

Cuernavaca, Morelos a 12 de octubre de 2020

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **NATALIA DE LA CRUZ GUARNEROS**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034037, BAJO EL TÍTULO “DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS POR MINERÍA METÁLICA EN LA REGIÓN CENTRO DE MÉXICO: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

DRA. PATRICIA MUSSALI GALANTE



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**PATRICIA MUSSALI GALANTE** | Fecha:2020-10-12 14:48:48 | Firmante

t5rLKqwnJr8hdAzO0X5ITICd0v2sYbDc2otLexZq/gQ/JuaTwtlOGe/Gj77vaAomhqVturTrvqON3LTkCGfKrHR0ZU6lcxwrRdCWeTzSqms5aCelwSmm1svwCKB7aeGvhC/SNinZwHc25THXZvNdtat1yUepl9hfYikRVyGTU4VKcKx1USxAD6pe8h4G7rVEINvaGF9IUqVmGy4csFMQ3pEnX6xtAEAgOaoTQXeLZDspUieKafPw7yh4YTat1WM1zNxO0h5OlcZC+8RN+t9f+Q1x8kR+q3SJkLux+8uxF/0Fq0KriDjlg+t9e7PJY+bhK1Mg+58/FU5wElqQPrdFBfjw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



CYTWF

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/bLPPrTYmLR92ebEJtgRhDntUSTYyrkKqx>



Cuernavaca, Morelos a 12 de octubre de 2020

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **NATALIA DE LA CRUZ GUARNEROS**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034037, BAJO EL TÍTULO “DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS POR MINERÍA METÁLICA EN LA REGIÓN CENTRO DE MÉXICO: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**EFRAIN TOVAR SANCHEZ** | Fecha:2020-10-12 12:18:54 | Firmante

bZHcn5F/JjRZOU0x2qfsBao5y2o8j6+Zwj2o+PiWc3YhTH9mpsNeM0Wcjj0/4Qg5mSGZR400mRzZzgj9st4+Lv1F4DNkhN2OXXNo85srM82EFtfuZ3vZxe1IrFF/h+VXaJqP/IDIsDpP2Oe7cG1V8bL2Oj5AwFM1HfNV2vtSYFH+ZjwHOZ7AWFRHpeZfQ+cLvQPievCEUfgwb6an1OL6OIkby+E2OOkv/JJqKmH4+6/VTjeOxkefNTxjLd54JQmIP2327yKUNBnEWZNxjAVNcjcoHwj9fv5b2OISBaCfIO/R7vKDeSGfllWq+d3HWHr2XCtDg2M9JfGoUmWQGBY5g==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



yTqb42

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Ng08XPmimiwrt72HBNCa6D4jAm6aRBAP>



Cuernavaca, Morelos a 14 de octubre de 2020

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **NATALIA DE LA CRUZ GUARNEROS**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034037, BAJO EL TÍTULO “DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS POR MINERÍA METÁLICA EN LA REGIÓN CENTRO DE MÉXICO: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

\_\_\_\_\_  
M. en B. ANA KAREN IVANNA FLORES TRUJILLO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ANA KAREN IVANNA FLORES TRUJILLO | Fecha:2020-10-14 18:56:14 | Firmante**

SylXIZj9A3vc3la4apxvPtUCg3hwDRNDgruhim3BhRz0qjQJwyLQCzQGNqUYp3ENPn0S7XaoHB1J2pULwLB9iKfk0jEyw3sSMhbO9iWenXcThMflRfQ5jeHxjuvysJjqz1qWsr7YQ  
GxbX9XIS/XmswDk14CsCuApp1LNH8wg+qbl1W5zm1n7isHaxof98z7DMQdQQsh4trj4ltgcDwJwggBJVBQoDisDfGf1HxGM5PLcS/g9kxhDy1IsIPJpxCiLr42YV+IUk6dUQCvKygz  
OXJUuD9fgJjSvZrm/mxdakHABmbOGVqqGucWjhypG55KI/LmLRFNqz8wuc3wAKP6O7w==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



7hYf8D

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Thga2AG0SXghLSqcFdAgjpRdvCWU0bdw>



Cuernavaca, Morelos a 12 de octubre de 2020

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **NATALIA DE LA CRUZ GUARNEROS**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034037, BAJO EL TÍTULO “DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS POR MINERÍA METÁLICA EN LA REGIÓN CENTRO DE MÉXICO: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

\_\_\_\_\_  
DRA. MARÍA LUISA CASTREJÓN GODÍNEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARIA LUISA CASTREJON GODINEZ | Fecha:2020-10-12 10:23:59 | Firmante**

E4j9blPTeDZzbA06LY3UfDi/c2Q0Yg/4Krzpl4IYsbG7MnNlpJRc7Yeu7SmGKct03z37P03Vygb2WfTANLMVqfXYyTC1SUcXoz282b8RgNP9zYWxpUvxrlpMMadWNVrbUvsLHJ  
B8N7wLiBc2HMdhQOHgJCFINU0pwDA9i6GbuzkRWOHa6abbEPG82g6fLJa4D1mK3rhySPm9mj1bYphSYSpNuY62c9b2zVTQlio+FZEUWA2jyr/7gVCgDCMPE+raITFYglHmlvY  
6yX/0BOKBkg5JKHYnECwYJbv+guf3ZTti3kZe9ZkOLfZsaY3JqTxUrH+eVEIfDwrOd278BuoKw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**QGory8**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/VjcoveRk040MFTtc6vazGmwPpRNstvzD>





Cuernavaca, Morelos a 12 de octubre de 2020

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **NATALIA DE LA CRUZ GUARNEROS**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034037, BAJO EL TÍTULO “DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS POR MINERÍA METÁLICA EN LA REGIÓN CENTRO DE MÉXICO: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

DR. ALEXIS JOAVANY RODRÍGUEZ SOLÍS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ALEXIS JOAVANY RODRIGUEZ SOLIS | Fecha:2020-10-12 15:17:56 | Firmante**

MULuQI7E/r11z1QrTwnnVsrBVGlwCmwXQbm1OAzAEJ375oBzqPeC0yAh1ZCJqD+qGbiy0jJxZV6jr4tCSP+2nClifNG/J3NbfzVJmi0ZJHXaJqhkkkiQG/I94c2vmq9AmDgHRLi7W  
aB4epmeeZbcl5TDR161Pq/yR3xK/RkWnTZ1f97BsQwc1MPIA2Qa+LshFyt1UhgT7lzcNtbl30GGcV/DK/L/EXN1WrNxxvxo6Z+GPIFYKlvSnEg1djrFGwbfushTrSYSSHEID5CQTYd  
Ch8iKpHsXqQ7PW5jpFFik50fqV0+QBq8cnlBr9CMtK2P3x3DO/NmlskZ39j8tMHwvtg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[hjkZn1](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/tJaMv559QyOQpXXsnJyU5v73A3IYfXK>





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS POR  
MINERÍA METÁLICA EN LA REGIÓN CENTRO DE MÉXICO:  
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS**

**T E S I N A  
QUE PARA OBTENER LA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T A:  
NATALIA DE LA CRUZ GUARNEROS**

**DIRECTORA:  
DRA. PATRICIA MUSSALI GALANTE**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**OCTUBRE, 2020**



*A MIS PADRES* ♡

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Especialidad en Gestión Integral de Residuos de la Facultad de Ciencias Biológicas, UAEM por permitirme realizar mis estudios de posgrado. Asimismo, agradezco la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, No.752796) para el desarrollo de mis estudios de posgrado.

A la *DRA. PATRICIA MUSSALI GALANTE*, directora de tesina, por su orientación y supervisión.

A la *M. EN B. ANA KAREN IVANNA FLORES TRUJILLO*, la *DRA. MARÍA LUISA CASTREJÓN GODÍNEZ*, al *DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ* y al *DR. ALEXIS J. RODRÍGUEZ SOLÍS*, miembros del jurado revisor de tesina, por sus comentarios y observaciones.

A la *DRA. ISELA HERNÁNDEZ PLATA* por sus críticas constructivas, observaciones y sugerencias.



## RESUMEN

La minería es una actividad con una tradición de más de 450 años, importancia económica y de desarrollo en México. Sin embargo, también es una de las actividades que mayor cantidad de residuos peligrosos genera en el país. Los procesos utilizados para la extracción de los minerales metálicos de interés económico generan gran cantidad de residuos, denominados jales, los cuales son una fuente potencial de contaminación ambiental por su contenido de una mezcla compleja de metales pesados. Se ha estimado que existe gran cantidad de jales por todo el territorio mexicano. A pesar de esto, este tipo de residuos no fue regulado hasta el año 2004 con la entrada en vigor de la NOM-141-SEMARNAT-2003.

Por ello el presente trabajo tuvo como objetivo “Realizar un diagnóstico de la situación actual de los jales en la región centro de México” a través de la recopilación y búsqueda de información en distintos motores de búsqueda. Se encontró un total de 42 estudios de caracterización de jales, de los cuales se pudieron identificar un total de 27 jales distintos localizados en los estados de Hidalgo (19), Estado de México (5) y Morelos (3), además de un total de 137.38 millones de toneladas de jales que corresponden al 51.8% de los jales reportados en el centro de México. Para el estado de Puebla no se encontraron estudios relacionados con jales a pesar de que presenta actividad minera metálica. Por otra parte, el estado de Tlaxcala y la Ciudad de México no cuentan con registro de actividad minera metálica en sus territorios.

Se realizó una base de datos con la información disponible y un mapa con las coordenadas geográficas de cada uno de los jales que han sido reportados en los últimos 15 años en la región centro de México. Es importante ampliar dicha base de datos y georreferenciar todos los jales existentes sobre territorio mexicano para conocer el panorama general de la situación actual de los jales en México. Este tipo de trabajos facilita la ubicación y la evaluación de jales para prevenir y/o mitigar los riesgos al ambiente y a la salud de la población que se encuentran en zonas mineras.

**Palabras clave:** *Actividad minera, residuos mineros, jales, metales, México.*



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	2
I.1. Antecedentes	2
I.1.1. La importancia de la minería en México	2
I.1.1.1. La actividad minera metálica en México	2
I.1.2. Los residuos mineros en México	3
I.1.3. Las plantas de beneficio de minerales metálicos en México	3
I.1.4. Los jales en México	4
I.1.4.1. Información acerca de los jales en México	5
I.1.5. La legislación en materia de residuos mineros en México	6
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
II.1. Planteamiento	7
II.2. Justificación	8
CAPÍTULO III. OBJETIVOS	8
III.1. Objetivo general	8
III.1.1. Objetivos específicos	9
CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN	9
IV.1. Delimitación	9
VI.2. Tipo de investigación	10
VI.3. Recolección de información	10
CAPÍTULO V. PRINCIPALES HALLAZGOS	11
V.1. La producción de minerales metálicos en la región centro de México	11
V.1.1. Los proyectos mineros metálicos en la región del centro de México	12

V.2. Las minas metálicas en la región del centro de México	14
V.2.1. Clasificación de las minas metálicas en el centro de México	15
V.2.2. Minas en estado de operación de producción y abandonadas en el centro de México	16
V.3. Jales reportados en la región centro de México	20
V.3.1. Estimación reportada sobre la cantidad de jales en el centro de México	22
V.3.2. Caracterización de jales localizados en el centro de México	23
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	32
CAPÍTULO VII. PERSPECTIVAS	34
LITERATURA CITADA	35
APÉNDICE	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estados que conforman el centro de México	9
Figura 2. Minas metálicas ubicadas en el centro de México	19
Figura 3. Jales reportados en la región centro de México	30
Figura 4. Jales y minas reportadas en la región centro de México	31

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Porcentaje de minas en la región centro de México	16
Gráfica 2. Porcentaje de minas en producción y abandonadas en la región centro de México	18

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de plantas de beneficio de minerales metálicos en México	4
Tabla 2. Principales productores de minerales metálicos del centro de México	11
Tabla 3. Listado de proyectos mineros de la región centro de México	12
Tabla 4. Relación de minas metálicas de la zona centro de México	14
Tabla 5. Estudios realizados en jales ubicados en el centro de México	25
Tabla A1. Minas abandonadas y en producción localizadas en el estado de Hidalgo	41
Tabla A2. Minas abandonadas y en producción localizadas en el estado de Puebla	48
Tabla A3. Minas abandonadas y en producción localizadas en el Estado de México	52
Tabla A4. Minas abandonadas en el estado de Morelos	55

## INTRODUCCIÓN

La república mexicana ha registrado actividad minera metálica durante más de 450 años, por lo que la minería es una actividad de gran tradición (Volke *et al.* 2005). Además, representa gran importancia en el desarrollo económico del país (SGM 2018a). Sin embargo, los procesos que se llevan a cabo para la extracción de los minerales metálicos de interés económico han generado una gran cantidad de residuos mineros (jales), los cuales se componen de elementos potencialmente tóxicos (EPT) como los metales pesados (MP) (Romero *et al.* 2008).

En México, la disposición final de los jales no fue regulada sino hasta el año 2004, en donde se aprobó por primera vez una norma de disposición final de jales, la NOM-141-SEMARNAT-2003, debido a que la acumulación y disposición final de los jales se realizaba en sitios cercanos a las minas, y sin ningún tipo de medida de mitigación para los posibles efectos al ambiente y salud humana. Se ha estimado que podrían existir millones de toneladas de jales dispersos por todo el territorio mexicano sin ningún tipo de tratamiento, lo que representa fuentes potenciales de contaminación ambiental de MP (Volke *et al.* 2005). A pesar de esto, actualmente se desconoce el número exacto, la cantidad y la composición de metales pesados que presentan los jales que se encuentran en el territorio (Covarrubias y Peña-Cabriales 2017).

La actividad minera es de suma importancia para el país en términos económicos, por lo que la información de fácil acceso y actualizada que existe en torno a esta actividad se enfoca principalmente en el desarrollo económico de México. Por otra parte, la información relacionada con los jales y la problemática que esto conlleva se encuentra dispersa en distintas fuentes de información (P. ej., artículos y trabajos de tesis) volviéndose de difícil acceso, además no siempre se encuentra información reciente. La información acerca de los jales es importante a fin de prevenir y/o mitigar posibles desastres, debido a que por su contenido de MP pueden generar efectos negativos en el ambiente, así como en la salud de los pobladores que habitan en sitios cercanos a zonas mineras.

## CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

### ***1.1. Antecedentes***

#### *1.1.1. La importancia de la minería en México*

La minería es una actividad de gran tradición e importancia económica en la república mexicana. Esta actividad es percibida como sinónimo de crecimiento y desarrollo para México, ya que la minería crea empleos, genera divisas y abastece insumos a la industria manufacturera de la construcción y la eléctrica principalmente (SGM 2018a). De acuerdo con la Secretaría de Economía (2019), el sector minero en México contribuye con el cuatro por ciento del Producto Interno Bruto Nacional.

En las 32 entidades federativas que conforman la república mexicana, se han registrado yacimientos mineros, tanto metálicos como no metálicos, debido a que se localiza dentro de una región volcánica rica en minerales (Volke *et al.* 2005; SGM 2018a). A nivel mundial, México es el primer destino de inversión en exploración minera en América Latina y el cuarto destino en el mundo (SE 2019). En el 2017, el Servicio Geológico Mexicano (SGM) ubicó a México dentro de los 14 principales productores a nivel mundial de 22 minerales, destacando dentro de los minerales metálicos la plata (Ag; 1°), el bismuto (Bi; 3°), el molibdeno (Mo; 5°), el plomo (Pb; 6°), el selenio (Se; 6°), el zinc (Zn; 6°), el cadmio (Cd; 7°), el cobre (Cu; 8°), el oro (Au, 8°), el manganeso (Mn; 11°), y el hierro (Fe; 12°).

#### *1.1.1.1. La actividad minera metálica en México*

La producción de minerales metálicos es importante ya que representan alrededor del 53% del valor total de la producción minera en México (SGM 2018a). De acuerdo con datos del SGM (2018b), de los 32 estados que conforman la república mexicana, el 81.2% han reportado actividad minera metálica a lo largo de la historia. La región sureste (SE) de México (Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán), así como el estado de Chiapas y el estado de Tlaxcala no han presentado actividad minera metálica hasta la fecha. Dichos estados poseen una baja diversidad de recursos minerales debido a sus características geográficas y geológicas, por lo que no se conocen yacimientos de minerales metálicos (SGM 2018b).

### *1.1.2. Los residuos mineros en México*

La industria minera juega un papel importante en la economía mexicana, sin embargo, los impactos que implica el desarrollo de esta actividad no se pueden dejar de lado. De acuerdo con datos publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2015), la industria minera ocupa el tercer lugar en generación de residuos peligrosos (RP), representando el 14.1% del total de los RP generados en México.

A los residuos generados posterior a la implementación de procesos de extracción de minerales de interés económico se les denomina relaves mineros o jales, del Náhuatl “*Xalli*” que significa arenas finas (Volke *et al.* 2005), pueden ser definidos como “lodos residuales originados durante el proceso de beneficio del mineral económicamente aprovechable” (Gómez-Bernal *et al.* 2010) o como “residuos sólidos generados en las operaciones primarias de separación y concentración de minerales” (DOF 2004).

Los jales, generados debido a la extracción de minerales metálicos, contienen gran cantidad de minerales de sulfuro sin valor, como la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), la pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), la galena ( $\text{PbS}$ ), la esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) y la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), los cuales son fuente de EPT como los MP (Romero *et al.* 2008). Debido a su contenido representan un serio problema ambiental, ya que cuando se encuentran expuestos a elementos como el oxígeno y el agua se genera drenaje ácido de mina (DAM) (Park *et al.* 2019). El DAM favorece la movilidad de los MP que se encuentran presentes en los jales debido a que presenta altos valores de acidez que se encuentran en un rango de pH 3.5 a 5 (Nordstrom 2011). El desplazamiento de los MP en el entorno provoca la contaminación del suelo, la atmósfera y cuerpos de agua, así como alteraciones en las poblaciones animales, vegetales y humanas que se encuentran circundantes a los jales (Plumlee y Morman 2011; Park *et al.* 2019).

### *1.1.3. Las plantas de beneficio de minerales metálicos en México*

Las plantas de beneficio (PB) son importantes en la actividad minera debido a que son los sitios donde se llevan a cabo los procesos de extracción de los minerales

de valor económico. En todo el territorio mexicano de acuerdo al SGM (2018b), se encuentran 270 PB de minerales metálicos distribuidas en los 26 estados donde se ha registrado actividad minera metálica (Tabla 1). La región noroeste (NO) de México (Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora) cuenta con un total de 80 PB, de las cuales 52 se encuentran activas, 25 inactivas, dos en estatus esporádico y una en modernización. En la región occidente (O) de México (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Querétaro) cuentan con un total de 34 PB de las cuales 12 se encuentran inactivas. La parte noreste (NE) de México (Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Chihuahua, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí) cuenta con 127 PB, de las cuales 91 PB se encuentran activas y 36 inactivas. En la región sur (S) de México (Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Veracruz) se encuentran activas las 16 PB que presentan. Finalmente, en la región centro (C) del país (Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala) cuenta con 17 PB, de las cuales solo una se encuentra en estado inactivo.

