, máquinas) para la minería y para transportar el mercurio extraído de una manera más fácil. Esto permitió a los habitantes de la comunidad mayor conectividad y comunicación con pueblos más grandes, como el Doctor donde surtían su mercancía los comerciantes, y su despensa las familias.

Una configuración muy visible en el paisaje de la comunidad son los jales de mercurio distribuidos por las montañas y cerca de los ríos, a los cuales las personas de la comunidad les llaman *Rodaderos* (Figura 17) que dan cuenta de la existencia de una mina. Esta configuración del paisaje es característica del periodo de las concesiones mineras puesto que había la maquinaria para realizar este tipo de obras. Otro cambio en el paisaje es el aumento de veredas en los cerros que comunicaban a cada mina y a los poblados donde vivían los mineros.



Figura 17. Residuos de la minería en la comunidad, localmente conocidos como rodaderos. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

A pesar de las desventajas que la minería propició en la comunidad durante esta temporada, también generó algunos beneficios sobre todo materiales. Muchos de los mineros pudieron construir sus casas debido al salario que obtuvieron en las minas y tener un empleo estable. Otro beneficio fue para los comerciantes; incrementaron sus ganancias. Los mineros con su salario podían comprar mercancías locales. Los empleos indirectos fueron otro beneficio, por ejemplo, *los leñadores* que seleccionaban y cortaban la leña para vender a los dueños de la concesión. Esto sucedió los primeros años, antes de que se prohibiera la venta de leña en la comunidad y se introdujera el petróleo como combustible en el proceso de quema.

Finalmente, por casi tres décadas la minería en la comunidad se manejó de a *raya*. Hasta que, terminada la década de 1980 el precio del mercurio bajó y no fue redituable operar las minas. Por esta razón los concesionarios cerraron las minas en la comunidad. Esto, de nueva cuenta, generó que los mineros se quedaran sin empleo y migraran a la ciudad en búsqueda de trabajo.

Los mineros más jóvenes vendieron su fuerza de trabajo en otros poblados y ciudades, principalmente en Vizarrón de Montes y en la ciudad de Querétaro. En Vizarrón se emplearon como *Chalanes* en los talleres de mármol; es decir, las personas que llenaban los camiones de lajas de mármol; cargar costales de grano, lajas y marmolina; actividades muy pesadas

físicamente. En Querétaro se empleaban como *Chalanes* de albañiles y pintores. Por su parte los mineros de mayor edad volvieron a dedicarse a la crianza de animales domésticos y a la milpa. Otros se dedican a la producción del pulque para venderlo en comunidades vecinas.

9.1.1.4. Contratos típicos mineros y sociedades mineras

Después de que bajó el precio y los concesionarios cerraron las minas, algunos *Gambusinos* siguieron operando las minas de manera autónoma y otros, se asociaron con “arrendatarios” de las concesiones mineras. Aunque el precio del mercurio fuese bajo; continuaron con esta actividad pues dos eventos importantes para la economía del país se presentaron: el terremoto de 1985 y la crisis económica de 1994. Estas situaciones disminuyeron los salarios y fuentes de empleo en el país, y en la comunidad perpetuaron la minería como actividad de subsistencia.

En esta temporada, que duró aproximadamente media década, de finales de la década de 1980 y principios de la década de 1990. Surgieron las figuras de “arrendatarios” como les llaman los mineros contemporáneos, son terceros que celebraron algún contrato típico minero⁶ con los concesionarios para explotar las minas. Las sociedades que establecieron los “arrendatarios” y mineros de la comunidad consistían en: los mineros aportaban la mano de obra por lo cual recibían cierto porcentaje de la producción y los “arrendatarios” la maquinaria e insumos.

Gambusinos contemporáneos que hicieron la minería en esta temporada aseguran que el proceso para la obtención de mercurio es el mismo que en temporadas anteriores. Las sociedades operan bajo el proceso mecanizado como en la temporada de concesionarios mineros, mientras que los *Gambusinos* realizan un proceso manual similar al que se realizaba en la temporada de sociedades mineras; con algunas modificaciones, sustituyeron los hornos de vasijas de barro por una adaptación de los hornos que utilizaban los concesionarios.

En esta temporada, aumentaron las adaptaciones de hornos en los hogares de los *Gambusinos* y mineros contratados que querían obtener un ingreso adicional al que percibían en

⁶ Los contratos típicos mineros pueden ser de cesión, transferencia y opción donde los titulares de la concesión minera pueden otorgar derechos a terceros sobre la misma (Campos García et al., 2009).

la mina. Estos mineros se llevaban el mineral que obtenían en la mina y lo quemaban en sus hogares.

El equipo de protección personal continúa siendo escaso, sólo utilizaban casco y lámpara. El envenenamiento por mercurio seguía presentándose en la mayoría de los mineros.

Para concluir con esta temporada, el precio del mercurio cae a un valor que ya no es redituable, no es posible seguir operando y paran totalmente las minas. *Gambusinos* y mineros contratados migraron a las ciudades en busca de empleo.

9.1.1.5. Minería en la actualidad

En la actualidad, la minería en la comunidad es de tipo artesanal, lleva vigente casi una década y media. Inició en el año 2008, aproximadamente En la figura 18 se describen las condiciones de seguridad y salud, ambientales, legales, económicas, sociales, tecnológicas y geológicas en las que se da la MAM en la comunidad, que diversos actores consideran como características propias de la minería artesanal (Hentschel et al., 2003), la cual, generalmente, está inmersa en un círculo negativo debido a los bajos grados de mecanización y técnica que a su vez generan ingresos bajos para invertir en equipo que facilite el trabajo y mejore sus condiciones de vida (Banco Mundial, 1996). Estas se encuentran en constante interacción entre sí, pero inician con el desempleo en la comunidad y la necesidad de tener una fuente de ingreso para la subsistencia.

Este tipo de minería no queda registrada en la producción minero-metalúrgica del país ya que se considera que su porcentaje de producción minero-metalúrgica no aporta a la producción nacional de metales, en este sentido toda la atención del Estado por medio de acuerdos, políticas, derechos y obligaciones va dirigida a la gran minería que aporta en 84% de la producción metalúrgica en el país (González-Sánchez & Camprubí, 2010).

De la época de los contratos mineros a 2008, la minería quedó en abandono por 15 años. Se retomó porque aumentó el precio del mercurio y con ello las ganancias de quien realiza esta actividad. Al inicio de la temporada tenía un precio que oscilaba alrededor de 200 pesos por kilo. En marzo de 2019, el mercurio llegó a su precio más alto en la comunidad: 1,300 pesos. Posteriormente, hasta agosto de 2020 el precio del mercurio se mantuvo entre 500 y 600 pesos el kilo.

Habitantes de la comunidad y de otros lugares deciden dedicarse a esta actividad por las siguientes razones: es la única fuente de empleo en la comunidad o es la fuente de empleo mejor remunerada en la región, prefieren trabajar en las minas de la comunidad que en las ciudades porque se ahorran gastos de comida, hospedaje y transporte. Es un empleo que les permite estar cerca de sus familias, obteniendo ganancias representativas del 74% considerando el precio de 2 mil pesos por kilogramos de Hg y una producción promedio de 8.5 kg de Hg semanales en un proceso semi- mecanizado (Anexo 10), esto depende de factores como el tipo de proceso que realicen y la riqueza del mineral. Con la pandemia de COVID-19 las fuentes de trabajo disminuyeron en las ciudades, así que optaron por conservar su trabajo en la minería, aunque el precio del mercurio era bajo. Además, la minería es una actividad que gusta a los mineros porque es una actividad que sus antepasados realizaron, les permite la exploración y porque se da en un ambiente cerrado donde se concentran en lo que hacen.



Figura 18. Condiciones y características de la Minería Artesanal de Mercurio en la comunidad. Elaboración propia.

Las temporadas anteriores dejaron a los mineros contemporáneos muchos conocimientos y formas de hacer minería. Por esto, en la actualidad, la minería se trabaja de manera mixta. De la época de *Sociedades mineras* se adoptó trabajar las minas de manera autónoma por los *Gambusinos*. De la temporada anterior, los terceros que celebraron contratos mineros con los concesionarios continúan al mando de la operación de las minas contratando habitantes de la comunidad y de otros lugares. Esta última forma de operar las minas fue la que perduró al inicio de esta temporada.

Al igual que las temporadas anteriores en la comunidad no se han creado nuevas minas; continúan trabajando las mismas desde que los grupos prehispánicos las descubrieron. Sin embargo, las condiciones de las minas, cada vez más, están deterioradas pues no se les realiza mantenimiento desde la temporada de los *concesionarios*. Esto complica la extracción del mineral porque pueden presentarse riesgos de accidentes debido a la infraestructura en mal estado. El acceso a las minas (Figura 19) es muy inclinado y pedregoso, los mineros transportan su mineral a cuestas.



Figura 19. Mina “La Lana” en la comunidad. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

La minería tiene diferentes problemáticas, dentro de ellas que el precio del mercurio fluctúa mucho, no existe un reglamento para esta actividad pues se trata de un mercado clandestino. Los compradores de mercurio deciden el precio y los *Gambusinos* desconocen las razones cuando el precio sube o baja. Cuando el precio del mercurio baja; \$500 pesos el kilo, los mineros resisten con la esperanza de que el precio del mercurio suba. Los más afectados son los *Gambusinos* que obtienen menor producción, esto es cuando sacan a la semana un aproximado de 3 kilos, para resistir tienen que producir el doble. La existencia de la minería en la comunidad depende, por una parte, del precio del mercurio y por otra de la producción. La fluctuación del precio del mercurio produce dos procesos en la comunidad: la inmigración cuando el precio del mercurio es alto y la emigración cuando baja su precio.

Finalmente, el cambio que caracteriza a esta temporada es el aumento de la construcción de los hornos de beneficio en los hogares y con ellos la dispersión de residuos mineros. La mayoría de la minería se realiza de manera autónoma por *Gambusinos*, esto provocó que cada uno construyera su horno de beneficio en su hogar debido a que es más fácil transportar el mineral para sus casas que la leña que utilizan como combustible a las minas.

Los cambios en la minería artesanal están atravesados por el proceso de interacción sociedad-naturaleza en este territorio, la cual está determinada por la percepción o construcción social que se tiene de la naturaleza (Durand, 2017). En la época prehispánica la sociedad percibía al mineral de mercurio: cinabrio como una pintura que podía utilizarse en funerales y rituales (Mejía, 2016), el otorgar un valor “sagrado” a este mineral en la época permitió su baja extracción, esto no quiere decir que no se impactaron de manera negativa la salud de los pobladores de la época o el ambiente, por ejemplo Mejía y Herrera-Muñoz (2013) encontraron 35.20 ppm y 23.70 ppm de arsénico y mercurio, respectivamente, en huesos prehispánicos de nonatos, valores que hoy en día superan la normativa. Sabemos que en Europa durante el Medievo se asociaba el origen de las enfermedades a un castigo divino (Marx & Engels, 1974 en Marxists, 2001), esto posiblemente ocurría con la población prehispánica de la Sierra Gorda por ello seguían usando cinabrio.

Con la colonización en América Latina se vivió un despojo de toda creencia y relación sagrada con la naturaleza, donde el humano se concebía como parte de ella, en su lugar, se introdujo la idea de separar al humano de la naturaleza y percibir a esta como “una canasta de recursos”, que a su vez esta idea se originó en el Renacimiento con la observación y la manipulación del medio natural sustentada en el método científico (Durand, 2017). Esta

percepción, sin duda, llegó a la Sierra Gorda de Querétaro donde se daban Títulos reales (propiedades de tierra) a todo aquel caballero de la época que encontrara mercurio, el cual era exportado a España para la separación de oro y plata (Herrera-Muñoz, 2012).

De acuerdo con Marx, lo que diferencia a los humanos de otras especies es la actividad histórica de sus medios de producción o *producción social*. En el actual sistema económico capitalista lo que se busca es maximizar la producción y reducir sus costos, a costa de la naturaleza, originando una acumulación inconmensurable de bienes (Marx & Engels, 1974 en Marxists, 2001), resultado de percibir una delimitada dualidad entre humano/naturaleza. Una actividad que maximiza las ganancias del sistema financiero en el mundo es la “madre de las industrias”: la gran minería. Esta actividad económica tuvo un *boom* en los últimos años del siglo XX, sobre todo en América Latina donde los países buscaban un repunte en su economía a través de esta actividad. En Sierra Gorda, el *boom* minero se difundió a través del Concejo de Recursos Mineros, ahora, Servicio Geológico Mexicano quienes realizan inventarios de recursos mineros con la finalidad de explotar estos recursos en el país y aumentar la inversión extranjera, este es el caso de los yacimientos de cinabrio en la comunidad de estudio. En la época de las *sociedades y concesiones mineras* se realizaron estudios técnicos con la finalidad de aumentar la producción (Zamora y Piñeiro, 1965) y obtener mayor inversión.

La minería en Latinoamérica se experimenta de dos maneras principales, de acuerdo con los intereses y percepciones de los grupos sociales implicados. Por un lado, los cambios que la minería promueve en pro del desarrollo y el progreso, que muchos gobernantes defienden por las obras sociales que generan en los poblados alejados: construcción de escuelas, centros de salud, caminos, cisternas de agua, etc. y que el gasto público “no alcanza a cubrir”, la publicidad para el cuidado del medio ambiente como “no tire basura” o “mantenga limpia su calle” lo cual forma parte de un discurso muy sofisticado “de sustentabilidad” donde las estrategias están dirigidas a hacerles parecer una empresa ambiental y socialmente “responsable”, además llevan la modernidad a través de los nuevos comercios sobre tecnología celular y televisión e internet. Por otro lado, se viven los estragos de esta actividad extractiva como: población infantil con altos niveles de cromo y plomo en la sangre, territorios enteros con sus medios de vida contaminados: agua, aire y suelo, nuevas y raras afecciones neurológicas en mineros, trabajadores expuestos a la muerte cotidiana por fallas en los sistemas de seguridad o por el “mal de altura” (Machado-Aráoz, 2011). De este otro lado de la minería hay muchos casos en toda la región latinoamericana: el caso de mina Madín en Guatemala, Mina San Sebastián en el Salvador, Mina San Andrés en Honduras, extracción de litio en Bolivia, explotación de uranio en Argentina

(Muñoz-Duque et al., 2020) y en México tenemos muchos casos como Cananea y Grupo México, el desastre ambiental en mina Pasta de Concho por Grupo México, el derrame de la mina María en Sonora (Grupo Frisco), la contaminación continua de los jales de la empresa minera Great Panter en Guanajuato, el plan de la empresa canadiense First Magestic Silver para minar el territorio Wirikuta, el caso de Us Antimony en Tolimán, Querétaro, entre muchos otros casos que son visibles (Tetreault, 2019) y la gran mayoría que aún no se han documentado. Este es un tema que permanece silenciado, que pone de manifiesto la necesidad de hablar de los conflictos desde una perspectiva de la justicia ambiental, de las inequidades, de la división del trabajo, de la producción de capital, de la falta de la presencia del estado.

A esta segunda realidad de la minería se suma este estudio de caso, desde la época de las *sociedades mineras* hasta la minería en la actualidad, pero sobre todo, en la época de las *concesiones mineras* (1960-1980) se dieron los principales impactos negativos al ambiente y a los pobladores: envenenamiento por mercurio, contaminación del agua, aire y suelo (Hernández-Silva et al., 2012; Martínez-Pérez, 2015; INECC, 2020), dispersión de mercurio por la mala disposición de los residuos que continua; efectos adversos similares a la gran minería (Machado-Aráoz, 2011), no por su gran extracción sino por los permisos que se otorgan para extraer mercurio y su nula vigilancia ambiental o de seguridad laboral por el Estado. Este caso se trata de una minería artesanal realizada por los habitantes de la comunidad donde su extracción es menor comparada con la mediana o gran minería, sin embargo, tiene impactos ambientales y en la salud por las “malas prácticas” que emplean y las condiciones precarias en las que se desarrolla, así como la falta de vigilancia y corrupción estructural (Hentschel et al., 2002), desde una visión desarrollista se le acusa de “retrasada y precaria” por no usar las tecnologías de la gran minería ni tener altos estándares de producción, y que además para remediar sus males se propone legalizarla e invertir en grandes tecnologías para aumentar su producción, pero la historia nos muestra que la gran minería tiene tantos impactos ambientales y sociales como ganancias porque está inmersa en la lógica de producción del desarrollo.

Además de los impactos a la salud y el ambiente, la cotidianidad y cultura de los pueblos mineros se ve trastocada por los cambios que lleva consigo la minería, en muchos casos, son desplazadas (Tetreault, 2019; Muñoz-Duque et al., 2020). En la comunidad, en la época de las *concesiones mineras* muchos mineros dejaron la agricultura o migraron, los que se quedaron continuaron con la extracción artesanal de mercurio pues la falta de empleo en el lugar y los trabajos mal remunerados los obliga a seguir en esta actividad. Además, es difícil alcanzar el nivel de vida dictado por la modernidad. En éstos pueblos mineros se queda en el imaginario que

un medio de vida es el extractivismo, ya no es necesario que una empresa minera los contrate para que expongan sus cuerpos a intoxicaciones por metales pesados o a realizar trabajos muy desgastantes ya lo hacen de manera autónoma, lo importante es generar un ingreso económico y si hay acumulación, mejor, con la finalidad de consumir artículos de la modernidad: celulares de última generación, contratación de internet y tv, automóviles, ropa de “marca”, etc. Se ha trastocado la cotidianidad de la comunidad donde se ha impuesto lo que es necesario, generando un círculo de desgaste para alcanzar un nivel de vida que no es congruente con el contexto socioambiental. Y están olvidados del aparato burocrático gubernamental que debería garantizar el acceso a servicios educativos y de salud. Desde esta perspectiva, además de comunicar de manera técnica lo que implica la exposición al mercurio, es necesario repensar la relación con la naturaleza en sus territorios y generar economías alternativas a la minería como la reactivación de la agricultura agroecológica, el ecoturismo cooperativo, producción de remedios a base de plantas medicinales, etc.

9.1.2 Actores de la MAM

Son diferentes los actores que hacen posible la Minería Artesanal de Mercurio en la comunidad. Desde los que están completamente involucrados en la obtención de mercurio hasta los que desconocen sobre la MAM. Para visualizar la realidad de quiénes participan en esta actividad se tomó como referencia el análisis de actores en un proyecto de investigación propuesto por Taponella (2007).

En primer lugar, se realizó una clasificación de actores en función del rol que cada uno desempeña en la MAM; quedando *clúster* o grupos de la manera siguiente: trabajadores mineros; gambusinos y mineros contratados; gobiernos/autoridades desde lo local hasta federal; Estado y la Asamblea Comunal; empresarios y comerciantes; compradores de mercurio, vendedores de explosivos y leña. Finalmente, sociedad civil; médicos, educadores, ONG’s y población en general. Posteriormente, se identificó el grado de influencia que tienen un actor sobre el proceso de cambio en la minería y luego la incidencia o vinculación con otro actor social; es decir los niveles de poder. Así como también el interés que cada uno tiene en la MAM. Finalmente, se identificó el tipo de relaciones que cada actor tiene con los demás, generando un Mapeo de Actores (MAC) en la MAM (Figura 20).

Trabajadores mineros

Este grupo se integra por dos grupos de trabajadores que realizan la MAM; gambusinos y mineros contratados por los concesionarios. Ambos grupos se conforman por comuneros oriundos de la comunidad y ejidatarios de comunidades aledañas. En el caso de mineros contratados por las compañías también van de otros lugares del país. Son trabajadores que se integran a la minería desde los 11 años hasta mineros de 55 años con 30 años de experiencia en la minería.

Gambusinos (En la figura 20 se identifican G en un triángulo gris de la comunidad y G en triángulo blanco externos a la comunidad)

La mayoría (67%) de los trabajadores mineros son gambusinos, la mayoría de estos son de la comunidad y sólo el 2% de ellos pueden ser externos. Aunque este porcentaje varía mucho mes con mes; depende del precio del mercurio; si este disminuye se ven obligados a migrar a las ciudades en busca de empleo. Este grupo trabaja de manera autónoma en las minas de la comunidad, sin contar con autorizaciones de extracción. Se organizan de uno a tres mineros (familiares) para trabajar en diferentes partes de las minas. En ocasiones es complicado porque obtienen poco mercurio, y además deben repartirse las ganancias entre el número de trabajadores involucrados. Por esto, muchos gambusinos optan por trabajar de manera individual o emplearse con los concesionarios.

En el *gambusinaje* por usos y costumbres se distribuyen los puntos de las minas para la extracción. Por ejemplo, una costumbre que tienen es trabajar las minas siempre y cuando éstas no estén ocupadas por otros grupos. Para realizar la extracción del mineral de mercurio, generalmente, lo hacen de manera manual con muy poco grado de mecanización por lo cual no pueden crear obras mineras nuevas; sino que recolectan mineral de baja ley que quedó dentro de las minas de temporadas mineras anteriores y su producción es muy baja. Cada gambusino cuenta con un horno artesanal en su hogar para realizar el beneficio del mercurio. Al tener sus hornos en sus casas, algunos gambusinos, involucran a niños y mujeres en el proceso de beneficio, por ejemplo, meter el mineral al horno, barrer y limpiar el horno.

Los gambusinos prefieren trabajar de manera autónoma porque la producción que obtengan sea poca o mucha, es suya y reciben un pago directo, el pago que se percibe por la venta de mercurio es más alto que un salario, les permite disponer de su tiempo y esfuerzo para

dedicarse a otras actividades de subsistencia como la crianza de corral y la agricultura de temporal. Además, realizan esta actividad porque no requiere de mucha inversión.

Mineros contratados (MC en triángulo gris locales y en triángulo blanco externos)

Los mineros contratados son trabajadores empleados por los terceros y/o concesionarios para realizar las actividades mineras. Deciden esta manera de trabajar la minería porque tienen un sueldo seguro encuentren una buena producción de mercurio o no, el sueldo es igual o superior a lo percibido en otros trabajos fuera de la comunidad y no compran los insumos para realizar la minería; esto les permite conservar su sueldo, aunque el precio del mercurio sea bajo. Al ser contratados, se clasifican de acuerdo con la actividad minera que puedan realizar, por ejemplo, perforistas, operador de compresor y ayudante general. En este sentido, el proceso de obtención de mercurio se realiza de una manera fraccionada; cada trabajador se encarga de una parte del proceso, esto impide que conozcan el proceso de manera integral. Los mineros son contratados desde los 11 años, si bien no realizan actividades que estén relacionados con la producción de mercurio; se les asignan actividades como apertura de brechas para transportar el mineral fuera de la mina y sacar el agua acumulada dentro de la mina. Mineros que iniciaron en esta modalidad de la minería, ahora son gambusinos. Este grupo representa el 33% de los trabajadores mineros en la comunidad.

Gobierno y autoridades locales (AC asamblea comunal en cuadro gris de la comunidad y E del Estado Mexicano en cuadro blanco externo a la comunidad)

En este grupo se encuentra la Asamblea General de la comunidad y el Estado Mexicano, representado por la Secretaría de Economía, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Salud y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

Los órganos de dirección de la asamblea comunal: presidente, secretario, tesorero y consejo de vigilancia se encargan de regular que gambusinos externos entren al territorio de la comunidad a realizar aprovechamiento de los minerales. Si algún gambusino externo desea explotar los minerales debe emitir una solicitud a los órganos de dirección y por Asamblea General se vota la autorización. También, por Asamblea General se acordó solicitar parte de su producción a los concesionarios, para tener acceso a los caminos de la comunidad que conducen a las minas.

Los actores involucrados para la regulación del mercurio en el país son: la Secretaría de Economía al autorizar o cancelar alguna concesión minera de este metal, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para la autorización de las obras mineras en materia de impacto ambiental, la Secretaría de Salud se encarga de realizar programas para comunicar los impactos a la salud por la exposición a mercurio a poblaciones expuestas y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público encargada de controlar el comercio de mercurio (importaciones y exportaciones) a través de las restricciones no arancelarias (INECC, 2019). En la comunidad, sólo la Secretaría de Economía ejerce su papel a través de los linderos (mojoneras) de las concesiones mineras. Existen, al menos, 20 concesiones en la comunidad (Anexo 9) de las cuales 9 son para extraer mercurio, el resto para otros minerales como plata, oro, cobre, plomo y zinc (Secretaría de Economía, 2019). De estas concesiones 8 son para la exploración de minerales de mercurio y una para extracción, 6 tienen convenios por 50 años y estarían terminando en el año 2060, aunque se han tenido concesiones de exploración por 6 años, en el año 2009 y 2010 se solicitó arrendarlas para extracción (Secretaría de Economía, 2022), periodo en el que el mercurio tuvo un aumento en el mercado. Por otro lado, en el periodo de 2005-2021 el estado de Querétaro no ha recibido ninguna autorización ambiental para minería; en 2010 y 2013 se presentaron dos proyectos de manifestaciones de impacto ambiental regional y una particular, los tres proyectos fueron no autorizados. No obstante, en los recorridos de campo dos grupos de mineros estaban contratados por personal que trabaja las concesiones, de uno se sabe que su concesión está vigente para extracción sin autorización ambiental. En este sentido, en esta comunidad no hay presencia de las autoridades federales y estatales para la regulación de la emisión y disposición de los residuos en la comunidad, la comunicación de los riesgos a la salud por la exposición a mercurio, los servicios de salud para tratar la exposición a mercurio, remediación de suelos y cuerpos de agua contaminados y para regular la actividad minera. De acuerdo con los registros de títulos mineros emitidos por la Secretaría de Economía y la información de campo, en la comunidad existen concesionarios que extraen mercurio sin tener títulos vigentes para extracción.

Empresarios y comerciantes (representados en círculos gris de la comunidad y blanco externos, CHg compradores de mercurio, VE vendedores de explosivos, VL vendedores de leña, T terceros arrendatarios de contratos mineros, C concesionarios dueños de títulos mineros).

En este grupo se clasificaron todos los actores que tienen algún beneficio económico indirecto por la MAM como: compradores de mercurio, vendedores de leña y explosivos, concesionarios y terceros.

Los compradores de mercurio, los vendedores de leña y explosivos son agentes externos a la comunidad. Tienen una relación directa comprador-vendedor con los gambusinos, se mantienen en el anonimato debido a las restricciones legales y comerciales que tienen sus productos. Por estos motivos se recabó muy poca información sobre ellos; no fue posible localizarlos.

Existen varios compradores de mercurio en la comunidad, todos son intermediarios de una red de compraventa de este metal. Primero están los compradores frecuentes; son todos aquellos que van cada sábado a la comunidad y compran el mercurio que los gambusinos producen. Incluso tienen acuerdos con algunos gambusinos de comprar el mercurio, aunque su precio sea bajo. Luego, están los compradores esporádicos; son aquellos que van de la ciudad de Querétaro a comprar el mercurio, cuando el precio de este es alto. Por último, los compradores de la comunidad son contactados por los compradores frecuentes para adquirir el mercurio a los gambusinos, generalmente, son mujeres de la comunidad. Cabe mencionar, que estos actores son quienes fijan el precio del metal en la comunidad y no piden ningún requisito riguroso a los gambusinos, sólo que el mercurio esté libre de basura y agua.