**Tabla 1.** Cantidad de plantas de beneficio de minerales metálicos en México.

Región	Metales que se extraen	Planta de beneficio de metales	
		Activas	Inactivas
NO	Au, Ag, Fe, Cu, Co, Mo, Se, Pb y Zn	52	25
O	Ag, Au, Cu, Pb, Fe y Zn	22	12
NE	Fe, Ag, Pb, Cu, Au, Ba, Mn y Zn	91	36
S	Pb, Au, Ag, Cu y Zn	16	0
C	Au, Ag, Fe, Pb, Cu, Mn, Cd y Zn	16	1
<b>Total</b>		<b>196</b>	<b>74</b>

Total de las plantas de beneficio de minerales metálicos por región. NO: noroeste, O: oeste, NE: noreste, S: sur, C: centro. La región sureste (SE), no presenta registros de minería metálica (SGM 2018b).

#### *1.1.4. Los jales en México*

En el 81.2% de los estados de la república mexicana se encuentran distribuidas 270 PB de minerales metálicos, por lo que los residuos mineros (jales) que son



generados posterior a la implementación de los procesos de extracción de minerales de interés, se encuentran por gran parte del territorio mexicano.

Se ha estimado que sólo en el Distrito Minero El Triunfo-San Antonio, del estado de Baja California Sur (región NO), se encuentran 0.8 millones de toneladas de jales con concentraciones altas de As, Ba, Cd, Fe, Ni, Pb y Zn (CENICA 2003). En la región O, sólo en el estado de Guanajuato se han estimado 40.3 millones de toneladas distribuidas en 31 depósitos de jales, los cuales están compuestos principalmente por Cu, Pb, y Zn (Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach 2006). Por otra parte, en el estado de Querétaro se han reportado cinco jales pertenecientes sólo a una mina, La Negra, que contienen MP como As, Cd, Cu, Pb y Zn (Santos-Jallath *et al.* 2013). En el NE, se ha reportado que tan solo de una mina denominada “La Encantada” ubicada en el estado de Coahuila se han generado seis millones de toneladas de jales (Rodríguez-Valles 2016). Además, en la región S de México se ha estimado que existen cinco millones de toneladas de jales solo en la comunidad de “El Fraile” en Taxco, Guerrero, los cuales presentan gran contenido de Ag, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn (Santiago-Dionisio 2011). Así mismo, en el centro de México se estima que tan solo en el estado de Morelos existen alrededor de 0.78 millones de toneladas de jales abandonados (Velasco *et al.* 2004), los cuales contienen MP como Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn (Solís-Miranda 2016).

#### *1.1.4.1. Información acerca de los jales en México*

En México, la información relacionada con los jales es poco accesible debido a que se encuentra dispersa en diversas fuentes de información (P. ej., artículos y trabajos de tesis), es escasa y la información no siempre es reciente. A nivel de gobierno, existe la siguiente página (<http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/app/fenomenos/>; Consulta en 2020) donde uno de los objetivos es mostrar la información básica de la caracterización de jales reportados en territorio mexicano. Sin embargo, el enlace que muestra dicha información no es funcional actualmente. En el 2001, se estimó que en México existían poco más de 80 almacenamientos de jales que se encontraban en un estado de operación activo (Ramírez 2001). Hasta la fecha no existe un inventario

donde se mencione la cantidad, el número exacto y la caracterización de jales, incluyendo los inactivos y/o abandonados, que se encuentran en México. Por lo que, la obtención de información referente a los jales en México requiere de una búsqueda puntual y la recopilación de datos proporcionados por los diversos tipos de fuentes de información.

Por otra parte, la información en torno al desarrollo económico que representa la minería para México, se encuentra disponible y se actualiza anualmente. En la página oficial del Gobierno de México se encuentran diversos enlaces relacionados con los beneficios que produce la minería, como el SGM y la Secretaría de Economía. En dichos enlaces se puede encontrar información conjunta y actualizada acerca de la actividad minera que se lleva a cabo en cada una de las entidades federativas del territorio mexicano, como el volumen y el valor económico de la producción minera, el número de plantas de beneficio que se encuentran en un estado de operación activo, los empleos generados por dicha actividad, entre otros datos. Además, el SGM tiene un banco de datos (GeoInfoMEx) que permite conocer la información geocientífica de todo el territorio mexicano, lo cual tiene como objetivo el coadyuvar el fomento de la actividad minera.

#### *1.1.5. La legislación en materia de residuos mineros en México*

A pesar de que la actividad minera en México lleva más de 450 años la legislación en materia de residuos mineros es reciente. De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), publicada el 8 de octubre del 2003, la peligrosidad de los residuos se basa en las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico-infecciosos (CRETIB). En este sentido, la peligrosidad de los residuos mineros está relacionada con la toxicidad que presentan, la cual se debe a su alto contenido de EPT, como los MP (Gutiérrez-Ruiz y Moreno-Turrent 2007). Por tal motivo, los lodos residuales generados durante el proceso de beneficio de Al, Cu, Pb y Zn se listaron como RP en la NOM-052-SEMARNAT-1993. Sin embargo, a pesar de que los jales presentan gran contenido de MP y por ende un gran riesgo ambiental y de salud pública, su acumulación no fue controlada hasta el 2004, año en que se aprobó por la

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales la norma de disposición final de jales, la NOM-141-SEMARNAT-2003. En dicha Norma Oficial Mexicana, se menciona que tales disposiciones solo son aplicables a partir de la fecha de entrada en vigor de la norma (DOF 2004). Posteriormente, en el 2011 se aprobó la NOM-157-SEMARNAT-2009, la cual establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. Dicha norma tiene como objetivo minimizar la generación y maximizar la valoración de los residuos mineros, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social (DOF 2011).

## **CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### ***II.1. Planteamiento***

En la mayor parte del territorio mexicano se ha registrado actividad minera metálica, por lo que la búsqueda y recopilación de información puntual de los jales que se encuentran en cada uno de las regiones del territorio mexicano es importante.

La actividad minera en México es de gran relevancia en el desarrollo económico del país, por ende, la mayor parte de información que surge en torno a este tema tiene un enfoque económico. Dicha información es de fácil acceso y es generada anualmente; sin embargo, la industria minera es uno de los sectores que más residuos peligrosos genera (SEMARNAT 2015). A pesar de esto, la información generada en torno a los jales es escasa y de difícil acceso ya que se encuentra dispersa en diversas fuentes informativas (P. ej., artículos científicos y trabajos de tesis). Actualmente, se desconoce la cantidad, el número exacto y la composición de los jales que se encuentran en México (Volke *et al.* 2005; Covarrubias y Peña-Cabriales 2017).

Los jales son una fuente potencial de contaminación ambiental por MP, debido a que cuando estos se encuentran expuestos a factores climáticos (P. ej., viento, precipitación pluvial, entre otros) los MP pueden dispersarse en el ambiente y causar efectos en la flora, fauna y poblaciones adyacentes (Park *et al.* 2019). A pesar de que la actividad minera en México tiene más de 450 años (SGM 2018a) la aprobación por primera vez de una norma de disposición final de los jales fue hasta el año 2004 (DOF 2004).

La obtención de información en los diversos motores de búsqueda a través de palabras clave (actividad minera, residuos mineros, jales, metales pesados, México), usando como referencia los panoramas mineros que el gobierno de México emite anualmente, permitirá recabar información acerca de los jales. La conformación de una base de datos que contenga las características disponibles de los jales localizados en la región centro de México, facilitará la ubicación y evaluación de jales para el planteamiento de programas de mitigación y/o prevención de riesgos en zonas mineras.

## ***II.2. Justificación***

Los residuos generados por parte de la industria minera son de especial interés debido a que se sabe que es uno de los sectores que más residuos peligrosos genera. Además, históricamente los jales generados fueron depositados en los alrededores de las minas sin tomar en cuenta medidas de protección ambiental. A pesar de esto, la información que existe en torno a los jales es escasa y de difícil acceso debido a que se encuentra dispersa en distintas fuentes de información, por lo que la búsqueda y recopilación de información de los jales que se encuentran distribuidos en cada una de las regiones geográficas del territorio mexicano es importante. Obtener un panorama de la situación actual de los residuos mineros del centro de México, a través de la recopilación de información, es de gran valor para evaluar, prevenir y mitigar posibles riesgos por jales en dicha región.

## **CAPÍTULO III. OBJETIVOS**

### ***III.1. Objetivo general***

Realizar un diagnóstico de la situación actual de los jales en la región centro de México.

### III.1.1. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico del número, distribución y composición de los jales generados por la minería metálica en la región centro de la república mexicana.
- Elaborar una base de datos que contenga la información recabada del diagnóstico de los jales de la región geográfica central de México.

## CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN

### IV.1. Delimitación

De acuerdo al SGM (2020), en el territorio mexicano se encuentran yacimientos ricos en minerales metálicos, como Ag, Au, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn por lo que gran parte de México registra actividad minera.

En el presente estudio se recopilará información de los jales que se encuentran distribuidos en la región centro de la república mexicana. De acuerdo a la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el centro de la república mexicana comprende los estados de Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Estado de México y la Ciudad de México (Figura 1).



**Figura 1.** Estados que conforman el centro de México. Mapa propio con datos de la SEMARNAT.

## **VI.2. Tipo de investigación**

Esta investigación es de tipo descriptiva, ya que recopilará información acerca de la distribución y composición de los jales que se encuentran en la región centro del territorio mexicano.

## **VI.3. Recolección de información**

- 1) Se recopiló información, tomando como referencia principal los panoramas mineros de cada estado que comprenden la región centro de México, que emite el SGM. Por lo que, se consultaron dichos informes en la página oficial del Gobierno de México en el siguiente enlace: <https://www.gob.mx/sgm/articulos/consulta-los-panoramas-mineros-estatales>.
- 2) Posteriormente, se realizó una búsqueda de estudios realizados en jales ubicados en la región centro de México. Para dicho propósito, se utilizaron los siguientes motores de búsqueda: Google Académico, Redalyc, Dialnet PubMed y Scielo utilizando las siguientes palabras clave:
  - Actividad minera
  - Residuos mineros
  - Jales
  - México
- 3) Con la información recabada se elaboró una base de datos con la siguiente información:

▪ Nombre del jale	▪ Conductividad
▪ Municipio	▪ Materia orgánica
▪ Composición (MP que presenta)	▪ Cantidad estimada y/o superficie que abarca
▪ pH	▪ Referencia
- 4) Además, se realizó un mapa con las coordenadas geográficas de los jales que han sido reportados en los últimos 15 años, utilizando el software ArcMap 10.5 (ESRI 2016).

## CAPÍTULO V. PRINCIPALES HALLAZGOS

### ***V.1. La producción de minerales metálicos en la región centro de México***

Actualmente, de los seis estados que se encuentran en la región centro de México el estado de Hidalgo, el Estado de México y el estado de Puebla presentan actividad minera de minerales metálicos (SGM 2018b).

A nivel nacional, Hidalgo es uno de los estados del centro que tiene una producción minera importante ya que se encuentra dentro de los diez primeros lugares en producción de cinco minerales metálicos, obteniendo el primer lugar en producción de Mn, el sexto en Pb y Cu, séptimo en Zn y el décimo en Ag (SINEM 2018). El Estado de México también presenta una producción minera importante, ya que ocupa el cuarto lugar en producción de Zn, el quinto en Pb, el sexto en Ag y el décimo en Au (SINEM 2018). Por otra parte, el estado de Puebla es poco relevante ya que sólo se encuentra en el noveno lugar en la producción de Fe (Tabla 2) (SINEM 2018).

De manera contraria, los estados de Tlaxcala, Morelos y la Ciudad de México no presentan relevancia en la producción minera de minerales metálicos. El estado de Tlaxcala no presenta registros de actividad minera metálica en su región debido a la baja diversidad de minerales en su territorio (SGM 2018b). En el caso de la Ciudad de México, en los últimos 15 años no ha reportado actividad minera de minerales metálicos (SGM 2018b). Por su parte, la actividad minera metálica llevada a cabo en el estado de Morelos se ha realizado de manera intermitente, siendo el año 2010 el último reporte de actividad registrado (SGM 2018b).

**Tabla 2.** Principales productores de minerales metálicos del centro de México.

<b>Hidalgo</b>	<b>Estado de México</b>	<b>Puebla</b>
1° Mn	4° Zn	9° Fe
6° Pb y Cu	5° Pb	13° Pb
7° Zn	6° Ag	16° Au
10° Ag	10° Au	19° Ag
15° Au	13° Cu	

Lugar que ocupan los estados del centro de México en la producción nacional de minerales metálicos (SINEM 2018).

### V.1.1. Los proyectos mineros metálicos en la región del centro de México

Además de las minas que ya se encuentran en un estado de operación activo, se siguen creando proyectos mineros en todo México. Sólo en el año 2018, en la región centro de México se reportaron 34 proyectos mineros de minerales metálicos distribuidos entre el Estado de México, Hidalgo, Puebla y Morelos. De los proyectos reportados, 17 se encontraban en etapa exploratoria, 11 postergados debido a problemas socio-ambientales y/o temas relacionados con el capital económico, cuatro en etapa de producción y dos más en etapa de desarrollo (Tabla 3) (SINEM 2019).

Es importante mencionar, que el 82.35% de los proyectos registrados en el 2018 en el centro de México son de empresas de origen canadiense, el 8.82% pertenecen a empresas de cinco distintos países (Japón, Perú, Estados Unidos de América, China y México) que se encuentran en conjunto, el 5.88% son empresas de origen chino y el 2.94% de origen estadounidense (Tabla 3). Por lo que, se puede apreciar que la actividad minera en México es llevada a cabo principalmente por empresas de origen extranjero.

**Tabla 3.** Listado de proyectos mineros de la región centro de México.

Proyecto minero	Mineral	Etap	Edo	Empresa	País
Ancón de los Braciles	Au	Pt		Beijing Gondwana Resources Co. Ltd.	China
Cuchara Oscar/San Ramón	Ag, Au	Pd	Estado de México	Impact Silver Corp.	
Mirasol/San Patricio	Ag, Au	Pd		Candente Gold Corp.	
Zacualpan/Guadalupe	Ag, Au	Pd		Mako Mining Corp.	Canadá
El Oro	Au, Ag	Exp		First Majestic Silver Corp.	
Ixtapan del Oro	Au, Ag	Exp		Beijing Gondwana Resources Co. Ltd.	
Miahuatlán	Ag	Pt			
La Guitarra	Au, Ag	Pt			
Mina de Agua	Au, Ag	Pt			
Pericones	Ag, Au	Pt			

Edo: estado, Pt: postergación, Pd: producción, Exp: exploración y Des: desarrollo.



Continuación de la tabla 3.

Proyecto minero	Mineral	Etap	Edo	Empresa	País	
Tizapa	Zn, Pb, Ag	Pd	Estado de México	Dowa Mining Co. Ltd/Sumitomo Corp./Peñoles	Japón/Japón/México	
Chilcuautla y Cuautepec	Ag, Au	Exp	Hidalgo	Almadex Minerals Limited	Canadá	
El Santuario	Ag, Au	Exp		Palamina Corp.		
La Carmen-La Joya	Ag, Au	Exp		Plata Latina Minerals Corp.		
Pachuca Real (Norte)	Ag, Au	Pt		Solitario Zinc Corp. /Hochschild Mining Plc		USA/Perú
Pachuca SE	Ag, Au	Exp		Prospero Silver Corp.		Canadá
Petate	Au, Ag	Exp				
Pisaflores	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	Pt		China Minerals Resources Group		China
Caldera	Au, Ag	Exp				
Cuyoaca	Cu, Au, Ag	Pt		Almadex Minerals		Canadá
La Preciosa	Au, Ag	Exp		Starc International Mines Ltd/Goldcorp Inc.		
Cerro Dolores	Ag, Pb, Zn	Exp				
Ixtaca (Tuligtic)	Au, Ag	Des	ARGC Mining Company	Perú/China		
La Lupe	Au	Pt	Puebla	Chesapeake Gold Minaurum Gold Inc.	Canadá	
Nueva España	Au, Ag	Exp				
Pórfido	Au	Exp				
Rosa	Au, Cu	Exp		Almaden Minerals Ltd		
El Chato	Au, Ag	Exp				
Zapotec	Au, Ag	Exp				
Terrerrillo	Au, Ag	Exp		Oro East Mining Inc.		USA

Edo: estado, Pt: postergación, Pd: producción, Exp: exploración y Des: desarrollo.

Continuación de la tabla 3.

Proyecto minero	Mineral	Etapa	Edo	Empresa	País
Corazonada y San José	Zn, Pb, Ag	Pt		Minaurum Gold Inc.	
Esperanza (Cerro Jumíl)	Au, Ag, Cu	Des	Morelos	Alamos Gold Inc.	Canadá
Mercury Mines	Hg, Ag, As	Exp			
Temixco	Au, Ag	Pt		Gunpower Capital Corp.	

Proyectos mineros de minerales metálicos existentes el año 2018 (SINEM 2019). Edo: estado, Pt: postergación, Pd: producción, Exp: exploración y Des: desarrollo.

## V.2. Las minas metálicas en la región del centro de México

La gran actividad minera en la región centro de México ha llevado a la explotación de varias minas de minerales metálicos a lo largo de la historia minera en México. El SGM, se ha encargado de registrar cada una de las minas que se localizan en territorio mexicano desde 1995 a través de su sistema de consulta, GeoInfoMex.

A través del banco de datos del SGM, GeoInfoMex, se encontró que en la región centro de México se encuentran un total de 1,022 minas de minerales metálicos, sin contar el estado de Tlaxcala y la Ciudad de México (Figura 2) (Tabla 4) (SGM 2020). El estado de Hidalgo registra el mayor número de minas de la región centro de México, ya que cuenta con un total de 440, el estado de Puebla presenta un total de 341 minas, el Estado de México un total de 199 minas y, finalmente, el estado de Morelos presenta un total de 42 minas en su territorio (Tabla 4).

**Tabla 4.** Relación de minas metálicas de la zona centro de México.

	Morelos	Hidalgo	Estado de México	Puebla
Abandonada	17	282	97	113
Mineral <i>In Situ</i>	20	80	47	180
Prospecto	5	65	46	38
Producción	0	12	8	9
Desconocida	0	1	1	1
<b>Total de minas</b>	<b>42</b>	<b>440</b>	<b>199</b>	<b>341</b>

(Elaboración propia con base en datos del SGM 2020).