Los concesionarios y los “Terceros” son quienes operan las minas en la comunidad a través de una concesión o contrato minero. Los concesionarios son los dueños de los lotes mineros en la comunidad. De acuerdo con la secretaría de Economía son 16 concesionarios que tienen títulos mineros vigentes en la comunidad, 13 personas físicas y 3 morales (Secretaría de Economía, 2022). Por su parte, los “Terceros” o como los gambusinos los nombran: “arrendatarios” son quienes celebran algún contrato típico minero con los concesionarios, mediante los cuales pueden hacer extracción y beneficio del mineral, a través de la contratación de los “Trabajadores mineros”, en la comunidad existen 7 arrendatarios de contratos de extracción, ninguno vigente (Secretaría de Economía, 2022).

Sociedad civil (representada en rombos de color gris interna y de color blanco externa).

La sociedad civil representada por médicos, educadores, ONG´s, academia y población en general forman parte del sistema social interno y externo donde los actores de la MAM se desarrollan.

La comunidad pertenece a estructuras sociales más grandes como los municipios y estados, pero no existe ningún médico, ONG´s o asociación civil presente en la comunidad desarrollando proyectos que tengan que ver con la salud y la minería de mercurio. Por otro lado, la sociedad civil interna en la comunidad, representada por la población en general que no hacen minería perciben la minería como una actividad más para la subsistencia y mantienen una posición neutral, respetando a quiénes realizan esta actividad, pero no se relacionan entre sí para asuntos de la minería.

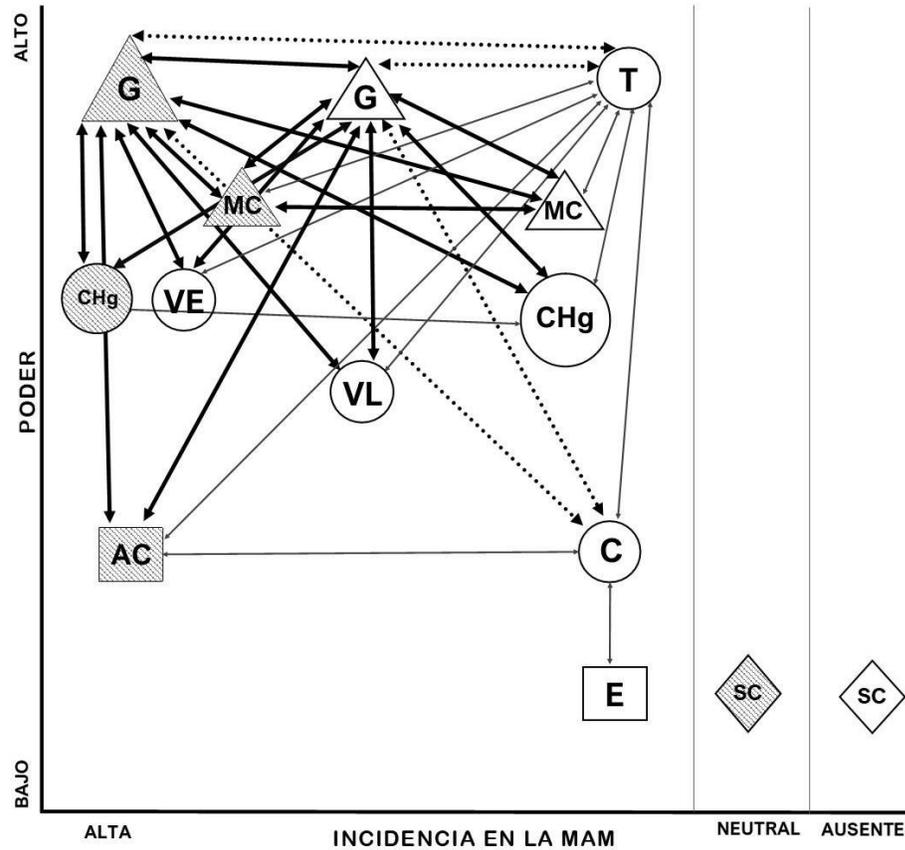
Es importante mencionar que la MAM es una actividad muy cambiante, y en su mayoría ilegal. Por estas condiciones el MAC sólo presenta la realidad del momento de investigación (2018-2021) y la información de los actores que se pudieron contactar. Además, el MAC tiene ciertas limitaciones pues no permite exponer las diferencias entre las relaciones de un mismo grupo de actores sociales (i.e. por ejemplo gambusinos que no participan del conflicto con los concesionarios y en cambio tienen relaciones de confianza con ellos).

En la figura 20, en el eje horizontal se pueden observar el grado de incidencia en la MAM que tiene los diferentes actores. La sociedad civil externa representada por médicos, educadores, ONG´s y público en general están presentes en la comunidad desarrollando otras actividades, pero ninguna que tenga relación con la MAM; por esta razón se les clasifica como ausentes. Por otro lado, se encuentra la sociedad civil de la comunidad; específicamente las familias que no se dedican a la minería. Su postura es neutral, es decir; conocen de la MAM y respetan a quiénes la realizan, pero no tienen incidencia. Finalmente, los actores que participan activamente en la minería se les considera con un interés alto por la minería pues de esta actividad depende su subsistencia, como lo es para los trabajadores mineros.

En el eje vertical podemos observar el grado de poder de los actores definido por el número de interacciones entre actores. Los gambusinos y terceros son los actores con más poder, mientras que los mineros contratados, los compradores de mercurio, los vendedores de leña y explosivos, la asamblea comunal y los concesionarios mantienen un grado de poder

intermedio. El grado más bajo corresponde al Estado representado por la Secretaría de Economía que autoriza y regula las concesiones mineras. Además, parte de la sociedad civil que no establece interacciones con los demás actores y se mantiene al margen de la actividad minera.

MAPEO DE ACTORES DE LA MINERÍA ARTESANAL DE MERCURIO



SIMBOLOGÍA					
ACTORES		CLASIFICACIÓN ACTORES	RELACIONES ENTRE ACTORES		
SC	SOCIEDAD CIVIL	◇	SOCIEDAD CIVIL	↔	CONFIANZA
E	ESTADO	□	GOBIERNO/AUTORIDADES	⋯→	CONFLICTO
C	CONCESIONARIOS	○	COMERCIANTES/EMPRESARIOS	- - -	NO IDENTIFICADA
T	TERCEROS	△	TRABAJADORES MINEROS		
AC	ASAMBLEA COMUNAL	□	ACTORES EXTERNOS A LA COMUNIDAD		
CHg	COMPRADORES DE MERCURIO	▨	ACTORES DE LA COMUNIDAD		
VL	VENDEDORES DE LEÑA				
VE	VENDEDORES DE EXPLOSIVOS				
MC	MINEROS CONTRATADOS				
G	GAMBUSINOS				

Figura 20. Mapeo de Actores de la Minería Artesanal de Mercurio en la comunidad. Elaboración propia.

Existen varios tipos de relaciones entre actores. En este caso, se identificaron tres: relaciones de confianza donde los actores generan acuerdos y tienen una comunicación activa y frecuente. Las relaciones de conflicto suceden entre gambusinos, terceros y concesionarios, esto principalmente porque los gambusinos se apropian de manera ilegal del mineral que se encuentra en los lotes mineros con algún tipo de contrato o concesión minera. Por otro lado, los gambusinos perciben que por ser originarios de la comunidad tienen derecho a la explotación de sus recursos, incluyendo el mineral. Los gambusinos tienen conflictos con los terceros porque contratan mineros foráneos sin experiencia en minería quienes eliminan estructuras importantes dentro de la mina, provocando derrumbes y accidentes. Por último, se identificó la existencia de varias relaciones entre los actores, pero se desconoce de qué tipo; por ello solo se plasma la interacción sin clasificación.

Para el análisis de la relación entre actores se consideraron los conceptos de “reciprocidad general, balanceada y negativa” de Marshall (1997) y reciprocidad negativa simétrica y asimétrica de Lomnitz (2005), las cuales se basan en *las razones y formas de intercambio en las sociedades arcaicas* propuestas por Mauss (1924-1923). Mauss propone el comportamiento de la sociedad frente a las relaciones de intercambio, dado que en ese momento histórico no se les asignaba un valor económico a las cosas, sino más bien de estatus y “moralidad”, con base en esto el intercambio se daba en tres momentos: 1) Sí alguien daba un “regalo” a otra persona, se le consideraba superior al receptor, 2) el receptor estaba obligado a recibir el “regalo”, de manera contraria se le hacían asignaciones morales negativas como “deudor”, “declaraba guerra”, en algunas sociedades rurales actuales a los receptores que no aceptan éstos regalos se les considera “groseros” y 3) Sí el receptor, daba un regalo considerado de valor superior al recibido por el emisor, el receptor se convertía superior al emisor y de esta manera el círculo podía repetirse para conseguir mayor prestigio y honor social. Según Marshall está lógica se traslada a la guerra y al comercio en la actualidad, donde existe la reciprocidad generalizada que consiste en dar algo sin obtener nada a cambio de manera inmediata, sobre todo en las relaciones familiares, pero siempre se espera algo a cambio. La reciprocidad balanceada que consiste en dar algo y obtener algo del mismo valor o similar, mientras que la reciprocidad negativa es recibir más por lo menos, el acaparador. Parece que esta última es la que predomina en las actuales relaciones de comercio, a lo que Lomnitz agrega la reciprocidad negativa simétrica y asimétrica, ambas definidas por el nivel de poder entre los contrincantes donde el de mayor poder (económico y político) subordinará al otro. La reciprocidad negativa simétrica se refiere a cuando uno de los actores sabe que es subordinado por el otro, pero lucha

por nivelar la relación, mientras que la reciprocidad negativa asimétrica es la absoluta subordinación de un actor sobre otro, para esto suele utilizarse la amenaza y la coerción (Garibay y Balzaretti, 2009).

Un aspecto adicional a lo ya comentado sobre el tipo de relación entre los gambusinos y los concesionarios o terciarios es que entre ellos existe una relación de reciprocidad negativa simétrica donde los gambusinos han luchado en la última época de la minería en la comunidad por ser ellos quienes exploten el mineral del mercurio, bajo la premisa de que son dueños de las tierras. Por su parte, la opinión de los gambusinos es que los concesionarios se quieren aprovechar del mineral y sacar el mayor beneficio económico, por lo que se da una situación de pugna constante entre ambos actores. Esta situación se da en paralelo a que los gambusinos tienen mucho más poder en términos de interacciones e incidencia en la MAM como se observó en la figura 20. La transición de una relación asimétrica negativa a una relación simétrica positiva no se dio por procesos de lucha por la injusticia y negociación como se vive en los megaproyectos mineros, tal fue el caso de Gold Corp y la comunidad de Carrizalillo en Guerrero, donde los comuneros después de informarse que por cada 999.26 dólares que recibía Gold Corp. de la extracción de oro, ellos como dueños del territorio sólo percibían 74 centavos, estos los hizo organizarse y negociar con la corporación minera (Garibay y Balzaretti, 2009). En este caso la organización y el sentimiento de injusticia no fueron durante el periodo activo de los concesionarios sino hasta 20 años después cuando estos ya habían dejado las minas en abandono por baja rentabilidad. Los mineros contemporáneos tomaron las experiencias de sus antecesores y decidieron practicar el gambusinaje y la minería artesanal como apropiación del territorio y sus recursos.

Desde 2008 que se reactivó la minería de mercurio en la comunidad se ha vivido conflicto entre los gambusinos y los concesionarios. En 2020, los gambusinos fueron advertidos por los concesionarios con ayuda de la policía local, sobre que ya no podían trabajar más en las minas porque no eran dueños. A lo que los gambusinos argumentaron que eran dueños de la superficie y advierten que si no los dejan trabajar cerrarán los caminos e impedirán el acceso a las minas, llegaron a un acuerdo, pero no se difunde la información. No obstante, hasta el momento la posición de los gambusinos es débil debido a que no cuentan con algún título minero para explotar las minas, además, las instituciones comunitarias son complejas practican un régimen político democrático y otro autocrático (Garibay y Balzaretti, 2009), donde en el último se compite por jerarquía y clase, lo que hace que concesionarios y empresas mineras externas pueden coaccionar y desintegrar el sistema político de la comunidad, en 2019 durante las exploraciones

de Grupo México en busca de Oro, Zinc, Antimonio y Plata se asignaron puestos de trabajo y dinero a ciertos grupos de la comunidad con ética débil, después se vieron comprometidos a firmar para aceptar la etapa de exploración; un ejemplo de coacción y manipulación que utilizan las corporaciones mineras para instalar sus megaproyectos en ejidos y comunidades (Garibay y Balzaretto, 2009).

Por otro lado, la posición de los concesionarios y arrendatarios de los títulos mineros también es frágil pues su extracción puede ser irregular debido a los reportes en la Secretaría de Economía donde no hay títulos vigentes para extracción, salvo uno (Secretaría de Economía, 2022). Esto ayuda a comprender la ambivalencia y confidencialidad entre ellos. Existe la convención mundial sobre mercurio, convención de Minamata, donde se ha decretado la eliminación de toda actividad relacionada con su extracción, transformación y beneficio del mercurio. Para cumplir con dicho convenio, México pretende que para agosto de 2032 dejen de operar las minas de mercurio existentes y a partir del año 2017 no se concedan concesiones nuevas (INECC, 2019), esto ha propiciado que todo sea abordado de manera interna entre actores y aunque tengan conflictos lo resuelvan en la inmediatez.

Por otra parte, los gambusinos y los compradores de mercurio mantienen una relación de reciprocidad asimétrica negativa, pues son éstos últimos quienes fijan el precio del mercurio. Aunque los compradores de mercurio a su vez mantienen este mismo tipo de relación con otros actores ya que son una red de intermediarios. Los mineros artesanales o gambusinos aceptan las dádivas que ofrecen los compradores de mercurio por varias razones, dentro de ellas, la dependencia con estos compradores ya que no es un mercado legal y la diferencia cultural sobre el conocimiento del valor del mercurio en el mercado global.

Por su parte los actores institucionales; el Estado en representación de la SEMARNAT, la Secretaría de salud e incluso la academia tienen una visión técnica y limitada de la Minería Artesanal de Mercurio, la perciben sólo como fuente de emisiones de mercurio, contaminación del suelo, plantas y aire, al percibir un problema ambiental como técnico se organizan respuestas técnicas (Foladori & Tommasino, 2012), en este sentido se han realizado diversos estudios en la región que aportan datos duros sobre la problemática en el ambiente (Hernández-Silva et al., 2012; Martínez-Pérez, 2015; INECC, 2020). Para reducir la contaminación de mercurio a nivel mundial, en la convención de Minamata se proponen reducir las emisiones de mercurio (PNUMA, 2019), eso incluye la minería artesanal de oro y otras actividades que generan fuentes de empleo y reactivan la economía local (CEPAL, 2000). En México, para ayudar a cumplir los

objetivos del convenio de Minamata se propone hacer un inventario de emisiones de mercurio, detener las exportaciones e importaciones de mercurio, comunicar el riesgo en poblaciones afectadas y darles tratamiento para disminuir los efectos de intoxicación (INEEC, 2019). Sin embargo, es necesario que la intervención técnica de las problemáticas ambientales se acompañe de diagnósticos comunitarios donde las personas identifiquen sus propias necesidades y propongan soluciones desde su posición. Esta comunidad se dedica a la minería por tradición y desempleo, la tradición está ligada a su construcción social sobre la naturaleza, perciben la extracción de mercurio como su medio de vida, pues observaron que sus antepasados lo hicieron y que los concesionarios hacían grandes casas y tenían bonitos autos en el pueblo cercano de San Joaquín debido a la venta y extracción del mercurio. Aprendieron a extraer el Hg sin importar el riesgo a su salud y al ambiente, perciben el mercurio como una “bendición” pues les genera dinero para la subsistencia. Es importante, transitar hacia procesos de Buen Vivir donde mejoren su relación con su entorno, deconstruyan el concepto de desarrollo impuesto por la cultura occidental y que diversifiquen sus actividades económicas realizando un uso y extracción de acuerdo con la capacidad de sus ecosistemas (Gudynas, 2014).

9.1.3 Proceso artesanal para la obtención de mercurio

La obtención de mercurio en la comunidad se realiza de manera artesanal, es decir; los mineros requieren de mucho esfuerzo físico y tiempo para este fin, obtienen baja producción, requieren de poca inversión y poco uso de tecnología. En la figura 21 se observan las distintas maneras que existen en la comunidad para la producción de mercurio.

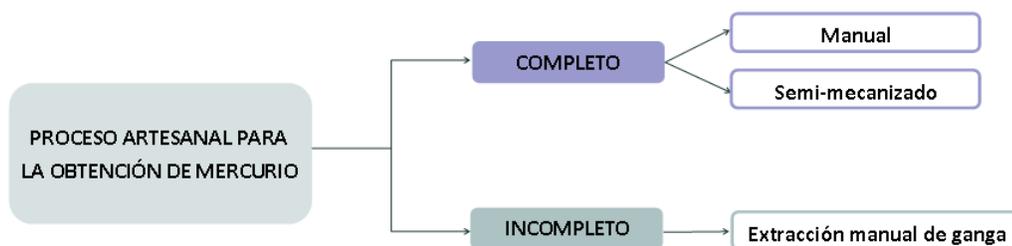


Figura 21. Formas de realizar el proceso artesanal para la obtención de mercurio en la comunidad. Elaboración propia.

En la Figura 22 se muestra el proceso completo para la obtención de mercurio en la MAM, consiste en realizar las 4 etapas del proceso: exploración, extracción, beneficio y venta. Se

realiza de manera manual y semi-mecanizada; la primera, sin ayuda de tecnología mecanizada, sólo herramientas como cuñas, marros, palas, zapapicos, etc. Esta es la técnica más utilizada por los gambusinos. Mientras que, la manera semi-mecanizada se realiza tanto por gambusinos como por mineros contratados, consiste en realizar las mismas etapas que en la manera manual e incluir algunas máquinas como perforadoras neumáticas, compresores, rotomartillos y malacates en la etapa de extracción: procesos de barrenación y transporte del interior de la mina a la bocamina. El 68% de los mineros entrevistados realiza el proceso completo, de éstos sólo el 12% lo realiza de una manera totalmente manual. Mientras que el 32% de los mineros realiza el proceso incompleto.

El proceso incompleto consiste en recolectar dentro de la mina tierra y rocas (ganga) con bajo contenido de mineral, producto de voladuras de épocas anteriores de la minería, a este proceso se le conoce como "Tierrita" y se realiza exclusivamente por gambusinos; a este tipo de gambusinos se les conoce como "buscones". El proceso es incompleto porque se omite la etapa de exploración y en la etapa de extracción el proceso de barrenación y voladura. En su lugar, buscan ganga dentro de las minas y continúan con las demás etapas del proceso minero, realizándose de manera totalmente manual. Se puede realizar de manera individual debido a que no incluye los procesos más complicados y laboriosos.

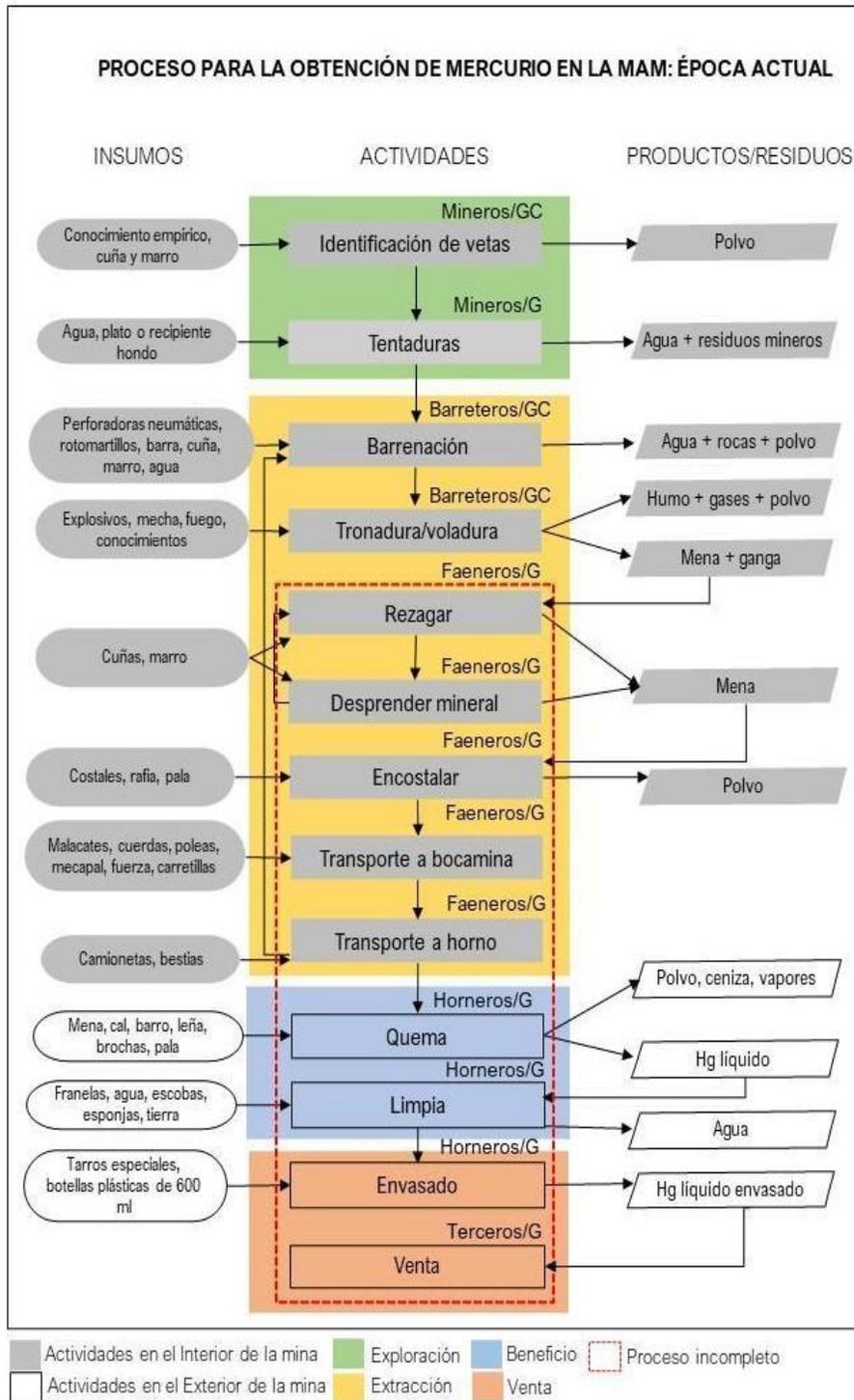


Figura 22. Proceso artesanal de producción de mercurio. Fuente: elaboración propia.

Descripción del proceso artesanal de producción de mercurio

ETAPA 1: Exploración

En esta etapa se llevan a cabo dos procesos que sirven para identificar las vetas de mineral dentro de las minas y evaluar si es redituable su explotación.

1. Identificación de vetas

Consiste en realizar exploraciones en el interior de las minas para identificar vetas de mineral (Figura 23). Este proceso es realizado por mineros con mayor experiencia y conocimientos en la identificación de vetas; *Barreteros*⁷ y algunos gambusinos; utilizan conocimientos empíricos y generacionales, y mucha observación. Por ejemplo, la identificación de rocas asociadas al mineral de mercurio y el color rojo del mineral.



Figura 23. Identificación de vetas de mineral de mercurio. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

2. Tentaduras

Este proceso consiste en colocar una parte de la mena (aproximadamente 250 g) en un recipiente hondo (plato), añadir agua y con un movimiento circulatorio decantar la mena, posteriormente se tira el agua y queda una separación como se muestra en la Figura 24. Se realiza para conocer si es viable explotar la roca; debido a que indica cuánto mineral (en porcentaje) se puede obtener. Se considera que las rocas con buena producción tienen aproximadamente el 70% del mineral, mientras que rocas con menor producción son las que contienen un 30% del mismo; estos no son redituables, pues

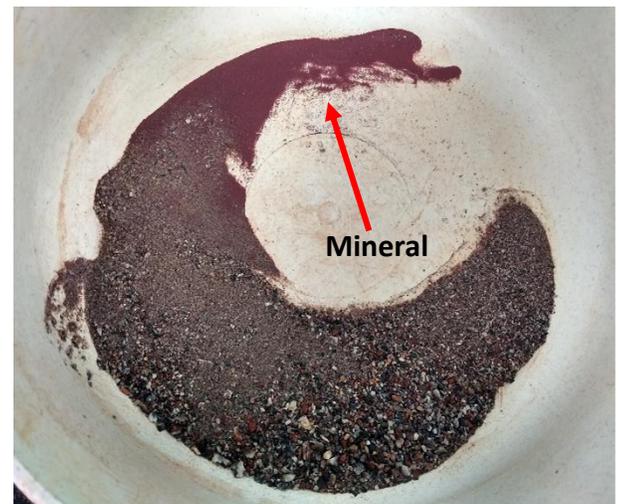


Figura 24. Elaboración de tentadura. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

⁷ Esta figura laboral se presenta cuando los terceros contratan a los mineros y les asignan diferentes roles en la actividad minera. También, los gambusinos se organizan en grupos familiares y se dividen actividades; a quién se encarga de la identificación de vetas, de la barrenación y de la tronadura, le llaman *Perforista*.

producirán poco mercurio y no se recupera la inversión.

ETAPA 2: Extracción

Esta etapa incluye todos los procesos artesanales para la extracción del mineral de mercurio a la bocamina.

3. Barrenación

Es el proceso que demanda mayor trabajo físico. Consiste en perforar la roca; realizando hoyos (barrenos) de 60 a 80 cm de profundidad y 2 cm de diámetro (Figura 25). Por ello quienes realizan este proceso de manera semi-mecanizada utilizan perforadoras neumáticas o rotomartillos, no obstante, hay gambusinos que aún lo realizan de manera manual; con cuña y marro. Los *barreteros* y gambusinos con experiencia son los encargados de realizar esta actividad, debido a que conocen las rocas y donde colocar los barrenos. Dada su complejidad, los gambusinos que hacen los barrenos de manera manual invierten aproximadamente 4 horas en realizar uno, por ello solo pueden hacer 2 por día. Mientras que con un rotomartillo hasta 6 por día, invirtiendo (máximo) dos horas por todos.

4. Tronadura o voladura

Este proceso se realiza de manera manual. Consiste en colocar en el barreno los explosivos y encender la cañuela para explotar la roca (Figura 26). Al igual que en la actividad anterior se realiza por mineros con experiencia; se debe tener especial cuidado en calcular el tiempo para la detonación; debe ser necesario para que los mineros puedan salir de la mina y para que la cañuela no se apague.



Figura 25. Proceso de barrenación en la MAM. Foto por María Isidra Sánchez Monroy



Figura 26. Preparación de barreno para voladura en la MAM. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

5. Rezagar

Este proceso es manual; consiste en separar el mineral de la roca que se desprendió con la voladura (Figura 27a). Para esto se utiliza marro y cuña. Después la ganga se queda dentro de la mina, mientras que el mineral es transportado a la bocamina, y después al horno. Este proceso se realiza varias veces a la semana, depende del número de barrenos y del mineral que se desprendan de las paredes de la mina.

6. Desprender mineral

Consiste en desprender el mineral que queda inestable con la voladura. Es totalmente manual; se utiliza marro y cuña (Figura 27b).



Figura 27. a) Proceso de rezaga, b) proceso de desprender el mineral que queda flojo con la voladura y c) transporte del mineral, de la bocamina a una carretera. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

7. Transporte mineral

Una vez que el mineral fue seleccionado, se coloca en costales para transportarlo del interior de la mina a la bocamina. Para esto utilizan diferentes mecanismos: donde hay tiros poco profundos (5m) lazos y escaleras, en tiros profundos; malacates, en los niveles los cargan a cuestras o utilizan carretillas. El método depende del espacio en el interior de la mina. Después, para transportar los costales de la bocamina a los hornos artesanales utilizan varios métodos, los cuales dependen de la cercanía del horno a la bocamina. Cuando el horno está cerca de la bocamina (25m) lo transportan a cuestras y en carretillas. Pero, en el caso de los hornos artesanales que se encuentran en las casas se utilizan camionetas, sobre todo donde las

carreteras llegan a la bocamina. Caso contrario, se transporta en bestias (burros) e incluso a cuestas (Figura 27c) para llegar a una carretera y de ahí en camioneta hasta el horno.

ETAPA 3: Beneficio

Es donde suceden los procesos fisicoquímicos para extraer el mercurio del mineral. El primer proceso físico es fraccionar el mineral en caso de que se encuentre en rocas grandes, después se le agrega cal al mineral y por aumento de temperatura el mercurio se evapora, en los condensadores se enfría y cae en forma de mercurio líquido.

8. Quema

En caso de que el mineral sea en rocas grandes, se tiene que fraccionar antes de incorporarlo al horno (Figura 28). Una vez que el mineral, la leña y todos los preparativos están listos, se procede con el proceso de quema. Este consiste en agregar cal al mineral, después se mezcla y se ingresa a los tubos (10 pulgadas) del horno para que con el calor se alcance la temperatura ideal (rojo vivo como los mineros mencionan) con la finalidad de separar el mercurio de otros componentes. Posteriormente, se realiza un sellado de las tapas de los tubos, utilizando barro. Se atiza constantemente para no perder calor, con el tiempo, el mercurio se evapora y con el frío del ambiente o al agregar agua al condensador (niples de 4 pulgadas) el mercurio desciende por gravedad y se almacena en ollas de barro o cubetas de plástico.

La duración de este proceso depende de la ley del mineral que es el resultado empírico de la técnica de tentadura; cuando es buena ley de 12 a 16 horas, mientras que si es de baja ley de 6 a 8 horas. Generalmente los mineros realizan de uno a dos cambios (cargas) de mineral durante una quema; y lo hacen los fines de semana. Si la producción del mineral es alta realizan otra quema entre semana. Esporádicas son las ocasiones donde el horno funciona toda la semana.

Los mineros determinan si la mayoría del mineral desprendió el mercurio que contenía, basándose en una serie de conocimientos empíricos y de la transmisión oral de muchas generaciones, éstos consisten en introducir un alambre de cobre en un orificio muy pequeño, incluso algunos mineros solo pasan una brocha por el orificio, que tienen las tapas de los tubos y si el alambre sale de un color gris parecido al de la ceniza, ya se quemó todo. Además, agregan cal para que el mercurio se separe de manera más fácil de los otros componentes.

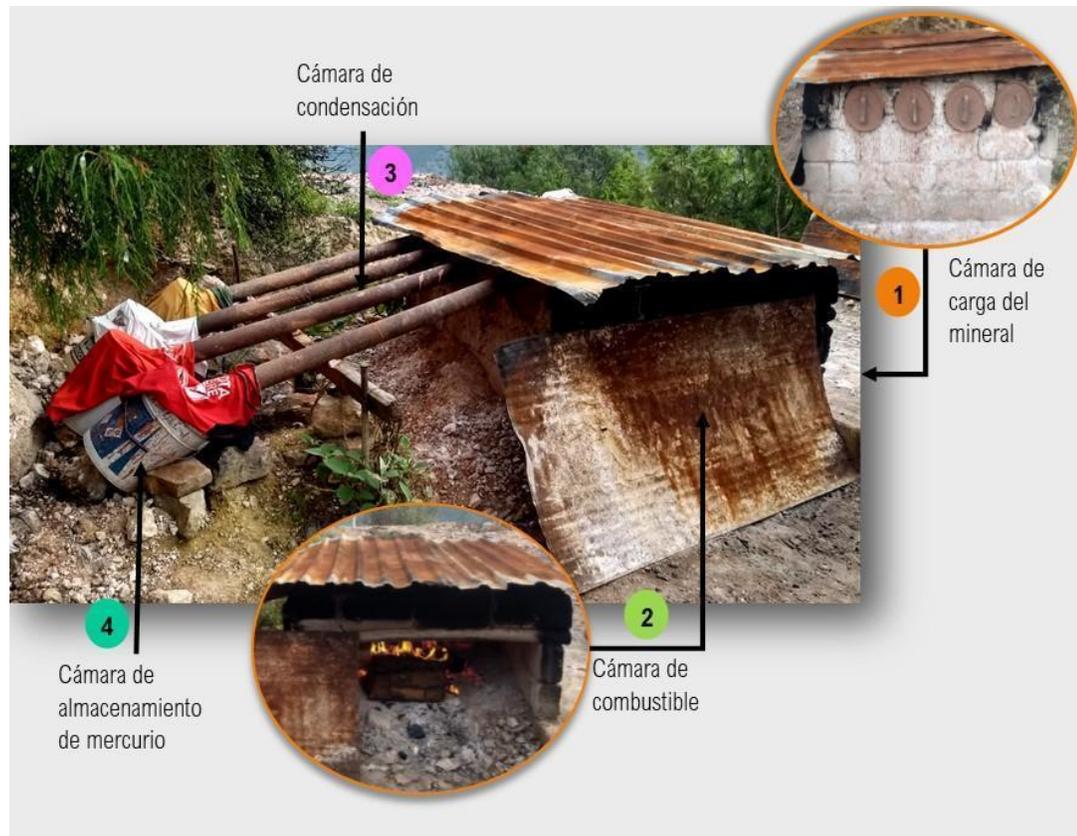


Figura 28. Horno artesanal para realizar el beneficio de mercurio utilizado por los Gambusinos en la comunidad 1) se carga el mineral en los tubos de 10" y se sellan las tapas con barro, 2) se prende fuego por 6 a 16 horas, 3) el mercurio se evapora y se condensa en los niples de 4" y 4) se colecta el mercurio líquido en cubetas u ollas de barro. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

Los mineros deben revisar constantemente el horno durante el tiempo de quema por dos razones: para que no falte calor y revisar que el barro no se agriete evitando fugas de mercurio; si esto sucede nuevamente colocan barro.

Hay gambusinos que trabajan por grupos familiares y se dividen tareas, de tal modo que sólo uno de ellos realiza este proceso.

9. Limpia

Este proceso consiste en recolectar todo el mercurio líquido. Los gambusinos desprenden todo el mercurio que haya quedado en las paredes de los tubos del condensador, esto se realiza de varias maneras; hay quiénes golpean los tubos con un marro y por gravedad el mercurio cae (Figura 29a), otros lo hacen introduciendo un palo con un estropajo al niple.

Una vez que han colectado todo el mercurio líquido se elimina el agua y las basuras del mercurio líquido, para esto se utilizan telas y franelas (Figura 29b).

ETAPA 4: Venta

Esta etapa consiste en dejar el mercurio líquido envasado para su venta. Por lo general, este proceso se realiza una vez por semana.

10. Envasado del mercurio

Con ayuda de un embudo los mineros y gambusinos vierten el mercurio líquido en botellas plásticas de refresco de 600 ml (Figura 29c) donde el mercurio es almacenado para su venta. Una botella de 600 ml puede pesar hasta 8 kg de mercurio.



Figura 29. a) desprendimiento del mercurio líquido de los niples, b) eliminación de agua y basuras del mercurio líquido y c) envasado del mercurio. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

Producción de mercurio

La producción de mercurio que obtienen gambusinos y mineros depende de la riqueza de la veta y la cantidad de mineral extraído, que a su vez depende de la maquinaria que utilizan, y el tipo de proceso (completo e incompleto). Los gambusinos que realizan el proceso completo obtienen de 15 a 20 costales de mineral; 800 kg a una tonelada de mineral para obtener de 7 a 10 kilos de mercurio líquido por semana. Aunque esta no es una regla; hay vetas que por costal de mineral se obtiene un kilogramo de mercurio. Para esto, además de la tentadura, los gambusinos identifican los tipos de minerales y cuáles son los más ricos, por ejemplo, mencionan que para una buena producción la combinación de granate con nativo o azogue (Figura 30) son una buena combinación.



Figura 30. Diferentes tipos de minerales de mercurio: a) mercurio líquido nativo o azogue, b) mineral rojo o cinabrio y c) mineral granate. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

Por su parte, la producción de mineral de los gambusinos a través del proceso incompleto es más baja debido a que su mineral tiene menor grado de riqueza; la mayoría proviene de la ganga del interior de la mina de temporadas pasadas. Aproximadamente, tienen que obtener 30 costales; de 1200 kg a 1500 kg de mineral para obtener de 3 a 8 kg de mercurio a la semana.

También, la producción se ve afectada por el precio del mercurio y si los gambusinos trabajan de manera individual o en grupo. Si el precio del mercurio es bajo y se trabaja en grupos, los gambusinos tienen que extraer más mineral, y viceversa.

Para concluir este apartado, en la tabla 9 se resumen las diferencias entre un proceso y otro.

Tabla 9. Principales diferencias entre los tipos de procesos para la obtención de mercurio.

Proceso completo		Proceso incompleto
Manual	Semi-mecanizado	Recolección de ganga
Barrenación manual	Barrenación mecanizada	No realizan proceso de barrenación
Uso de explosivos		No utilizan explosivos
800-1000 kg de mineral para obtener 7-10 kg de mercurio		1200 – 1500 kg de mineral para obtener 3-8 kg de mercurio
12-16 horas/quema		6-8 horas/quema
8-10 horas hombre/día	6-8 horas hombre/día	5-6 horas hombre/día

Fuente: elaboración propia.

Las diferencias entre los procesos no sólo reflejan variaciones en la cantidad de mercurio producida siendo el proceso completo en sus dos tipos donde se obtiene mayor producción sino también en la exposición de los trabajadores al mercurio y a otros riesgos por enfermedades. Por ejemplo, los trabajadores mineros que realizan el proceso completo de manera manual tienen mayor probabilidad de desarrollar enfermedades óseas debido a que realizan el proceso de barrenación con herramientas de golpeteo (marro y cuña); para hacer un barreno quienes

realizan este tipo de proceso tardan 4 horas, mientras que quiénes lo hacen de manera mecanizada en una hora pueden obtener 3 barrenos. Por otro lado, el uso de explosivos, el estar más tiempo en los hornos a la hora de quemar y trabajar más horas en el interior de las minas para extraer el mineral aumentan las probabilidades de que un minero que se dedique a la obtención de mercurio de manera manual sufra intoxicaciones por mercurio y enfermedades en las articulaciones.

Finalmente, en términos de contaminación ambiental en el proceso incompleto se sacan de las minas de 500-700 kg más de mineral que en el proceso completo, este material se dispersa en el ambiente de la comunidad, y en este proceso no se hace modificación al paisaje debido a que no se hacen barrenos ni se utiliza pólvora.

9.2 RUTAS DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL AL MERCURIO EN LA MAM

En la tabla 10 se presentan las principales rutas de exposición ocupacional al mercurio identificadas en este trabajo. Las rutas de exposición están compuestas de 7 apartados: fuente primaria, fuente secundaria, mecanismo de salida, punto de exposición, vía de exposición, población afectada y tiempo.

Se identificaron 6 fuentes primarias de emisión de mercurio: interior de mina, patio de mina, hornos de retorta regionales en los traspatios, condensador, carreteras y rodaderos.

Las etapas de exploración y extracción de mineral se realizan en el interior de la mina. La exposición en esta fuente primaria se restringe a ocupacional y en tiempo presente; es decir no afecta a otras personas que no sean los trabajadores mineros debido a que es un ambiente cerrado. Esta fuente primaria se asocia a 7 fuentes secundarias: azogue o mercurio nativo, vapor de mercurio, mineral de cinabrio, suelo, agua subterránea, gases de tronadura (explosivos) y polvo. El punto de exposición donde los mineros están en contacto con estas fuentes secundarias es el ambiente del interior de la mina (aire, agua, mineral, suelo). En tanto, las vías por las que el mercurio entra al cuerpo de los mineros son la respiratoria a través del polvo con partículas de mercurio, vapor de mercurio y gases de tronadura. La vía dérmica se da por el contacto directo (sin guantes) con el mercurio nativo, el suelo y el mineral, y la vía oral se da principalmente cuando los mineros ingieren alimentos dentro la mina sin lavarse las manos y/o utilizando agua estancada del interior de las minas para este fin. También, en esta fuente primaria el agua subterránea y suelo contaminado se filtran a los mantos acuíferos generando una fuente potencial de exposición al mercurio por ingesta de plantas, animales o agua de manantial.

Tabla 10. Rutas de exposición al mercurio en la Minería Artesanal de Mercurio. Fuente: elaboración propia.

ETAPA DE TRABAJO	ACTIVIDADES	FUENTE PRIMARIA	FUENTE SECUNDARIA	MECANISMO DE SALIDA	PUNTO DE EXPOSICIÓN	VÍA DE EXPOSICIÓN	POBLACIÓN AFECTADA	TIEMPO			
Exploración	Identificación de vetas	Interior de las minas	Azogue	Escorrentía	Yacimientos al interior de la mina	C. Dérmico Ingesta	TM	Presente			
	Tentaduras			Volatilización	Aire en int. mina	Respiratoria					
Extracción	Barrenar		Mineral (cinabrio)			Yacimientos al interior de la mina			C. Dérmico Ingesta		
	Tronar										
	Desprender		Gases de tronadura	Volatilización	Aire en int. mina	Respiratoria					
	Encostalar		Polvos	Resuspensión	Aire en int. mina	Respiratoria					
	Transporte a la bocamina		Suelo contaminado						Interior de la mina	C. Dérmico Ingesta	
			Agua subterránea	Escorrentía	Charcos en int. mina				C. Dérmico		
			Agua subterránea y suelo	Lixiviación	Manantiales de la comunidad				Ingesta	Comunidad	Futuro
Plantas y animales						ingesta					
Beneficio y transporte	Quema	Patio de mina	Polvos	Resuspensión	Aire patio de mina	Respiratoria	TM	Presente			
	Comida		Suelo contaminado		Patio de mina	Ingesta C. Dérmico					
			Agua residual y suelo	Lixiviación	Manantiales	Ingesta			Comunidad	Futuro	
		Plantas y animales				Ingesta					
Beneficio	Quema	Hornos en el traspatio y patio de mina	Polvo (ceniza, cal, mineral)	Resuspensión	Aire en hornos	Respiratoria	Comunidad	Presente			
			Vapor de mercurio	Volatilización							
			Agua residual	Almacenamiento	Botes con agua	C. Dérmico			Niños	Presente	
			Agua residual	Animales					Ingesta	Comunidad	Futuro
			Suelo (ceniza, mineral, cal)						Hornos en traspatio y patio de mina	C. Dérmico Ingesta	Niños y TM
	Limpia	Condensador en el traspatio y patio de mina	Hg líquido		Tubos con Hg líquido		C. Dérmico Ingesta	TM	Presente		
			Residuos de Hg líquido		Residuos de Hg líquido en el condensador		C. Dérmico Ingesta				
			Insumos p/limpieza contaminados (franelas, estropajos, escobas, cubetas, etc)					C. Dérmico Ingesta	Niños	Presente	
			Agua residual	Almacenamiento	Botes con agua	C. Dérmico	Niños	Futuro			
					Animales			Ingesta			
			Agua residual y suelo	Lixiviación	Plantas	Ingesta	Comunidad	Futuro			
			Manantiales	Ingesta							
	Residuos mineros	Carreteras	Suelo contaminado	Resuspensión		Aire	Respiratoria	Comunidad	Presente		
				Lixiviación		Manantiales	Ingesta				
		Rodaderos	Suelo contaminado	Resuspensión		Aire	Respiratoria	Comunidad	Pasado/presente		
Lixiviación				Manantiales	Ingesta						
				Plantas	Ingesta						

TM: Trabajadores mineros **Rodaderos:** apilamiento de residuos mineros en las bocaminas, originados, principalmente, en la época de los concesionarios
Comunidad: se refiere a toda la población de la comunidad, incluyendo a TM y niños. **Fuente:** elaboración propia.

En el patio de mina, donde también hay algunos hornos y condensadores se encuentran residuos mineros, cenizas y cal que se mezclan con los suelos del lugar. El mercurio contenido en estos suelos puede ser movilizado por el aire, el desplazamiento de animales, humanos y autos, por la lluvia que cae y lixiviado a los mantos acuíferos, generando una exposición potencial a la población general de la comunidad debido a que ya no se encuentra en un ambiente cerrado. Las vías por las cuales pueden ingresar estos polvos a los cuerpos de los mineros son respiratoria, por contacto dérmico al manipular costales o herramienta en el lugar e ingesta al no lavarse las manos para comer.

El área del horno y condensador, al igual que el interior de la mina es un área crítica debido a que la exposición al mercurio se da en diferentes medios: el agua que se utiliza para el proceso de limpia y se tira al suelo o se almacena en botes, el vapor de mercurio que emiten los condensadores y horno, el polvo, la ceniza, los residuos mineros (escorias y mercurio líquido) y la producción de mercurio líquido. Además, la ubicación de los hornos en los hogares de los gambusinos y cercanos a las *milpas* propicia que la exposición se traslade a los niños e integrantes de la familia y los cultivos, y por supuesto, a la comunidad en general. Las vías de exposición principales son la respiratoria por los gases que emiten los hornos al quemar el cinabrio, el polvo, el vapor que emite a presión atmosférica el mercurio líquido; la exposición por la vía dérmica se da cuando los mineros manipulan el mercurio líquido y cinabrio sin guantes y finalmente, la ingesta de este contaminante por no tener un lavado de manos adecuado antes de ingerir alimentos y los niños a través del movimiento mano-boca.

Sumado a lo anterior las carreteras de terracería se han convertido en un punto de exposición y contaminación debido a que los residuos mineros (escorias) son vertidos ahí con la finalidad de que sirvan como rellenos para baches. Esto produce la dispersión del mercurio por el territorio de la comunidad con el movimiento de los animales, automóviles y humanos, la deposición seca y húmeda.

Además, los residuos emitidos en temporadas anteriores de la minería. En su momento, fueron aguas residuales y vapor de mercurio. Hoy en día, de manera visible, se perciben el apilamiento de residuos mineros (rodaderos) en las montañas de la comunidad, los cuales han contribuido a la dispersión del mercurio en el aire, suelos, sedimentos y biota de la región (Hernández-Silva et al., 2012).

Vías de exposición

De acuerdo con los resultados, el interior de la mina, los hornos y condensadores representan una fuente de emisión de mercurio metálico (Hg^0) importante a considerar para disminuir la exposición ocupacional de los mineros debido a la presencia de vapor de mercurio que tiene de 69-85% de absorción cuando entra al cuerpo mediante la vía respiratoria (ATSDR, 2022), además el vapor de mercurio se considera de alta toxicidad (Larry et al., 2002). Por otro lado, en los condensadores artesanales y dentro de la mina donde hay presencia de mercurio líquido y donde se puede ingerir este metal por su manipulación sin guantes y la ingesta de alimentos sin un lavado previo y adecuado de manos, los mineros pueden absorber de 7-10% por el sistema gastrointestinal (GI) y otra pequeña parte 1% por la piel (Berlin et al., 2007).

En el caso del mercurio inorgánico (Hg^{2+}) que está presente en forma de mineral de cinabrio en todas las etapas de obtención de mercurio; desde el interior de las minas, el patio de mina, los hornos, condensadores e incluso en las escorias dispersas en las carreteras y rodaderos. Al cinabrio los mineros se exponen mediante vía respiratoria a través de los polvos con partículas de este mineral, por su manipulación sin guantes y su posible ingesta por no tener un lavado adecuado de manos antes de la comida. No se tienen datos sobre la absorción del cinabrio por vía respiratoria y dérmica pues su absorción depende de factores como el tamaño de partícula y la solubilidad. No obstante, si este tipo de mercurio llega a ingerirse tiene un porcentaje de absorción de 1 al 16% en adultos; estudios con roedores demuestran que el porcentaje de absorción es más alto en ratas jóvenes (8 semanas) comparados con adultas (OMS, 2000).

Por su parte, el mercurio orgánico, metil-mercurio (MeHg) actualmente, no es un riesgo de exposición para los mineros ya que su dieta no incluye pescado que es el alimento con mayor contenido de MeHg debido a la metilación del mercurio que sucede en ambientes acuáticos y al fenómeno de bioacumulación por mercurio en los peces (Obrist et al., 2018). No obstante, en la región se ha reportado 0.04-0.87 mg/kg de mercurio en los granos de maíz (Hernández-Silva et al., 2012) que es un cultivo que forma parte de la alimentación básica de los campesinos y mineros, sin embargo, Sun y colaboradores (2019) reportan que el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) acumula de manera no significativa el MeHg del suelo en su etapa comestible (grano) e incluso lo proponen como un cultivo que sustituya al arroz en áreas contaminadas por mercurio. Se desconocen de otras especies de flora y fauna de consumo local que hayan absorbido este

compuesto después de años de contaminación, así como su incorporación en las cadenas alimenticias magnificando la contaminación por mercurio en la comunidad.

9.2.1 Factores que aumentan el riesgo de exposición ocupacional

Existen diferentes factores en la MAM que potencian la exposición al mercurio de los trabajadores mineros. En este trabajo se identificaron 6 principalmente: tipo de minería, condiciones de las minas, malas prácticas de higiene laboral, uso de Equipo de Protección Personal (EPP) y tiempo de exposición.

1. Tipo de minería

El primero tiene que ver con la minería; se trata de un tipo de minería artesanal que hace beneficio directo de los minerales de mercurio, en sí misma está actividad representa un riesgo para la salud por la manipulación del mercurio. Por otro lado, los mineros viven en situación extrema de abandono, sin seguridad social y sin acceso a servicios de salud, al igual que en la minería artesanal de oro esto puede ser producto de su estigmatización como ilegales (Lopez Bravo et al., 2016). En materia de accidentes tienen poca probabilidad de atención y para empeorar el panorama se exponen indiscriminadamente al mercurio. Por su condición de clandestinidad tiene acceso a mercados limitados y venden su producción de mercurio a precios muy bajos, lo cual repercute en los ingresos percibidos que se destinan a la subsistencia, relegando el uso de EPP y maquinaria apropiada para la extracción del mineral (Banco Mundial, 1996).

La exposición continua a residuos y la falta de programas oficiales de monitoreo, la ausencia del estado para la aplicación de la normativa ambiental para regular la disposición de residuos mineros tanto para gambusinos como para dueños de concesiones y contratos mineros con la finalidad de disminuir la contaminación del ambiente de la región y con ello los problemas de salud.

2. Condiciones en las minas

Las minas de mercurio son subterráneas, profundas, con poca ventilación y muy estrechas; estas condiciones potencian la toxicidad del mercurio; cuando hay presencia de azogue al interior de las minas se volatiliza y desprenden gases tóxicos que se quedan en el aire del interior de la mina, los cuales son inhalados por los mineros. Además, se presentan otras condiciones que aumentan el riesgo de accidentes como las escaleras deterioradas, caminos irregulares y resbalosos por la presencia de agua, etc. Los riesgos de seguridad son

especialmente graves en la minería subterránea artesanal debido al soporte inadecuado del techo y a la falta de iluminación y ventilación (Noetstaller Richard, 1995). Las cinco principales causas de accidentes en minas pequeñas son: la caída de las rocas y el hundimiento de tierras, la falta de ventilación, la mala utilización de explosivos, la infracción y desconocimiento de reglas de seguridad laboral y el uso de equipo de protección personal anticuado y con mantenimiento deficiente (OIT, 1999). En este caso, las minas son muy estrechas, esto hace que la ventilación sea deficiente y cuando se utilizan explosivos para la voladura, se incrementa la posibilidad de que el minero no pueda salir a tiempo antes de que se produzca la explosión. Las diferentes direcciones que toman las galerías hacen que el acarreo del mineral a la superficie sea cada vez más difícil, además, pueden provocar fracturas en la estructura de las minas que pueden terminar en derrumbamiento. Si a esto se le añade que los mineros no utilicen implementos de seguridad como cascos y botas de seguridad, las posibilidades de un accidente fatal son enormes (Kuramoto, 2001).

3. Malas prácticas de higiene laboral

Los hábitos tienen que ver con las reacciones que tienen los trabajadores mineros frente a diversas situaciones donde exponen su cuerpo al mercurio y sus compuestos durante una jornada laboral. La ingesta de suelo, mercurio líquido, polvo y mineral, está relacionada con no lavarse las manos después de tocar estas sustancias e ingerir alimentos. Este es un hábito de alta incidencia entre los trabajadores mineros debido a la omisión en la higiene de manos o no cuentan con jabón y agua. Por otro lado, algunos mineros llevan fruta, galletas y bebidas que introducen a la mina y las ingieren en el interior de esta, para esto no se lavan las manos debido a que en el interior de las minas no tienen agua y jabón, otros, se lavan las manos con el agua que está estancada dentro de las minas. Dada la manipulación del mercurio líquido con las manos, se dificulta su eliminación con el lavado de manos debido al uso de uñas largas donde se puede acumular el mercurio.

Otro hábito de gran incidencia es ingerir alimentos en el patio de mina; la mayoría de los mineros, después de media jornada laboral se trasladan a los patios de mina para comer ahí. En el patio de mina se encuentran suelos contaminados por mercurio debido al constante transporte de mineral y, en algunos casos, por la quema del mineral. Estos residuos pueden depositarse en los alimentos por el flujo de los vientos.

En los hornos se dan hábitos de menor incidencia como calentar los alimentos encima del horno cuando está prendido o ingerir bebidas y alimentos cerca de este durante el proceso de quema. Debido a la ubicación de los hornos en los patios de los hogares, un hábito que aumenta la exposición a componentes de mercurio es tender la ropa limpia cerca del horno o de los residuos mineros; con el viento se pueden impregnar de polvo contaminado. Otros hábitos de dispersión de mercurio son tirar en el patio el agua residual del lavado de ropa de los mineros o regar las plantas con esa agua. Además, hay quienes realizan el proceso de rezaga en los patios de sus hogares esto aumenta el contenido de mercurio en los suelos de traspatio.

Finalmente, el permanecer durante todo el día con la ropa de mina y no disponer de un lugar específico para colocarla, aumenta el riesgo de exposición. Por otro lado, las mujeres presentan exposición a los polvos, olores y *azogue* impregnados en la ropa ya que son quienes lavan esta ropa cada fin de semana.

4. Uso de Equipo de Protección Personal (EPP)

El EPP recomendado por organizaciones de la salud para el manejo y exposición del mercurio en la minería, sobre todo para sus compuestos inorgánicos se expone en la tabla 11.