### V.2.1. Clasificación de las minas metálicas en el centro de México

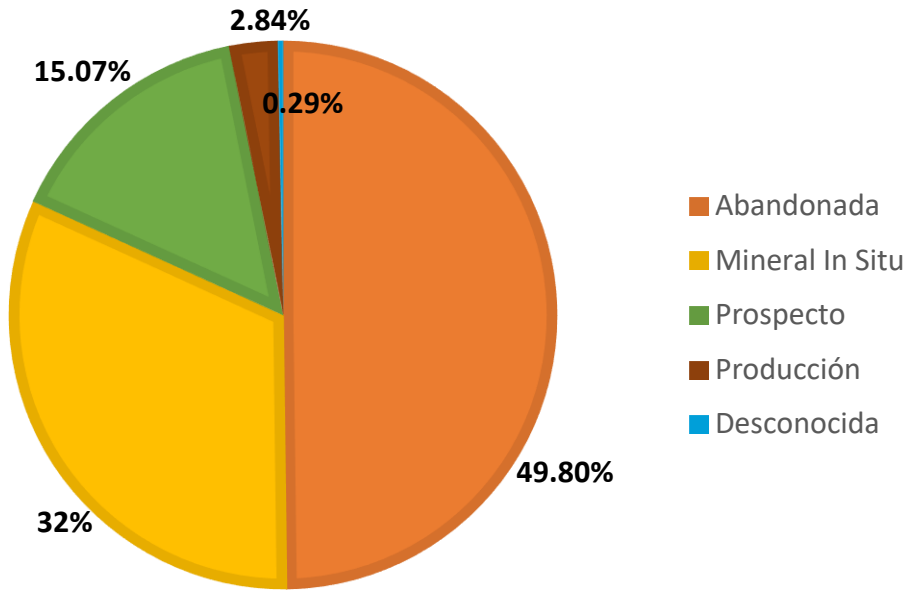
El banco de datos de SGM, maneja la información de las minas en torno al estatus que presentan, por lo que se clasifican como: mina abandonada, mina en producción, prospecto, manifestación pequeña de mineral *In situ* o mineral *In situ* y minas con información desconocida (SGM 2020).

En la región centro de México, las minas clasificadas con el estatus de operación “abandonada” y “mineral *In situ*” son las que se encuentran en una mayor proporción, representando el 81.8% del total de minas. Las minas registradas como “abandonadas” indican las que en algún momento presentaron producción, pero actualmente se encuentran inactivas, estas representan el 49.8% de las minas registradas en GeolInfoMex (Gráfica 1) (SGM 2020). Las minas registradas como “mineral *In situ*” representan el 32% de las minas registradas en GeolInfoMex (Gráfica 1) (SGM 2020). Este tipo de minas son pequeñas manifestaciones donde se extraen los minerales a través de un método *In situ* (lixiviación con reactivos químicos para la disolución de los minerales de interés), el cual es implementado en el sitio de origen, como su nombre lo indica (Ortiz-Sánchez *et al.* 2010). Por lo que, este tipo de extracción se realiza sin la remoción de otros elementos, además de que no origina ruidos, ni contaminación atmosférica por polvo, ni acumulaciones de jales en la superficie (Ortiz-Sánchez *et al.* 2010). Por otra parte, las minas con un estatus de operación de “prospecto” representan el 15.07% del total (Gráfica 1), lo cual se refiere a sitios con potencial para la implementación de actividades mineras. De las 1,022 minas que se encuentran en el centro de México solo el 2.84% se encuentran en un estado productivo (activas) y el 0.29% de las minas son registradas con un estado de operación desconocido (Gráfica 1) (SGM 2020).

En el presente trabajo las minas de especial interés son las que se encuentran en un estado de operación de producción y abandonadas (Figura 4, Tabla A1, A2, A3 y A4), ya que se asume un periodo de actividad debido al estado de operación que presentan. El hecho de que hayan presentado un periodo de actividad, indica que también hubo una generación de residuos mineros (jales), debido a los procesos utilizados para la extracción de los minerales de valor económico. Además, las minas abandonadas son de interés debido a que generalmente cuando

estas quedan abandonadas los residuos originados también quedan en un estado de abandono, acumulados en la intemperie permitiendo la movilidad de los MP debido a fenómenos de intemperismo (Ej. clima e hidrología) (Plumlee y Morman 2011). Es importante mencionar que las minas clasificadas como “minerales *In situ*”, a pesar de que representan un gran porcentaje de las minas en México, estas no son relevantes en el presente trabajo debido a que no generan residuos mineros.

La información recabada en GeoInfoMex, indica que en la región centro de México, el 52.64% (538) del total son minas que se encuentran en un estado de operación de producción y abandonadas (Figura 4) (SGM 2020). Por lo que, podría existir una cantidad importante de jales abandonados dispuestos en las zonas que se encuentran cercanas a estas minas.



**Gráfica 1.** *Porcentaje de minas en la región centro de México.* Porcentaje de cada uno de los estados de operación en el que se encuentran las minas localizadas en el centro de México (N=1,022).

*V.2.2. Minas en estado de operación de producción y abandonadas en el centro de México*

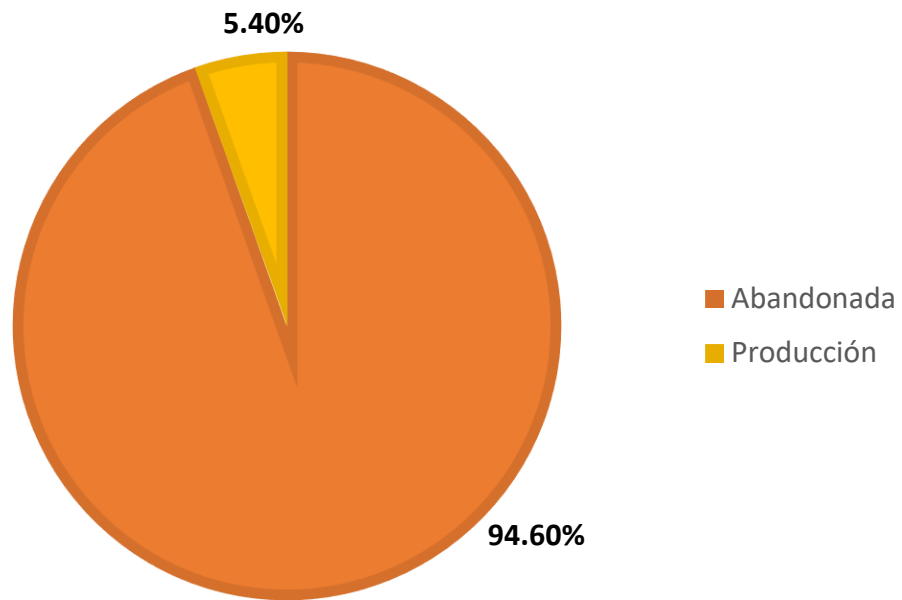
Las minas en producción y las abandonadas que se localizan en la región centro de México han registrado la extracción de diversos minerales metálicos (Tabla A1, A2, A3, A4), siendo la Ag la que se ha registrado en un mayor número de minas (SGM

2020). En el Estado de México, la extracción de Ag se reportó en el 95.2%, en el estado de Morelos en el 94.1%, en el estado de Hidalgo el 85.7% y en el estado de Puebla en el 58.1% del total de las minas (en producción y abandonadas) que se han reportado en cada uno de dichos estados.

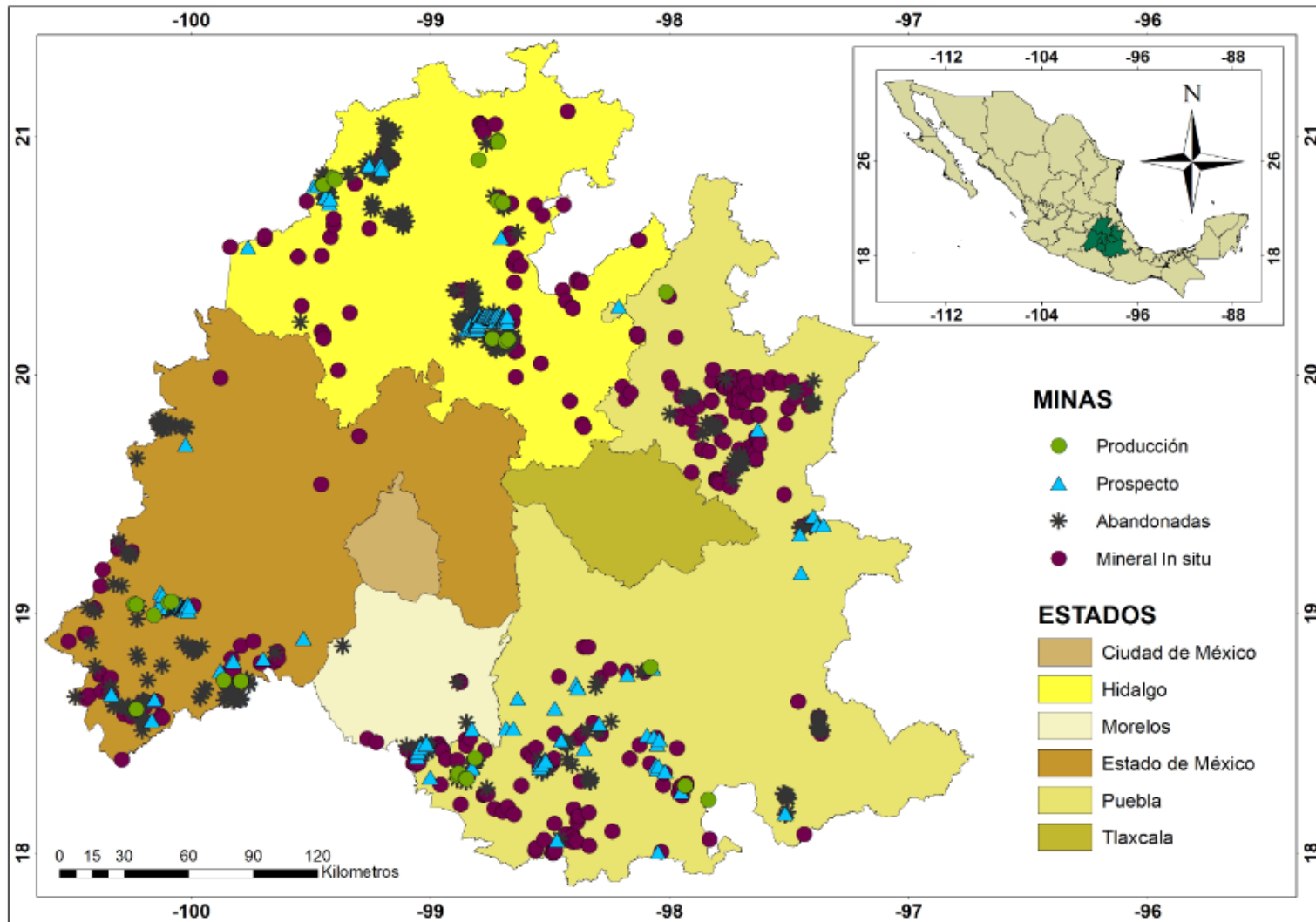
Dentro de los reportes de extracción de las minas en producción y abandonadas se encuentran otros metales como son el Au, el cual se extrae en el 77.5% de las minas del estado de Hidalgo, en el 61.9% de las minas del Estado de México y el 57.5% del estado de Puebla, así como Zn en el 64.7% de las minas del estado de Morelos y en el 38.6% de las minas de Puebla. La extracción de Pb también se ha reportado en gran parte de las minas que se encuentran en un estado de operación de producción y abandonadas en el centro de México. En el estado de Morelos se ha reportado el 52.9% de las minas la extracción de Pb, en el Estado de México en el 39.1% de las minas y en el estado de Hidalgo en el 16.3% del total de las minas que se localizan en cada estado.

En general, los minerales metálicos que se ha reportado que se extraen en un mayor número de minas son Ag, Au, Pb y Zn. Se ha reportado la extracción de Ag en el 82.5% de las 538 minas que se encuentran en un estado de operación de producción y abandono, el Au en el 69.1% de las minas, el Pb en el 26.1% y el Zn en el 24.7% de dichas minas.

Entre las minas que se encuentran en producción y abandonadas en el centro de México, las minas abandonadas se encuentran en una mayor proporción, ya que representan el 94.6% del total (Gráfica 2). El porcentaje de las minas abandonadas en el estado de Hidalgo es del 95.9%, mientras que las minas que se encuentran en producción es del 4.1%. En el Estado de México el porcentaje de minas abandonadas es del 92.4% y del 7.6% de minas que se encuentran en un estado de operación de producción. El estado de Puebla cuenta con un 92.6% de minas abandonadas y con un 7.4% de minas en producción. Mientras que en el estado de Morelos el 100% de las minas registradas se encuentran en un estado de abandono.



**Gráfica 2.** *Porcentaje de minas en producción y abandonadas en la región centro de México.* Porcentaje de las minas que se encuentran en un estado de operación en producción y abandonadas en el centro de México (n=538).



**Figura 2.** Minas metálicas ubicadas en el centro de México. En el mapa se muestran las minas metálicas que se encuentran en la región centro de México (N=1,022) en una escala de 1:750,000 (Mapa propio elaborado con base en datos del SGM 2020).

### **V.3. Jales reportados en la región centro de México**

En México, la información acerca de los residuos mineros es escasa. En los últimos 15 años, 41 estudios tanto artículos como trabajos de tesis de caracterización de jales de la región centro de México han sido reportados (Tabla 5). De estos estudios, 24 se realizaron en jales que se encuentran ubicados en el estado de Hidalgo. Otros diez estudios fueron realizados en jales ubicados en el Estado de México y, siete más fueron realizados en jales ubicados en el estado de Morelos.

De los 24 estudios realizados en el estado de Hidalgo se encontró un total de 19 jales distintos reportados en los municipios de Zimapán, Omitlán de Juárez y Pachuca (Figura 3). En dichos estudios se encontró que se hace referencia a los mismos jales pero con distintos nombres. El jal identificado como “San Francisco” es el mismo nombrado como “El Monte”, así como el jale identificado como “San Miguel viejo (rojo y gris/1 y 2)” son los mismos jales denominados como “Los Gómez y San Miguel Viejo”, también el jale “Santa María” es el mismo que “San Miguel Nuevo” y “San Miguel”. Además, los jales identificados como “A”, “B” y “C” por Zúñiga-Vázquez (2019) son los mismos jales identificados como A: “Los Gómez” y “San Miguel Viejo”, B: “Pressier”, “Pal Nueva”, “Lomo de Toro” y “San Antonio”, C: “Santa María” por Duarte-Zaragoza y colaboradores (2014). Finalmente, el jale identificado como “El Rojo” por Armienta y colaboradores (2016) es el mismo que fue nombrado como “Preisser”, “Pal Nueva”, “Lomo de Toro” y “San Antonio” por Duarte-Zaragoza y colaboradores (2014). Por otra parte, los jales denominados “Dos Carlos” hacen referencia a dos ubicaciones distintas dentro del municipio de Pachuca, Hidalgo. Uno de los jales reportados se ubica bajo lo que actualmente es el Estadio Hidalgo, el “Dos Carlos” (Volpi-León 2017) y el otro se encuentra a 6 km de distancia (Hernández-Acosta *et al.* 2009; Lizárraga-Mendiola *et al.* 2014; Flores *et al.* 2015). Sin embargo, ocho de los jales reportados en estos estudios no pudieron ser identificados para saber si se trataba de los mismos jales reportados en otros estudios, ya que la ubicación de estos no se encuentra bien definida (Patiño *et al.* 2016; Cruz-Ruiz 2017; García-Luna 2018; Gutiérrez-Bazán 2018; Juárez-Tapia *et al.* 2018).



De los diez estudios realizados en jales ubicados en el Estado de México se contabilizaron un total de cinco jales distintos reportados para los municipios de Zacazonapan y El Oro de Hidalgo (Figura 3). Los jales identificados como “El Oro 1” y “El Oro 2” por Maldonado-Villanueva (2008) son los mismos jales identificados como el “Tiro México” y “Conalep”, respectivamente, por Corona-Chávez y colaboradores (2017), así mismo los jales identificados como “Tizapa-jale I” y “Tizapa-jale II” son los mismos que los jales “Activa” e “Inactiva”, respectivamente (Martínez-Soriano 2011; Flores-Mendoza 2013). Sin embargo, al igual que para el estado de Hidalgo, no se pudo corroborar la localización de tres de los jales reportados en dichos estudios, ya que no había información suficiente para su identificación (Santos-Martínez 2006; Flores-Álvarez 2008; González-Sandoval *et al.* 2008; Zamora-Duarte 2008).

En el estado de Morelos, de los siete estudios que se han reportado sobre caracterización de jales solo se encontró un total de tres jales distintos localizados en el municipio de Tlaquiltenango (Figura 3). Los jales identificados como “A” y “B” es el mismo jale denominado como “Jale 2” (Hernández-Zamora 2009; Tovar-Sánchez *et al.* 2012; Mussali-Galante *et al.* 2013; Solís-Miranda 2016; Santoyo-Martínez *et al.* 2020), y el denominado como “jale” es el mismo que se denominó “jale 1” (Tovar-Sánchez *et al.* 2012; Mussali-Galante *et al.* 2013; González-Brito 2015; Solís-Miranda 2016; Santoyo-Martínez *et al.* 2020). Sin embargo, un estudio donde se reportan los metales pesados que contienen jales ubicados en el territorio de Morelos no menciona la ubicación de dichos jales, solo se queda a nivel de estado “jales de Morelos”, por lo que no se sabe si se refieren a jales ya mencionados en otros estudios (Martínez-Soto *et al.* 2020).

Por otra parte, el estado de Puebla resulta interesante ya que a pesar de que cuenta con un gran número de minas metálicas, siendo el segundo estado con mayor registro para la región centro de México (GeoInfoMex) (Tabla 4) y que posee una producción minera metálica relevante en Ag, Au, Fe y Pb en los últimos 15 años no se han registrado estudios realizados en jales que se ubiquen en dicho territorio.

### *V.3.1. Estimación reportada sobre la cantidad de jales en el centro de México*

Se ha estimado que sólo en Pachuca en el estado de Hidalgo existen 100 millones de toneladas de residuos mineros, ocupando 286 hectáreas (Patiño *et al.* 2016; Volpi-León 2017), de los cuales un poco más de 14.3 millones de toneladas son del jale denominado Dos Carlos, dispuestos en 23 hectáreas (Hernández-Acosta *et al.* 2009; Juárez-Tapia *et al.* 2018). En conjunto, Pachuca y Omitlán de Juárez presentan un total de 108.1 millones de toneladas de jales en su territorio, ocupando un total de 1,200 hectáreas (Flores *et al.* 2015).

En el estado de Hidalgo se han reportado un total de 19 jales distintos, de los cuales solo seis se localizan en Pachuca y Omitlán de Juárez (Tabla 5). Por lo que, la estimación de 108.1 millones de toneladas solo corresponden a estos seis jales localizados en Pachuca y Omitlán de Juárez, representando el 31.6% de lo reportado para Hidalgo. Los 13 jales reportados restantes (68.4%) se encuentran en el municipio de Zimapán (Tabla 5), sin embargo, no se encuentra una estimación de las toneladas de jales dispuestas en dicho municipio.

En el Estado de México, se han estimado un total de 28.5 millones de toneladas de jales, de los cuales 5.5 millones se encuentran en Zacazonapan y 23 millones en El Oro de Hidalgo (Lizárraga-Mendiola *et al.* 2008; Maldonado-Villanueva 2008; Lizárraga-Mendiola *et al.* 2009). Dicha estimación corresponde a los cinco jales reportados para el Estado de México.

Por otra parte, en el estado de Morelos se ha estimado un total de 0.78 millones de toneladas de jales, distribuidas en los tres jales reportados (Hernández-Zamora 2009; Tovar-Sánchez *et al.* 2012; Mussali-Galante *et al.* 2013; Solís-Miranda 2016; Santoyo-Martínez *et al.* 2020).