El Equipo de Protección Personal que utilizan los trabajadores mineros de la MAM no es adecuado para el manejo de mercurio inorgánico (vapor, mineral y líquido), de acuerdo con la NOM-017-STPS y CCOHS (Centro canadiense de salud y seguridad ocupacional, siglas en inglés).

El 80% de los mineros utilizan casco, aunque no lo utilizan siempre, suelen sustituirlo por un sombrero, gorro o gorra. Solamente el 4% de los mineros utiliza los lentes de seguridad, consideran que en el interior de la mina no son necesarios porque “son oscuros”. En el caso de la utilización de arnés o cinturón de seguridad ningún minero lo utiliza, en su lugar utilizan “cuerdas de vida” como ellos las llaman que consisten en lazos amarrados a rocas, y de ahí a su cuerpo. Al igual que los lentes de seguridad, sólo el 4% de los mineros utiliza tapones auditivos (a veces), en este caso se observó que no los consideran; algunos mineros mencionaron que no les molesta el ruido. Se encontró que el único EPP que se utiliza al 100% son los zapatos de seguridad. Mientras que sólo el 16% de los mineros utilizó mascarillas para gases tóxicos, sin embargo, no tienen cartuchos químicos para filtrar gases de mercurio, son de carbón activado que sirven para otros gases como el monóxido de carbono. Se observó que no conocen sobre estos cartuchos químicos para mercurio.

Tabla 11. Equipo de Protección Personal para el manejo de compuestos inorgánicos de mercurio.

Equipo de Protección Personal (EPP)	Recomendaciones de uso
Casco de seguridad Que no sea conductor de electricidad.	Utilizarlo en todo momento dentro de la mina para evitar golpes por desprendimiento de material y golpes inesperados.
Goggles/lentes De seguridad química. También puede ser un protector facial con gafas de seguridad.	Utilizarlo dentro de mina, sobre todo, en el proceso de barrenación, debido al desprendimiento de partículas a velocidad. También, utilizarlo en el proceso de limpia y recolecta del mercurio líquido para evitar cualquier salpicadura.
Arnés o cinturón de seguridad: Para trabajos en alturas o exposición al vacío.	Utilizarlo en todo momento, dentro de las minas como medida de seguridad.
Audífonos o tapones	Utilizarlos cuando se hace el desprendimiento del mineral de manera manual y en los procesos de barrenación y voladura.
Zapatos de seguridad	Utilizarlos en todo momento dentro de la mina.
Respiradores (mascarillas) Cualquier respirador con cartucho químico que proporcione protección contra los compuestos inorgánicos de mercurio. *Debe indicar su vida útil y APF = 10(Factor de Protección Asignado por sus siglas en inglés)	Utilizarlos dentro de las minas por el desprendimiento de vapores tóxicos emitidos por el <i>azogue</i> y en el proceso de quema. Utilizar cartuchos especiales para mercurio y cuidar su vida útil para cambiarlos.
Overol, botas y guantes: Ropa de protección química de materiales impermeables como: caucho butílico, caucho natural, caucho de neopreno, caucho de nitrilo, cloruro de polivinilo (PVC), Viton, Viton/caucho butílico, Silver Shield, PE/EVAL/PE, Tychem® BR/LV, Tychem, Responder, CSM, Tychem TK.	Utilizar este equipo cuando se tenga contacto con el mercurio líquido y en el interior de la mina por la exposición a vapores tóxicos.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de NOM-017-STPS-2001; CCOHS, 2022; (Sociedad Nacional de Minería, 2002).

Por otro lado, las mascarillas de carbón sólo las usan en lugares donde hay “gas” en el interior de la mina; es decir donde hay mercurio nativo. Este tipo de mascarilla la suelen utilizar los gambusinos que han tenido alguna experiencia de envenenamiento por mercurio. Otros mineros no la han adquirido porque piensan que con el pañuelo es suficiente. También, consideran que los minerales de mena que ellos extraen “no son tan ricos en mercurio por ello no son peligrosos”.

Por último, el 12% de los mineros utiliza overol, sin embargo, éste no es impermeable, es de tela y su uso es ocasional, al igual que los guantes y las botas. El 20% de los mineros utiliza

guantes dentro de las minas para la manipulación de las rocas y el mineral. En los hornos, los suelen utilizar para evitar sufrir una quemadura. No obstante, la manipulación del mercurio líquido lo realizan sin guantes (Figura 34b). En el caso de las botas impermeables, el 52% de los mineros las utiliza de manera ocasional, debido a que sólo se utilizan cuando las minas tienen agua acumulada y de esta manera evitan la humedad en los pies.

En la figura 31 se muestran los insumos que utilizan los trabajadores mineros de la comunidad para protegerse en las minas y para evitar el contacto con el mercurio. Los insumos que más utilizan son los zapatos o botas de trabajo, seguido de ropa de mina; ropa de uso cotidiano que se utiliza solamente para trabajar en la mina, camisa manga corta (Figura 32a) y larga, casco y pañuelo, mientras que el EPP con menor uso son los guantes, las mascarillas para gases tóxicos, overol, protectores auditivos y gafas de seguridad. Esto sucede por dos razones: los mineros que son contratados por terceros no reciben EPP por parte de sus empleadores; se limitan a un casco y una lámpara. Por su parte, la mayoría de los gambusinos también se limitan a este EPP por las pocas ganancias que obtienen de la venta del mercurio, utilizando lo que tienen a la mano que es ropa común. Además, se observó que existe desconocimiento sobre la protección personal que deben utilizar para el manejo del mercurio.



Figura 31. Equipo de Protección Personal que usan los trabajadores mineros en la MAM. Fuente: propia



Figura 32. a) Exposición a azogue dentro de la mina cuando se utiliza camisa manga corta, b) Manipulación sin guantes del mercurio líquido, después de fundir el mineral. Foto por María Isidra Sánchez Monroy.

5. Tiempo de exposición

En la tabla 12 se presenta el tiempo que invierten los trabajadores en las diferentes actividades mineras y por tanto la duración de la exposición. Los mineros contratados pasan 8 horas por 5.5 días a la semana en el interior de las minas y en los hornos; se turnan: unos son horneros, otros van a la mina. Mientras que los gambusinos invierten de 5 a 7 horas al interior de la mina 5 días a la semana y en los hornos de 2-3 horas por cada quema de mineral que dura entre 6 y 16 horas, se considera este tiempo porque es el que pasan directamente cerca del horno ya sea cargando el horno de mineral, atizando, sellando las tapas de los tubos, cambiando de carga y limpiando. Estos procesos se realizan una vez por semana.

Las actividades que mayor tiempo requieren son las que se realizan en la etapa de extracción; desde la barrenación hasta el transporte. Estas actividades se realizan dentro de la mina donde la mayoría de mercurio se encuentra en el polvo, el suelo y el mineral de mena, ocasionalmente hay presencia de *azogue*.

Tabla 12. Duración de la exposición ocupacional al mercurio en la MAM.

Lugar	Proceso	Forma física Hg	Trabajador minero	Duración			
				Horas/día	Días/semana	Meses/año	Experiencia (años)
Interior de mina	Barrenación	Mineral (cinabrio), vapor Hg, Azogue	Mineros contratados	8	5.5	12	1-30
	Tronadura		Gambusinos	5-7	5	7-12	2-27
	Rezagar						
	Encostalar						
Transportar							
Horno y condensador	Quema		Mineros contratados	8	2-5	12	1-30
	Limpia	Gambusinos	2-3	2	7-12	2-27	
	Envasado						

Fuente: elaboración propia

Los gambusinos llevan a cabo la MAM por temporadas; es decir, no todos los meses del año se dedican a esta actividad. La mayoría de los gambusinos trabaja de 7 a 10 meses en la mina, el resto de los meses algunos migran en busca de otro empleo en las ciudades, otros utilizan el tiempo para descansar y pocos se dedican los 12 meses del año a esta actividad. Por otro lado, los mineros contratados deben cumplir el contrato laboral que hicieron con sus empleadores, el cual puede ser por temporadas o todo el año.

La experiencia laboral consiste en los años que cada trabajador minero se ha dedicado a la MAM, tanto en gambusinos como en mineros contratados se pueden encontrar mineros desde un año de experiencia hasta 30 años. No obstante, el promedio oscila entre los 11 y 13 años de experiencia, corresponde a mineros jóvenes de 25 a 30 años que iniciaron en esta última temporada minera, en este trabajo referida como la *minería en la actualidad*

9.3 CONCENTRACIONES DE MERCURIO TOTAL EN FUENTES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL EN LA MAM

En este apartado se muestran los niveles de mercurio total en fuentes de exposición ocupacional: polvo generado en una voladura subterránea, residuos mineros (escorias) producidos en hornos de retorta ubicados en los traspacios de las casas, agua de manantial y vapores de mercurio emitidos en condensadores artesanales. Por otro lado, y de manera adicional se muestran los resultados de la cuantificación de mercurio soluble en las escorias y polvo generado en la voladura.

9.3.1 Mercurio total

9.3.1.1 Residuos mineros (escorias) ubicados en los traspacios de los hogares

Las muestras de residuos mineros (HE, HB Y HP) y de polvos de una tronadura (MP) se tamizaron en diferentes tamaños de abertura de malla, desde <0.044 hasta ≥ 4.76 mm. En la tabla 13 se presenta la distribución del peso de las muestras en función del tamaño de partícula.

En este caso, no se midió el contenido de mercurio en partículas respirables ya que su tamaño (0.01 mm) es 4 veces menor a la abertura del tamiz utilizado. Sin embargo, se cuantificó el mercurio en los tamaños: ≥ 0.044 a <0.074 mm y ≥ 0.074 a <0.42 mm que corresponden a las Partículas Suspendidas Totales (PST 5×10^{-6} a 1 mm), en la tabla 13 se encuentran remarcadas en color gris, las cuales pueden estar en la atmósfera y transportarse con facilidad (INE-SEMARNAT, 2011).

Tabla 13. Distribución del peso de las muestras en porcentaje según el tamaño de las partículas.

Categoría	Tamaño de partícula (mm)	% peso de las muestras			
		HE	HB	HP	MP
0	<0.044	2	7	4	3
1	≥0.044 - <0.074	5	8	7	9
2	≥0.074 - <0.42	18	21	11	31
3	≥0.42 - <0.59	0	0	1	0
4	≥0.59 - <0.84	13	12	8	19
5	≥0.84 - <1	1	0	1	0
6	≥1 - <1.19	10	7	6	11
7	≥1.19 - <2	10	7	7	9
8	≥2 - <2.38	8	4	6	7
9	≥2.38 - <4.76	18	11	18	9
10	≥4.76	15	23	32	2
Total peso (%)		100			

Notas: El 100% de la muestra representa 500 gr. **Fuente:** elaboración propia.

Los residuos mineros que se analizaron fueron escorias⁸, éstos se originaron en los hornos artesanales donde se realiza el beneficio de mercurio (proceso de quema).

En la figura 33 se muestran los residuos de los hornos artesanales (HE-1, HB-1 y HP-1) que corresponden a partículas del tamaño ≥ 0.044 a < 0.074 mm, mientras que los residuos de HE-2, HB-2 y HP-2 tienen partículas ≥ 0.074 a < 0.42 mm.

En ambos tamaños, se encontró la mayor cantidad de mercurio total en los residuos producidos por el horno artesanal HB, seguido de HP y finalmente HE. La variación del contenido de mercurio total en los residuos se atribuye a factores como la riqueza del mineral extraído, la eficiencia del condensador artesanal y del proceso de fundición.

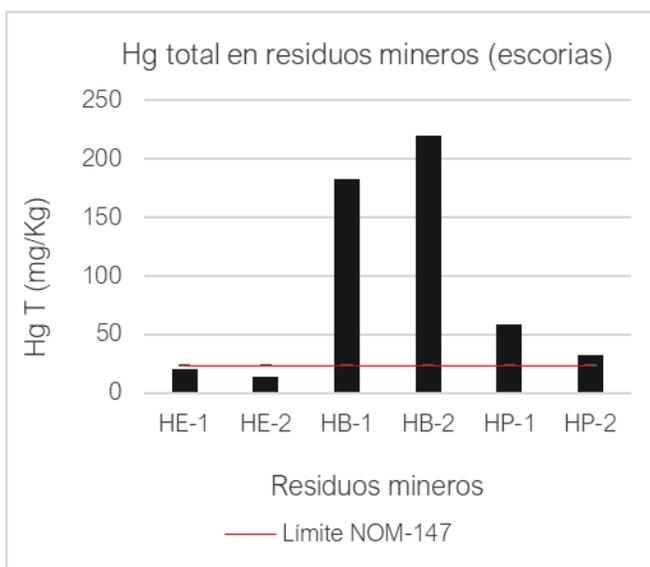


Figura 33. Concentraciones de mercurio total en residuos mineros ubicados en los traspacios de los hogares de las familias mineras. Fuente: elaboración propia.

⁸ Escorias: Residuos provenientes de las operaciones de fundición por la acción química y la fusión, a través de la combinación de fundentes (carbonatos y silicatos) con la ganga o porción sin valor del mineral.

De acuerdo con la figura 33, los residuos de los hornos HE y HP tienen el mayor contenido de mercurio (20.11 y 58.89 mg/kg, respectivamente) en las partículas de menor tamaño analizado (≥ 0.044 a < 0.074 mm). En este estudio no se puede concluir que la mayor cantidad de mercurio total se encuentre asociado a las partículas de menor tamaño debido a que el muestreo fue de tipo exploratorio. No obstante, Xiu y colaboradores (2005) encontraron que el mercurio suele concentrarse en las partículas más finas o de menor tamaño, en su estudio, obtuvieron que del mercurio total encontrado en Partículas Suspendidas Totales (0.005 a 100 μ m) del 60-70% se concentra en partículas con tamaño de 8 μ m.

En México la regulación de material particulado es a través de la NOM-025-SSA1-2014, pero no existe algún mecanismo de regulación para el contenido de metales pesados en partículas, específicamente para mercurio. Para fines de este estudio se tomaron como referencia los límites de mercurio en suelos establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004⁹ debido a que los residuos se encontraban en suelos con uso agrícola y residencial. El contenido de mercurio en los diferentes residuos para ambos intervalos de partículas es hasta 17 veces mayor a la NOM-147(2004). Ésta norma establece un límite máximo permitido de 23 mg Hg/kg de suelo ya sea de uso agrícola, residencial o comercial; a partir de esta concentración puede representar un riesgo a la salud de los seres humanos, y, por tanto, se necesitan estrategias de remediación.

Los efectos a la salud derivados de la exposición a mercurio en suelos no se pueden relacionar directamente debido a que dependen de factores como: la forma química del mercurio ya sea como compuesto orgánico de mercurio, sales inorgánicas o mercurio elemental. Así como también de la dosis, duración a la exposición, velocidad de asociación/disociación del complejo mercurio-proteína, etc. (Ramírez, 2008). Por otro lado, para asociar los efectos a la salud por la exposición a mercurio, la mayoría de los estudios utilizan los biomarcadores de mercurio en: orina, sangre, plasma, cabello y uñas. En este sentido, los efectos a la salud derivados de la exposición a mercurio en poblaciones con un ambiente ocupacional similar, como la minería artesanal de oro donde se utiliza el mercurio para separar el oro de otros compuestos están relacionados con efectos neurológicos: temblor, ataxia, problemas en la memoria y desórdenes en la visión relacionados al contenido de mercurio en orina de 100 μ g/gcr (μ g/g de creatinina) y disfunción renal 12 μ g/gcr (Gibb & O'Leary, 2014). Mientras que, Harari y colaboradores (2012)

⁹ Norma Oficial Mexicana (NOM-147) Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

encontraron neurotoxicidad en niveles de exposición de 0.23 – 170 µg/gcr, además concluyeron que los efectos se agravan cuando los trabajadores tienen contacto con vapor de mercurio. Por otro lado, un estudio realizado en minería artesanal de mercurio reportó niveles de exposición de 55-4964 µg/gcr, encontrando afectación motora superior en el 75% de los mineros y afectación de la motricidad fina en el 50% de los mineros (INECC, 2020).

En la tabla 14 se citan otros estudios realizados en el distrito minero de San Joaquín, Querétaro. Se encontraron niveles de mercurio en suelos agrícolas en un rango de 0.5 a 314 mg/kg y en terreros¹⁰ de 2.4 a 4164 mg/kg, en donde las muestras se conformaron de 5 sub-muestras tomadas a 50 metros de distancia y tamizadas en malla de 2 mm (Martínez Trinidad, 2013). En el estudio actual se obtuvieron niveles de mercurio entre 13.7 y 220 mg/kg en residuos mineros (escorias). Por otro lado, en la comunidad de la Plazuela, Peñamiller, Querétaro, Camacho y colaboradores (2016) encontraron niveles de mercurio en suelo doméstico que va desde 28.8 hasta 3,493 mg Hg/kg. Estos estudios nos dan un panorama de la contaminación por mercurio en la región de la Sierra Gorda de Querétaro.

Los residuos mineros (escorias) son una fuente de exposición ocupacional al mercurio y una fuente de contaminación ambiental en la región. En el primer caso, los residuos son removidos de los hornos artesanales por los mineros en el proceso de quema, en ocasiones a temperaturas elevadas. Estos residuos contienen mercurio en partículas mayores a 44 µm, las cuales son inhaladas directamente por los mineros quienes no cuentan con Equipo de Protección Personal (EPP). La situación puede empeorar cuando hay mucho viento en dirección a los tubos del horno donde los mineros sacan los residuos. Otra complicación, es la disposición inadecuada de los residuos, generalmente son vertidos cerca del horno artesanal en el traspatio de los hogares (figura 34) y utilizados como escombros para cubrir baches de los caminos de la comunidad (figura 35). Esto significa que con el movimiento de algunos animales de carga, personas y automóviles los residuos están en constante re-suspensión, en este sentido otros miembros de la familia, la flora y fauna están expuestos a las mismas concentraciones que los mineros.

¹⁰ Terreros: Residuos provenientes del minado, conformados por apilamiento de material mineral, sin valor económico. Incluye al descapote.

Tabla 14. Mercurio total y soluble en agua, medido en diferentes fuentes de exposición ocupacional al mercurio en la MAM.

Fracción Hg	Matrices ambientales	Fuentes de exposición		Concentraciones de Hg (mg/kg) (este estudio)	Otros estudios (mg/kg)	Normativa
Total	Suelo	PV	P-1	17.1	-	-
			P-2	16.8	-	-
	RM	P-1	20.1-183	790.9 (Camacho et al., 2016)	23 mg/Kg NOM-147 (2004)	
		P-2	13.7-220			
Aire	Vapor de Hg en CAM		129.5 - 512 ng/m ³	22-153 ng/m ³ (Martínez Trinidad, 2013)	2-10 ng/m ³ WHO-IPCS (2004)	
Agua	Manantial		<LD	1 X10 ⁻⁵ – 1.7 x 10 ⁻⁴ mg/l (Martínez Trinidad, 2013)	0.001 mg/l NOM-127 (2004)	
Soluble	suelo	PV	P-1	2.2	-	-
			P-2	1.1	-	-
	RM	P-1	1.9	0.0045 - 0.40 (Martínez-Pérez, 2015)	-	
		P-2	0.66		-	

PV: polvos producidos en una voladura subterránea.

RM: residuos mineros (escorias) ubicados en los traspatis de los hogares, producidos en la calcinación del mineral de mena en hornos artesanales.

CAM: condensadores artesanales de mercurio.

P-1: ≥ 0.044 a < 0.074 mm

P-2: ≥ 0.074 a < 0.42 mm



Figura 34. Almacenamiento de residuos mineros (escorias) en el traspatis de los hogares. Foto por María Isidra Sánchez Monroy



Figura 35. Disposición de residuos mineros (escorias) en la MAM. Foto por María Isidra Sánchez Monroy

9.3.1.2 Polvos generados en una voladura.

La concentración de mercurio total en estos polvos fue de 17.1 (tamaño de partícula: ≥ 0.044 a < 0.074 mm y 16.8 mg/kg (tamaño de partícula: ≥ 0.074 a < 0.42 mm). Estos polvos se pueden observar en la figura 36.

Con la implementación de la técnica Microscopía Electrónica de Barrido se verificó la presencia de mercurio en los polvos de voladura (figura 37). Además, se observó la presencia de otros elementos en la muestra como grandes cantidades de silicio, aluminio y calcio (figura 38), y por supuesto mercurio acompañado de azufre que nos da el compuesto del cinabrio (HgS) mineral de donde se obtiene el mercurio.

Esto indica que posiblemente los mineros artesanales respiran material particulado con contenido de mercurio en las actividades de barrenación y voladura. La exposición a polvos con silicio, en la minería subterránea, puede causar enfermedades respiratorias ocupacionales tales como la neumoconiosis y tuberculosis. En 2004, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) realizó un estudio en donde encontraron que la actividad económica asociada a mayor número de casos de neumoconiosis es la industria de extracción y beneficio de minerales



Figura 36. Re-suspensión de polvos en la labor minera.
Foto por María Isidra Sánchez Monroy

metálicos; con 28.7% en México (López-Rojas et al., 2008). Esto, contemplando a los trabajadores que están registrados en un empleo formal y tienen acceso a un seguro de salud; en el caso de la minería artesanal, contabilizar y documentar la incidencia y prevalencia de enfermedades es complicado ya que los involucrados no cuentan con un seguro médico que les permita llevar un histórico de sus enfermedades, el acceso a servicios de salud es muy escaso, la marginación y la pobreza de las comunidades en el marco de las políticas de reestructura

neoliberales del campo mexicano en la década de los 90's hace que esta población de mineros permanezca al margen de las leyes de mercado, el acceso a programas de empleo, servicios de educación, salud, etc.

El riesgo de enfermarse debido a la exposición de los polvos es aún mayor, debido a que los mineros no utilizan EPP. Por ejemplo, las mascarillas no son utilizadas debido a la poca ventilación que hay en las labores, de tal manera que cuando las usan tienen la sensación de sofocación.

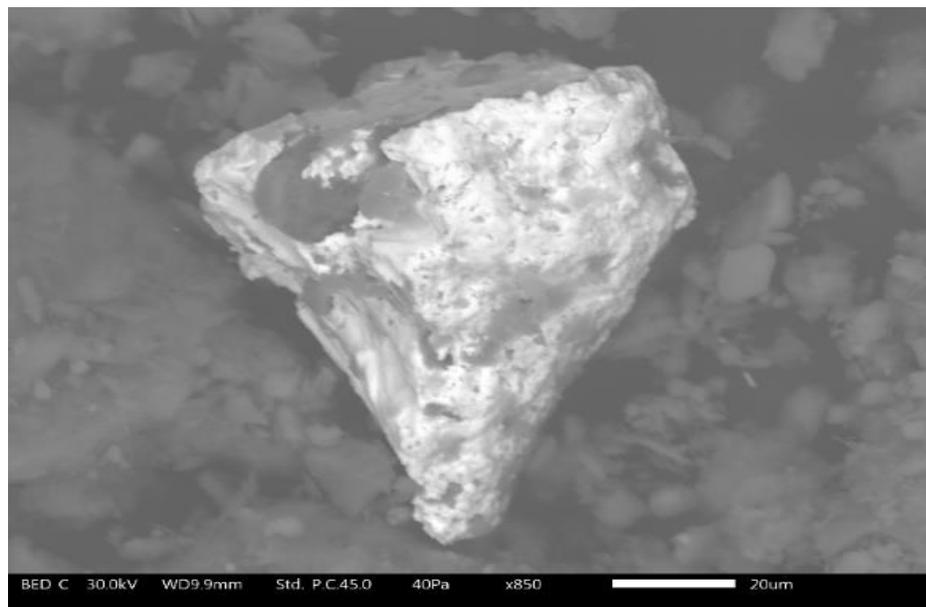


Figura 37. Partícula de mercurio en polvo de una voladura subterránea en la MAM. Fuente: propia

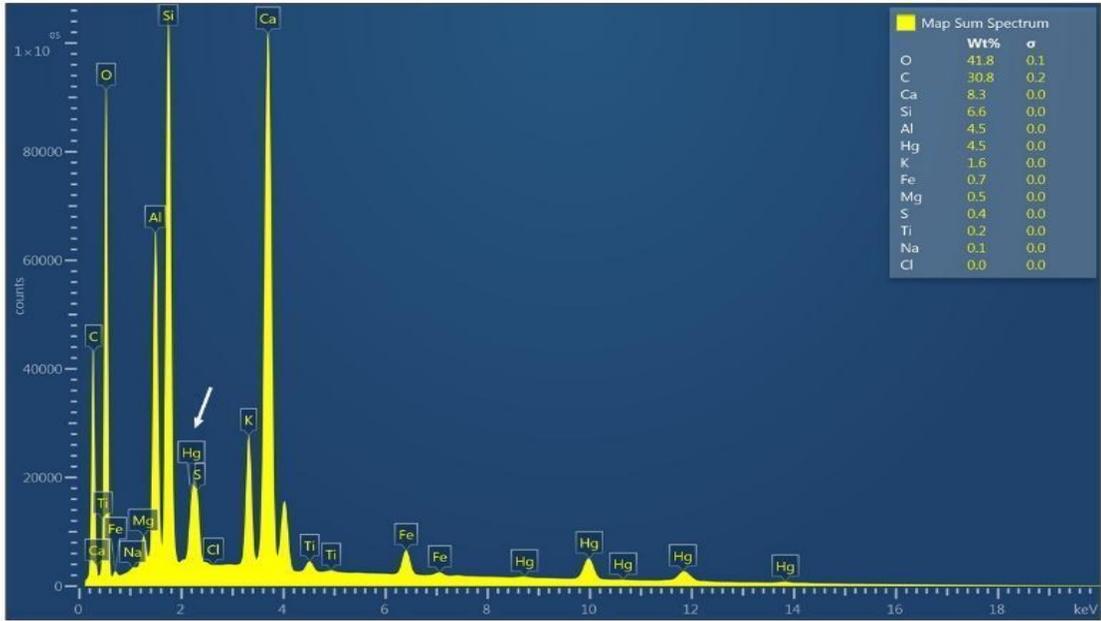


Figura 38. Presencia de Sulfuro de mercurio o cinabrio (HgS) en los polvos de una voladura subterránea en la MAM. Fuente: propia

9.3.1.3 Vapor emitido en condensadores artesanales

En la minería artesanal de mercurio, además de los residuos sólidos generados en los hornos artesanales, se liberan emisiones de vapor de mercurio a la atmósfera que se emiten durante el proceso de quema en los condensadores artesanales.

Se obtuvieron valores de mercurio total en vapor de dos condensadores artesanales. El condensador con mayor contenido de mercurio fue HB-VHg (0.512 $\mu\text{g Hg/m}^3$), seguido de HE-VHg (0.119 $\mu\text{g Hg/m}^3$). Existe una amplia diferencia de las emisiones de mercurio en ambos condensadores; esto se debe a factores como la eficiencia del condensador, la riqueza del mineral extraído, la temperatura de quema, y particularmente el tiempo de quema; en caso del condensador HB-VHg las mediciones fueron tomadas al inicio del proceso (3 horas después de encender el horno), mientras que en HE-VHg fue al finalizar el proceso (2 horas antes de apagar el horno). Los tiempos de muestreo fueron diferentes porque los mineros cambian arbitrariamente sus tiempos para quemar, cuando se quedó ir a cierta hora con un minero para tomar la muestra, al final, ya casi iba a terminar el proceso.