De acuerdo a la información reportada, de los 27 jales distintos localizados en la región centro de México el 48.1% no entran en las estimaciones realizadas sobre la cantidad de este tipo de residuos que han sido dispuestos en dicha región. Es decir, que las estimaciones de la cantidad de jales solo están basadas en el 51.8% que han sido reportados hasta ahora.

### V.3.2. Caracterización de jales localizados en el centro de México

En la composición química de los jales se observó una mezcla compleja de MP (Ag, Al, As, Au, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) donde destacan el As, Cu, Fe, Pb y Zn ya que son los que más se reportan en los estudios de los jales localizados en Hidalgo, Morelos y Estado de México. Estos municipios junto con el estado de Puebla presentan yacimientos de tipo hidrotermal con mineralización de vetas polimetálicas Ag, Au, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn (SGM 2020). En este sentido, en el estado de Puebla podrían existir jales con contenido de As, Cu, Fe, Pb y Zn, principalmente.

La oxidación de los sulfuros que componen los jales resulta en la generación de DAM, altos niveles de acidez, lo que conlleva a la disolución y movilización de los MP contenidos en los jales (Park *et al.* 2019). Sin embargo, el DAM también puede reaccionar con los minerales no sulfurosos (Ej. minerales carbonatados, hidróxidos de aluminio, oxihidróxidos de hierro y aluminosilicatos) que se encuentran en los jales, fenómeno conocido como neutralización. La neutralización permite la formación de nuevas especies químicas mediante reacciones de adsorción e intercambio iónico, lo que controla la movilidad de los MP (Dold 2010).

La determinación de los parámetros como pH y potencial de neutralización es un primer paso para determinar la movilidad de los MP que se encuentran en los jales, por tanto, el potencial de peligrosidad de estos (Dold 2010). Sin embargo, varios estudios de caracterización de jales solo reportan la composición química de estos (Lizárraga-Mendiola *et al.* 2008; Lizárraga-Mendiola *et al.* 2009; Moreno-Tovar *et al.* 2009; Moreno-Tovar *et al.* 2012; Flores *et al.* 2015; González-Brito 2015; Patiño *et al.* 2016; Volpi-León 2017; Juárez-Tapia *et al.* 2018; Franco-Farfán 2019; Martínez-Soto *et al.* 2020).

La NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, clasifica el pH de la siguiente manera: el  $\text{pH} < 5$  fuertemente ácido, el pH de 5.1 a 6.5 moderadamente ácido, el pH de 6.6 a 7.3 neutro, el pH de 7.4 a 8.5 medianamente alcalino y finalmente el  $\text{pH} > 8.5$  como fuertemente alcalino (DOF 2002).

En los jales que se encuentran en el Estado de México se ha registrado un pH que va de 2.9 a 8.81 (Tabla 5). De acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 estos

pH reportados van de fuertemente ácidos a fuertemente alcalinos. Los jales que han reportado un pH fuertemente ácido son los que se localizan en el municipio de El Oro de Hidalgo en las coordenadas geográficas 19.812N, -100.136E y en el municipio de Zacazonapan 19.035N, -100.245E y 19.036N, -100.24E (Maldonado-Villanueva 2008; Corona-Chávez *et al.* 2010; Martínez-Soriano 2011). El pH reportado para los jales que se ubican en el estado de Hidalgo van de fuertemente ácidos a medianamente alcalinos (1.7 a 8.4) (Tabla 5). Los jales que presentan un pH más ácido en dicho estado se localizan en el municipio de Zimapan en las coordenadas geográficas 20.727N, -99.399E; 20.727N, -99.384E; 20.726N, -99.383E; 20.825N, -99.372E; 20.727N, -99.397E y 20.726N, -99.385E, siendo estos tres últimos los jales con el pH más ácido (1.7) reportados para la región centro de México (Pérez-Martínez 2005; Hernández-Ruiz-Gaytán y Padilla-Carrillo 2010; Duarte-Zaragoza *et al.* 2014; Zúñiga-Vázquez 2014; Sánchez-López *et al.* 2015; Armienta *et al.* 2016; Cruz-Ruiz 2017; Molina-Garduño 2018). Por otra parte, en el estado de Morelos los jales reportados presentan un pH medianamente alcalino, ya que van de 7.1 a 8.4 (Hernández-Zamora 2009; Tovar-Sánchez *et al.* 2012; Mussali-Galante *et al.* 2013; Solís-Miranda 2016) (Tabla 5).

Las distintas características que se pueden observar en los datos obtenidos de los estudios de jales se deben en gran parte al estado de oxidación que presentan, el cual es modificado cuando se encuentran expuestos a fenómenos de intemperismo (Ej. clima e hidrología). Dichos fenómenos son distintos en cada uno de los sitios donde se encuentran los jales debido a las características del clima que son propias de la zona (Nordstrom 2011; Plumlee y Morman 2011).

**Tabla 5.** Estudios realizados en jales ubicados en el centro de México.

MUNICIPIO	NOMBRE JALE	LATITUD N	LONGITUD E	METALES	pH; CE (dS/m); M.O. (%)	REFERENCIA
<b>ESTADO DE HIDALGO</b>						
Zimapán	San Miguel Viejo	20.727	-99.390	As, Cd, Pb, Fe, Zn	pH 7.5; CE 5.7-8.5; M.O. 5.17-5.07	Armienta <i>et al.</i> 2019
Pachuca	Dos Carlos	Sin coordenadas		SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, CaO, Na <sub>2</sub> O, TiO <sub>2</sub> , MnO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	Juárez-Tapia <i>et al.</i> 2018
Pachuca	Dos Carlos	Sin coordenadas		Au, Ag, Fe, Mn, Al, Si, Cu, Bi, Ni, Sn, Ca, K, Na, Ti, P, Mg	—	Patiño <i>et al.</i> 2016
Zimapán	Santa María	20.736	-99.399	Cd, Pb	pH 7.6; CE 4; M.O. 1.1-8.2	Sánchez-López <i>et al.</i> 2015
	San Francisco	20.825	-99.372	Cd, Pb, Ni	No oxidada: pH 7.8; CE 1.6-4.1; M.O. 8.2 Oxidada: pH 1.7; CE 5-80	
Zimapán	Pal Nueva	20.726	-99.383		pH 6.3; CE 1.9	Duarte-Zaragoza <i>et al.</i> 2014
	Santa María	20.736	-99.399		pH 7.8; CE 1.3	
	Lomo de Toro	20.727	-99.382		pH 7.1; CE 2.2	
	San Antonio	20.727	-99.381	Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Mn	pH 7.8; CE 1.4	
	San Miguel Viejo	20.727	-99.391		pH 7.5; CE 1.8	
	Preisser	20.727	-99.384		pH 3; CE 12.4	
	Zimapán Co	20.726	-99.385		pH 1.7; CE 11.1	
Los Gómez	20.727	-99.397		pH 1.7; CE 20		
Zimapán	El Monte	20.825	-99.372		—	Moreno-Tovar <i>et al.</i> 2012
	San Miguel	Sin coordenadas		Pb, Zn, Cd, Cu, As, Bi, Sb, Se, Fe, Cr, Ni	—	
	Santa María	20.736	-99.399		—	

CE: conductividad, M.O: Materia orgánica.

Continuación de la tabla 5.

MUNICIPIO	NOMBRE JALE	LATITUD N	LONGITUD E	METALES	pH; CE (dS/m); M.O. (%)	REFERENCIA
Zimapán	El Monte	20.825	-99.372	As, Pb, Zn, Cd, Cr, Sb, Se, Ni, Cu, Bi, Ag	—	Moreno-Tovar <i>et al.</i> 2009
	San Miguel	Sin coordenadas			—	
	Santa María	20.736	-99.399		—	
Zimapán	San Miguel Viejo	20.727	-99.397	As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn	Secas: pH 6.9-8.2; Lluvias: pH 5.5-6.3	Armienta <i>et al.</i> 2016
	San Miguel Nuevo	20.736	-99.399		Secas: pH 7.2-8.4; Lluvias: pH 5.4- 6.4	
	Rojo (nombrado así en el artículo)	Conjunto de jales			Secas: pH 2-7.6; Lluvias: pH 2.2-6.1	
Pachuca-Real del monte	Dos Carlos	20.105	-98.713	Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn, As	pH 7.27-7.85; CE 0.27-0.182	Lizárraga-Mendiola <i>et al.</i> 2014
Omitlán de Juárez	Presa Velasco	20.179	-98.647	Ag, Au, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Zn	—	Flores <i>et al.</i> 2015
Pachuca- Real del Monte	Dos Carlos	20.105	-98.713		—	
	Santa Julia Sur o Sur II	20.076	-98.761		—	
	Santa Julia Norte o Sur	20.091	-98.757		—	
Pachuca-Real del monte	Presa Sur	20.081	-98.765	Si, O <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnO, MgO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, CaO, Na <sub>2</sub> O, Ag, Au	—	Volpi-León 2017
	Dos Carlos	20.105	-98.756	—		
Zimapán	San Francisco	20.831	-99.374	Alto contenido de As mayor a los LMP	—	Franco-Farfán 2019
Zimapán	A	Conjunto de jales		As, Cd, Pb, Fe, Zn	Neutro-Alcalino	Zúñiga-Vázquez 2019
	B	Conjunto de jales				
	C	20.736	-99.399			
Zimapán	Jales rojos	Sin coordenadas		Pb, Zn, Fe, Cd, As	pH 2.35-2.4	Zúñiga-Vázquez 2014
	Jales grises	Sin coordenadas			pH 5.99-6.12	

CE: conductividad, M.O: Materia orgánica.

Continuación de la tabla 5.

MUNICIPIO	NOMBRE JALE	LATITUD N	LONGITUD E	METALES	pH; CE (dS/m); M.O. (%)	REFERENCIA
Zimapán	No 9	20.731	-99.396	As, Fe, Mn, Rb, Sr, Cd, Cu, Pb, Zn	pH 6.9-7.37; CE 0.43	Guzmán-Rangel 2012
Zimapán	No 9	Sin coordenadas		Pb, As	pH 7.54	Gutiérrez-Bazán 2018
Zimapán	No 5	Sin coordenadas		Cu, Pb, Zn	pH 2.2; CE 0.653	Cruz-Ruiz 2017
	No 9	Sin coordenadas				
Zimapán	CMZ/Pal	20.727	-99.397	Sb, As, Zn, Se, Mn, Cd, Pb, Cu	pH 2.5; CE 4.68	Molina-Garduño 2018
	San Miguel Nuevo	20.736	-99.399		pH 7.9; CE 1.202	
	El Espíritu reciente	20.728	-99.398		pH 8.4; CE 1.153	
	El Espíritu	20.727	-99.399		pH 4.91; CE 2.26	
Zimapán	No 9	Sin coordenadas		Pb, As, Zn, Cu, Ti, Mo, Sr, Rb, Ni, k, Sb, Sn, Fe, Ca, S	pH 7.8-8.4	García-Luna 2018
Zimapán	San Miguel	20.736	-99.399	Cd, Cr, Hg, Pb, As	pH 7.33- 7.53	Hernández-Zamora 2009
	Santa María	20.727	-99.397		pH 6.49- 7.45	
Zimapán	Santa María	20.736	-99.399	Cu, Zn, Cd, Pb	pH 6; CE 2.5; M.O. 0.2	González-Chávez <i>et al.</i> 2017
Zimapán	Preisser	20.727	-99.384	Zn, Fe, Cu, Ni, Pb, As	pH 2.08-2.18; M.O. 14.61	Hernández-Ruiz-Gaytán y Padilla-Carrillo 2010
	Pal	20.726	-99.383		pH 2.13; M.O. 13.57	
	San Miguel viejo (rojo y gris)	20.727	-99.397		Rojo: pH 2.05-2.74; M.O. 3.6-14.49 Gris: pH 7.58; M.O. 2.64	
Pachuca	Dos Carlos	20.105	-98.713	Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn	pH 7.0-7.7; M.O. 0.07-0.14	Hernández-Acosta <i>et al.</i> 2009
Zimapán	San Miguel viejo (1 y 2)	20.727	-99.397	Fe, Pb, Cu, Ni, Zn, As, Cd, Cr	1: pH 2.11-2.94; CE 5.39-2.5 2: pH 6.24-8.18; CE 2.29	Pérez-Martínez 2005

CE: conductividad, M.O: Materia orgánica.

Continuación de la tabla 5.

MUNICIPIO	NOMBRE JALE	LATITUD N	LONGITUD E	METALES	pH; CE (dS/m); M.O. (%)	REFERENCIA
<b>ESTADO DE MÉXICO</b>						
Zacazonapan	Presa de jale	19.035	-100.235	As, Ba, Cu, Fe, Pb, Zn	—	Lizárraga-Mendiola <i>et al.</i> 2008
Zacazonapan	Presa de jale	19.035	-100.235	Fe, Si, Al, Zn, Mg, Ca, As, Cu, Pb, K, Mn, Au, Ag	—	Lizárraga-Mendiola <i>et al.</i> 2009
El Oro de Hidalgo	El Oro 1	19.812	-100.136	Cr, Co, Ni, Cu, Zn,	pH 4.48-8.46; CE 1.937	Maldonado-Villanueva 2008
	El Oro 2	19.811	-100.123	As, Ag, Cd, Au, Pb	pH 7.35-8.81; CE 1.57	
Zacazonapan	Tizapa-jale I	19.035	-100.245	Zn, Si	pH 7.7; CE 2.5	Flores-Mendoza 2013
	Tizapa-jale II	19.036	-100.241	As, Ba, Cd, Ag, Pb, Se, Cu, Zn, Fe, Al, Si	pH 6.4; CE 0.33	
Zacazonapan	Inactiva	19.036	-100.241	As, Ba, Ag, Pb, Cu, Zn	pH 2.9-6.4; CE 1.96-3.88	Martínez-Soriano 2011
	Activa	19.035	-100.245	As, Ba, Cd, Ag, Pb, Se, Cu, Zn	pH 4-5.3; CE 1.71-3.25	
Zacazonapan	Tizapa	Sin coordenadas		Zn, as, Pb, Cu, Fe, Ni	pH 5.8; CE 2.3	Flores-Álvarez 2008; Zamora-Duarte 2008
Zacazonapan	Tizapa	Sin coordenadas		Cu, Ag, Fe, Cd, Pb, Ni, Zn, As	pH 6	Santos-Martínez 2006
El Oro de Hidalgo	Conalep	19.811	-100.123	Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Ag,	pH 8.74; CE 0.089	Corona-Chávez <i>et al.</i> 2017
	Tiro México	19.812	-100.136	Cd, Sb, Au, Pb,	pH 7.93; CE 0.563	
El Oro de Hidalgo	Tiro México	19.812	-100.136	Ag, V, Cr, Co, Ni, Zn, As, Pb, Cu	pH 4.5-8.5; CE 0.197-0.895	Corona-Chávez <i>et al.</i> 2010
Zacazonapan	Presa de jale	Sin coordenadas		Zn, Fe, Pb, Cu, As, Ag, Ba, Cd, Mn, Ni, Mo, Li,	pH 6.8- 7.4; CE 4.3-6.3	González-Sandoval <i>et al.</i> 2008

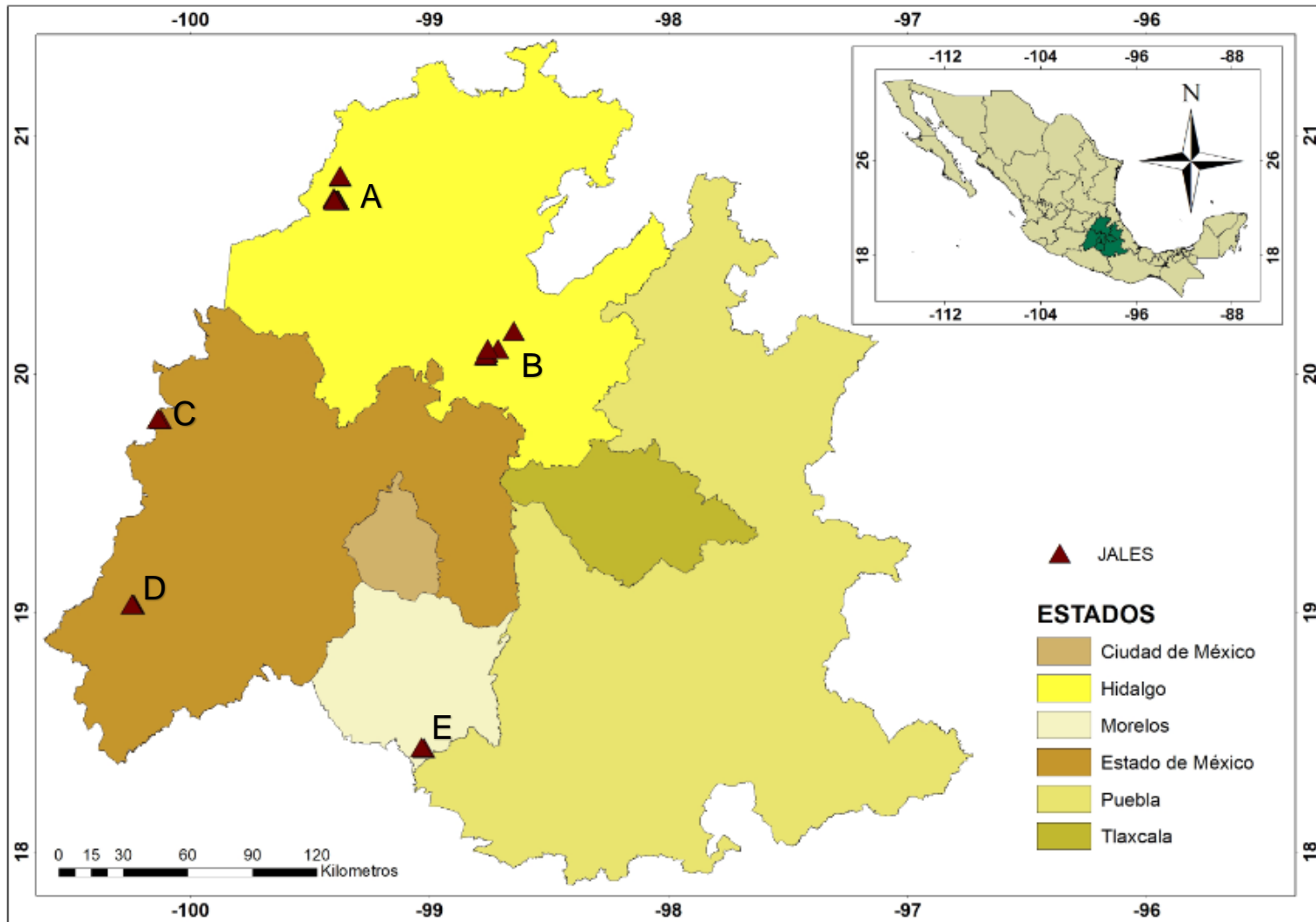
CE: conductividad, M.O: Materia orgánica.



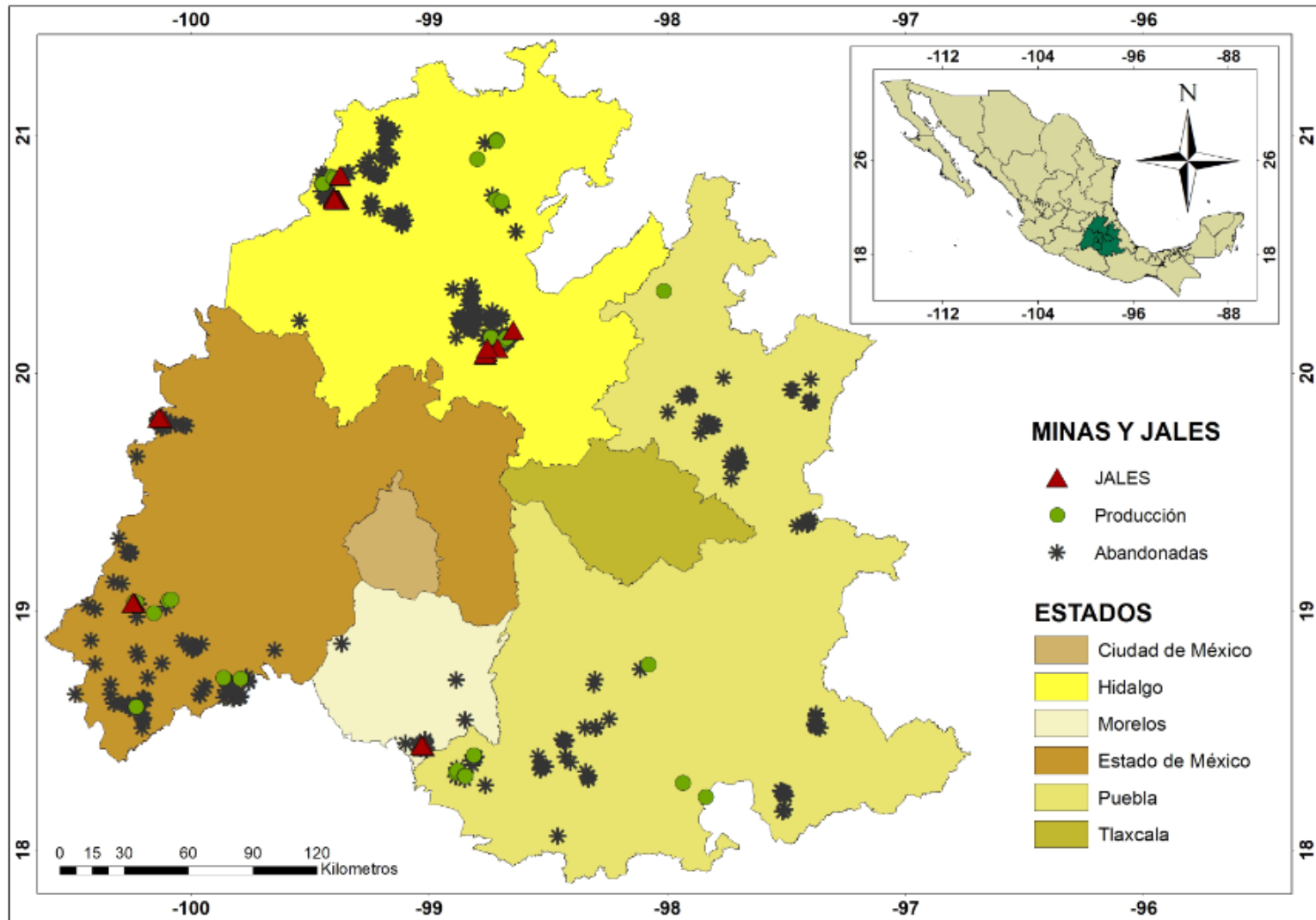
Continuación de la tabla 5.

MUNICIPIO	NOMBRE JALE	LATITUD N	LONGITUD E	METALES	pH; CE (dS/m); M.O. (%)	REFERENCIA
<b>ESTADO DE MORELOS</b>						
Tlaquiltenango	A	18.438	-99.031	Cd, Cr, Ni, Pb	pH 7.74; M.O. 1.18	Hernández-Zamora 2009
	B	18.437	-99.031		pH 7.12; M.O. 0.59	
Tlaquiltenango	Jale 1	18.434	-99.022	Fe, Zn, Pb, Mn, Cu, Cd	pH 8.07-8.37; CE 0.4; M.O. 0.84-0.92	Solís-Miranda 2016
	Jale 2	18.437	-99.031		pH 7.52-8.45; CE 0.06-0.7; M.O. 0.46-0.57	
Tlaquiltenango	Jale	18.434	-99.022	Cu, Pb, Zn, As	—	González-Brito 2015
Morelos	—	Sin coordenadas		Fe, Cu, Zn, Ag, Au, Al, Si, Mn, Ca, Ti, As	—	Martínez-Soto <i>et al.</i> 2020
Tlaquiltenango	Jale 1	18.434	-99.022	Pb, Mn, Cd, As	—	Mussali-Galante <i>et al.</i> 2013
	Jale 2	18.437	-99.031		—	
	Jale 3	18.443	-99.024		pH 8.2	
Tlaquiltenango	Tres jales	18.434	-99.022	As, V, Mn, Cd y Pb	—	Tovar-Sánchez <i>et al.</i> 2012
		18.437	-99.031		—	
		18.443	-99.024		pH 8.2	
Tlaquiltenango	Tres jales	18.434	-99.022	Cu, Fe, Pb y Zn	—	Santoyo-Martínez <i>et al.</i> 2020
		18.437	-99.031		—	
		18.443	-99.024		—	

CE: conductividad, M.O: Materia orgánica.



**Figura 3.** Jales reportados en la región centro de México. En esta figura se muestra la ubicación de cada uno de los jales que han sido reportados en la región centro de México (N=27). Número de jales por sitio A:13, B:6, C:2, D:3, E:3 (Coordenadas en Tabla 5). Escala de mapa 1:750,000.



**Figura 4.** *Jales y minas reportadas en la región centro de México.* En esta figura se muestra la ubicación de cada uno de los jales y las minas que se encuentran en producción y abandonadas (Coordenadas en Tabla A1, A2, A3 y A4). Escala de mapa 1:750,000.

## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES**

La actividad minera metálica en el centro de México ha tenido lugar en los estados de Hidalgo, Estado de México, Puebla y Morelos. Estados donde se distribuyen 1,022 minas metálicas, de las cuales un poco más de la mitad podría haber o estar generando jales, ya que el 49.8% son minas abandonadas y el 2.84% son minas que se encuentran en un estado de operación en producción. Actualmente, el estado de Morelos no presenta relevancia en la producción de minerales metálicos, debido a que la actividad minera en este estado ha sido de manera intermitente, siendo el año 2010 el último reporte de actividad. Por otra parte, el estado de Tlaxcala y la Ciudad de México no cuentan con registros de yacimientos de minerales metálicos en su territorio, por ende, no presentan actividad minera metálica.

Se encontró un total de 42 estudios de caracterización de jales, donde se obtuvo la información de 27 jales distintos. De dichos jales, 19 se encuentran en los municipios de Zimapán, Omitlán de Juárez y Pachuca en el estado de Hidalgo; cinco en los municipios de Zacazonapan y el Oro de Hidalgo en el Estado de México; y tres más en el municipio de Tlaquiltenango en el estado de Morelos. Para el estado de Puebla no se encontraron estudios realizados en jales en su territorio, a pesar de que cuenta con un registro de 122 minas (en producción y abandonadas) y de su relevancia en la producción de Au, Ag, Fe y Pb.

Se ha estimado un total de 137.38 millones de toneladas de residuos mineros en la región centro de México, sin embargo, de acuerdo a la información disponible dicha estimación pertenece solo al 51.8% de los jales reportados en dicha región. Esto debido a que no se encontró información donde se estimara la cantidad de jales que se encuentran en el municipio de Zimapán, Hidalgo, lo que representa el 48.1% de los jales reportados. Específicamente, para el estado de Hidalgo se ha estimado 100 millones de toneladas de jales en Pachuca y 8.1 millones de toneladas más en Omitlán de Juárez pertenecientes a seis jales ubicados en estos municipios; para el Estado de México se ha estimado 5.5 millones de toneladas de jales en Zacazonapan y 23 millones de toneladas más en El Oro de Hidalgo que pertenecen a cinco jales ubicados en dichos municipios; y para el estado de Morelos se ha

estimado un total de 0.78 millones de toneladas que pertenecen a tres jales ubicados en el municipio de Tlaquiltenango.

Es importante mencionar que además de los 27 jales distintos identificados se encontró reporte de otros 14 jales, sin embargo, estos no pudieron ser contabilizados debido a la falta de información que indicara su ubicación precisa. El reporte de las coordenadas de los jales es una parte esencial para su identificación, debido a que mismos jales son nombrados de manera distinta y jales distintos son nombrados de la misma forma. Sin las coordenadas es difícil identificar si se trata de un jale ya reportado en otros estudios.

Por otra parte, los estudios muestran que todos los jales presentan concentraciones de una mezcla compleja de metales pesados en su composición, reportados en mayor proporción el As, Cu, Fe, Pb y Zn. Hidalgo, Morelos, Estado de México y Puebla presentan yacimientos de tipo hidrotermal con mineralización de vetas polimetálicas Ag, Au, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn, por lo que, en el estado de Puebla podrían existir jales con contenido de As, Cu, Fe, Pb y Zn, principalmente.

El pH reportado en los diferentes estudios es muy variable ya que va de fuertemente ácido a fuertemente alcalino. Sin embargo, los jales que reportaron un pH más ácido son tres jales que se encuentran ubicados en el municipio de Zimapán en el estado de Hidalgo, con un pH de 1.7. Seis jales más también reportan un pH fuertemente ácido entre 2.13 a 4.91, los cuales se localizan en Zimapán en Hidalgo y, en El Oro de Hidalgo y Zacazonapan del Estado de México. Esto es un dato importante, debido a que entre más ácido el pH existe una mayor probabilidad de movilización de los MP. A pesar de la importancia que representa el pH para determinar el grado de peligrosidad de los jales, no todos los estudios lo reportan.

Agregar más parámetros en los estudios de caracterización de jales, así como las coordenadas geográficas de estos permitiría obtener un inventario de jales más preciso en cuanto a número y el riesgo que presentan. Además, permitiría una ubicación más rápida y fácil de zonas que se encuentran en riesgo por residuos mineros, y proponer alternativas para la mitigación de los impactos ambientales y sociales que los jales presentan.

## **CAPÍTULO VII. PERSPECTIVAS**

Las perspectivas del presente trabajo están enfocadas a la ampliación de la búsqueda de información hacia los archivos históricos existentes para la región centro de México, ya que muchos de los jales se encuentran en un estado de abandono y no han sido reportados en estudios de caracterización. Esto permitiría la ubicación de otros jales y daría paso al estudio de dichos sitios.

Además, es importante recopilar la información disponible de los jales que se encuentran en cada una de las regiones geográficas de México para obtener un panorama global de la situación actual de los jales en territorio mexicano. Generar un inventario donde se incluya la información disponible de todos los jales reportados para México es de gran valor para la ubicación de sitios con potencial de riesgo para el ambiente y la salud de la población.

Otro punto importante, sería el ampliar el periodo de búsqueda a más de 15 años y generar un inventario histórico. Esto es importante ya que los estudios de caracterización de jales no son periódicos, en ocasiones los estudios son realizados con bastante distancia en el tiempo. Además, esto permitiría conocer el potencial de riesgo en el que se encuentran los jales con mayor antigüedad.

## LITERATURA CITADA

- Armienta, M., Beltrán, M., Martínez, S. y Labastida, I. (2019). Heavy metal assimilation in maize (*Zea mays* L.) plants growing near mine tailings. *Environmental Geochemical Health*, 1-15.
- Armienta, M., Mugica, V., Reséndiz, I. y Gutierrez-Arzaluz, M. (2016). Arsenic and metals mobility in soils impacted by tailings at Zimapán, México. *Journal of Soils and Sediments*, 16:1267-1278.
- Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA). (2003). Informe final: Remediación de sitios contaminados por metales Provenientes de Jales Mineros en los Distritos de El Triunfo-San Antonio y Santa Rosalía, Baja California Sur. Dirección de Investigación en Residuos y Proyectos Regionales, 37 pp.
- Corona-Chávez, P., Maldonado, R., Ramos-Arroyo, Y. R., Robles-Camacho, J., Lozano-SantaCruz, R. y Martínez-Medina, M. (2017). Geoquímica y mineralogía de los jales del distrito minero Tlalpujahua-El Oro, México, y sus implicaciones de impacto ambiental. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(3):250-273.
- Corona-Chávez, P., Uribe-Salas, J. A., Razo-Pérez, N., Martínez- Medina, M., Maldonado-Villanueva, R., Ramos-Arroyo, Y. R. y Robles-Camacho, J. (2010). The impact of mining in the regional ecosystem: The mining district of El Oro and Tlalpujahua, Mexico. *De Re Metallica*, 15:21-34.
- Covarrubias, S. A. y Peña-Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33:7-21.
- Cruz-Ruiz, E. (2017). Efecto del encalado, abonado y fertilización de jales mineros ácidos sobre la biodisponibilidad química y bioacumulación de Cu, Cd, Pb y Zn en *Festuca arundinacea*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 114 pp.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 59 pp.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2011). Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009, que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros, 33 pp.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, 85 pp.
- Dold, B. (2010). Basic concepts in environmental geochemistry of sulfidic Mine-Waste management. *Waste Management, Er Sunil Kumar, IntechOpen*, DOI:10.5772/8458.

- Duarte-Zaragoza, V. M., Gutiérrez-Castorena, E., Gutiérrez-Castorena, M. C., Carrillo-González, R., Ortiz-Solorio, C. A. y Trinidad-Santos, A. (2014). Heavy metals contamination in soils around tailing heaps with various degrees of weathering in Zimapán, Mexico. *International Journal of Environmental Studies*, 72(1):24-40.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2016). ArcMap Desktop: Version 10.5. Redlands, California, USA.
- Flores, J., Hernández, J., Pérez, M., Patiño, F., Abacú-Ostos, J. y Trápala, N. Y. (2015). Developing alternative industrial materials from mining waste. *Engineering Solutions for Sustainability: Materials and Resources II*, pp 121-272.
- Flores-Álvarez, J. F. (2008). Pruebas de intemperismo acelerado en columnas (celdas húmedas) de jales de minera Tizapa con microorganismos mesófilos tipo *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 95 pp.
- Flores-Mendoza, J. A. (2013). Pruebas estáticas y cinéticas para evaluar peligrosidad de jales. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 91 pp.
- Franco-Farfán, E. F. (2019). Estudio de especiación de arsénico por EAA en jales mineros del estado de Hidalgo, México y su biodisponibilidad. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 68 pp.
- García-Luna, N. (2018). Evaluación de la ecotoxicidad de lixiviado de jales utilizando embriones de *Danio rerio* como organismo de prueba. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 73 pp.
- Gómez-Bernal, J. M., Santana-Carillo, J., Romero-Martin, F., Armienta-Hernández, M. A., Morton-Bermea, O. y Ruiz-Huerta, E. A. (2010). Plantas de sitios contaminados con desechos mineros en Taxco, Guerrero, Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87:131-133.
- González-Brito, W. A. (2015). Efecto de un gradiente de contaminación por jales mineros sobre las comunidades de artrópodos asociados a la vegetación y con énfasis en el orden Araneae en Huautla, Morelos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, 89 pp.
- González-Chávez, M. C., Carrillo-González, R., Hernández Godínez, M. I. y Evangelista Lozano, S. (2017). *Jatropha curcas* and assisted phytoremediation of a mine tailing with biochar and a mycorrhizal fungus. *International Journal of Phytoremediation*, 19(2):174-182.
- González-Sandoval, M. R., Sánchez-Tovar, S. A., Márquez-Herrera, C., Lizárraga-Mendiola, L. G. y Durán-Domínguez-de-Bazúa, M. C. (2008). Oxidación de jales ricos en pirita en un reactor a escala de banco. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2):130-138.
- Gutiérrez-Bazán, J. J. (2018). Propuesta para la disposición de jales agotados, previamente caracterizados y estabilizados, en cavidades mineras. Tesis de Maestría en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 97 pp.



- Gutiérrez-Ruiz, M. E. y Moreno-Turrent, M. (2007). Los residuos en la minería mexicana. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Recuperado en: [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/35/los\\_residuos.html](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/35/los_residuos.html).
- Guzmán-Rangel, G. (2012). Estrategia para la remediación de sitios contaminados con Cu, Cd, Pb y Zn aplicando tratamientos químico-agronómicos a jales minero-metalúrgicos y suelos. Tesis de Maestría en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 124 pp.
- Hernández-Acosta, E., Mondragón-Romero, E., Cristóbal-Acevedo, D., Rubiños-Panta, J. E. y Robledo-Santoyo, E. (2009). Vegetación, Residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias forestales y del Ambiente*, 15(2):109-114.
- Hernández-Ruiz-Gaytán, M. L. y Padilla-Carrillo, C. M. (2010). Movilidad ambiental de metales en residuos mineros de la región de Zimapán, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 150 pp.
- Hernández-Zamora, M. A. (2009). Estudio de la acumulación de plomo y cadmio por *Asphodelus fistulosus* L. y *Brassica juncea* L. para fitorremediar jales. Tesis de Maestría en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Ciudad de México, 100 pp.
- Juárez-Tapia, J., Patiño-Cardona, F., Roca-Vallmajor, A., Teja-Ruiz, A., Reyes-Domínguez, I., Reyes-Pérez, M., Pérez-Labra, M. y Flores-Guerrero, M. (2018). Determination of Dissolution Rates of Ag Contained in Metallurgical and Mining Residues in the  $S_2O_3^{2-}-O_2-Cu^{2+}$  System: Kinetic Analysis. *Minerals*, 8:309.
- Lizárraga-Mendiola, L., Ángeles-Chávez, D. E., Blanco-Piñón, A., Ramírez-Cardona, M., Olguín-Coca, F. J. y González-Sandoval, M. R. (2014). Contamination Potential of an Urban Mine Tailings Deposit in Central Mexico- A Preliminary Estimation. *International Journal of Geosciences*, 5:296-312.
- Lizárraga-Mendiola, L., Durán-Domínguez, M. C. y González-Sandoval, M. R. (2008). Environmental assessment of an active tailing pile in the State of Mexico (central Mexico). *Research Journal of Environmental Sciences*, 2(3):197-208.
- Lizárraga-Mendiola, L., González-Sandoval, M. R., Duran-Domínguez, M.C. y Márquez-Herrera, C. (2009). Geochemical behavior of heavy metals in a Zn-Pb-Cu mining area in the State of Mexico (central Mexico). *Environmental Monitoring and Assessment*, 155:355-372.
- Maldonado-Villanueva, R. (2008). Caracterización mineralógica de fases minerales metálicas en muestras de jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahuá. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 98 pp.
- Martínez-Soriano, C. (2011). Evaluación de la peligrosidad de jales y lixiviados de una mina de sulfuros masivos en el Estado de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 67 pp.