Las emisiones de vapor de mercurio son una fuente de contaminación ambiental debido a su liberación a la atmósfera, y la subsecuente contaminación del aire de la comunidad y de otros ambientes de la región por el rápido transporte, su alta permanencia en la atmósfera y la deposición de partículas. El mercurio en fase de vapor tiene efectos globales y su persistencia en la atmósfera es de aproximadamente un año, mientras que el mercurio en fase reactiva tiene efecto local-regional y tiene una persistencia en la atmósfera de algunos días o meses, al igual que el mercurio en forma de partícula, y los dos se depositan cerca de la fuente de emisión. En cambio, el mercurio en forma de vapor puede ser internacionalmente transportado en sólo 7 a 10 días desde la fuente de origen. Lentamente, es oxidado a (Hg^{2+}), el cual es más fácil de remover por deposición húmeda y seca, llegar al suelo y transformarse para su proceso de biomagnificación. El mercurio es un contaminante global que no conoce fronteras (Swartzendruberg & Jaffe, 2012).

El mercurio elemental (vapor de mercurio o gas) se considera de una toxicidad alta; similar a la del metil-mercurio (Larry et al., 2002). El proceso de quema artesanal tiene una duración de 7 a 48 horas a la semana, en este periodo los mineros están expuestos, de manera directa, en promedio 2 horas por cada 7 horas de actividad ocupacional en las cuales no usan ninguna mascarilla antigases o especial para vapores de mercurio. Aunque los condensadores

artesanales se encuentran al aire libre, la dirección del viento y la temperatura ambiente contribuyen a que la exposición sea directa. De igual manera que los hornos artesanales, los condensadores se ubican en el traspatio de los hogares; en este sentido, no solo los mineros están expuestos sino también otros miembros de la familia.

Tabla 15. Estudios sobre cuantificación de mercurio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en diferentes ambientes ocupacionales.

Fuente	Mercurio total	Ciudad/país	Referencia
<i>Cerca de varias retortas en campo</i>	<10.24 - 296	Roundonia, Brasil	Malm et al., (1991)
<i>Cerca de tiendas de oro, sitio urbano</i>	1.4 – 18.4	Ponce, Brasil	Marins et al. (1991)
<i>Dentro de tiendas de oro, sitio urbano</i>	26.3 – 53.4	El callao, Venezuela	García-Sánchez et al., (2006)
<i>Fuera de cuarto de quema</i>	3 - 95	Segovia, Colombia	Cordy et al., (2011)
<i>Fuera de cuarto de quema</i>	0.8 - >50	Puerto Maldonado, Perú	
<i>Fuera de cuarto de quema</i>	0.04 -25	Paramaribo, Siriname	
<i>Vapor de condensadores artesanales (MAM)</i>	0.119 – 0.552	Sierra Gorda, Querétaro, México	Este estudio

Fuente: elaboración propia

En México, la producción primaria de mercurio representa el 94.86% de las emisiones de vapor de mercurio por producción de metales como la plata, el oro, zinc, plomo y cobre que utilizan mercurio para su obtención (INECC, 2019). Mundialmente, la minería de oro artesanal y de pequeña escala se considera la segunda fuente de emisiones de mercurio a la atmósfera, después de la producción de carbón (Swartzendruberg & Jaffe, 2012). En la minería artesanal de oro, el mercurio se emite en la quema de amalgamas y el refinado del oro; de acuerdo con Pacyna y colaboradores (2006) se emiten 248 ton/a de mercurio metálico (Hg) durante estos procesos, los cuales se llevan a cabo en las conocidas “tiendas de oro” en ciudades o centros poblados. En la tabla 15 se puede ver que las concentraciones de mercurio fuera de los cuartos de quema son similares a las encontradas en este estudio esto se debe principalmente a las condiciones de muestreo como la dirección del viento. No obstante, se considera que el método de muestreo influyó para que en otros ambientes las concentraciones reportadas sean muy superiores. En este estudio por medio de un muestreador de bajo volumen se burbujeó, en ácido nítrico concentrado, el gas emitido por los condensadores artesanales, mientras que en los otros estudios se utilizaron analizadores de mercurio de alta precisión como Lumex RA 915+ y Jerome 431X que tienen una precisión de $0.001\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente (Cordy et al., 2011).

Pese a las condiciones de muestreo, se obtuvieron valores para mercurio en el vapor de los condensadores artesanales 2.76 veces superiores al Nivel Mínimo de Efecto Adverso Observado (LOAEL por sus siglas en inglés) que es $0.21\mu\text{g}/\text{m}^3$ (World Health Organization, 2003). Estudios demuestran que trabajadores expuestos de manera crónica a mercurio (0.002 - $1.7\text{mg}/\text{m}^3$) en diferentes ambientes ocupacionales como plantas de cloro alcali, industria de

termómetro, baterías de Zn-Hg, lámparas de mercurio y minería de mercurio, presentan neurotoxicidad asociados a diferentes niveles de UHg (<50, 50-99; 100-199; \geq 200 mg/l), los efectos neurotóxicos son: temblor, daños en la coordinación, reflejos anormales (Fields et al., 2017). Además, se encontraron alteraciones neuropsicológicas como: comprensión lectora, funciones ejecutivas, atención visual, fluidez verbal, memoria verbal a corto plazo y a largo plazo en estudiantes que viven cerca de cuartos de quema de amalgama en un municipio de Colombia dedicado a la minería artesanal de oro (Vargas y Quiroz, 2011). El vapor emitido en los condensadores artesanales dispersos en la comunidad son un riesgo para la salud no sólo de los trabajadores sino también de la población que vive cerca.

9.3.1.4 *Manantial de agua potable*

En el manantial de donde se abastecen de agua potable algunas familias la concentración de Hg-T fue menor al límite detectable. Esto puede deberse a la ubicación del manantial ya que se encuentra cuenca arriba de las minas de mercurio. En un estudio donde se midieron las concentraciones de Hg en sedimentos impactados por la minería artesanal de oro, se observó que las concentraciones de Hg presentan variedad espacial; es decir, los sedimentos de los sitios que reciben corrientes que llevan Hg de las áreas mineras tienen concentraciones más altas de mercurio (Pinedo-Hernández et al., 2015). En el sureste de Alaska, donde se encuentran minas abandonadas de mercurio, se encontraron niveles de mercurio de 5500 μ g/g en sedimentos cuenca abajo de las minas, estos niveles los relacionan con la presencia de cinabrio en las minas y que además es resistente a la solubilidad en el agua. Por otro lado, se midieron concentraciones de mercurio en agua cuenca abajo; primero, se cuantificó el mercurio en muestras de agua sin filtrar, en las cuales se obtuvieron niveles de mercurio de 500-2500 ng/l, posteriormente se filtraron las muestras en una membrana de 0.45 μ m y se obtuvieron niveles de Hg <50 ng/l, lo cual sugiere que la mayoría de Hg transportado río abajo se encuentra en el material suspendido en mayor proporción que como Hg disuelto en agua (Gray et al., 2000).

En este estudio no se encontró mercurio en el manantial, sin embargo, se sugieren hacer investigaciones sobre la especiación y biodisponibilidad del Hg en el agua y sedimentos de la microcuenca debido a que son impactados por los residuos mineros de la minería artesanal de mercurio pasada y presente, además es fuente de consumo de agua potable en la comunidad, riego y consumo de agua para ganado.

9.3.2 Mercurio soluble en agua

En la tabla 16 se observa que en los estudios donde se ha evaluado el mercurio soluble en agua, representa un porcentaje muy pequeño respecto al mercurio total 1-5% (Rodrigues et al., 2010; Opiso et al., 2018; Morton-Bermea et al., 2015; Gavilán-García et al., 2008) esto puede deberse a la presencia de mercurio inorgánico en forma de sulfuros, el cual es poco móvil y tiene muy poca solubilidad en el agua (Gray et al., 2000). A pesar de que el mercurio soluble en agua se presenta en cantidades muy bajas representa un riesgo potencial para la salud humana y de los ecosistemas debido a que tiene la posibilidad de distribuirse fácilmente y bioacumularse. El mercurio soluble en agua (Hg-W) al igual que el mercurio soluble en ácido del estómago, representan la fase intercambiable del mercurio; es decir se pueden mover entre medios (Gavilán-García et al., 2008). Por otro lado, el mercurio soluble en agua presenta una correlación significativa con el contenido de mercurio bioacumulable (Me-Hg), de tal manera que el Hg-W puede entrar fácilmente a la columna de agua y bioacumularse en la cadena alimentaria (Pinedo-Hernández et al., 2015), también sirve como sustrato para los procesos de metilación de mercurio, llevando a su posible bioacumulación (Boszke et al., 2008).

En el ecosistema, se han realizado diversas investigaciones para estudiar los efectos del mercurio soluble en agua, se ha observado que los elementos solubles, intercambiables y poco absorbidos están disponibles para la lixiviación a las aguas subterráneas, plantas y otros organismos (Wang et al., 2004; Peijnenburg et al., 2007). En suelos forestales se encontró que este tipo de mercurio (Hg-W) afecta fuertemente la estructura de la comunidad microbiana (Frey y rieder, 2013; Hu et al., 2019)

Tabla 16. Mercurio soluble en agua ($\mu\text{g}/\text{kg}$) en diferentes matrices ambientales.

Fuente	Hg-W	Hg-W/Hg-T (%)	Ciudad/país	Referencia
<i>Sedimentos y suelos Cloro-álcali</i>	0.00017 - 0.108	1.2	Laranjo, Portugal	(Rodrigues et al., 2010)
<i>Residuos ASGM</i>	0.001 – 0.130	2	Mindanao, Filipinas	(Opiso et al., 2018)
<i>Suelos y residuos mineros de minería de plata</i>	0.004 – 0.2142	<1	El Cedral, San Luis Potosí, México.	(Morton-Bermea et al., 2015)
<i>Suelos</i>	0.39 – 3.53	4.6	Zacatecas, México	(Gavilán-García et al., 2008)
<i>Residuos mineros en la MAM</i>	660 - 1930	5-10	Querétaro, México	Este estudio
<i>Polvos de voladura en la MAM</i>	1110 - 2210	7-13	Querétaro, México	Este estudio

Fuente: elaboración propia

En este estudio, se encontró una concentración de mercurio soluble en agua (Hg-W) de 2.21 mg/Kg en partículas ≥ 0.044 a < 0.074 mm (M-1W) de polvos provenientes de una voladura subterránea en la MAM, dicha concentración es dos veces superior a la encontrada en partículas ≥ 0.074 a < 0.42 mm (M-2W) de la misma muestra. Por otro lado, la concentración de esta fracción de mercurio para partículas (HE-1) en suelos provenientes de residuos mineros fue de 1.93 mg/Kg, misma que es 3 veces superior a la encontrada en partículas (HE-2) de suelos con residuos mineros.

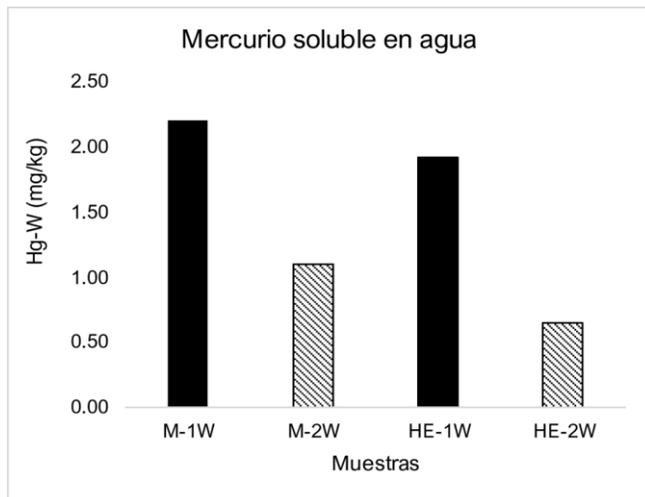


Figura 39. Concentraciones de mercurio soluble en agua en polvos provenientes de una voladura subterránea (M-1W, M-2W) y residuos mineros (HE-1W, HE-2W). Fuente: propia

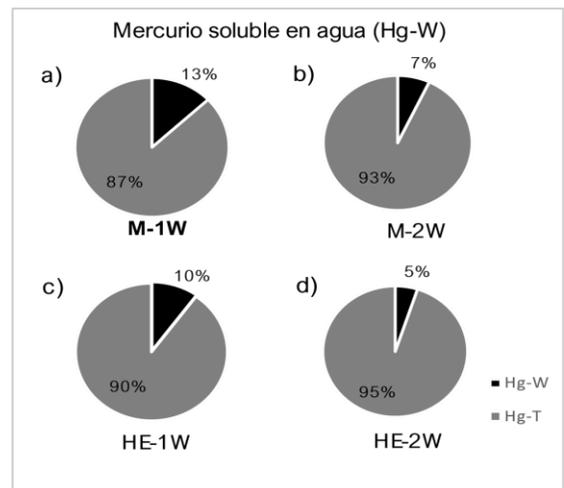


Figura 40. Porcentaje de mercurio soluble en agua/mercurio total para polvos provenientes de una voladura subterránea (M-1W, M-2W) y residuos mineros (HE-1W, HE-2W). Fuente: propia

Al igual que en otros estudios la proporción de mercurio soluble en agua en relación con la cantidad de mercurio total (Hg-T) es baja (Tabla 15), en este caso, para los polvos de una voladura subterránea en las partículas (M-1W) representa el 13% del mercurio total, y en las partículas (M-2W) el 7%. Mientras que para las partículas (HE-1W) de los residuos mineros, el mercurio soluble en agua representa el 10% del mercurio total y el 5% en las partículas (HE-2W) (Figura 40).

Aunque es una proporción baja respecto al mercurio total encontrado, es importante tomar en cuenta esta fracción al igual que la fracción orgánica e intercambiable, ya que son las que pueden entrar en contacto con los medios acuosos de los organismos y producir el efecto de bioacumulación en la cadena alimentaria como ya se revisó anteriormente, produciendo efectos de toxicidad.

9.3.3 Evaluación de la exposición y caracterización del riesgo

De manera complementaria a la cuantificación de los niveles de mercurio total, se evaluó la exposición ocupacional al mercurio a través de la dosis de exposición diaria al mercurio por la vía de ingestión de suelo (residuos mineros y polvos de voladura) e inhalación (vapor emitido por condensadores artesanales) y posteriormente se calculó el coeficiente de peligrosidad.

Dosis de ingesta diaria

Se calculó la dosis de exposición para ingesta e inhalación mediante la ecuación 1 propuesta por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés) (2008). Por medio de esta ecuación se conoce cuánto mercurio ingresa al cuerpo de los mineros mediante la inhalación de vapores en los hornos artesanales de manera diaria. Por otro lado, también se conoce cuánto del mercurio inorgánico (cloruro de mercurio es la forma química inorgánica del mercurio de la que hay información disponible) ingresa diariamente al cuerpo de los mineros por medio de la ingesta, la cual en este caso se da principalmente por el comportamiento mano-boca/mano-objeto-boca donde los mineros pueden ingerir partículas de polvo o suelo que se adhieren a la comida, los cigarrillos o las manos. En este sentido, estudios sobre el tamaño de las partículas han indicado que las partículas finas (<0.063 mm) se adhieren más rápido a la superficie de las manos (EPA, 2011).

Ecuación 1: Dosis de exposición para ingesta e inhalación

Dosis de Ingesta

$$= \frac{\text{Concentración del contaminante} * \text{Tasa de ingesta} * \text{Factor de exposición}^1}{\text{Peso corporal}}$$

$$\text{Factor de exposición} = \frac{\text{Días de exposición al año} * \text{años de exposición}}{\text{días del año} * \text{años de exposición}}$$

Para la aplicación de la ecuación anterior se tomaron como referencia los valores propuestos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos (tabla 17), dentro de ellos están la tasa de inhalación e ingesta de suelo y el peso corporal promedio para un hombre adulto. En el caso de las concentraciones del contaminante en el vapor emitido por los condensadores, los polvos producidos por una voladura y los residuos mineros

se tomaron en cuenta las concentraciones máximas encontradas en este estudio (tabla 18). Para su aplicación es importante señalar que para la dosis de ingesta diaria por suelo se sumaron los resultados para las rutas de exposición de polvos de residuos mineros (escorias) y los polvos producidos en las voladuras, por su parte, la dosis de inhalación diaria sólo se calculó para la ruta de los vapores emitidos en condensadores artesanales.

Tabla 17. Valores utilizados para el cálculo de exposición

Población expuesta	Tasa de inhalación	Tasa de ingesta	Peso corporal	Referencias bibliográficas
Hombre adulto	16 m ³ /día	50 mg	70 kg	(EPA, 2011)

Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Concentraciones máximas de mercurio en muestras ambientales utilizadas en el cálculo de exposición.

Punto de exposición	Tamaño de partícula (mm)	Concentración máxima mg/kg
Residuos mineros	≥0.074 a <0.42	220
Polvos generados en una voladura	≥0.044 a <0.074	17.1
Vapor emitido en condensadores artesanales		512 ng/m ³

Fuente: elaboración propia

Coefficiente de peligrosidad

Para caracterizar el riesgo de contaminantes no cancerígenos se utiliza el coeficiente de peligrosidad, en este caso para mercurio. La aplicación de este coeficiente es para identificar el umbral o nivel bajo en el cual no hay impacto negativo a la salud humana por dicho nivel de exposición al contaminante. Evans (2003) menciona que la meta de la caracterización de riesgo es determinar si la exposición cruza ese umbral y por lo tanto representa una preocupación ambiental. El coeficiente de peligrosidad (ecuación 2) consiste en obtener la relación entre la dosis de exposición diaria al mercurio elemental (vapor de mercurio) y al mercurio inorgánico (polvos y suelo) a la que están expuestos los mineros, y la dosis de referencia (RfD por sus siglas en inglés) para la ingesta de alimentos, suelo y agua y la concentración de referencia para inhalación (RfC por sus siglas en inglés) que consiste en la estimación de la exposición diaria a la que la población humana puede estar expuesta a cierto contaminante sin presentar efectos adversos a lo largo de su vida (tabla 19). Se considera un riesgo aceptable cuando el cociente es <1 y de preocupación cuando es >1 (Evans, 2003).

Ecuación 2: coeficiente de peligrosidad

$$\text{Coeficiente de peligrosidad} = \frac{\text{Dosis de exposición ingesta e inhalación}}{\text{RfD o RfC}}$$

Tabla 19. Valores de dosis diaria de referencia para la inhalación de vapor de mercurio e ingesta de mercurio inorgánico (cloruro de mercurio).

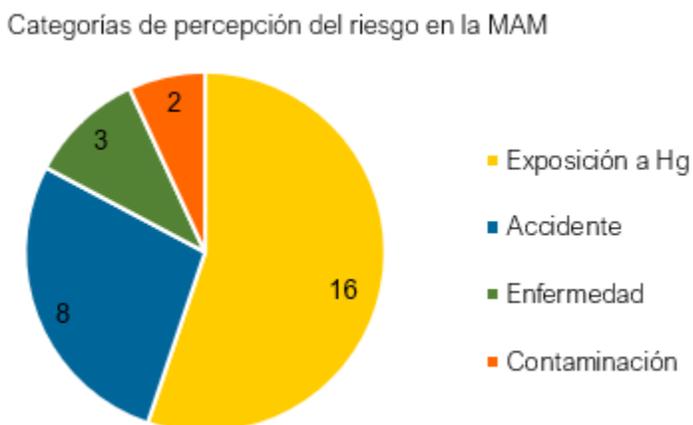
Tipo de mercurio	RfD/RfC	Referencias
Mercurio elemental	0.0003 mg/m ³	Agencia de protección ambiental. Dosis de referencia para mercurio. Disponible en: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicallanding.cfm?substance_nمبر=370
Cloruro de mercurio	0.0003 mg/kg/día	

Fuente: elaboración propia.

Con base en lo anterior se obtuvo que ingresan 0.0003 mg/kg/día de mercurio al cuerpo de los trabajadores mineros por la vía de ingesta de mercurio inorgánico, la cual sucede principalmente por el comportamiento boca-mano y objeto-mano-boca. Por otro lado, en el caso del vapor de mercurio los mineros están expuestos a una dosis diaria de 0.0001 mg/m³/día únicamente por los vapores emitidos en el condensador artesanal. De acuerdo con el índice de peligrosidad (0.4) para contaminantes no cancerígenos, las dosis de exposición encontradas en este estudio no tienen efectos adversos en la salud de los mineros con relación a la dosis de referencia, sin embargo, mineros dan testimonios de sentir varios síntomas relacionados con la intoxicación por mercurio, los cuales serán expuestos más adelante. Esto se debe, principalmente, a que no se evaluaron otras rutas de exposición como el agua de uso en los hornos que aporta a la dosis de exposición por ingesta o los gases de mercurio emitidos dentro de la mina debido a la presencia de azogue. De esta manera se recomienda hacer muestreo en las diferentes matrices ambientales que se indican en las rutas de exposición para complementar las dosis de exposición por inhalación e ingestión presentadas en este estudio.

9.4 PERCEPCIÓN DEL RIESGO EN LA MINERÍA ARTESANAL DE MERCURIO

Los trabajadores mineros entrevistados percibieron 29 riesgos a la salud y/o al ambiente al laborar en la MAM (Figura 42), de los cuales 16 riesgos se relacionan con la exposición ocupacional al mercurio, 8 con accidentes, 3 con enfermedades que puedan desarrollar al realizar esta actividad y 2 relacionados con la contaminación del ambiente por la liberación de residuos tóxicos (Figura 41).



Las 4 clasificaciones de riesgo se obtuvieron de la siguiente manera: la

clasificación “exposición a mercurio” se relaciona con todas aquellas actividades que ponen en riesgo la salud de los mineros al tener contacto con el mercurio o alguna de sus formas, la clasificación “accidentes” tiene que ver con las actividades o elementos que pueden causar un accidente dentro de las minas, está dirigido principalmente al estado de la infraestructura minera, además el daño es visible e inmediato en el cuerpo, la categoría “enfermedad” se relaciona con el desarrollo de alguna actividad continuada que con el paso del tiempo llega a considerarse una enfermedad y por último la clasificación de “contaminación” aquellas actividades que ponen en riesgo la salud del ambiente, a través de la emisión de desechos.

De los riesgos clasificados como “exposición a mercurio”, el 68% de los trabajadores mineros percibe como un riesgo en la MAM, la presencia de azogue y gas (vapor de mercurio) dentro de las minas y lo asocian como el único factor causante de envenenamiento por mercurio, por ello para algunos trabajadores mineros es el riesgo más peligroso.

“El gas se transmite por los nervios y por la sangre, por eso muchos mineros tiemblan” (GF2M1, 2019).

El criterio de identificación de gas es a través de la presencia de azogue o mercurio nativo dentro de las minas, en caso de encontrarlo mencionan que una mina es venenosa y peligrosa, de lo contrario no.

Figura 41. Clasificación de la percepción del riesgo en la MAM.
Fuente: elaboración propia.

Los trabajadores mineros identifican el vapor de mercurio en el interior de la mina por la presencia de azogue o mercurio nativo y en los hornos cuando realizan el proceso de quema, sin embargo, perciben que es más dañino en el interior de la mina por la falta de aire.

“[...] porque ya ahí estás encerrado con el líquido; chorrea del cerro, ya no se necesita fundir, pero es el que enferma. La piedra no hace daño, hace daño hasta que se funde allá en el horno porque ya todos los olores están saliendo por la quemadura, pero el aire se los lleva (GF2M1, 2019). Lo peligroso es cuando se troza un tramo de piedra o de metal que contiene gas, ese es el que te perjudica porque afuera te puedes cubrir o voltear del aire; si te perjudica poco, pero lo más duro es adentro donde no hay oxígeno (P6AP, 2020)”.

Otros riesgos identificados en la misma clasificación son: el tipo de mineral de mena; principalmente, se refiere a que los trabajadores mineros prefieren extraer los minerales que no contienen mercurio nativo por los gases tóxicos que desprende, el mercurio nativo es el mercurio líquido que se encuentra en las minas y no se necesita fundir, sólo se junta de la mina y se limpia para la venta, está distribuido en las minas de la comunidad y cuando los trabajadores mineros abren una labor no saben si van a encontrar este tipo de mineral, ya que no realizan estudios técnicos de exploración. Otro riesgo percibido son los hornos cerca de los hogares; el 24% de los mineros identifica que los hornos son lugares donde la familia puede exponerse al mercurio por los vapores que se emiten. Otro riesgo de exposición al mercurio son el tipo de mina; el 20% de los trabajadores mineros percibe que ciertas minas son

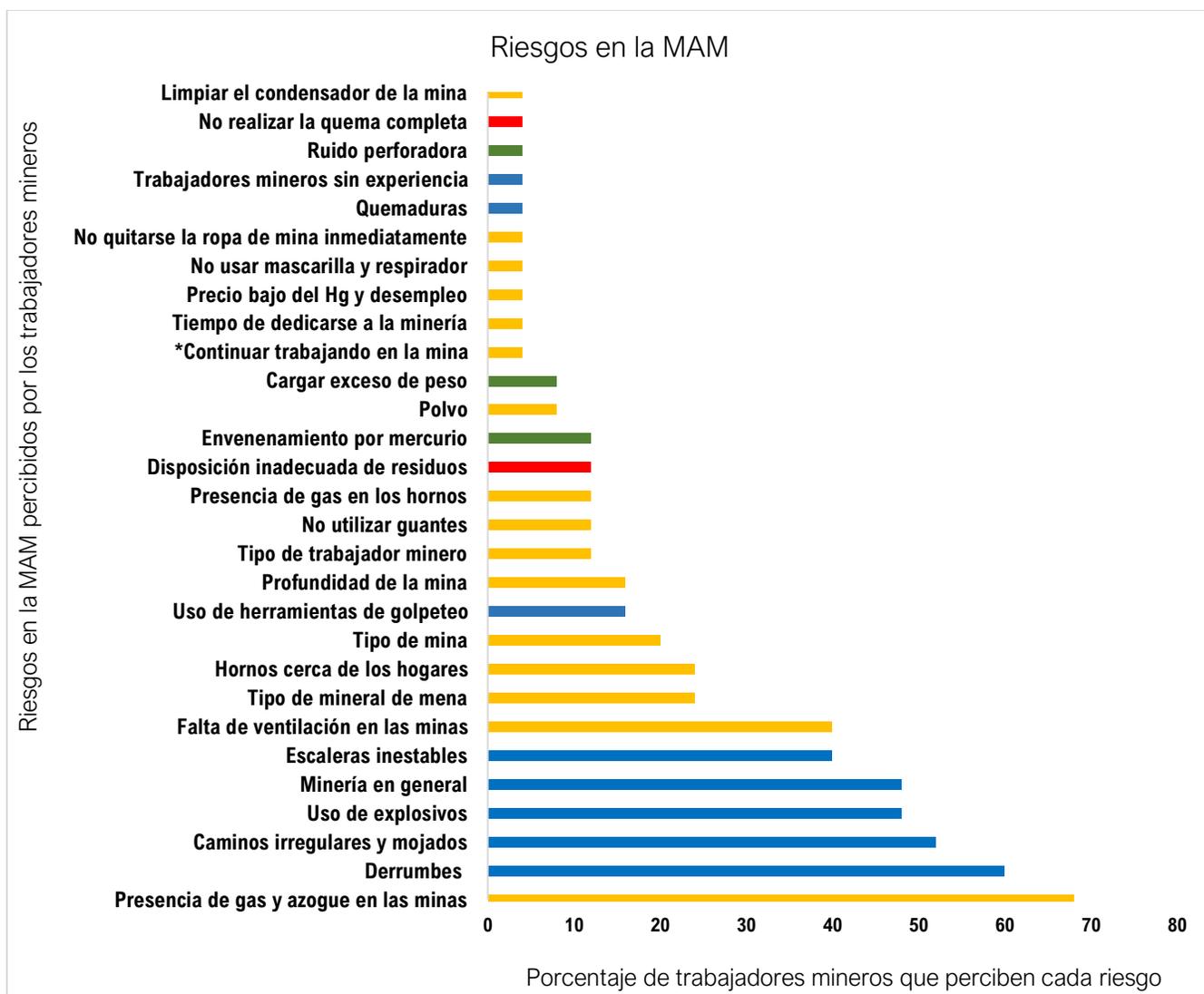


Figura 42. Riesgos percibidos por los trabajadores mineros en la MAM y su porcentaje de percepción.
Fuente: propia.

más tóxicas que otras debido a la presencia de mercurio nativo, la profundidad de la mina; el 16% de los mineros percibe que la profundidad de la mina se relaciona con la presencia de mercurio nativo, mencionan que en la superficie no se encuentra mercurio nativo, sólo cinabrio. Por otro lado, solamente el 12% de los mineros percibe que la presencia de vapor de mercurio en los hornos, no utilizar guantes para la manipulación de mercurio son un riesgo. Por otro lado, el ser minero contratado se percibe como un riesgo ya que en caso de encontrar mercurio nativo dentro de las minas los gambusinos dejan de explotar ese lugar, mientras que los mineros contratados deben cumplir con los horarios y lugares de extracción que les asignan sus

empleadores. El 8% de los mineros identifica el polvo producido en los diferentes procesos como un riesgo para la salud. Finalmente, solo el 4% de los mineros perciben que limpiar el condensador ubicado en el patio de la mina, no quitarse la ropa de mina inmediatamente después de una jornada laboral, no usar mascarilla antipolvo y antigases, continuar en la minería una vez se presentan síntomas de intoxicación por mercurio, el desempleo, cuando el precio del mercurio es bajo y la experiencia en la minería son un riesgo para la salud debido a la exposición a mercurio. El desempleo obliga a que campesinos de la región se dediquen a la minería por falta de fuentes de empleo, por otro lado, cuando el precio del mercurio baja; los trabajadores mineros tienen que extraer más mineral, lo cual implica mayor tiempo de exposición al mercurio.