- Martínez-Soto, J. I., Teja-Ruiz, A. M., Reyes-Pérez, M., Pérez-Labra, M., Reyes-Cruz, V. E., Cobos-Murcia, J. A., Urbano-Reyes, G. y Juárez-Tapia, J. (2020). Chemical Characterization and Mineralogical Analysis of Mining-Metallurgical Tailing from the State of Morelos. *The Minerals, Metals & Materials Society 2020*, pp 501-510.
- Molina-Garduño, A. (2018). Geoquímica y distribución de Sb en jales del distrito minero de Zimapán, Hidalgo. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 154 pp.
- Moreno-Tovar, R., Barbanson, L. y Coreño-Alonso, O. (2009). Neoformación mineralógica en residuos mineros (jales) del distrito minero Zimapán, estado de Hidalgo, México. *Minería y Geología*, 25(2):1-31.
- Moreno-Tovar, R., Téllez-Hernández, J. y Monroy-Fernández, M. (2012). Influencia de los minerales de los jales en la bioaccesibilidad de arsénico, plomo, zinc y cadmio en el distrito minero Zimapán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3):203-2018.
- Mussali-Galante, P., Tovar-Sánchez, E., Valverde, M., Valencia-Cuevas, L. y Rojas, E. (2013). Evidence of population genetic effects in *Peromyscus melanophrys* chronically exposed to mine tailings in Morelos, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*, 20:7666-7679.
- Nordstrom, D. K. (2011). Mine Waters: Acidic to Circumneutral. *Elements*, 7:393-398.
- Ortiz-Sánchez, O., Godelia-Canchari, S. y Soto, C. (2010). Minería in situ. Su aplicación en un yacimiento de cobre oxidado. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 13(25):31-41.
- Park, I., Baltazar-Tabelin, C., Jeon, S., Li, X., Seno, K., Ito, M. y Hiroyoshi, N. (2019). A review of recent strategies for acid mine drainage prevention mine tailings recycling. *Chemosphere*, 219:588-606.
- Patiño, F., Hernández, J., Flores, M., Reyes, I., Reyes, M. y Juárez, J. (2016). Characterization and stoichiometry of the cyanidation reaction in NaOH of Argentinian waste tailings of Pachuca, Hidalgo, México. *Characterization of Minerals, and Materials 2016*, pp 355-362.
- Pérez-Martínez, I. (2005). Procesos de oxidación en una presa de jales en el distrito minero de Zimapán, Hidalgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 93 pp.
- Plumlee, G. y Morman, S. (2011). Mine Wastes and Human Health. *Elements*, 7:399-404.
- Ramírez, E. (2001). Almacenamiento de residuos mineros en México. Memoria del seminario "Almacenamientos de Residuos Mineros" CNA – SMMS - CMM, México D.F. México.
- Ramos-Arroyo, Y. R. y Siebe-Grabach, C. D. (2006). Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(1):54-74.

- Rodríguez-Valles, D. I. (2016). Evaluación de metodologías alternas para la lixiviación de plata de jales mineros refractarios. Tesis de Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental. Instituto Politécnico Nacional. Victoria de Durango, Durango, 85 pp.
- Romero, F. M., Armienta, M. A., Gutiérrez, M. E. y Villaseñor, G. (2008). Factores geológicos y climáticos que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(2):43-54.
- Sánchez-López, A., González-Chávez, M. C., Carrillo-González, R., Vangronsveld, J. y Díaz-Garduño, M. (2015). Wild flora of Mine Tailings: Perspectives for Use in Phytoremediation of potentially toxic elements in a semi-arid region in Mexico. *International Journal of Phytoremediation*, 17(5):476-484.
- Santiago-Dionisio, M. C. (2011). Caracterización química y fitorremediación de los jales mineros de "El Fraile", de Taxco, De Alarcón, Gro., México. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Guerrero, 159 pp.
- Santos-Jallath, J. E., Coria-Camarillo, J., Huezco-Casillas, J. y Rodríguez-Cruz, G. (2013). Influencia de jales mineros sobre el río Maconí, Querétaro, y evaluación del proceso de atenuación natural por dispersión. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(3): 645-660.
- Santos-Martínez, C. A. (2006). Determinación de la peligrosidad de jales mineros con base en la normatividad ambiental mexicana y su efecto potencial en el ambiente. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 128 pp.
- Santoyo-Martínez, M., Mussali-Galante, P., Hernández-Plata, I., Valencia-Cuevas, L., Flores-Morales, A., Ortiz-Hernández, L., Flores-Trujillo, K., Ramos-Quintana, F., y Tovar-Sánchez, E. (2020). Heavy metal bioaccumulation and morphological changes in *Vachellia campechiana* (Fabaceae) reveal its potential for phytoextraction of Cr, Cu, and Pb in mine tailings. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10):11260-11276.
- Secretaría de Economía (SE). (2019). Minería. Recuperado en: <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria>. Consultado en octubre 2019.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2015. SEMARNAT. México, 44 pp.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2018a). Anuario estadístico de la minería mexicana, 2017. *Subsecretaría de Minería*. México, 535 pp.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2018b). Panoramas Mineros Estatales. Recuperado en: <https://www.gob.mx/sgm/articulos/consulta-los-panoramas-mineros-estatales>. Consultado en noviembre 2019.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2020). Geoinfomex. Recuperado en: <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/>
- Sistema Integral Sobre Economía Minera (SINEM). (2018). Sistema Integral sobre Economía Minera. Recuperado en: [https://www.sgm.gob.mx/SINEMGobMx/Producción\\_minera.jsp](https://www.sgm.gob.mx/SINEMGobMx/Producción_minera.jsp). Consultado en marzo 2020.

- Sistema Integral Sobre Economía Minera (SINEM). (2019). Minería de México por Entidad Federativa. Recuperado en: [https://www.sgm.gob.mx/SINEMGobMx/mineria\\_mexico.jsp](https://www.sgm.gob.mx/SINEMGobMx/mineria_mexico.jsp). Consultado en marzo 2020.
- Solís-Miranda, B. (2016). Aislamiento de bacterias de jales mineros y análisis de su potencial para la remediación de sitios contaminados con metales pesados. Tesis de Maestría en Biotecnología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, 147 pp.
- Tovar-Sánchez, E., Cervantes, L. T., Martínez, C., Rojas, E., Valverde, M., Ortiz-Hernández, M. L., y Mussali-Galante, P. (2012). Comparison of two wild rodent species as sentinels of environmental contamination by mine tailings. *Environmental Science and Pollution Research*, 19:1677-1686.
- Velasco, J., De la Rosa, D., Solórzano, G. y Volke, T. (2004). Primer informe del proyecto: Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología. México. 46 pp.
- Volke, T., Velasco, J. y De la Rosa, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 145 pp.
- Volpi-León, V. (2017). Efecto de corrosión en concreto reforzado elaborado con desecho minero (jal). Tesis de Maestría en Ingeniería. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla, 144 pp.
- Zamora-Duarte, Y. (2008). Efecto lixiviante causado bacterias mesófilas, autóctonas e inoculadas, sobre jales frescos de Minera Tizapa por pruebas de intemperismo acelerado. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 63 pp.
- Zúñiga-Vázquez, D. V. (2014). Evaluación de la movilidad de Cd, Pb, Zn, Fe y As bajo diferentes condiciones fisicoquímicas en jales mineros del municipio de Zimapán, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 92 pp.
- Zúñiga-Vázquez, D. V. (2019). Evidencias de dispersión de jales mineros sobre un transecto en suelos de la región de Zimapán, Hidalgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 171 pp.

## APÉNDICE

*Minas en un estado de operación abandonadas y en producción localizadas en la región centro de México.*

**Tabla A1.** Minas abandonadas y en producción localizadas en el estado de Hidalgo.

<b>ESTADO DE HIDALGO</b>					
<b>MUNICIPIO</b>	<b>NOMBRE MINA</b>	<b>EXTRACCIÓN</b>	<b>ESTATUS</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>
Actopan	El Potosí	Au, Ag	Ab	20.281	-98.817
Actopan	La Vencedora	Au, Ag	Ab	20.285	-98.832
Actopan	La Vengadora	Au, Ag	Ab	20.284	-98.839
Actopan	El Ángel	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	20.311	-98.818
Actopan	Tres Reyes	Ag, Pb, Zn, Mn	Ab	20.327	-98.826
Actopan	La Negra	Ag, Pb, Zn	Ab	20.334	-98.832
Actopan	El Águila	Mn	Ab	20.337	-98.814
Actopan	El Águila II	Ag, Pb, Zn, Mn	Ab	20.342	-98.816
Actopan	San Juan Actopan	Ag, Pb, Zn, Mn	Ab	20.367	-98.821
Actopan	San Juan Actopan II	Pb, Zn	Ab	20.367	-98.825
Actopan	El Saucillo	Ag, Pb, Zn, Mn	Ab	20.351	-98.898
Cardonal	Santuario	Pb, Zn	Ab	20.681	-99.117
Cardonal	San Juan	Zn, Pb, Ag	Ab	20.676	-99.119
Cardonal	El Yonthe	Zn, Pb, Ag	Ab	20.672	-99.117
Cardonal	Miguel	Pb, Zn	Ab	20.661	-99.107
Cardonal	San Miguel	Zn, Pb, Ag	Ab	20.641	-99.099
Cardonal	La Providencia	Zn, Pb, Ag	Ab	20.641	-99.107
Cardonal	San Vicente	Zn, Pb, Ag	Ab	20.636	-99.109
Cardonal	La Soledad	Zn, Pb, Ag	Ab	20.626	-99.112
Cardonal	El Cardonal		Ab	20.622	-99.116
Cardonal	El Bondo		Ab	20.619	-99.112
Cardonal	San Clemente	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	20.655	-99.154
Cardonal	San Severiano	Au, Ag	Ab	20.661	-99.164
Cardonal	San Clemente II	Au, Ag	Ab	20.661	-99.173
Chapantongo	Hualtepec	Cu	Ab	20.219	-99.543
El Arenal	Puerto del Oro	Ag, Au	Ab	20.191	-98.852
El Arenal	Ernestina	Ag, Au	Ab	20.192	-98.843
El Arenal	Tiro San Juan	Ag, Au	Ab	20.149	-98.886
El Arenal	Humboldt	Ag, Au	Ab	20.198	-98.844
El Arenal	Zumbimbía I	Ag, Au	Ab	20.201	-98.831
El Arenal	Santo Niño II	Ag, Au	Ab	20.205	-98.836

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A1.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
El Arenal	La Chiva	Ag, Au	Ab	20.205	-98.841
El Arenal	Tiro Encarnacion	Ag, Au	Ab	20.206	-98.834
El Arenal	Esmeralda	Ag, Au	Ab	20.208	-98.833
El Arenal	Tiro Santo Niño	Ag, Au	Ab	20.208	-98.836
El Arenal	Santo Niño	Ag, Au	Ab	20.208	-98.837
El Arenal	Vivao	Ag, Au	Ab	20.214	-98.841
El Arenal	Santa Cruz	Ag, Au	Ab	20.216	-98.843
El Arenal	San Felipe	Ag, Au	Ab	20.214	-98.831
El Arenal	Rosario	Ag, Au	Ab	20.216	-98.831
El Arenal	El Volador	Ag, Au	Ab	20.215	-98.834
El Arenal	La Estrella	Ag, Au	Ab	20.218	-98.833
El Arenal	San Eugenio	Ag, Au	Ab	20.223	-98.832
El Arenal	San Ramón	Ag, Au	Ab	20.221	-98.828
El Arenal	San Eugenio II	Ag, Au	Ab	20.223	-98.828
El Arenal	La Preciosa	Ag, Au	Ab	20.222	-98.825
El Arenal	La Torre	Ag, Au	Ab	20.219	-98.831
El Arenal	Santa Ana	Ag, Au	Ab	20.235	-98.821
El Arenal	La Palma	Ag, Au	Ab	20.219	-98.852
El Arenal	El Aviadero	Ag, Au	Ab	20.213	-98.855
El Arenal	El Escribiano	Ag, Au	Ab	20.216	-98.855
El Arenal	San Rafael	Ag, Au	Ab	20.213	-98.857
El Arenal	La Ruina	Ag, Au	Ab	20.224	-98.855
El Arenal	Los Frailes	Ag, Au	Ab	20.227	-98.859
El Arenal	El corral	Ag, Au	Ab	20.221	-98.858
El Arenal	Corazón	Ag, Au	Ab	20.219	-98.861
El Arenal	El Hongo	Ag, Au	Ab	20.222	-98.861
El Arenal	El Domo	Ag, Au	Ab	20.214	-98.871
El Arenal	La Trinidad	Ag, Au	Ab	20.222	-98.873
El Arenal	La Luz	Ag, Au	Ab	20.228	-98.871
El Arenal	Samaria	Ag, Au	Ab	20.231	-98.881
El Arenal	La Soledad	Ag, Au	Ab	20.227	-98.868
Ixmiquilpan	La Pechuga	Ag, Pb, Zn	Ab	20.696	-99.231
Ixmiquilpan	La Pechuga	Zn, Pb, Ag	Ab	20.691	-99.248
Jacala de Ledezma	El Moro	Mn	Ab	21.049	-99.196
Jacala de Ledezma	Timbral	Mn	Ab	21.031	-99.181
Jacala de Ledezma	El Timbral I	Mn	Ab	21.027	-99.179
Jacala de Ledezma	Timbral II	Mn	Ab	21.025	-99.181
Jacala de Ledezma	San Luis	Mn	Ab	21.004	-99.163
Jacala de Ledezma	Las Pilas	Mn	Ab	21.005	-99.163

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A1.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Jacala de Ledezma	Las Flores	Mn	Ab	21.007	-99.166
Jacala de Ledezma	SN	Au, Cu	Ab	21.008	-99.167
Jacala de Ledezma	El Isidro	Mn	Ab	21.009	-99.166
Jacala de Ledezma	El Pinalito	Au	Ab	21.011	-99.167
Jacala de Ledezma	Tiro Blanco	Au	Ab	21.012	-99.168
Jacala de Ledezma	Humboldt	Cu, Au	Ab	21.013	-99.146
Jacala de Ledezma	Piedra Partida	Cu, Au	Ab	21.014	-99.178
Jacala de Ledezma	San José del Oro	Au	Ab	21.011	-99.179
Jacala de Ledezma	Maravillas	Au	Ab	21.011	-99.181
Jacala de Ledezma	San Antonio	Au, Cu	Ab	21.013	-99.182
Jacala de Ledezma	Cortes	Mn	Ab	21.008	-99.186
Jacala de Ledezma	Encino Prieto	Au, Ag	Ab	20.966	-99.184
Jacala de Ledezma	Encino Prieto II	Au, Ag, Zn, Cu, Pb	Ab	20.959	-99.184
Jacala de Ledezma	El Cedrito	Fe, Cu, Au	Ab	20.914	-99.197
Jacala de Ledezma	Rincón del Agua	Au, Ag	Ab	20.914	-99.192
Jacala de Ledezma	Plomosas	Pb, Zn, Ag	Ab	20.912	-99.171
Jacala de Ledezma	San Antonio	Au, Ag, Fe	Ab	20.895	-99.181
Jacala de Ledezma	El Refugio	Au, Ag	Ab	20.898	-99.158
Jacala de Ledezma	El Refugio	Fe	Ab	20.903	-99.158
Mineral de Reforma	Tiro Eduardo	Ag, Au	Ab	20.134	-98.696
Mineral de Reforma	Tiro Eduardo II	Ag, Au	Ab	20.132	-98.698
Mineral de Reforma	Tiro Sonora Ures	Ag, Au	Ab	20.126	-98.687
Mineral de Reforma	Tiro San Agustín	Ag, Au	Ab	20.123	-98.688
Mineral de Reforma	Tiro Pirul	Ag, Au	Ab	20.119	-98.689
Mineral de Reforma	Tiro San Carlos	Ag, Au	Ab	20.122	-98.691
Mineral de Reforma	Tiro Barron	Ag, Au	Ab	20.124	-98.691
Mineral de Reforma	Tiro San Guillermo	Ag, Au	Ab	20.121	-98.695
Mineral de Reforma	Tiro Dos Carlos	Ag, Au	Ab	20.115	-98.693
Mineral de Reforma	Tiro Santa Gertrudis	Ag, Au	Ab	20.124	-98.698
Mineral de Reforma	Tiro La Victoria	Ag, Au	Ab	20.124	-98.701
Mineral de Reforma	Tiro La Mariposa	Ag, Au	Ab	20.116	-98.711
Mineral de Reforma	Tiro Paricutin II	Ag, Au	Ab	20.101	-98.725
Mineral del Chico	Puerto López	Ag, Au	Ab	20.181	-98.808
Mineral del Chico	Temazcal	Ag, Au	Ab	20.179	-98.815
Mineral del Chico	Tiro Escondido	Ag, Au	Ab	20.182	-98.822
Mineral del Chico	Zumbimblia	Ag, Au	Ab	20.197	-98.819
Mineral del Chico	Santa Rosa	Ag, Au	Ab	20.208	-98.818
Mineral del Chico	Capula	Ag, Au	Ab	20.225	-98.801
Mineral del Chico	La Maquina	Ag, Au	Ab	20.221	-98.802

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A1.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Mineral del Chico	El Cristo	Ag, Au	Ab	20.227	-98.804
Mineral del Chico	La Doña	Ag, Au	Ab	20.223	-98.805
Mineral del Chico	San Simón II	Ag, Au	Ab	20.233	-98.808
Mineral del Chico	San Miguel	Ag, Au	Ab	20.223	-98.809
Mineral del Chico	Manzanas	Ag, Au	Ab	20.221	-98.811
Mineral del Chico	Tiro La toledana	Ag, Au	Ab	20.217	-98.812
Mineral del Chico	Tiro El Jiadi	Ag, Au	Ab	20.218	-98.813
Mineral del Chico	Santa Ana	Ag, Au	Ab	20.226	-98.811
Mineral del Chico	La Esperanza	Ag, Au	Ab	20.231	-98.814
Mineral del Chico	Tiro la Chiripa	Ag, Au	Ab	20.223	-98.817
Mineral del Chico	San Pedro Huixotitla	Ag, Au	Ab	20.222	-98.819
Mineral del Chico	El Piñón	Ag, Au	Ab	20.224	-98.821
Mineral del Chico	San Luis	Ag, Au	Ab	20.224	-98.823
Mineral del Chico	Valeria	Ag, Au	Ab	20.251	-98.812
Mineral del Chico	Los Rojas	Ag, Au	Ab	20.247	-98.811
Mineral del Chico	San Juan Gallo	Ag, Pb, Zn	Ab	20.261	-98.804
Mineral del Chico	Cerro Alto	Ag, Au	Ab	20.247	-98.794
Mineral del Chico	El Chorro	Ag, Au	Ab	20.247	-98.798
Mineral del Chico	Panales	Ag, Pb, Zn	Ab	20.261	-98.735
Mineral del Chico	San Marcial	Ag, Au	Ab	20.241	-98.741
Mineral del Chico	La Caida	Ag, Au	Ab	20.238	-98.742
Mineral del Chico	Mina Nepton	Ag, Au	Ab	20.236	-98.742
Mineral del Chico	Mina la Atarjea	Ag, Au	Ab	20.228	-98.746
Mineral del Chico	Socavón Tetitlan	Ag, Au	Ab	20.224	-98.753
Mineral del Chico	Tiro Alto	Ag, Au	Ab	20.221	-98.741
Mineral del Chico	Mineral el Chico	Ag, Au	Ab	20.228	-98.735
Mineral del Chico	Mina la aurora	Ag, Au	Ab	20.226	-98.737
Mineral del Chico	Cata Aurora	Ag, Au	Ab	20.224	-98.737
Mineral del Chico	Socavón San Antonio	Ag, Au	Ab	20.222	-98.737
Mineral del Chico	Socavón el Puente	Ag, Au	Ab	20.221	-98.736
Mineral del Chico	Socavón Pozo Azul	Ag, Au	Ab	20.221	-98.735
Mineral del Chico	Socavón Cabañas	Ag, Au	Ab	20.221	-98.736
Mineral del Chico	Tiro Arevalo	Ag, Au	Ab	20.218	-98.735
Mineral del Chico	Socavón Arevalo	Ag, Au	Ab	20.218	-98.737
Mineral del Chico	Socavón alcaparrosa	Ag, Au	Ab	20.228	-98.724
Mineral del Chico	Socavón la Reja	Ag, Au	Ab	20.225	-98.725
Mineral del Chico	Socavón Loma de Laja	Ag, Au	Ab	20.227	-98.729
Mineral del Chico	Socavón la Mesa	Ag, Au	Ab	20.227	-98.695
Mineral del Chico	Mar de Plata	Ag, Au	Ab	20.241	-98.696

Ab: abandonada; Prod: producción.