Los riesgos con mayor percepción son los clasificados como accidente. Dentro de ellos se encuentran los derrumbes dentro de la mina, este riesgo para el 60% de los trabajadores mineros es el más peligroso porque no lo pueden predecir o controlar. A continuación, una cita sobre la percepción de uno de los mineros:

“En la mina, todo es peligro; desde que entras. Los caídos (derrumbes) son un poco más riesgosos porque no sabes a qué hora se te pueda caer una piedra. Eso de que se tropiece uno y lo demás pues a lo mejor es común, si no se fija uno por un descuido, te puedes tropezar o algo. Y el gas, pues ese si sabe uno donde hay; ya nada más te retiras de esa área y ya. Eso se puede solucionar, pero lo de arriba no se sabe a qué hora “(P5E).

Otro riesgo de accidente son las caídas y resbalones a causa de los caminos irregulares y mojados, esto principalmente al transportar el mineral de mena a cuevas por las montañas. El 48% de los mineros considera que el uso de explosivos es un riesgo de accidente porque puede ocurrir un accidente o imprevisto en el lapso del encendido del explosivo y la salida del minero de la mina; pueden quedar atrapados. Las escaleras inestables y sin mantenimiento son otro riesgo de accidentes. Solamente el 4% de los mineros considera que el uso de herramientas de golpeteo es un riesgo de accidente por los machucones, las quemaduras en los hornos y los mineros sin experiencia que incluso entran corriendo a las minas; pueden tropezar y causar la caída de otros mineros.

Las enfermedades son otro riesgo a la salud identificadas por los mineros. El 12% de los mineros percibe que el envenenamiento o intoxicación por mercurio son una enfermedad que pueden desarrollar en la MAM. Por otro lado, el 8% de los mineros considera que cargar exceso de peso a cuevas puede desarrollar enfermedades de articulaciones o relacionadas con este

factor, finalmente, el 4% de los mineros considera que el ruido de las perforadoras puede causarles enfermedades relacionadas con el oído.

Se percibieron dos riesgos relacionados con la contaminación del ambiente de la comunidad a causa del mercurio. El 12% de los mineros percibe como riesgo de contaminación la disposición inadecuada de residuos mineros, especialmente, las escorias y cenizas producidas en el proceso de quema, además del agua generada en este proceso y en el de limpieza. Mientras que, el 4% de los trabajadores mineros percibe que realizar el proceso de quema de manera incompleta es un factor de contaminación debido a que en los residuos mineros pueden encontrarse más residuos de mercurio, caso contrario a realizar el proceso de quema completo; es decir dejar el tiempo necesario para este proceso.

Los diferentes riesgos que perciben los mineros están asociados a su diario vivir y a la información transmitida por las generaciones anteriores y que asumen como verdadera, generando conocimientos, actitudes y prácticas (CAP) relacionados con su percepción del riesgo (Benítez-Díaz et al., 2020). La mayoría de los mineros da mayor importancia a los riesgos de accidentes, esto está asociado al conocimiento de que no los pueden controlar, suceden aleatoriamente como los derrumbes o un mal explosivo, además tienen que ver con el significado cultural que tiene: un accidente inhabilita el cuerpo físico e impide seguir laborando, lo cual repercute en su ingreso familiar o incluso puede causar la muerte. Esto también tiene que ver con el desconocimiento sobre la prevención, se da por hecho que las cosas son así, por ejemplo, si les dan mejor mantenimiento a las escaleras de las minas o realizan obras de contención puede evitar derrumbes y caídas, pero invertir en ello les lleva todo su salario, así que mejor se arriesgan.

Por otro lado los riesgos de exposición a mercurio, el riesgo de mayor prevalencia fue la presencia de mercurio líquido dentro de las minas, este sin duda está asociado a la experiencia, el 32% de los mineros contemporáneos y el 100% de los mineros anteriores ha tenido alguna experiencia relacionada con la intoxicación por mercurio y la presencia de mercurio en las minas la asocian con “temblor” pues saben por conocimiento empírico que cuando se exponen por varios días dentro de la mina donde está este tipo de mineral desarrollan temblor y la causa principal es el vapor que emite el mercurio líquido y que no hay ventilación dentro de las minas. Al identificar esta fuente de exposición como prioritaria por los efectos que les produce, ignoran las demás vías como el manipular el mercurio sin guantes, creen que el vapor de mercurio en los hornos no hace daño porque está “cocido”, piensan que el fuego retira lo “venenoso” del mercurio

o que al aire del ambiente se lleva el mercurio en comparación con el interior de la mina. Es importante señalar que la práctica de la manipulación del mercurio sin guantes también se asocia como una práctica cultural de los mineros, pues ya por 80 años se ha realizado de esta manera, algunos desconocen qué debe usarse para manipular de manera segura el mercurio, otros saben qué utilizar, pero consideran que el equipo es muy caro, otros usan un equipo que no es adecuado y otros simplemente dicen que así lo hacen desde que ellos tienen memoria o que es incómodo usar el equipo. En este sentido, las actitudes hacia el uso y mantenimiento de un EPP adecuado no son tan alentadoras.

En tanto, los riesgos ambientales no son muy visibles debido a la idea separada que se tiene sobre naturaleza, la mayoría de los mineros no percibe que los desechos de la minería puedan contaminar el ambiente como el agua y el suelo, y a su vez esto dañar su salud a través de los cultivos, el consumo de agua, flora y fauna local. De igual manera las enfermedades por esta actividad no son muy visibles debido a que piensan que son una consecuencia de su trabajo como cualquier otro, en comparación con los tipos de trabajos a los que se accede en la región como la albañilería o trabajar para las empresas extractoras de mármol.

9.4.1 Percepción ocupacional de los síntomas asociados a la intoxicación por mercurio

El 68% de los trabajadores mineros entrevistados mencionó no tener ningún síntoma relacionado con la intoxicación ocupacional de mercurio. Mientras que el 32% mencionó tener los síntomas presentados en la figura 43; no todos los mineros perciben los síntomas iniciales, la mayoría considera que está enfermo por “envenenamiento de mercurio” cuando presentan temblor controlado; el 75% de los mineros que percibieron síntomas mencionaron que tenían o habían tenido temblor. La presencia de estos síntomas lo relacionan directamente con la presencia de *gas (vapores)* y *azogue o mercurio nativo* al interior de las minas.



Figura 43. Percepción de síntomas relacionados con la exposición ocupacional al mercurio. Fuente: propia.

El envenenamiento por mercurio en la población de trabajadores mineros forma parte de los conocimientos empíricos sobre la MAM, esto principalmente porque una vez que se perciben los síntomas de sangrado de encías y sensibilidad en los dientes saben que se trata de una intoxicación por mercurio y, por experiencia propia o de algún familiar o compañero que lo padeció; saben que lo siguiente es presentar temblor sí no evitan el lugar al interior de la mina donde se encontró *azogue*. Es por ello por lo que como medida de acción cuando presentan desde los síntomas intermedios hasta el temblor deciden no dedicarse a la minería, evitar el lugar donde encontraron *azogue* y tomar té de poleos¹¹ con la finalidad de desintoxicarse; este proceso puede durar de dos a tres meses.

Los síntomas descritos por los mineros y que se representaron en la figura 43 concuerdan con la investigación realizada por Ramírez (2008) donde describe dos fases de la intoxicación por mercurio: la de impregnación o absorción y la de intoxicación. En la primera, los síntomas son generales e inespecíficos como pérdida de apetito, adelgazamiento, cansancio, insomnio, cefalea y mareos. En la segunda, ya se encuentran varios síndromes como el digestivo caracterizado por sabor metálico, mal aliento, náuseas, vómito y diarrea, en algunos casos se puede ver los dientes parduzcos (diente de Letuelle) por el mercurio. Otro síndrome es el

¹¹ El poleo de nombre científico *Satureja mexicana* y *fruticosa*, es un arbusto que crece en el bosque de la región y tiene diferentes usos medicinales, principalmente respiratorios.

neurológico donde se presentan los síntomas de: irritabilidad, tristeza, ansiedad, insomnio, temor, debilidad muscular, pérdida de memoria, excesiva timidez, temblor y marcha cerebelosos. El temblor es uno de los signos más representativos de intoxicación por mercurio y aumenta cuando los individuos presentan un nivel superior de 300 $\mu\text{g/l}$ de mercurio en orina; existe una correlación significativa entre los niveles de mercurio en orina y la prevalencia del temblor, otro factor importante para el aumento de los temblores es la duración de la exposición (Fields et al., 2017). Por otro lado, varias lesiones en los riñones como nefrosis lipóide. daño a la vista, dermatitis, alopecia, descamación, color rosado en las mejillas, plantas de los pies y manos, fotofobia, sudoración (Ramírez, 2008). La intoxicación a mercurio no necesariamente sucede a grandes cantidades de mercurio, también puede ocurrir a niveles bajos de exposición (Fields et al., 2017).

Todos los efectos tóxicos del mercurio descritos anteriormente se deben a un recorrido que el mercurio elemental e inorgánico realizan dentro del cuerpo, así como varias biotransformaciones. El vapor de mercurio que ingresa a los mineros ya se mientras están en la mina u hornado entra a su cuerpo por inhalación, contacto dérmico (mercurio líquido en la limpia) u oralmente, al comer alimentos con las manos contaminadas con mercurio líquido o con polvo que contenga cinabrio. La vía que es más preocupante es la inhalatoria porque el mercurio puede llegar a la sangre y absorberse hasta un 80%, mientras que si se ingiere sólo se absorbe el 0.01% y por contacto dérmico se ha documentado que se absorbe el 1% (Berlin et al., 2007). Ya dentro del organismo el mercurio es transportado por la sangre y tiene 4 vías de biotransformación: oxidación del vapor de mercurio metálico a divalente, reducción del mercurio divalente a mercurio metálico, metilación del mercurio orgánico y conversión del metilmercurio en mercurio inorgánico. El mercurio es tóxico porque precipita las proteínas sintetizadas por la célula, principalmente, las neuronas e inhibe los grupos -SH (sulfidriolo) de varias enzimas esenciales (Ramírez, 2008).

En la tabla 20 se pueden observar los síntomas relacionados a la concentración de mercurio en orina, de acuerdo con esta y con los síntomas percibidos por los mineros, se trataría de concentraciones de 100 a 1000 $\mu\text{g/l}$. En este estudio no se realizaron pruebas biológicas para corroborar esta información, no obstante, se recomienda un estudio inmediato de la determinación de Hg en alguna matriz biológica como orina, sangre, uña, pelo para analizar la asociación de las concentraciones con los síntomas reportados. Esto no quiere decir que hasta que se tengan este tipo de estudios se puede accionar, pues estamos en una transición de la generación de conocimiento donde no hay jerarquías en las fuentes de información (Gudynas, 2014), es decir que la investigación científica y la percepción de los actores involucrados

colaboran para generar un plan de intervención al mismo nivel. En este sentido se asocian los resultados obtenidos en el capítulo anterior sobre la caracterización de la exposición, el hecho de obtener dosis diarias de exposición al mercurio en el límite de las dosis referencia o por debajo de éstas no quiere decir que no exista un riesgo por exposición, debido a que hay muchos factores que intervienen como el tiempo de exposición, otras rutas de exposición que suman a la ingesta e inhalación que no se evaluaron en este estudio. Diversos autores han encontrado efectos por exposición al mercurio por debajo de los límites establecidos por las instituciones internacionales de la salud (Fields et al., 2017).

Tabla 20. Síntomas relacionados a diferentes concentraciones de mercurio en orina.

Concentración de mercurio en orina (µg/l)	Señales y síntomas
<20	Ninguno
20 a 100	Disminución en las pruebas de conducción nerviosa, actividad cerebral y destreza verbal Indicación temprana de temblores en las pruebas
100 a 500	Irritabilidad, depresión, pérdida de la memoria, otros trastornos del sistema nervioso Signos tempranos de trastornos de la función renal
500 a 1000	Inflamación renal Inflamación de las encías Temblor y trastorno del sistema nervioso importantes

Fuente: (ATDSR, 2012).

Finalmente, el 68% de los mineros mencionó no percibir ningún síntoma, esto se relaciona directamente con mineros que tiene de 1 a 2 años como mineros, no han encontrado mercurio nativo en las obras mineras, desconocen cuáles son los síntomas tempranos por la exposición a mercurio, y algunos otros, sienten vergüenza que en el pueblo los perciban como “temblorosos”.

La percepción de la sintomatología por intoxicación de mercurio nos deja ver que hace falta comunicar de manera asequible cuáles son los efectos del mercurio en el cuerpo, por qué se presentan y qué se puede hacer al respecto, en este sentido se sugiere que las instituciones de salud desarrollen y apliquen planes en la comunidad sobre el riesgo de exposición a mercurio tomando éstas sugerencias en cuenta, debido a los conocimientos que los mineros han recabado a través de sus experiencias personales, se considera que tienen una actitud receptiva a obtener más información sobre lo que implica la exposición al mercurio en la minería artesanal.

10 CONCLUSIONES

El diagnóstico ambiental y de la salud de la exposición al mercurio permitió entender los factores que influyen en la exposición de los mineros a este elemento potencialmente tóxico (EPT), así como también las rutas y vías de exposición principales, las concentraciones ambientales en polvos de residuos mineros y vapor emitido en condensadores artesanales, permitió también, conocer si las dosis de ingestión e inhalación por polvos de los residuos mineros e inhalación de vapores en condensadores artesanales representan un riesgo para los mineros y por último que perciben los mineros sobre su actividad y la exposición al mercurio.

La exposición ocupacional al mercurio depende de varios factores, dentro de ellos el tipo de minería que se refiere al modo de extracción de los minerales, en este caso se realiza de manera artesanal o manual. Existen dos variantes en los procesos mediante los cuales se obtiene el mercurio, el proceso que se hace de manera manual y completo tiene mayor impacto a la salud, sobre todo en las articulaciones por el golpeteo de las herramientas. Además, se tiene que trabajar más tiempo para obtener igual o menor producción en comparación con los otros procesos.

Las principales actividades de la minería en las que se exponen los mineros son: los procesos de extracción, quema y limpia debido a que los mineros están en contacto con todas sus formas del mercurio, especialmente con mercurio líquido y los gases que emite que son de toxicidad mayor en comparación con las formas inorgánicas de mercurio: el cinabrio. Además, la principal manera cómo el mercurio entra al cuerpo de los mineros es por ingesta, lo cual está fuertemente relacionado al comportamiento mano-objeto-boca o mano-boca que sucede cuando los mineros van a comer y no se lavan sus manos o a la manipulación sin guantes del mercurio líquido. Por último, el mercurio entra al cuerpo de los mineros por inhalación, es la principal vía de absorción del mercurio, y más si el mercurio se encuentra en su forma elemental.

Las concentraciones ambientales de mercurio en polvo emitido en los hornos artesanales y en una voladura, así como las encontradas en los vapores que emiten en los condensadores artesanales son superiores a los límites que se establecen en la normativa nacional e internacional. No obstante, las dosis de exposición diaria a la que están expuestos los mineros no representan un riesgo a la salud de acuerdo con el índice de peligrosidad para tóxicos no cancerígenos, esto se debe principalmente a la falta de información recaba en este estudio para las rutas de exposición del aire dentro de las minas, el agua residual, etc. Por otro lado, el 100%

de los mineros experimentados y el 32% de los mineros contemporáneos mencionan tener síntomas relacionados con la intoxicación por mercurio.

La minería artesanal en la comunidad es una actividad económica relevante y tradicional que se realiza desde la época prehispánica. En las últimas 8 décadas esta actividad ha presentado varias reconfiguraciones en la organización de su producción pasando por las sociedades mineras, las concesiones mineras, los arrendatarios mineros y actualmente el gambusinaje como una respuesta a una relación de reciprocidad negativa con los concesionarios de los títulos mineros. Sin embargo, lo único que no ha cambiado es la forma en qué los mineros artesanales se exponen al mercurio; a los explosivos en la barrenación artesanal, al vapor de mercurio en los condensadores, a quemaduras en los hornos, al vapor de mercurio que se desprende en el interior de la mina por la presencia de *azogue* y a la manipulación de mercurio líquido, todo esto lo realizan sin mascarillas antigases, overol o guantes, lo mismo da si se dedican al gambusinaje o son contratados por los concesionarios, mostrando por una parte las implicaciones del extractivismo como medio de producción desarrollista; la relación dual que se tiene con la naturaleza, vista como una “canasta de recursos”, la nula vigilancia de seguridad y salud ocupacional de los trabajadores empleados por los concesionarios, esto por parte de las instituciones de salud del Estado, la constante fluctuación del precio del mercurio y por otro lado, las actitudes, prácticas y conocimientos que los mineros muestran ante el uso de Equipo de Protección Personal y la exposición al mercurio.

Además de los principales hallazgos en este estudio, se presentan las siguientes recomendaciones para estudios posteriores:

Incluir campañas de comunicación de riesgos para la población de mineros sobre los efectos por intoxicación con mercurio debido a la actitud receptiva que muestran, además hay cierta sensibilización y apertura por las vivencias que se han tenido sobre sintomatología relacionada a la intoxicación por mercurio. La implementación de EPP será un reto debido a que los mineros han realizado minería sin el mismo por más de 80 años y lo perciben como “incómodo”.

Realizar un análisis biológico de contenido de mercurio: orina, cabello, sangre y/o uñas para complementar y correlacionar los datos obtenidos con percepción de la sintomatología por intoxicación con mercurio.

Realizar un análisis ambiental de las concentraciones de mercurio en el aire del interior de las minas debido a los resultados de percepción que indican ser uno de los lugares con mayor riesgo por la presencia de vapores de mercurio.

Por otro lado, es crítico documentar la cadena de comercialización de mercurio, quedan muchas preguntas sin resolver, ¿Quién es el comprador final?, ¿Cuánto paga por Kg de mercurio?, ¿Los canales de comercialización se dan en la ilegalidad o en la formalidad?, etc. con la finalidad de identificar la distribución de las ganancias y visibilizar los procesos de inequidad en la distribución de éstas.

Todos estos planes de solución técnica sobre la exposición ocupacional al mercurio deben ser repensados desde el enfoque del Buen Vivir. Donde se replantee la relación que se tiene con la naturaleza. A través de un diagnóstico comunitario se propongan las alternativas que sean coherentes al contexto ambiental (incluyendo al ser humano en este concepto).

11 REFERENCIAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (01 de 01 de 2019). <https://www.atsdr.cdc.gov/>. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/3/es_lecturenotes.html
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2022). Toxicological Profile for Mercury. In Toxicological Profile for Mercury (pp. 446–481).
- Ávila, A., Mansilla, J., Bosch, P., & Pijoan, C. (2014). Cinnabar in Mesoamerica: Poisoning or mortuary ritual? *Journal of Archaeological Science*, 49(1), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.04.024>
- Benítez-Díaz, L., Diaz-Quijano, F. A., & Martínez-Vega, R. A. (2020). Experiencia y percepción del riesgo asociados a conocimientos, actitudes y prácticas sobre dengue en Riohacha, Colombia. *Ciencia e Saude Coletiva*, 25(3), 1137–1146. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020253.08592018>
- Berlin M, Zalups R. K and Fowler B.A (2007). “Mercury,” in *Handbook on the Toxicology of Metals*, G. F. Nordberg, B. A. Fowler, M. Nordberg, and L. T. Friberg, Eds., chapter 33, Elsevier, New York, NY, USA, 3rd edition.
- Bernhoft, R. (2012). Mercury Toxicity and Treatment: A Review of the Literature. *Journal of Environmental and Public Health*, 2012, pp.1-10.
- Camacho, A., Van Brussel, E., Carrizales, L., Flores-Ramírez, R., Verduzco, B., Huerta, S. R. A., Leon, M., & Díaz-Barriga, F. (2016). Mercury Mining in Mexico: I. Community Engagement to Improve Health Outcomes from Artisanal Mining. *Annals of Global Health*, 82(1), 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2016.01.014>
- Campos García, H., Calderón R., X., & Valdez Paredes, D. (2009). Tres aspectos relevantes de la tributación minera: Regulación tributaria de los contratos mineros, incidencia tributaria en las distintas fases de un proyecto minero, y la actividad minera como generadora de recursos públicos. *Derecho & Sociedad*, 0(33), 72–81.
- Castilhos, Z., Rodrigues-Filho, S., Cesar, R., Rodrigues, A. P., Villas-Bôas, R., de Jesus, I., Lima, M., Faial, K., Miranda, A., Brabo, E., Beinhoff, C., & Santos, E. (2015). Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(15), 11255–11264. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4340-y>
- CCOHS (Canadian Centre for Occupational Health and Safety). (14 de 08 de 2022). [ccohs.ca](https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/mercury.html). Obtenido de https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/mercury.html
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2000). *La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial* (E. C. Ávila (ed.)).
- Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). (2013). Evaluación de los suministros de mercurio primario y secundario en México (p. 93). www.cec.org
- Comisión para la Cooperación Ambiental-CCA. (2011). Informe sobre el mercado del mercurio en México. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/10100-mexican-mercury-market-report-es.pdf>
- Concejo de Recursos Minerales (CRM). (2004). Inventario Físico de los Recursos Minerales del Municipio Cadereyta de Montes, Qro. (p. 107). https://mapserver.sgm.gob.mx/InformesTecnicos/InventariosMinerosWeb/T2204AASE0002_01.pdf

- Cordy, P., Veiga, M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., Garcia, O., Mesa, L., Velásquez-López, P. and Roeser, M. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of The Total Environment*, 410-411, pp.154-160.
- Durand, L. (2017). *Naturalezas desiguales*. Universidad Nacional Autónoma de México. Págs. 19-32. ISBN: 978-607-02-9138-8
- Fields, C. A., Borak, J., & Louis, E. D. (2017). Mercury-induced motor and sensory neurotoxicity: systematic review of workers currently exposed to mercury vapor. *Critical Reviews in Toxicology*, 47(10), 811–844. <https://doi.org/10.1080/10408444.2017.1342598>
- Foladori, G., & Tommasino, H. (2012). La solución técnica a los problemas ambientales. *Revista Katálysis*, 15(1), 79–83. <https://doi.org/10.1590/s1414-49802012000100008>
- Frey, B., Rieder, S.R., 2013. Response of forest soil bacterial communities to mercury chloride application. *Soil Biol. Biochem.* 65, 329-337.
- Gaona-Martínez, X., (2004). El mercurio como contaminante global: Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente. [Tesis de Doctorado], Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- García Gómez, M., Caballero Klink, J. D., Boffetta, P., Español, S., Sällsten, G., & Gómez Quintana, J. (2007). Exposure to mercury in the mine of Almadén. *Occupational and Environmental Medicine*, 64(6), 389–395. <https://doi.org/10.1136/oem.2006.030940>
- Garibay, C., & Balzaretto, A. (2009). Goldcorp y la reciprocidad negativa en el paisaje minero de Mezcala, Guerrero. *Desacatos*, 30, 91–110
- Gazzola, J. (2022). Cinabrio y mercurio en Teotihuacán y, en particular, en el túnel bajo el templo de la Serpiente Emplumada, México. *Journal de La Société Des Américanistes*, 108(1), 83–115. <https://doi.org/10.4000/jsa.20694>
- González-Sánchez, F., & Camprubí, A. (2010). La pequeña minería en México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 62(1), 101–108. <https://doi.org/10.18268/bsgm2010v62n1a5>
- Gudynas, E. (2014). El postdesarrollo como crítica y el Buen Vivir como alternativa. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gul, N., Khan, S., Khan, A., & Ahmad, S. S. (2015). Mercury health effects among the workers extracting gold from carpets and dusted clays through amalgamation and roasting processes. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(22), 17965–17974. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4952-2>
- Gutiérrez de Salazar, M. (1997). Efectos tóxicos del mercurio. *Revista de la facultad de medicina, Universidad Autónoma de Colombia*, [online] (3), pp.139-143. Available at: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/download/31642/31663> [Accessed 7 May 2019].
- Harari, R., Harari, F., Gerhardsson, L., Lundh, T., Skerfving, S., Strömberg, U., & Broberg, K. (2012). Exposure and toxic effects of elemental mercury in gold-mining activities in Ecuador. *Toxicology Letters*, 213(1), 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2011.09.006>
- Hentschel, T., Hruschka, F., & Priester, M. (2003). Artisanal and small-scale mining. *Challenges and Opportunities* (Vol. 186, Issue 1).
- Hentschel, T., Priester, M., & Hruschka, F. (2002). Global Report on Artisanal & Small-Scale Mining. In *Mining, Minerals and Sustainable Development* (Issue 70, p. 67). <http://pubs.iied.org/pdfs/G00723.pdf>