Continuación de la tabla A1.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Mineral del Chico	Tiro Santa Isabel II	Ag, Au	Ab	20.156	-98.751
Mineral del Chico	Tiro Peregrina	Ag, Au	Ab	20.152	-98.749
Mineral del Chico	Platosa II	Ag, Au	Ab	20.147	-98.751
Mineral del Monte	Contratiro 90 E	Ag, Au	Ab	20.126	-98.683
Mineral del Monte	Cabrera	Zn, Pb	Ab	20.156	-98.663
Mineral del Monte	Barrio Escobar	Ag, Au	Ab	20.149	-98.665
Mineral del Monte	Tiro San Ramón	Ag, Au	Ab	20.135	-98.668
Mineral del Monte	Tiro la Palma	Ag, Au	Ab	20.136	-98.668
Mineral del Monte	Mina Purísima	Ag, Au	Ab	20.136	-98.671
Mineral del Monte	Tiro San Antonio	Ag, Au	Ab	20.138	-98.668
Mineral del Monte	Tiro Sacramento	Ag, Au	Ab	20.142	-98.668
Mineral del Monte	Tiro Sacramento II	Ag, Au	Ab	20.144	-98.668
Mineral del Monte	Tiro Acosta	Ag, Au	Ab	20.148	-98.668
Mineral del Monte	Tiro el Manzano	Ag, Au	Ab	20.152	-98.667
Mineral del Monte	Tiro Resquicio	Ag, Au	Ab	20.152	-98.668
Mineral del Monte	Cata San Felipe	Ag, Au	Ab	20.161	-98.676
Mineral del Monte	Tiro Providencia	Ag, Au	Ab	20.155	-98.675
Mineral del Monte	Tiro San Genaro	Ag, Au	Ab	20.153	-98.675
Mineral del Monte	Tiro Dificultad	Ag, Au	Ab	20.146	-98.672
Mineral del Monte	San Ignacio	Ag, Au	Ab	20.144	-98.673
Mineral del Monte	Tiro Tejocote	Ag, Au	Ab	20.148	-98.673
Mineral del Monte	SN	Au, Ag	Prod	20.148	-98.674
Mineral del Monte	Tiro Carretera	Ag, Au	Ab	20.141	-98.675
Mineral del Monte	Tiro Terreros	Ag, Au	Ab	20.137	-98.675
Mineral del Monte	Tiro Guadalupe	Ag, Au	Ab	20.135	-98.676
Mineral del Monte	Tiro Santa Águeda	Ag, Au	Ab	20.138	-98.678
Mineral del Monte	Tiro San Francisco	Ag, Au	Ab	20.138	-98.681
Mineral del Monte	Mina La Rica	Ag, Au	Prod	20.139	-98.683
Mineral del Monte	Tiro San José	Ag, Au	Ab	20.139	-98.686
Mineral del Monte	Tiro Hermoso	Ag, Au	Ab	20.145	-98.678
Mineral del Monte	Tiro Vargas	Ag, Au	Ab	20.149	-98.678
Mineral del Monte	Tiro Chimenea	Ag, Au	Ab	20.153	-98.681
Mineral del Monte	Tiro La Cruz	Ag, Au	Ab	20.153	-98.688
Mineral del Monte	Tiro Fraternidad	Ag, Au	Ab	20.155	-98.696
Molango de Escamilla	Tlatzintla	Mn	Prod	20.897	-98.797
Molango de Escamilla	Minas Viejas	Mn	Ab	20.746	-98.734
Molango de Escamilla	Mina Acoxcatlán	Mn	Ab	20.966	-98.765
Nicolás Flores	Las Delicias	Fe, Cu, Au	Ab	20.886	-99.181
Nicolás Flores	La Trinidad	Cu, Au	Ab	20.836	-99.202

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A1.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Nicolás Flores	Corcus	Au, Ag	Ab	20.837	-99.203
Nicolás Flores	SN	Cu, Au	Ab	20.837	-99.205
Nicolás Flores	Santa Eleonora	Cu, Au	Ab	20.828	-99.205
Nicolás Flores	Santa Elena	Zn, Pb, Ag	Ab	20.721	-99.242
Nicolás Flores	La Bonanza	Zn, Pb, Ag	Ab	20.715	-99.244
Omitlán de Juárez	Puente Viejo 2	Au, Ag	Ab	20.159	-98.653
Omitlán de Juárez	Puente Viejo 1	Ag, Pb, Zn	Ab	20.161	-98.653
Pachuca de Soto	Tiro Tula	Ag, Au	Ab	20.112	-98.731
Pachuca de Soto	Tiro Jarillas	Ag, Au	Ab	20.137	-98.763
Pachuca de Soto	Tiro Concepción	Ag, Au	Ab	20.161	-98.744
Pachuca de Soto	Tiro Escandon	Ag, Au	Ab	20.158	-98.743
Pachuca de Soto	Tiro Altagracia	Ag, Au	Ab	20.155	-98.743
Pachuca de Soto	Tiro Dinamita	Ag, Au	Ab	20.153	-98.741
Pachuca de Soto	Tiro Rosario Viejo	Ag, Au	Ab	10.151	-98.743
Pachuca de Soto	Platosa I	Ag, Au	Ab	20.151	-98.746
Pachuca de Soto	Tiro el Bordo	Ag, Au	Ab	20.152	-98.737
Pachuca de Soto	Tiro Santa Ana	Ag, Au	Ab	20.152	-98.734
Pachuca de Soto	Tajo Vizcaina	Ag, Au	Ab	10.152	-98.73
Pachuca de Soto	Tiro Santa Rita II	Ag, Au	Ab	20.152	-98.727
Pachuca de Soto	Tiro Santa Rita	Ag, Au	Ab	20.151	-98.727
Pachuca de Soto	Tiro El Trompillo	Ag, Au	Ab	20.151	-98.725
Pachuca de Soto	Tiro Camelia	Ag, Au	Ab	20.151	-98.724
Pachuca de Soto	Tiro Cristo Colon	Ag, Au	Ab	20.152	-98.721
Pachuca de Soto	Tiro Paraíso	Ag, Au	Ab	20.151	-98.721
Pachuca de Soto	Tiro Xotol	Ag, Au	Ab	20.148	-98.725
Pachuca de Soto	Tiro Sagrado Corazón	Ag, Au	Ab	20.138	-98.697
Pachuca de Soto	Tiro Texinca	Ag, Au	Ab	20.142	-98.709
Pachuca de Soto	Tiro Texinca II	Ag, Au	Ab	20.141	-98.709
Pachuca de Soto	Tiro San Manuel	Ag, Au	Ab	20.141	-98.714
Pachuca de Soto	Tiro Cuauhtemotzin	Ag, Au	Ab	20.145	-98.714
Pachuca de Soto	Tiro Norte	Ag, Au	Ab	20.148	-98.713
Pachuca de Soto	Tiro Santo tomas	Ag, Au	Ab	20.151	-98.715
Pachuca de Soto	Tiro Mora Grande	Ag, Au	Ab	20.144	-98.716
Pachuca de Soto	Tiro San Anselmo	Ag, Au	Ab	20.133	-98.716
Pachuca de Soto	Tiro Corteza	Ag, Au	Ab	20.128	-98.721
Pachuca de Soto	Tiro Santa Isabel	Ag, Au	Ab	20.131	-98.723
Pachuca de Soto	Tiro Esperanza	Ag, Au	Ab	20.131	-98.739
Pachuca de Soto	Tiro la Fortuna	Ag, Au	Ab	20.133	-98.721
Pachuca de Soto	Tiro Precavida	Ag, Au	Ab	20.136	-98.717

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A1.

<b>MUNICIPIO</b>	<b>NOMBRE MINA</b>	<b>EXTRACCIÓN</b>	<b>ESTATUS</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>
Pachuca de Soto	Tiro San Pedro	Ag, Au	Ab	20.139	-98.718
Pachuca de Soto	Mina el Rosario	Ag, Au	Ab	20.141	-98.722
Pachuca de Soto	Socavón Valenciana	Ag, Au	Ab	20.134	-98.723
Pachuca de Soto	Socavón Zoto	Ag, Au	Ab	20.121	-98.724
Pachuca de Soto	Tiro el Rosario	Ag, Au	Ab	20.141	-98.726
Pachuca de Soto	Tiro San Juan Pachuca	Ag, Au	Ab	20.139	-98.728
Pachuca de Soto	Tiro Buena Esperanza	Ag, Au	Ab	20.135	-98.733
Pachuca de Soto	Tiro Porvenir	Ag, Au	Ab	20.134	-98.734
Pachuca de Soto	Tiro Cuixi	Ag, Au	Ab	20.134	-98.735
Pachuca de Soto	Socavón Lagartijos	Ag, Au	Ab	20.139	-98.733
Pachuca de Soto	Tiro Dolores Encino	Ag, Au	Ab	20.144	-98.727
Pachuca de Soto	Tiro La Palma I	Ag, Au	Ab	20.145	-98.729
Pachuca de Soto	Tiro Cristo	Ag, Au	Ab	20.145	-98.731
Pachuca de Soto	Maravillas	Ag, Au	Ab	20.145	-98.732
Pachuca de Soto	Socavón Maravillas	Ag, Au	Ab	20.146	-98.731
Pachuca de Soto	Socavón Pabellón	Ag, Au	Ab	20.147	-98.732
Pachuca de Soto	Socavón Prosperidad II	Ag, Au	Ab	20.145	-98.733
Pachuca de Soto	Socavón Prosperidad	Ag, Au	Ab	20.145	-98.735
Pachuca de Soto	Tiro La Grande	Ag, Au	Ab	20.146	-98.735
Pachuca de Soto	SN	Ag, Au	Prod	20.149	-98.739
Pachuca de Soto	Socavón las Peñas	Ag, Au	Ab	20.148	-98.738
Pachuca de Soto	Tiro Navarro	Ag, Au	Ab	20.146	-98.738
Pachuca de Soto	Socavón las Peñas II	Ag, Au	Ab	20.146	-98.739
Pachuca de Soto	Tiro Santa Clara	Ag, Au	Ab	20.146	-98.741
Pachuca de Soto	Tiro Sacramento II	Ag, Au	Ab	20.144	-98.741
Pachuca de Soto	Tiro Esperanza II	Ag, Au	Ab	20.145	-98.741
Pachuca de Soto	Tiro Minerva	Ag, Au	Ab	20.124	-98.713
Pachuca de Soto	Tiro Lobo 3	Ag, Au	Ab	20.121	-98.717
Pachuca de Soto	Tiro Cabañas	Ag, Au	Ab	20.125	-98.718
Pachuca de Soto	Tiro Lobo 2	Ag, Au	Ab	20.123	-98.722
Pachuca de Soto	Tiro Lobo	Ag, Au	Ab	20.124	-98.211
Pachuca de Soto	Tiro Purísima	Ag, Au	Ab	20.126	-98.721
Pachuca de Soto	Tiro Esperanza	Ag, Au	Ab	20.131	-98.739
Tlanchinol	Chipoco	Mn	Prod	20.978	-98.716
Tlanchinol	Mina Tetzintla	Mn	Prod	20.973	-98.716
Xochicoatlán	Nonoalco	Mn	Prod	20.719	-98.696
Xochicoatlán	Cerro Prieto II	Mn	Ab	20.704	-98.697
Xochicoatlán	Malila	Mn	Prod	20.727	-98.719
Zacualtipán de Ángeles	Cerro Prieto	Mn	Ab	20.696	-98.692

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A1.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Zacualtipán de Ángeles	Mina Vieja	Fe, Mn	Ab	20.592	-98.635
Zimapán	La Cañada	Pb, Zn	Ab	20.741	-99.417
Zimapán	La Cruz	Pb, Zn	Ab	20.744	-99.431
Zimapán	Guanajuato	Pb, Zn	Ab	20.733	-99.432
Zimapán	Pamplona	Pb, Zn	Ab	20.734	-99.435
Zimapán	Cerro del Águila II	Pb, Zn	Ab	20.736	-99.437
Zimapán	Cerro del Águila	Pb, Zn	Ab	20.736	-99.441
Zimapán	La Virgen 1	Pb, Zn	Ab	20.746	-99.435
Zimapán	Santa Gorgonia	Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	20.772	-99.431
Zimapán	Poder de Dios	Ag, Pb, Zn	Ab	20.762	-99.431
Zimapán	Sta, Gorgania	Ag, Pb, Zn	Ab	20.766	-99.438
Zimapán	San Pascual	Ag, Pb, Zn	Ab	20.762	-99.443
Zimapán	M. Fátima	Ag, Pb, Zn	Ab	20.762	-99.453
Zimapán	El Carrizal (M. Animas)	Ag, Pb, Zn	Prod	20.794	-99.449
Zimapán	El Carrizal	Ag, Pb, Zn, Cu,	Prod	20.795	-99.445
Zimapán	Pino Alto del Zapote	Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	20.839	-99.336
Zimapán	M. del Zapote- Pino Alto	Ag, Pb, Zn	Ab	20.839	-99.343
Zimapán	San Miguel	Ag, Pb, Zn, Cu	Prod	20.815	-99.398
Zimapán	El Norte	Ag, Pb, Zn, Cu	Prod	20.823	-99.406
Zimapán	Vaquero	Ag, Pb, Zn	Ab	20.831	-99.435
Zimapán	La Paz	Ag, Pb, Zn	Ab	20.826	-99.442
Zimapán	Espíritu Santo	Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	20.834	-99.452
Zimapán	La Sierrita	Ba	Ab	20.901	-99.251
Zimapán	Cerro Colorado	Pb, Zn, Cu, Ag	Ab	20.871	-99.273
Zimapán	C. Colorado	Au, Ag	Ab	20.864	-99.261
Zimapán	El Cobrecito	Cu, Au	Ab	20.844	-99.254
Zimapán	Zaragoza	Cu, Au	Ab	20.841	-99.224
Zimapán	San José	Cu, Au	Ab	20.834	-99.221
Zimapán	Los Gallos	Cu, Au, Fe	Ab	20.829	-99.214

En la tabla se muestra la información de las 12 minas que se encuentran en producción y las 282 minas abandonadas que se localizan en el estado de Hidalgo. Ab: abandonada; Prod: producción (Elaboración propia con base en datos del SGM 2020).

**Tabla A2.** Minas abandonadas y en producción localizadas en el estado de Puebla.

ESTADO DE PUEBLA					
MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Ahuatlán	Patlanoaya	Cu, Mn	Ab	18.514	-98.298
Ahuatlán	La Suerte	Ag, Pb	Ab	18.511	-98.301

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A2.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Ahuatlán	Ahuatlán	Mn	Ab	18.549	-98.244
Caltepec	Los Membrillos	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	18.159	-97.515
Caltepec	La Zuelda	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	18.171	-97.506
Caltepec	El Sotol	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	18.169	-97.506
Chiautla	Veta Grande	Fe, Mn	Ab	18.392	-98.542
Chiautla	Nayarit	Ba	Ab	18.348	-98.512
Chiautla	Tranca Potrero	Ba	Ab	18.351	-98.523
Chiautla	Lomo Seco	Ba	Ab	18.347	-98.528
Chiautla	Lomas San Juan	Ba	Ab	18.343	-98.531
Chiautla	El Cárcamo	Ba	Ab	18.336	-98.533
Chignahuapan	SN	Au, AG	Ab	19.836	-97.998
Guadalupe Victoria	Las Piritas	Au, Ag, Cu	Ab	19.371	-97.403
Guadalupe Victoria	La Preciosa	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	19.367	-97.409
Guadalupe Victoria	La Ucha 2	Au, Ag, Zn, Cu	Ab	19.371	-97.414
Huehuetlán el Chico	Ayoxuxtla de Zapata	Ti	Ab	18.271	-98.763
Huehuetlán el Grande	La Magdalena	Ba	Ab	18.757	-98.114
Hueyapan	Lucero de la Mañana	Cu, Au	Ab	19.876	-97.406
Ixtacamaxtitlán	Tlalmotolo	Cu, Zn	Ab	19.557	-97.732
Ixtacamaxtitlán	Barrancas II	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	19.631	-97.735
Ixtacamaxtitlán	La Verdiosa I	Au, Ag, Cu, Zn	Ab	19.627	-97.701
Ixtacamaxtitlán	La Verdiosa	Au, Ag, Cu, Zn	Ab	19.628	-97.701
Ixtacamaxtitlán	Santo Niño	Au, Ag, Cu	Ab	19.624	-97.702
Ixtacamaxtitlán	LA California I	Au, Ag, Cu, Pb, Zn	Ab	19.626	-97.701
Ixtacamaxtitlán	La Gloria I	Au, Ag, Cu	Ab	19.622	-97.702
Ixtacamaxtitlán	Magistral	Au, Cu	Ab	19.626	-97.709
Ixtacamaxtitlán	El Toro	Ag, Cu, Zn	Ab	19.624	-97.708
Ixtacamaxtitlán	La Minilla	Au, Ag, Cu, Zn	Ab	19.627	-97.708
Ixtacamaxtitlán	Barrancas	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	19.631	-97.734
Ixtacamaxtitlán	Tateno	Zn	Ab	19.605	-97.731
Izúcar de Matamoros	Bramadero	Ag, Pb, Cu, Zn	Ab	18.513	-98.345
Izúcar de Matamoros	El Socorro	Au, Ag	Ab	18.461	-98.425
Izúcar de Matamoros	El Socorro	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	18.457	-98.423
Izúcar de Matamoros	El Aguacate	Au, Ag, Pb, Cu	Ab	18.454	-98.431
Izúcar de Matamoros	Tecoluitlle	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	18.461	-98.437
Izúcar de Matamoros	La Palma	Au, Ag, Pb	Ab	18.465	-98.441
Izúcar de Matamoros	Alcaparrosa	Cu	Ab	18.389	-98.428
Jolalpan	El Ciruelo	Fe, Mn	Ab	18.374	-98.825
Jolalpan	La Cabalgadura	Fe, Zn, Pb, Au	Ab	18.355	-98.819
Jolalpan	Cristian	Fe	Prod	18.309	-98.847