- Hernández Silva, G., García Martínez, R., Valdez, S. S., Trinidad, S. M., Mercado Sotelo, I., Islas, M. R., Scharek, P., Solorio, G., & Munguía. (2012). PRESENCIA DEL HG TOTAL EN UNA RELACIÓN SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA AL SUR DE LA SIERRA GORDA DE QUERÉTARO, MÉXICO. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), 5–15. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2012.1.53>
- Heron, H. (2001): Personal communication. Danish Environmental Protection Agency, June 2001.
- Herrera-Muñoz, A. J. (2012). *Minería de cinabrio en la Región El Doctor* (Eae Editor).
- Hinton, J. Veiga, M. (2001). Mercury contaminated sites: a review of remedial solutions. National Institute for Minamata Disease. In: *Proceedings of the NIMD (National. Institute for Minamata Disease)*.
- Hualing Hu, M. L. (2019). Water-soluble mercury induced by organic amendments affected microbial community assemblage in mercury-polluted paddy soil. *Chemosphere*, 236: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124405>.
- Hursh JB, Clarkson TW, Miles EF. (1989). Percutaneous absorption of mercury vapor by man. *Arch Environ Health*.44:120-127.
- Hylander, L.D. (2001): *Water, Air and Soil Pollution* 125: 331-344, 2001. Uppsala University.
- IIED, I. I. para el M. A. y D., & WBSCD, C. E. M. para el D. S. (2002). Minería artesanal y en pequeña escala. In *Capítulo 13 Abriendo Brecha, Proyecto: Minería Minerales y Desarrollo Sustentable - MMSD* (pp. 431–458). <http://pubs.iied.org/pdfs/G00687.pdf>
- INE-SEMARNAT. (2011). Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas. Una guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares (pp. 13–31).
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2017). “Generar Información Cualitativa y Cuantitativa de las Fuentes Minero-Metalúrgicas en México” (p. 217). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329304/INFORME_FINAL_MERCURIO.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-INECC (2019). Desarrollo de la evaluación inicial del convenio de minamata en México, inform final 2019 (p. 261). <https://www.gob.mx/inecc>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-INECC (2020). Identificación de los riesgos a la salud y al medio ambiente asociados a la minería primaria de mercurio en la Sierra Gorda de Querétaro. pp.126
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (22 de 07 de 2022). [inegi.org.mx](https://www.inegi.org.mx). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía-INEGI (2016). *Cartografía de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional)*.
- John E. Gray, P. M. (2000). Distribution, speciation, and transport of mercury in stream-sediment, stream-water, and fish collected near abandoned mercury mines in southwestern Alaska, USA. *The Science of the Total Environment*, 21-33. <https://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/395>
- Evans J, Adrián Hernández Bremauntz, Arturo Gavilán García, Irina Ize Lema, Miguel Ángel Martínez Cordero, P. R. R. y M. Z. (2003). *Introducción al análisis de riesgos ambientales* (Vol. 1, Issue 1). www.ine.gob.mx
- José Pinedo-Hernández, J. M.-N. (2015). Speciation and bioavailability of mercury in sediments impacted by gold mining in Colombia. *Chemosphere*, 119: 1289-1295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.09.044>
- Kuramoto, J. (2001). La Minería Artesanal e Informal en el Perú. In *Mining, Minerals and Sustainable Development* (Issue 82, p. 53). <http://pubs.iied.org/pdfs/G00731.pdf>

- Larry A. Broussard, Catherine A. Hammett-Stabler, Ruth E. Winecker, Jeri D. Roper-Miller (2002). The Toxicology of Mercury, *Laboratory Medicine*, Volume 33, Issue 8, Pages 614–625, <https://doi.org/10.1309/5HY1-V3NE-2LFL-P9MT>
- Leonard Boszke, A. K. (2008). Mercury mobility and bioavailability in soil from contaminated area. *Environ Geol*, 55: 1075-1087. DOI 10.1007/s00254-007-1056-4
- Lindberg, S.; Bullock, R., Ebinghaus, R., Engstrom, D., Feng, X., Fitzgerald, W., Pirrone, N., Prestbo, E., Seigneur, C., (2005). A Synthesis of Progress and Uncertainties in Attributing the Sources of Mercury in Deposition. *Ambio*, 36(1): pp. 19-32.
- López Bravo, M., Santos Luna, J., Quezada Abad, C., Segura Osorio, M., & Pérez Rodríguez, J. (2016). Actividad minera y su impacto en la salud humana. *Ciencia Unemi*, 9(17), 92. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss17.2016pp92-100p>
- Machado-Aráoz, H. (2011). El auge de la Minería transnacional en América Latina. En *La naturaleza colonizada* (Vol. 1, Issue 1, pp. 135–179).
- Martínez-Pérez, R. J. (2015). Fraccionamiento de suelos contaminados con mercurio en el sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México. Universidad Nacional Autónoma de México. [Tesis].
- Marx C. and Engels F. (1974). *Introducción a la dialéctica de la Naturaleza*. Obtenido de <https://www.marxists.org/espanol/m-e/1870s/75dianatu.htm>
- Martínez-Trinidad, S. (2013). Comportamiento del mercurio total en los sistemas terrestres del distrito minero de San Joaquín, Qro. Aplicación de modelos geoestadísticos y de regresión con árboles de decisión.
- Mejía, P. C. E. (2016). Las canchas de juego de pelota en Toluquilla, Querétaro. *Arqueología*, 51, 7–30.
- Mejía, P. C. E., & Herrera-Muñoz, A. J. (2013). De Las Rocas a Los Huesos: presencia de metales pesados en medio ambiente, sitios arqueológicos y restos óseos al Sur de la Sierra Gorda, Qro. Méx. (Editorial).
- Merck, (2001). *The Merck Index*. 13a ed. New York: John Wiley & Sons.
- Miguel, E. De. (2003). La evaluación de riesgos ambientales. *Industria y Minería*, 351, 57–64. <http://ingenierosdeminas.org/>
- Morett-Sánchez, J. C., & Cosío-Ruiz, C. (2017). Panorama de los Ejidos Y Comunidades Agrarias en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14, 125–152.
- 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>
- NMX-AA-051-SCFI-2016 establece el análisis de agua: medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.
- NMX-AA-132-SCFI-2016: muestreo de suelos para la identificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.20161229140035001.
- Noetstaller Richard. (1995). Historical Perspective and Key Issues. <https://doi.org/10.13140/2.1.1159.3602>
- NOM-127-SSA1-2021. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.

- NOM-147-SEMARNAT/SSA1. 2004. Proyecto de Norma Oficial Mexicana. Establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.
- NOM-157-SEMARNAT-2009. 2009. Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.
- Obrist, D., Kirk, J. L., Zhang, L., Sunderland, E. M., Jiskra, M., & Selin, N. E. (2018). A review of global environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: Changes of emissions, climate, and land use. *Ambio*, 47(2), 116–140. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1004-9>
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2021). Protecting Workers From Mercury Exposure While Crushing And Recycling Fluorescent Bulbs. [online] Available at: <https://www.osha.gov/Publications/mercuryexposure_fluorescentbulbs_factsheet.html> [Accessed 16 January 2021].
- Oficina Internacional del Trabajo (1999). "Los problemas sociales y laborales en las explotaciones mineras pequeñas," TMSSM/1999, OIT. Ginebra.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). Base Referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015. In Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelo 106. <http://www.fao.org/3/i3794es/i3794es.pdf>
- Organización Mundial de la salud (2020). Evaluación de la exposición prenatal al mercurio: estudio de vigilancia biológica humana: el primer protocolo de estudio: una herramienta para elaborar protocolos nacionales. Copenhague: Oficina regional de la OMS para Europa. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Organización mundial de la Salud (OMS). (2000). Mercury. En OMS, Air Qualitative Guidelines (págs. 2-15). Copenhagen Denmark.
- Pacyna, E. G., J. M. Pacyna, F. Steenhuisen, and S. Wilson. 2006. Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. *Atmospheric Environment* 40: 4048–4063.
- Peijnenburg, W.J.G.M., Zablotzkaja, M., Vijver, M.G., 2007. Monitoring metals in terrestrial environments within a bioavailability framework and a focus on soil extraction. *Ecotoxicol. Environ. Safe.* 67, 163–179.
- PNUMA, (2005). Evaluación Mundial Sobre el Mercurio, Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, pp. 389.
- Poulin J, Gibb H (2008). Mercurio: Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local. Editora, Prüss-Üstün A. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. (OMS, Serie Carga de Morbilidad Ambiental, n.º 16)
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2019). Global Mercury assessment 2018. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27579/GMA2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Programa Nacional de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2019). Convenio de Minamata sobre Mercurio. In Biblioteca del Congreso Nacional (pp. 1–73).
- Ramírez, A. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(1), p.46. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i1.1184>
- Registro Agrario Nacional – RAN (2018). Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA). Núcleo agrario Santa María de Gracia. Consultado el 14 de Septiembre de 2018. Disponible en: <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php/sistemas-de-consulta/phina>

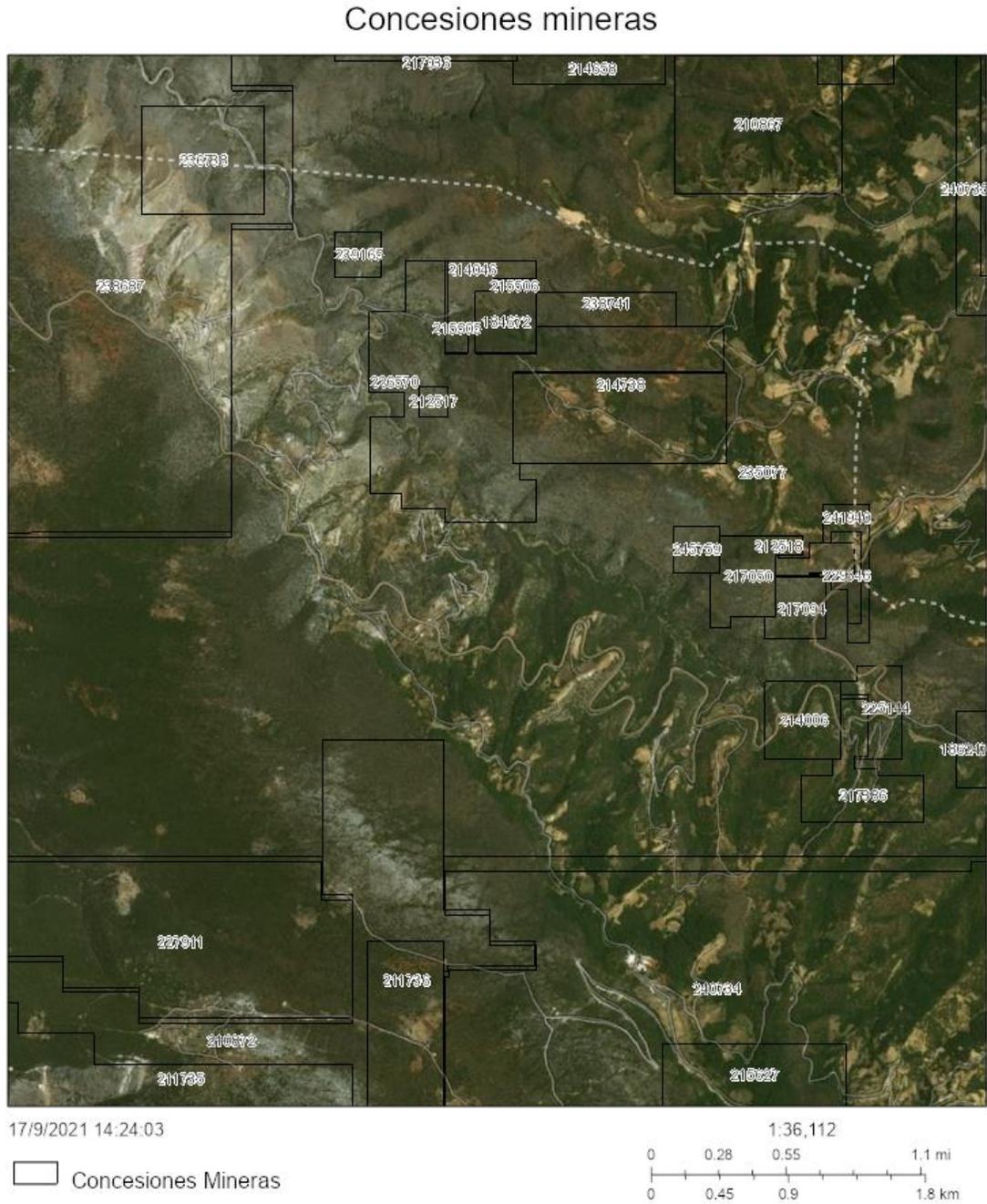
- Rodrigues S.M, B. H. (2010). Water-soluble fraction of mercury, arsenic and other potentially toxic elements in highly contaminated sediments and soils. *Chemosphere*, 78: 1301-1312. Doi:10.1016/j.chemosphere.2010.01.012
- Rodríguez-Galeotti, E., (2006). La minería del mercurio. *Boletín de Mineralogía*, 17:29-36.
- Schroeder, W. & Munthe, J., (1998). Atmospheric Mercury - an overview. *Atmospheric Environment*, 32(5):809-822.
- Secretaría de Desarrollo Social - SEDESOL (2016). SEDESOL. Recuperado el 25 de Agosto de 2018, de Prospera, programa de inclusión social: <https://www.gob.mx/prospera/documentos/que-es-prospera>
- Secretaría de Economía. (2019). ArcGIS Web Application. [Portalags1.Economia.gob.mx](http://portalags1.economia.gob.mx); Dirección de Minas. <https://portalags1.economia.gob.mx/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=1f22ba130b0e40d888bfc3b7fb5d3b1b>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2019). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2018. (p. 544). <https://www.gob.mx/sgm>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2021). Minas de mercurio y otros elementos. <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/>
- Servicio Geológico Mexicano-SGM. (2018). Panorama Minero del estado de Querétaro. In *Panorama Minero de los Estados*. https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/panoramas/QUERETARO_dic2018.pdf
- Sociedad Nacional de Minería. (2002). Guía de Buenas Prácticas en Seguridad Minera para la Pequeña Minería. In *Saudi Med J*. <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/34.guia-buenas-practicas-seguridad-minera.pdf>
- Sun, G., Feng, X., Yin, R., Zhao, H., Zhang, L., Sommar, J., Li, Z., & Zhang, H. (2019). Corn (*Zea mays* L.): A low methylmercury staple cereal source and an important biospheric sink of atmospheric mercury, and health risk assessment. *Environment International*, 131, 104971. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104971>
- SWARTZENDRUBER PHIL and JAFFE DANIEL. (2012). Sources and Transport: A Global Issue. En M. S. Bank, *Mercury in the environment* (págs. 3-18). London, Los Angeles: The Regents of the University of California.
- Tapella, E. (2007). El mapeo de Actores Claves, documento de trabajo del proyecto Efectos de la biodiversidad funcional sobre procesos ecosistémicos, servicios ecosistémicos y sustentabilidad en las Américas: un abordaje interdisciplinario”, Universidad Nacional de Córdoba, Inter-American Institute for Global Change Research (IAI).
- Tetreault, D. (2019). Radiografía de la resistencia a la megaminería en México. *Unidad Académica de Estudios Del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacatecas*, 7, 4–9.
- Trejo Pérez, E. (2011). Proceso de trabajo en la minería de mercurio en San Joaquín, Querétaro. *Universidad Autónoma de Querétaro*.
- United States Geological Survey (USGS). (2017). mercury. In *U.S Geological Survey minerals yearbook* (pp. 1–6). <https://www.usgs.gov/centers/nmic/mercury-statistics-and-information>
- Vargas B, M. L., & Quiroz P, C. M. (2011). Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 29: 461-468. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12021522012>
- Wang, X., Shan, X., Zhang, S., Wen, B., 2004. A model for evaluation of the phytoavailability of trace elements to vegetables under the field conditions. *Chemosphere* 55, 811–822.

12 BIBLIOGRAFÍA

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry-ATSDR. (1999). Toxicological profile for Mercury. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Bjørklund, G., Dadar, M., Mutter, J. and Aaseth, J. (2017). The toxicology of mercury: Current research and emerging trends. *Environmental Research*, 159, pp.545-554.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tolimán (2207), Estado de Querétaro (p. 21). <https://www.gob.mx/conagua>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO (2016). Carta topográfica: división política municipal 1:250000. México.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2012). Informe de pobreza y evaluación en el estado de Querétaro 2012 (p. 59). www.coneval.gob.mx
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (14 de 08 de 2022). <https://www.dof.gob.mx/>. Obtenido de NOM-07-STPS-2001: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=758081&fecha=05/11/2001#gsc.tab=0
- Martínez Arroyo A., Ruíz Suárez L.G., Gavilán García A., Ramírez Muñoz T. Identificación de los riesgos a la salud y al medio ambiente asociados a la minería primaria de mercurio en la Sierra Gorda de Querétaro. pp.126
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía-INEGI, (2017). Conjunto de datos vectoriales de información Topográfica. Escala 1:250 000. Serie V. Querétaro. México, Querétaro, México.
- Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, M. and S. D. (IGF). (2018). GLOBAL TRENDS IN ARTISANAL AND SMALL-SCALE MINING (ASM): A REVIEW OF KEY NUMBERS AND ISSUES Secretariat hosted by Secretariat funded by. <http://pubs.iied.org/pdfs/G04266.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2017). Convenio de Minamata sobre el Mercurio: Textos y Anexos (pp. 1–73). www.mercuryconvention.org
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat). (2016). Cadereyta de Montes, Querétaro, México: índice básico de las ciudades prosperas (p. 102). www.onuhabitat.org
- Rytuba, J. J. (2003). Mercury from mineral deposits and potential environmental impact. *Environmental Geology*, 43(3), 326–338. <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0629-5>
- World Bank (WB). (1996). Regularizing Informal Mining: A Summary of the Proceedings of the International Roundtable on Artisanal Mining. In *The World Bank, Industry and Energy Department Occasional Paper No. 6*.

13 ANEXOS

13.1 ANEXO 1. Lotes de concesiones mineras en la comunidad. Fuente: secretaría de economía, 2019.



Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community, Capas Externas, Cartografía Editable, Sources: Esri, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS, © OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Dirección de Cartografía y Concesiones Mineras
Capas Externas | Cartografía Editable | Maxar | Esri Community Maps Contributors, CONANP, Esri, HERE, Garmin, INCREMENT P, METI/NASA, USGS, EPA, US Census Bureau, USDA |

13.2 ANEXO 2. Guion de entrevista a mineros retirados.

PROYECTO: Diagnóstico ambiental y de la salud de la exposición ocupacional en la Minería Artesanal de Mercurio, proyecto de tesis de licenciatura de la alumna María Isidra Sánchez Monroy, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia.

OBJETIVO: conocer los antecedentes, procesos, actores, condiciones laborales, conocimientos y experiencias sobre la Minería de Mercurio en la comunidad.

CONFIDENCIALIDAD: su participación es sin ningún compromiso y la información que aporte será tratada con absoluta discreción

AUTORIZACIÓN PARA GRABAR: requerimos su apoyo para que nos dé permiso y grabemos su entrevista con la finalidad de no olvidar ningún detalle de esta

DURACIÓN: la entrevista tiene una duración de 45 minutos a 1 hora. En caso de que usted no tenga tiempo podemos agendar para otro día o hacerlo en dos partes. De igual manera, si quiere aportar más tiempo es muy bien venido.

ACCESO: al finalizar la investigación podrá consultar sus aportes en la Asamblea Comunal o en la subdelegación municipal.

(años):	Edad:	Sexo:	Ocupación:	Barrio:	Experiencia como minero
<p>TEMA 1: <u>Saberes locales sobre la historia de la minería artesanal de mercurio en la comunidad y alrededores</u> Me puede platicar por favor sobre la historia de la minería de mercurio en la comunidad:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usted, ¿A Qué edad empezó a trabajar en las minas?, recuerda ¿En qué años fue? 2. Usted sabe ¿En qué años empezó la minería en la comunidad? 3. ¿Quiénes trajeron la minería?, ¿De dónde venían? 4. Antes de ese tiempo ya existían los diferentes barrios, qué tanta gente había, de dónde venían, que había en los poblados: agua, luz, carreteras, tiendas; a qué se dedicaban las personas de la comunidad... 5. Me puede platicar sobre ¿Qué cambios trajo la minería a la comunidad? (número de personas y lugares de procedencia, cambio de labores, contaminación, problemas de salud, abundancia, trabajo, alcoholismo, paisaje, cantidad de leña, número de escuelas, molino, casa de salud, etc.) <p>TEMA 2: <u>Descripción de los componentes: obras mineras y hornos</u> Me puede platicar sobre las minas de mercurio en su época como minero</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. En sus tiempos qué minas había, cuál fue su producción, contaban con luz, agua y hornos, cómo se llegaba a ellas, cómo eran las minas: subterráneas o a cielo abierto, qué tamaño tenían, de qué partes se forman y qué trabajos se hacían en cada una de ellas 7. ¿Cómo se trabajaban las minas en la comunidad: sociedades, concesiones, ¿por familias? 8. ¿De quiénes eran los terrenos donde se encontraban las minas? 9. ¿Qué permisos se necesitaban para operar una mina? 10. ¿Qué tipo de hornos había? <p>TEMA 3: <u>Producción de mercurio: bonanza y declive</u> Me puede platicar sobre la mejor y peor época del mercurio en su época</p> <ol style="list-style-type: none"> 11. En qué años hubo mayor producción de Hg, a qué se debe ese aumento en la producción, a cómo pagaban el mercurio en ese tiempo, cómo se sentía el ambiente en la comunidad en esos tiempos 12. En qué años se produjo menos mercurio, por qué bajaba la producción, a cómo pagaban el mercurio en esos años, en ese periodo a qué se dedicaban en la comunidad, cómo se sentía el ambiente en la comunidad 13. Usted trabajaba por temporadas o todos los días, de qué dependía <p>TEMA 4: <u>Procesos: exploración, extracción, transporte, beneficio, almacenamiento y venta</u> Me puede platicar sobre el Trabajo del Hg en las minas en su época</p> <ol style="list-style-type: none"> 14. En qué se fijan para encontrar el mineral, qué les indicaba que pueden explotar una mina, quiénes descubren las minas y cómo se les recompensa, cómo saben que el mineral es de buena calidad 15. Me puede contar, qué trabajos realizan dentro y fuera de la mina, quiénes los hacen o que puestos de trabajo hay, qué herramientas de trabajo se utilizan, usted qué trabajos realiza 16. Cuánto mercurio se produce, a quiénes se vende el Hg que se saca, cuánto pagan por él, a dónde llega todo ese Hg y qué uso tiene 17. ¿Qué se hace con los residuos que quedan de los diferentes procesos? 18. ¿A usted quién le enseñó todo lo que sabe sobre las minas? <p>TEMA 5: <u>Condiciones laborales en las minas</u> Me puede platicar sobre las condiciones de trabajo en las minas</p> <ol style="list-style-type: none"> 19. Qué puestos de trabajo existen, el salario es el mismo para todos, con lo que ganaba en la mina le alcanzaba para todos sus gastos o tenía que trabajar por otro lado, cuál es el horario de trabajo 20. ¿Qué equipo de protección personal utilizan? 21. ¿En qué condiciones se encuentra la infraestructura (hornos, escaleras, caminos, etc.) de las minas para trabajar? 					

22. ¿Tienen algún **seguro de trabajo**? ¿Qué cubre?
23. ¿De qué **lugares vienen los trabajadores**? ¿Qué **edades** tienen?
24. ¿Cómo participan **las mujeres y los niños** en esta actividad? ¿Qué equipo de **protección personal** utilizan?

TEMA 6: Percepción de problemas y peligros en el trabajo del mercurio
Me puede platicar sobre los **problemas que la minería trajo a la comunidad**

25. Piensa que la minería trae **problemas a la comunidad**, cómo cuáles
26. ¿Durante el tiempo que trabajo en la mina, **usted o alguno de sus familiares, compañeros o amigos enfermó**? ¿**De qué**?
27. ¿**Recomendaría este trabajo o volvería a trabajar en él**? ¿**Por qué**?

TEMA 7: Percepción de la minería en nuestros días por mineros mayores retirados actualmente.
Me puede platicar ¿**Qué piensa de la minería en nuestros días? (mineros con más de 30 años de experiencia)**

28. ¿Considera que la actividad minera **ha cambiado**? ¿**En qué aspectos**?
29. ¿Considera que la **minería de Hg forma parte de las tradiciones y formas de vivir** en la comunidad? ¿**Por qué**?
30. ¿Piensa que de hoy en día la **minería representa un riesgo** para las personas que trabajan en ella? ¿**Por qué**?

Ésta sería la última pregunta, ¿Desea agregar algo más?
AGRADEZCO INFINITAMENTE SU AYUDA CON ESTA ENTREVISTA

13.3 ANEXO 3. Guion de entrevista a mineros contemporáneos.

PROYECTO: Diagnóstico ambiental y de la salud de la exposición ocupacional en la Minería Artesanal de Mercurio, proyecto de tesis de licenciatura de la alumna María Isidra Sánchez Monroy, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia.

OBJETIVO: conocer los procesos, actores, condiciones laborales, exposición a mercurio, conocimientos y experiencias sobre la Minería de Mercurio en la actualidad.

CONFIDENCIALIDAD: su participación es sin ningún compromiso y la información que aporte será tratada con absoluta discreción.

AUTORIZACIÓN PARA GRABAR: requerimos su apoyo para que nos dé permiso y grabemos su entrevista con la finalidad de no olvidar ningún detalle de esta.

DURACIÓN: la entrevista tiene una duración de 45 minutos a 1 hora. En caso de que usted no tenga tiempo podemos agendar para otro día o hacerlo en dos partes. De igual manera, si quiere aportar más tiempo es muy bien venido.

ACCESO: al finalizar la investigación podrá consultar sus aportes en la Asamblea Comunal o en la subdelegación municipal.

Edad:	Peso	Barrio:	Experiencia como minero (años):
TEMA 1: <u>Experiencia laboral como minero en la comunidad, similitudes y diferencias de la minería actual y pasada.</u>			
Me puede platicar por favor sobre la su experiencia como minero , para esto le voy a hacer unas preguntas.			
31. ¿Cuáles son las razones que lo han impulsado para dedicarte a la minería			
32. ¿Cuánto tiempo lleva dedicándote a esta actividad?			
33. ¿Qué edad tenía cuando empezó la minería?, ¿En qué año fue?, ¿Con quién trabajaba?, ¿Trabajaba con algún concesionario (patrón) o cómo era el trabajo en las minas?, ¿Hacían los procesos de la misma manera que ahora?			
34. En ese tiempo, ¿Alguna vez sintió algún malestar por dedicarse a esta actividad?, ¿Utilizaban algún equipo de protección personal?, ¿Se protegían de alguna manera del vapor de mercurio?			
35. En ese tiempo, ¿Cuánto mercurio debían procesar?, ¿A quiénes vendían el Hg?, ¿A cómo se los pagaban?			
36. En general, ¿Considera que existen diferencias en la minería del pasado a la actual?			
 TEMA 2: <u>Procesos de la minería en la actualidad</u>			
Me puede platicar sobre las actividades que realizas como minero , para esto le voy a realizar las siguientes preguntas:			
1. ¿Trabajas diariamente, todo el año o por periodos?, ¿A qué otras actividades te dedicas además de la minería?			
2. ¿Cuál es tu horario laboral?			
3. ¿En qué minas has trabajado, en cuál trabajas actualmente?			
4. ¿Trabajas solo o con algún familiar, compañero o patrón?			
5. De las minas que has trabajado, ¿Qué tipo de mineral hay en cada una?, ¿Varía mucho la ley del mineral entre las minas?			
6. ¿En tu opinión que tipo de mineral prefieres trabajar y por qué?			
7. ¿En qué procesos de la minería participas?			
8. ¿Para qué necesitas los ingresos percibidos de la venta de mercurio?			
9. ¿Cuánto mercurio debes obtener cada semana para cubrir tus necesidades?			
10. ¿Cuánto mineral debes procesar para obtener esta cantidad?			
11. ¿De qué (factores) depende que obtengas una buena producción de mercurio?			
12. ¿A quiénes vendes el mercurio?, ¿De dónde vienen estos compradores, son organizaciones de compradores o son compradores individuales?, ¿Cuentan con permisos para la compraventa de mercurio?			
13. ¿A cómo le pagan el mercurio?			
14. ¿Quiénes te compran el mercurio te piden algún requisito con el cual debe cumplir tu producción de mercurio?			
15. ¿Quién te autoriza que puedes extraer mineral de las minas?			
16. ¿Para qué piensas que se utiliza el mercurio que extraes y vendes?			
 TEMA 3: <u>Percepción del riesgo y exposición al mercurio</u>			
Me puede platicar sobre algunas precauciones que toman al extraer y quemar el mercurio , para esto le voy a realizar las siguientes preguntas:			
En las minas...			
1. ¿Cuántas horas al día pasa al interior de la mina, cuántos días a la semana?			
2. ¿Qué actividades de la minería realiza en el interior de la mina?			
3. ¿Cómo son las condiciones de humedad, espacio, polvo, ruido dentro de las minas?			
4. ¿Utiliza algún equipo de protección personal dentro de la mina como casco, overol, botas, gafas, respirador (mascarilla)?			
5. ¿Le da mantenimiento a su equipo; cada cuánto lo cambia, lava y/o limpia?, ¿Usted o alguien más limpia el equipo?			
6. ¿Después de salir de la mina donde coloca este equipo?			
7. En caso de usar mascarilla, ¿cuál es el mantenimiento de ésta?			
8. En caso de no utilizar equipo de protección personal, ¿Qué medidas utilizan para protegerse dentro de la mina?			
Además de utilizar tu ropa en la mina, ¿Esa ropa la utilizas para ir al ganado, la milpa u otras actividades?,			
¿Dónde colocas esa ropa después de salir de la mina?, ¿Duermes o haces alguna actividad con tu ropa de mina dentro			

de casa?, ¿Cuántas horas al día permaneces con tu ropa?, ¿Usted o alguien más lava esa ropa y cada cuándo?, ¿Siempre vas con la misma ropa de mina o cambias?, ¿Cuándo lava la ropa tiene algún olor, se quita fácil?

9. En caso de no utilizar equipo de protección personal ¿Por qué no lo utilizan?
10. Usted truena, ¿Cuánto tiempo espera para entrar a la mina después de tronar?
11. ¿Cuándo ha estado dentro de las minas ha sentido algún malestar o se ha enfermado?
12. ¿Qué síntomas se presentan primero?, ¿Cuándo se presentan?, ¿Cuánto les duran?
13. ¿Cómo hacen para curarse?
14. ¿Hace cuanto se enfermó?
15. ¿Fue al médico, cuál fue el tratamiento?
16. ¿Cómo transporta su mineral del interior de la mina a la bocamina?
17. ¿Cuánto mineral puede cargar?
18. ¿Usted o algún compañero o familiar han tenido algún accidente dentro de las minas?
19. ¿A qué se debe que haya accidentes?
20. ¿Usted desayuna, almuerza o tiene la comida en la mina?
21. ¿En qué parte de la mina comen?
22. ¿De dónde toman el agua para lavarse las manos?, ¿Utilizan jabón o pura agua?, ¿Cada cuando cambian esta agua?, Una vez que se lavan las manos ¿Qué hacen con el agua?
23. ¿Bebe agua dentro de la mina?, ¿Se lava las manos para destapar la botella?, ¿De dónde utiliza el agua para esto?
24. ¿Qué parte de la ropa o el cuerpo siente que está más en contacto con el mineral?
25. ¿En qué formas podemos encontrar el mercurio?
26. ¿Cuál es el más dañino y por qué?
27. En general, ¿Cuáles son los peligros a lo que se enfrenta como minero?
28. ¿Qué parte de los procesos mineros consideras que son más peligrosos?

En los hornos...

29. ¿Cuántas veces a la semana quema?, ¿Cuántas horas o días?, ¿Quema en la mina o en su casa?
30. ¿Utiliza algún equipo de protección personal para quemar? (mascarilla para gases, overol, guantes, goggles y botas)
31. ¿Después de quemar dónde deja este equipo?, ¿Hace otra actividad con él puesto?, ¿Usted o alguien más lo limpia?, ¿Cada cuándo?, ¿Siempre utiliza el mismo equipo o lo cambia?
32. En caso de no utilizar equipo, ¿Por qué no?
33. Si no utiliza equipo de protección personal, ¿Qué medidas toma para protegerse del mercurio?
34. En caso de utilizar ropa, ¿Es la misma ropa que utiliza para ir a la mina?
35. Alguien más le ayuda a quemar, ¿Qué medidas de seguridad tiene esta persona?
36. ¿Durante la preparación, limpieza y quema en el horno ingieren alimentos?, ¿Se lavan las manos?, ¿Dónde comen?
37. ¿Qué utiliza para limpiar el mercurio?, ¿Qué hace con el agua, trapos y recipientes que utiliza después de limpiar el mercurio?
38. ¿Qué hacen con el mineral que queda después de la quema?
39. ¿Cuándo quema ha sentido algún malestar o se ha enfermado?, ¿Qué síntomas se presentan primero?, ¿Cuándo se presentan?, ¿Cuánto les duran?
40. ¿Cómo hacen para curarse?
41. ¿Cuándo fue la última vez que se enfermó, actualmente está enfermo?
42. ¿Fue al médico, cuál fue el tratamiento?
43. ¿Con qué síntomas empiezan los mineros jóvenes?
44. ¿Hay diferencia en lo que van sintiendo (intensidad y frecuencia)?
45. ¿Se han muerto compañeros jóvenes?, ¿De qué?
46. ¿En qué procesos de la minería se sienten peor?
47. ¿Por qué quema en su casa?
48. ¿Considera que su familia se puede enfermar por hacer la quema en su casa?, ¿por qué?
49. ¿Qué precauciones toma usted y su familia cuando se va a prender el horno?
50. ¿Dónde almacena el mercurio líquido, en qué, por cuánto tiempo?, ¿Considera que existe algún riesgo por almacenar el mercurio de esta manera?

TEMA 4: Salud y hábitos de los mineros

Me puede platicar sobre **su estado salud y algunos de sus hábitos**, para esto le voy a realizar unas preguntas.

51. ¿Usted fuma?, ¿Qué tan seguido? ¿Cuántos cigarrillos al día/semana?, ¿Se ha enfermado por motivo de fumar?
52. Actualmente, ¿Padece alguna enfermedad?, ¿Está en tratamiento?

53. ¿Consumes bebidas alcohólicas?, ¿Qué tan seguido? ¿Cuántos cervezas, tragos o litros de pulque al día/semana?, ¿Ha tenido problemas de salud por tomar?
54. ¿Cada cuándo va al médico?, generalmente, ¿Por qué visita al médico?, ¿A dónde acude al médico?
55. ¿Cada cuándo cepilla sus dientes?
56. ¿De dónde usas agua para cocinar, lavar los trastes, beber y bañarte?
57. ¿Prácticas algún deporte o actividad física?
58. ¿Cuánta agua bebes al día?
59. Generalmente, ¿Come pescado fresco?, ¿Qué tan seguido?

TEMA 5: Percepción de los mineros sobre su actividad

Me puede platicar **qué piensa de ser minero**:

1. ¿Cree que el mercurio que saca de las minas puede estar contaminando el ambiente de la comunidad (aire, agua, vegetación) ?, ¿Cómo?
2. Si usted pudiera dedicarse a otra cosa, ¿Lo haría?
3. ¿Le gusta ser minero?, ¿Qué es lo que más le gusta de su profesión?, ¿Qué es lo que menos le gusta?

Ésta sería la última pregunta, ¿Desea agregar algo más?

AGRADEZCO INFINITAMENTE SU AYUDA CON ESTA ENTREVISTA

13.4 ANEXO 4. Guion de entrevista para sistema social de la comunidad

PROYECTO: Diagnóstico ambiental y de la salud de la exposición ocupacional en la Minería Artesanal de Mercurio, proyecto de tesis de licenciatura de la alumna María Isidra Sánchez Monroy, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia.

OBJETIVO: conocer los componentes del sistema social de la comunidad: economía, educación, salud, organización social, subsidios y apoyos de gobierno, festividades, etc.

CONFIDENCIALIDAD: su participación es sin ningún compromiso y la información que aporte será tratada con absoluta discreción

AUTORIZACIÓN PARA GRABAR: requerimos su apoyo para que nos dé permiso y grabemos su entrevista con la finalidad de no olvidar ningún detalle de ésta.

DURACIÓN: la entrevista tiene una duración de 45 minutos a 1 hora. En caso de que usted no tenga tiempo podemos agendar para otro día o hacerlo en dos partes. De igual manera, si quiere aportar más tiempo es muy bien venido.

ACCESO: al finalizar la investigación podrá consultar sus aportes en la Asamblea Comunal o en la subdelegación municipal.

Edad:	Sexo:	Ocupación:	Barrio:
TEMA 1: <u>Organización social</u>			
Me puede platicar por favor sobre la historia de la minería de mercurio en la comunidad:			
1.	¿Su comunidad es comunidad agraria, ejido o pequeña propiedad?		
2.	¿Cómo se organizan para tomar decisiones, ver apoyos del gobierno, arreglos en el camino, etc.?		
3.	¿Alguna vez ha formado/forma parte de algún comité?, ¿Cuál fue su experiencia?		
TEMA 2: <u>Tenencia de la tierra</u>			
4.	¿Sus tierras son de uso común o privado?, ¿Conoce las tierras de uso común y privado de la 0comunidad y qué se puede hacer en ellas?		
5.	¿Usted tiene títulos de propiedad de sus terrenos?, me puede platicar ¿Cómo funciona la venta de tierras en la comunidad?		
TEMA 3: <u>Festividades</u>			
6.	¿Qué fiestas hacen en su comunidad?, ¿Qué actividades se realizan en ellas?, ¿Cómo se organizan para realizar esas actividades?, ¿Usted cómo participa?		
TEMA 4: <u>Economía</u>			
7.	¿De qué vive su familia (trabajos asalariados, autoempleos y actividades de subsistencia)?		
8.	¿Usted o algún familiar han migrado o salido de la comunidad a trabajar?, ¿A dónde?, ¿Qué trabajos han realizado?		
9.	¿Cree que en su comunidad se pueden realizar actividades económicas que beneficien a todos los habitantes?, ¿Cómo cuáles?		
TEMA 5: <u>Programas sociales</u>			
10.	¿Usted o algún familiar son beneficiarios de apoyos del gobierno?, ¿De qué tipo (educación, empleo, salud, manutención, campo)?		
TEMA 6: <u>Educación</u>			
11.	¿Tiene hijos en la escuela?, ¿En qué grados?, ¿A dónde van?, ¿Cómo califica la educación que reciben sus hijos?, ¿Por qué?, ¿En las escuelas a las que van sus hijos fomentan o fomentaron el Otomí?		
12.	¿Usted qué nivel de estudios tiene?, ¿A dónde fue a la escuela?		
TEMA 7: <u>Servicios</u>			
13.	¿En su vivienda cuenta con agua potable, luz, drenaje y recolección de basura? Si no tiene los servicios ¿Qué opciones utiliza?		
14.	¿Qué hace con sus aguas residuales?, ¿A dónde se vierte el agua de los drenajes?, ¿Las aguas residuales reciben un tratamiento ya sea en su casa o por las autoridades?		
15.	¿Qué combustible utiliza para cocinar?, ¿De dónde lo trae?, ¿Cuánto utiliza a la semana?		
16.	¿Qué hace con su basura en general y con los residuos cómo jeringas, aceite, medicamentos y pilas?		
17.	¿De dónde obtienen el agua para cocinar, consumo y bañar?		
18.	¿Tienen algún problema con algún servicio?, ¿Cuál?		
TEMA 8: <u>Deseos, aspiraciones y participación</u>			
19.	¿Qué puede mejorar en la comunidad?, ¿cómo usted puede contribuir para lograrlo?		
TEMA 8: <u>Percepción general de la minería</u>			
20.	¿Cuáles considera usted que son los beneficios de la minería en su comunidad?		
21.	¿Cuáles considera que son los efectos negativos de la minería en la comunidad?		
Ésta sería la última pregunta, ¿Desea agregar algo más?			
AGRADEZCO INFINITAMENTE SU AYUDA CON ESTA ENTREVISTA			

13.6 ANEXO 6. Tabla general de concentraciones de mercurio en muestras ambientales

Fracción Hg	Origen muestra	Tamaño de partícula	Etiqueta (lectura) ¹	Hg (µg/Kg) ²	Promedio	SD ³
Hg-Total	Polvos producidos en una voladura	≥ 44µm a <74 µm	M-1 (1)	16.75	17.14	0.82
			M-1 (2)	16.58		
			M-1 (3)	18.08		
		≥74 µm a 0.42 mm	M-2 (1)	16.25		
			M-2 (2)	16.17		
			M-2 (3)	18.00		
	Residuos mineros de los hornos (escorias)	≥ 44µm a <74 µm	HE-1 (1)	19.33	20.11	0.75
			HE-1 (2)	20.17		
			HE-1 (3)	20.83		
			HB-1 (1)	187.00		
			HB-1 (2)	190.00		
			HB-1 (3)	172.00		
			HP-1 (1)	57.50		
			HP-1 (2)	60.33		
			HP-1 (3)	58.83		
		≥74 µm a 0.42 mm	HE-2 (1)	12.83	13.72	1.33
			HE-2 (2)	13.08		
			HE-2 (3)	15.25		
			HB-2 (1)	233.00		
			HB-2 (2)	220.00		
			HB-2 (3)	207.00		
			HP-2 (1)	31.33		
			HP-2 (2)	31.67		
			HP-2 (3)	33.50		
	Vapor de mercurio emitido en condensadores artesanales	HE-VHg (1)	204.92	119.54	120.75	
		HE-VHg (2)	34.15			
		HB-VHg (1)	307.38			
HB-VHg (2)		717.21				
Agua de manantial	AM-1 (1)	<LD	<LD	<LD		
	AM-1 (2)	<LD				
	AM-1 (3)	<LD				
Hg-Soluble en agua	Polvos producidos en una voladura	≥ 44µm a <74 µm	M1-w (1)	1.52	2.21	0.60
			M1-w (2)	2.53		
			M1-w (3)	2.59		
		≥74 µm a 0.42 mm	M2-w (1)	1.02		
			M2-w (2)	1.09		
			M2-w (2)	1.22		
	Residuos mineros de los hornos (escorias)	≥ 44µm a <74 µm	HE1-w (1)	1.93	1.93	0.12
			HE1-w (2)	2.05		
			HE1-w (3)	1.81		
		≥74 µm a 0.42 mm	HE2-w(1)	0.72		
			HE2-w(2)	0.62		
			HE2-w(3)	0.64		
			0.66	0.05		

¹La lectura de las muestras por EAA-GH se realizó por triplicado en las muestras sólidas y por duplicado en las muestras de vapor.

²Las unidades de las concentraciones son µg/kg en muestras sólidas y en las de vapor ng/m³

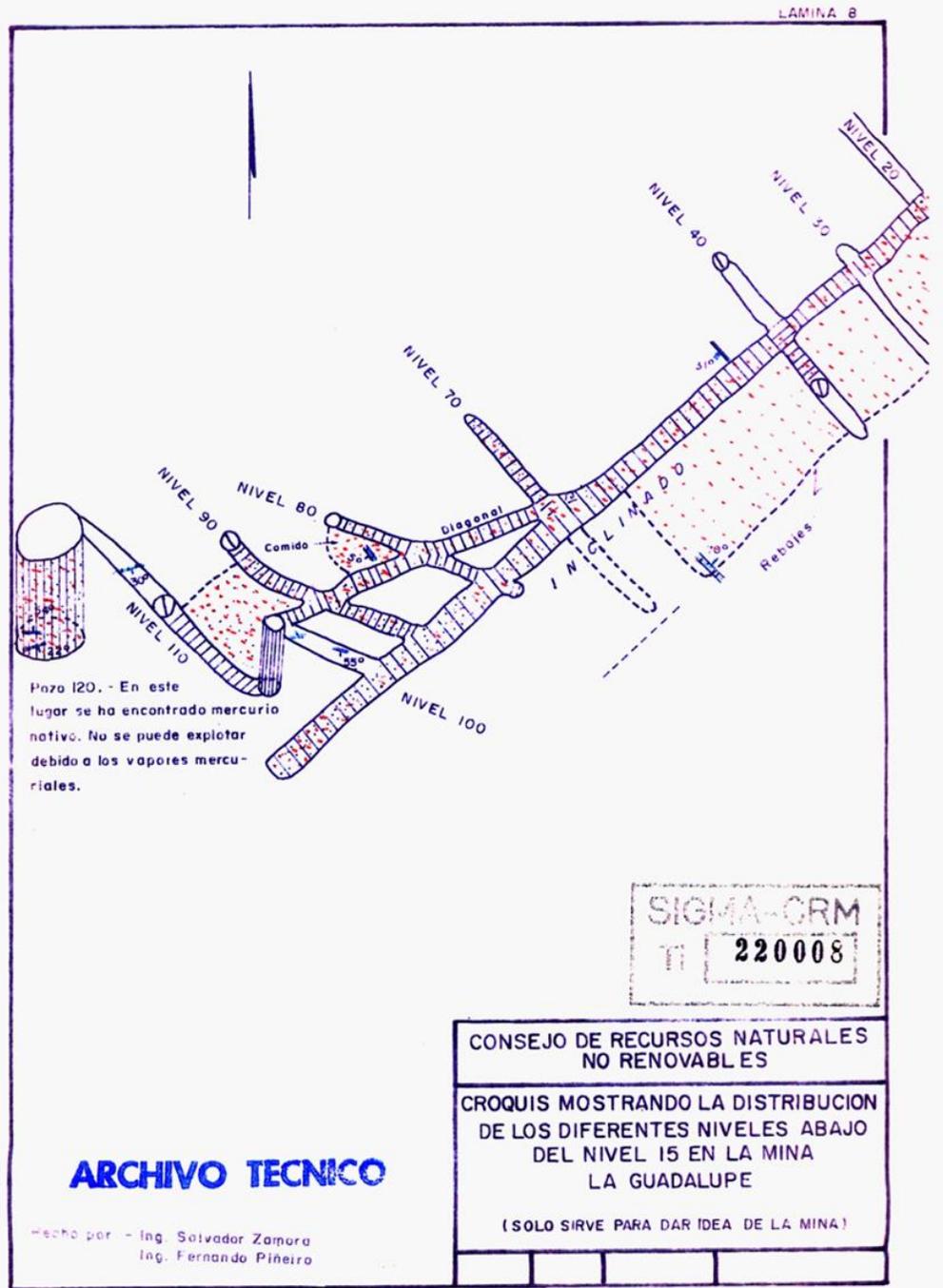
³Desviación estándar

13.7 ANEXO 7. Concesiones mineras en la comunidad en el año 1965

No. Título	Nombre de la mina	Vigencia	Concesionario	Tipo de concesión
124806	El Zopilote	Vigente	Salvador Torres Martínez	Exploración
SR	La Fe o Lana	Vigente	Anatolio de la vega y Benjamín Velázquez	Extracción
SR	La Guadalupe o Barranca	Vigente	Juan Llaca Ortega, José Llaca Nieto e Ing. Enrique Llaca Nieto	Extracción
SR	Rosa María	Vigente	Vicente Arreguín Vega	Exploración

SR: sin registro. Fuente: (Zamora & Piñero, 1965)

13.8 ANEXO 8. Niveles de la mina La Barranca y ubicación de los yacimientos con *azogue*.



Fuente: (Zamora & Piñeiro, 1963).

13.9 ANEXO 9. Concesiones actuales en la comunidad.

No. Título	Tipo concesión	Nombre del lote	Vigencia	Estatus	Tamaño (has)	Minerales que se extraen	Nombre del Concesionario	Notas
235077	Exploración minera	Yonthe fracción A	01/10/2009 30/10/2050	Cancelado, sustituyó al 212515 y 218473	7,223.6249	POT	Industrial minera México, S.A. de C.V.	Ha tenido 2 reducciones que han sido canceladas y sustituidos por otros contratos.
238687	Exploración minera	San Juan IV	13/10/2011 13/10/2061	Cancelado	2,236.0714	Au, Ag, Cu, TSP	Antimonio de México, S.A. de C.V.	
239165	Exploración minera	La fortaleza	29/11/2011 29/11/2061	Vigente	9.0000	Ag, Zn, Pb, Hg	Pascual Torres Herrera & Fernando Torres García	
214046	Exploración minera	Mina I	06/08/2001 06/08/2007	Vigente	13.0121	Ag, Pb, Zn, Hg	J. Benedicto Herrera Ledesma	En 2010 presentó un contrato de explotación por Marín Torres Herrera
215506	Exploración minera	La barranca 2a. Fracción	21/02/2002 21/02/2008	Cancelado en 2013	2.3295		José Rodrigo Llaca Carrasco	
215505	Exploración minera	La barranca 1a. Fracción	21/02/2002 21/02/2008	Vigente	3.6128	Au, Ag, Pb, Cu	José Rodrigo Llaca Carrasco	
184672	Explotación minera	Guadalupe o mesa de los trojes	10/11/1989 09/11/2039	Vigente	16.0000	Hg	Raúl Nieto Martínez (33%) Constantino Llaca victoria (20.67%) María Guadalupe victoria viuda de Llaca (20.67%) Rosalía Ramírez Pous (25%)	Sustituye al título 124826 En 2009 se arrendó para explotación a terceros. Marín, Roberto Nieto, Hortensia Nieto, María del Rosario Nieto, Ma. Guadalupe Nieto, Eva Sánchez Lara vda. de Nieto. Alejandra Nieto
226570	Exploración minera	La troje 2	26/01/2006 25/01/2056	Vigente	156.0340	Hg, TSP,	J. Benedicto Herrera Ledesma	En 2010 presentó un contrato de arrendamiento

								o para explotación por Marín Torres Ledesma
212517	Exploración minera	Yonthe fracción D	30/10/2000 30/10/2050	Cancelado	4.0000	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	Industrial Minera México, S.A. de C.V.	
238741	Exploración minera	El sol	17/10/2011 17/10/2061	Vigente	20.6454	Ag, Pb, TSP	Minera la Negra, S.A. de C.V.	Desistimiento en 2014 junto a concesionario desconocido
214738	Exploración minera	Mina II	21/11/2001 21/11/2007	Vigente	82.3102	Hg	J. Benedicto Herrera Ledesma	
245759	Exploración minera	La ilusión "fracción 1"	09/11/2017 09/11/2067	Vigente	9.0000		Primitivo Saldívar Santos & Bernardo Soriano Arteaga	
217050	Exploración minera	La rica del niño	13/06/2002 13/06/2052	Vigente	24.2485	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	Constantino Llaca Victoria	
212518	Exploración minera	Yonthe fracción E	30/10/2000 30/10/2050	Cancelado	8.7984		Industrial Minera México, S.A. de C.V.	2019 Desistimiento del título
217094	Exploración minera	El socorro	13/06/2002 13/06/2052	Vigente	14.2132	Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Hg	Constantino Llaca Victoria	Título duplicado en 2012
229346	Exploración minera	Sagrada familia	10/04/2007 10/04/2057	Vigente	6.5013	Hg, Au, Ag, TSP	Frederick Harvey Noble Thacker	
214006	Exploración minera	El carrascal	12/07/2001 12/07/2007	Vigente	25.0000	Ag, Pb, Hg, Sb	Concesionario original: Remigio Amieva Noriega Concesionario : actual: Juventino Martínez Casas	Cesión de derechos en 2002 y revocación del título en 2012 Acuerdo de cancelación en 2011
241940	Exploración minera	Ampliación Sagrada familia	09/04/2013 09/04/2063	Vigente	10.3782	TSP, POT, Sb, Hg, BAR	J. Juventino Martínez Casas	
217386	Explotación minera	Cristal	08/07/2002 08/07/2052	Vigente	33.0699		Juana Leticia Ramírez Helgueros	Revocación de título en 2012, acuerdo de

								cancelación en 2011 Antes 188147
225144	Exploración minera	Cristal II	25/07/200 5 25/07/201 1	Vigente	15.8657		Pascual Torres Herrera	

Fuente: Secretaría de Economía, 2022

13.10 ANEXO 10. Representación de los ingresos y egresos en una mina artesanal de mercurio con proceso semi-mecanizado.

Representación de los gastos e ingresos semanales en una mina artesanal de mercurio con proceso semi-mecanizado					
Gastos variables por semana/egresos		*Desgloce gastos depreciación		Utilidades semanales	
Insumos	Precio	Insumos	Precio		
1 viaje de leña	\$ 34.36	Barra de rotomartillo 80 cm	\$ 33.65	Ingresos	\$ 100.00
4 fulminantes	\$ 2.29	100 mts cable de luz	\$ 2.83	Egresos	\$ 25.68
1 salchicha grande	\$ 2.18	Madera para ademar	\$ 8.48	Ganancias	\$ 74.32
4 m de cañuela	\$ 3.30	2 Kg de cuerda	\$ 0.40		
3 kg mexamol	\$ 5.36	1 carrete de punta	\$ 2.83		
1 flete	\$ 11.45	5 tubos para quemar	\$ 49.13		
3 pacas de vena para burro	\$ 10.99	2 lámparas recargables	\$ 2.69		
10 costales	\$ 1.37		TOTAL	\$ 100.00	
1 bulto de cal	\$ 2.18				
15 lts. Gasolina p/planta	\$ 7.90				
Aditivos	\$ 1.60				
*Gastos depreciación	\$ 17.02				
TOTAL	\$ 100.00				

Fuente: elaboración propia.

13.11 ANEXO 11. Dosis de ingesta e inhalación diaria de mercurio e índice de peligrosidad en trabajadores mineros expuestos en la MAM.

Población afectada	Dosis de ingesta mg/kg/día	Dosis de inhalación mg/m ³ /día	Índice de Peligrosidad por Ingesta	Índice de Peligrosidad por inhalación
Trabajadores mineros	0.0003	0.0001	1	0.4