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A2.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Jolalpan	La Josefina	Fe, Mn	Ab	18.295	-98.851
Jolalpan	Cristian	Fe, Au, Cu, Mn	Prod	18.311	-98.851
Jolalpan	El Castillo 1	Fe, Mn	Prod	18.333	-98.881
Jolalpan	El Castillo 2	Fe, Au, Zn	Ab	18.342	-98.884
Jolalpan	Cerro Yacacomí 2	Fe, Mn, Au	Prod	18.323	-98.886
Jolalpan	La Leona	Au, Cu, Fe	Ab	18.308	-98.888
San Jerónimo Xayacatlán	El Carrizal 2	Ba, Zn	Prod	18.281	-97.933
Santiago Miahuatlán	La Morita	Pb, Zn, Ag	Ab	18.571	-97.375
Santiago Miahuatlán	El Chorrillo	Zn, Pb	Ab	18.563	-97.376
Tehuacán	Xoconostle	Zn	Ab	18.511	-97.359
Tehuacán	Santa Rosa 1	Ag, Zn	Ab	18.514	-97.374
Tehuacán	El Castillo	Ag, Zn, Pb	Ab	18.518	-97.372
Tehuacán	Santa Rosa 2	Ag, Pb, Zn	Ab	18.518	-97.369
Tehuacán	El Gavilán	Ag, Pb, Zn	Ab	18.521	-97.381
Tehuacán	El Águila Ploma	Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	18.524	-97.381
Tehuacán	Águila Ploma	Pb, Zn, Ag	Ab	18.526	-97.379
Tehuacán	Cerro Zomaltepec	Ag, Pb, Zn	Ab	18.529	-97.382
Tehuiztingo	El Cordoncillo	Cr, Ni, Mg	Ab	18.296	-98.331
Tehuiztingo	El Peinecillo	Cr, Ni, Mg	Ab	18.305	-98.334
Tehuiztingo	Paloma Blanca	Cr, Ni, Pb, Mg	Ab	18.308	-98.336
Tehuiztingo	Héctor	Mg, Cr	Ab	18.328	-98.342
Tehuiztingo	Teresita	Cr, Ni, MG	Ab	18.309	-98.329
Tehuiztingo	Cuchilla del Arado	Pb	Ab	18.366	-98.406
Teopantlán	La Rosa	Ba	Ab	18.714	-98.303
Teotlaco	Tlalucingo	Fe	Prod	18.397	-98.811
Teotlaco	Las Anonas	Fe	Ab	18.393	-98.812
Teotlaco	La Cima	Fe	Ab	18.381	-98.813
Teotlaco	La Joya	Fe	Ab	18.389	-98.803
Teotlaco	El Cristo	Au, Cu, Pb, Zn	Ab	18.388	-98.807
Tepeyahualco	Las Cocas	Au, Zn	Ab	19.359	-97.455
Tepeyahualco	Las Pozas	Ag, Pb, Zn, Au	Ab	19.384	-97.401
Tepeyahualco	La Aventura	AU, Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	19.381	-97.413
Tetela de Ocampo	Las Coloradas	Au, Ag	Ab	19.793	-97.823
Tetela de Ocampo	SN	Au, Ag	Ab	19.748	-97.859
Tetela de Ocampo	SN	Au, Ag	Ab	19.796	-97.846
Tetela de Ocampo	Convento	Au, Ag	Ab	19.789	-97.825
Tetela de Ocampo	Providencia	Au, Ag	Ab	19.788	-97.831
Tetela de Ocampo	Democracia	Au, Ag	Ab	19.784	-97.826

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A2.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Tetela de Ocampo	Cinco Señores	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	19.793	-97.823
Tetela de Ocampo	Espejeras	Ag, Mn	Ab	19.784	-97.809
Tetela de Ocampo	Malacate	Ag, Mn	Ab	19.784	-97.805
Tetela de Ocampo	Melba	Ag, Au	Ab	19.781	-97.806
Tetela de Ocampo	SN	Au, Ag	Ab	19.778	-97.803
Tetela de Ocampo	Peral	Au, Ag	Ab	19.779	-97.813
Teziutlán	El Cometa-La Aurora	Cu, Ag	Ab	19.876	-97.399
Teziutlán	El Cometa II	Cu, Zn	Ab	19.877	-97.402
Teziutlán	El Cometa	Cu, Zn, Pb, Ag	Ab	19.877	-97.396
Teziutlán	Santa Martha	Ag, Au, Zn	Ab	19.887	-97.396
Tlacuilotepec	La Colmena	Ba, Ag	Prod	20.344	-98.013
Tlatlauquitepec	Yoloctzin	Zn, Pb	Ab	19.973	-97.397
Tlatlauquitepec	San Moises I	Ag	Ab	19.931	-97.482
Tlatlauquitepec	La Guadalupana	Ag, Au, Cu, Zn, Pb	Ab	19.931	-97.471
Toltepec de Guerrero	Totaltepec	Fe	Prod	18.222	-97.837
Tulcingo	Mina Tulcingo	Au, Sb, Pb	Ab	18.057	-98.459
Tzicatlacoyan	La Martha	Ba	Prod	18.777	-98.078
Xochiltepec	Hormigas Blancas	Ba	Ab	18.693	-98.307
Zacatlán	SN	Ag	Ab	19.906	-97.905
Zacatlán	SN	Ag	Ab	19.901	-97.906
Zacatlán	SN	Au, Ag	Ab	19.911	-97.911
Zacatlán	La Planilla	Au, Ag	Ab	19.911	-97.918
Zacatlán	Potlaixco	Au, Ag	Ab	19.901	-97.936
Zapotitlán	San Antonio	Fe, Mn	Ab	18.227	-97.502
Zapotitlán	El Salvador	Ag, Pb, Zn	Ab	18.248	-97.524
Zapotitlán	EL Pizarro	Ag, Pb, Zn, Cu, Fe	Ab	18.247	-97.522
Zapotitlán	El Pizarro III	Ag, Zn, Pb, Fe	Ab	18.246	-97.515
Zapotitlán	Peña Negra	Ag, Fe, Mn	Ab	18.244	-97.518
Zapotitlán	La Luz	Ag, Pb, Zn	Ab	18.242	-97.514
Zapotitlán	Guadalupe	Ag, Pb, Zn	Ab	18.241	-97.507
Zapotitlán	Guadalupe	Ag, Pb, Zn	Ab	18.239	-97.511
Zapotitlán	La Providencia	Fe, Mn	Ab	18.231	-97.511
Zapotitlán	San Antonio	Fe, Mn	Ab	18.226	-97.504
Zautla	Asten	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	19.657	-97.704
Zautla	La Reserva	Au, Cu, Zn	Ab	19.663	-97.706
Zautla	Armando	Au, Ag, Cu, Zn	Ab	19.651	-97.706
Zautla	La Paz	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	19.646	-97.724
Zautla	Lincon	Au, Ag, Cu	Ab	19.637	-97.706
Zautla	La Gloria	Au	Ab	19.622	-97.693

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla 2.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Zautla	California	Cu, Ag, Au, Pb, Zn	Ab	19.624	-97.694
Zautla	Santa Elena IV	Au	Ab	19.627	-97.693
Zautla	Santo Niño	Au, Pb	Ab	19.626	-97.693
Zongozotla	SN	Au, Ag, Cu	Ab	19.981	-97.764

En la tabla se muestra la información de las 9 minas que se encuentran en producción y las 113 minas abandonadas que se localizan en el estado de Puebla. Ab: abandonada; Prod: producción (Elaboración propia con base en datos del SGM 2020).

**Tabla A3. Minas abandonadas y en producción localizadas en el Estado de México.**

ESTADO DE MÉXICO					
MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Almoleya de Alquisiras	La Fali	Ag, Au, Pb, Zn	Prod	18.722	-99.863
Amatepec	Dos Marías	Ag, Au, Pb	Ab	18.722	-100.181
Amatepec	Las Ardillas	Zn, Ag	Ab	18.693	-100.341
Amatepec	LA Esmeralda	Ag, Zn	Ab	18.653	-100.341
Amatepec	El Pinzan	Au, Ag, Zn	Ab	18.652	-100.491
El Oro	Soc. Presa del Salto	Ag	Ab	19.779	-100.021
El Oro	T. La Mesa	Ag	Ab	19.782	-100.031
El Oro	Soc. La Peña	Ag	Ab	19.785	-100.071
El Oro	T. Westphalia	Au, Ag	Ab	19.786	-100.091
El Oro	T. San Jorge	Au, Ag	Ab	19.804	-100.111
El Oro	T. Santa Rosa	Au, Ag	Ab	19.793	-100.101
El Oro	Soc. Rosalinda	Au, Ag	Ab	19.774	-100.121
El Oro	T. Del buen suceso	Au, Ag	Ab	19.769	-100.131
El Oro	T. de la Estrella	Au, Ag	Ab	19.815	-100.131
El Oro	El Consuelo	Au, Ag	Ab	19.794	-100.121
El Oro	T. Descubridora	Au, Ag	Ab	19.787	-100.121
El Oro	T. el Sirio	Au, Ag	Ab	19.786	-100.131
El Oro	T. Chihuahua	Au, Ag	Ab	19.792	-100.121
El Oro	T. Providencia	Au, Ag	Ab	19.794	-100.131
El Oro	T. Norte	Au, Ag	Ab	19.799	-100.131
El Oro	T. Chuparrosa	Au, Ag	Ab	19.806	-100.141
El Oro	T. Nolan	Au, Ag	Ab	19.809	-100.141
El Oro	T. San Patricio	Au, Ag	Ab	19.797	-100.141
Ixtapan de la Sal	Tlacoachaca	Ag, Pb, Zn	Ab	18.838	-99.649
Ixtapan del Oro	Tres Estrellas	Zn, Pb	Ab	19.305	-100.301
Ixtapan del Oro	Ernestina	Ag, Au	Ab	19.248	-100.251
Ixtapan del Oro	Ernestina	Au	Ab	19.242	-100.261

Ab: abandonada; Prod: producción.



Continuación de la tabla A3.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Ixtapan del Oro	San Pedro	Zn, Pb	Ab	19.251	-100.261
Ixtapan del Oro	Santa Francisca II	Ag, Au	Ab	19.248	-100.271
Luvianos	Ciprianes	Cu, Zn, Pb, Au, Ag	Ab	19.009	-100.401
Luvianos	Agua Colorada	Cu, Pb, Zn, Ag, Au	Ab	19.025	-100.431
Luvianos	San Nicolás	Au, Ag	Ab	18.879	-100.421
Otzoloapan	La Sidra	Ag, Au, Cu	Ab	19.117	-100.291
Otzoloapan	Cuatro Alegres	Ag, Au, Cu	Ab	19.123	-100.331
San José del Rincón	Palo Amarillo	Ag, Pb	Ab	19.651	-100.231
San José del Rincón	Soc. Santa Teresa	Au, Ag	Ab	19.783	-100.091
Sultepec	Laguna Seca	Au, Ag, Pb	Ab	18.649	-99.961
Sultepec	Laguna Seca	Au, Ag	Ab	18.652	-99.964
Sultepec	El Gambusino	Ag, Zn, Pb, Au	Ab	18.683	-99.941
Sultepec	El Gambusino II	Ag, Zn, Pb, Au	Ab	18.686	-99.944
Sultepec	Real de Belén	Au, Ag, Pb	Ab	18.783	-100.121
Sultepec	Pedro Lázaro	Au	Ab	18.862	-99.955
Sultepec	El Tecolote	Ag, Pb	Ab	18.851	-99.982
Sultepec	Tío Alejo	Zn	Ab	18.852	-99.984
Sultepec	Muñoz	Au, Ag, Pb	Ab	18.851	-99.987
Sultepec	El Pájaro	Au, Ag, Pb,	Ab	18.853	-99.993
Sultepec	El Malacate	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	18.858	-99.994
Sultepec	SN	Ag, Cu	Ab	18.856	-100.011
Sultepec	La Química	Ag, Pb	Ab	18.843	-99.991
Sultepec	La Zona	Au, Ag, Pb	Ab	18.839	-99.995
Tejupilco	La Calera	Cu	Ab	18.779	-100.401
Tejupilco	Monte de Dios	Ag, Pb	Ab	18.813	-100.221
Tejupilco	San Mateo	Ag, Pb, Cu	Ab	18.828	-100.231
Tejupilco	Pantoja	Ag, Pb	Ab	18.877	-100.041
Tejupilco	Santa Rosa	Ag, Pb, Zn	Ab	18.977	-100.231
Tejupilco	El Salitrillo	Ag, Pb, Zn	Prod	18.993	-100.161
Temascaltepec	Tizapa II	Ag, Au, Pb, Zn	Prod	19.038	-100.231
Temascaltepec	Las Minillas	Ag, Au	Ab	19.031	-100.221
Temascaltepec	El Peñón	Ag, Au	Ab	19.018	-100.111
Temascaltepec	Los Reyes	Ag, Cu, Zn	Prod	19.046	-100.091
Temascaltepec	La Concepción	Ag, Au, Cu, Pb, Zn	Prod	19.051	-100.081
Tlatlaya	La Fama	Ag, Au, Pb	Ab	18.636	-100.201
Tlatlaya	Los Ocotes	Cu, Au, Ag	Ab	18.633	-100.201
Tlatlaya	San Enrique	Ag, Au, Mn	Ab	18.633	-100.191
Tlatlaya	La Bella Mañana	Ag, Au	Ab	18.627	-100.191

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A3.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Tlatlaya	La Esperanza	Ag, Au	Ab	18.631	-100.201
Tlatlaya	Tierra Colorada	Ag, Au	Ab	18.609	-100.221
Tlatlaya	El Salto	Ag, Au, Pb	Ab	18.603	-100.221
Tlatlaya	LA Cruz del Sur	Hg	Ab	18.553	-100.201
Tlatlaya	Zicatecoyan	Hg, Ag	Ab	18.554	-100.211
Tlatlaya	Cruz del sur	Hg, Ag	Ab	18.544	-100.201
Tlatlaya	Cerro de la Cruz	Ag, Au	Prod	18.601	-100.231
Tlatlaya	El Encinal	Ag, Au	Ab	18.585	-100.241
Tlatlaya	Rosalía	Ag, Au	Ab	18.599	-100.241
Tlatlaya	La Argentina	Ag, Au	Ab	18.596	-100.241
Tlatlaya	El Venado	Ag, Au	Ab	18.606	-100.241
Tlatlaya	El Chiverio	Ag, Au	Ab	18.601	-100.241
Tlatlaya	La Sierrita	Au, Ag	Ab	18.597	-100.251
Tlatlaya	La Preciosa	Ag, Au	Ab	18.601	-100.261
Tlatlaya	El Limón	Hg, Ag	Ab	18.607	-100.261
Tlatlaya	Las Parotas	Hg, Ag	Ab	18.613	-100.261
Tlatlaya	San Pedro	Ag, Au, Mn	Ab	18.612	-100.291
Tlatlaya	T. Cerro de la Mina	Ag, Au	Ab	18.612	-100.321
Tlatlaya	Tierra Blanca	Mg	Ab	18.617	-100.321
Tlatlaya	Gavilán	Hg, Ag	Ab	18.512	-100.211
Zacazonapan	Tizapa	Zn, Pb, Ag, Cu, Cd	Prod	19.039	-100.241
Zacualpan	El Rey	Ag, Pb, Zn	Ab	18.711	-99.758
Zacualpan	San Antonio	Ag, Au	Ab	18.703	-99.758
Zacualpan	La Condesa	Au, Ag	Ab	18.725	-99.767
Zacualpan	María de Jesús	Ag, Pb	Ab	18.721	-99.771
Zacualpan	Mina Guadalupe	Ag, Pb	Prod	18.719	-99.791
Zacualpan	San Juan	Ag, Pb	Ab	18.701	-99.831
Zacualpan	Cabroncillos	Ag, Pb, Zn, Au	Ab	18.691	-99.827
Zacualpan	Noche Buena	Ag, Pb	Ab	18.683	-99.831
Zacualpan	B.Teocalcingo	Cu, Au, Ag	Ab	18.668	-99.856
Zacualpan	El Quemado	Ag, Pb, Cu	Ab	18.637	-99.861
Zacualpan	La Victoria	Sn, Cu, Ag	Ab	18.657	-99.802
Zacualpan	Escorpión	Au, Ag	Ab	18.644	-99.789
Zacualpan	Sara Mamatla	Ag, Pb, Zn	Ab	18.637	-99.794
Zacualpan	Sara Mamatla II	Ag, Pb, Zn	Ab	18.646	-99.804
Zacualpan	La Reyna	Ag, Pb	Ab	18.651	-99.811
Zacualpan	La Reyna II	Ag, Pb	Ab	18.645	-99.811
Zacualpan	Santo Niño	Ag	Ab	18.646	-99.817

Ab: abandonada; Prod: producción.

Continuación de la tabla A3.

MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Zacualpan	La Americce	Au, Ag, Pb	Ab	18.636	-99.819
Zacualpan	La América II	Au, Ag, Pb	Ab	18.636	-99.825

En la tabla se muestra la información de las 8 minas que se encuentran en producción y las 97 minas abandonadas que se localizan en el Estado de México. Ab: abandonada; Prod: producción (Elaboración propia con base en datos del SGM 2020).

**Tabla A4.** Minas abandonadas en el estado de Morelos.

ESTADO DE MORELOS					
MUNICIPIO	NOMBRE MINA	EXTRACCIÓN	ESTATUS	LAT	LONG
Ayala	Tlaica	Au, Ag	Ab	18.713	-98.886
Miacatlán	Santa Rosa	Au, Ag, Cu	Ab	18.865	-99.366
Tepalcingo	San Miguel	Mn	Ab	18.545	-98.848
Tlaquiltenango	Las Cuevas	Zn	Ab	18.446	-99.099
Tlaquiltenango	San Esteban	Ag, Pb, Zn	Ab	18.439	-99.052
Tlaquiltenango	El Seco	Ag, Pb, Zn	Ab	18.441	-99.049
Tlaquiltenango	Santiago	Ag, Pb, Zn	Ab	18.442	-99.032
Tlaquiltenango	San Pedro	Ag, Zn	Ab	18.441	-99.041
Tlaquiltenango	Pájaro Verde	Ag	Ab	18.442	-99.045
Tlaquiltenango	Tlanchichilpa	Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	18.426	-99.035
Tlaquiltenango	La Peregrina	Au, Ag, Pb, Zn	Ab	18.429	-99.032
Tlaquiltenango	San Francisco	Ag	Ab	18.429	-99.026
Tlaquiltenango	Rancho Viejo 1	Ag	Ab	18.421	-99.013
Tlaquiltenango	Tiro la Plomosa	Ag, Pb, Zn	Ab	18.428	-99.011
Tlaquiltenango	San Francisco	Ag, Pb, Zn, Cu	Ab	18.429	-99.015
Tlaquiltenango	El Clarin	Ag, Pb, Zn	Ab	18.451	-99.015
Tlaquiltenango	La Pinta	Ag, Pb, Zn	Ab	18.462	-99.016

En la tabla se muestra la información de las 17 minas abandonadas que se localizan en el estado de Morelos. Actualmente, Morelos no cuenta con minas en estado de operación de producción. Ab: abandonada; Prod: producción (Elaboración propia con base en datos del SGM 2020).