

Informe final* del Proyecto GS002
Elaboración de un mapa regional de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) de México

Responsable: M en C. Margarita Eugenia Gutiérrez Ruiz
Institución: Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Geografía
Dirección: Circuito Exterior Ciudad Universitaria, Copilco Universidad, Coyoacán, México, DF, 04510 , México
Correo electrónico: ginny@servidor.unam.mx
Teléfono/Fax: Tel: 5622 4336 Fax: 5622 4352
Fecha de inicio: Enero 31, 2008
Fecha de término: Septiembre 22, 2009
Principales resultados: Base de datos cartográfica, Informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Gutiérrez-Ruiz, M. E., Ceniceros-Gómez A., Luna-González, L., Morales-Manilla, L. M., Romero, F., Martínez-Jardines, L. G., Rosas, H. y J. López Blanco. (2009). Elaboración de un mapa regional de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. **Informe final. SNIB-CONABIO proyecto No. GS002.** México, D.F.

Resumen:

El suelo es un hábitat muy valioso de la biosfera en donde ocurren procesos dinámicos que contribuyen a la sustentabilidad de la Tierra; sin embargo, es uno de los habitats menos estudiados, sobre todo si se compara el número de estudios sobre agua y el aire. Las bases de datos sobre la biodiversidad de los suelos y sobre sus características en las que se desarrolla son muy escasas; inclusive faltan datos básicos, como las concentraciones de elementos inorgánicos, muchos de los cuales se consideran potencialmente tóxicos (EPT). Recientemente se publicó la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece los criterios para determinar las Concentraciones de Remediación de Suelos Contaminados por EPT. Esta norma mexicana indica que para evaluar la contaminación antropogénica del suelo y establecer las concentraciones de remediación, se requiere conocer los valores de fondo y realizar evaluaciones de riesgo a la salud o al ambiente. Sin embargo, en México no hay información disponible sobre las concentraciones de estos elementos en los suelos, lo que ha llevado a utilizar datos de otros países con condiciones climáticas y geológicas diferentes. Este proyecto tiene como objetivo elaborar un mapa de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT), a nivel regional, el cual se enriquecerá en etapas sucesivas. Se muestrearán y analizarán 300 muestras de suelo para cuantificar EPT y se aplicarán los criterios y métodos desarrollados en un proyecto preliminar denominado " Métodos y criterios para la evaluación de suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos" (Semarnat-Conacyt 0010). Se seleccionarán sitios en que la geoquímica regional indique la presencia de EPT y que no estuviera afectado por contaminantes antropogénicos a través de fenómenos de erosión eólica o hídrica. Se analizarán los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, %Corgánico, textura y EPT totales en todas las muestras. Complementariamente se determinaran los valores solubles (fracción geodisponible) en muestras seleccionadas. Las principales técnicas que se aplicarán son ICP-AES, AA-generator de hidruros y UV-visible.. El producto final será un mapa regional de valores de fondo de los principales distritos mineros de México, que representarán las concentraciones más altas límites de suelos no impactados por actividades antropogénicas del país. En esta etapa el mapa contendrá los resultados del análisis de 600 muestras.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



ELABORACIÓN DE UN MAPA REGIONAL DE VALORES
DE FONDO DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS
(EPT) EN SUELOS DE MÉXICO.
CONABIO FB1283/GS002/08
INFORME FINAL

ELABORADO POR



GRUPO DE BIOGEOQUÍMICA AMBIENTAL
LABORATORIO DE ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AMBIENTE

MAYO DE 2009

PARTICIPANTES

M. EN C. MARGARITA GUTIÉRREZ RUIZ

M. EN G. LAURA LUNA

DR. FRANCISCO MARTIN ROMERO

M. EN G. LUIS MIGUEL MORALES MANILLA

DR. AGUEDA CENICEROS GÓMEZ

DR. JORGE LÓPEZ BLANCO

M. EN C. LUIS GERARDO MARTÍNEZ JARDINES

ING. HERIBERTO ROSAS GÓMEZ

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	5
1. ANTECEDENTES	8
2. OBJETIVO GENERAL	13
2.1 Objetivos particulares	13
3. METODOLOGÍA.	14
3.1 Muestreo	14
3.2. Base documental, métodos y técnicas	14
3.3 Análisis físicos y químicos de los suelos	18
3.4. Elaboración de los mapas digitales.....	19
3.4.1 Mapa de puntos de muestreo	21
3.4.2 Mapa de valores de fondo	24
3.4.3 Mapa de datos geoquímicos	26
4. RESULTADOS.....	29
4.1 Muestreo	29
4.1.1 Estado de Chihuahua.....	29
4.1.2 Estado de Coahuila (zonas Sur y Centro)	32
4.1.3 Estado de Durango	34
4.1.4 Estado de Guerrero	37
4.1.5 Estado de Jalisco	40

4.1.6 Estado de Michoacán	42
4.1.7 Estado de Nayarit	44
4.1.8 Estado de Nuevo León	46
4.1.9 Estado de Oaxaca.....	48
4.1.10 Estado de Sinaloa.....	51
4.1.11 Estado de Sonora.....	53
4.2 Análisis de datos de valores de fondo en suelos de regiones mineras de México	56
4.3 Mapa de Valores de Fondo de Elementos Potencialmente Tóxicos	61
4.4 Análisis y discusión de resultados de los datos de valores de fondo de México ...	65
4.4.1 Comparación de los valores de fondo (concentraciones totales) con los límites de referencia establecidos en la NOM-147	65
4.4.2 Análisis de datos de sedimentos de cartas geológicas del Servicio Geológico Mexicano.....	69
4.4.3 Comparación de la fracción geodisponible con los límites de referencia de la NOM-147.....	72
4.4.4 Concordancia de los valores de fondo (concentraciones totales) obtenidos con valores de fondo internacionales.....	75
4.4.5 Correlaciones de los valores de fondo entre EPT-EPT	79
5. CONCLUSIONES.....	80
6. REFERENCIAS	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Límites de detección ICP-AES	19
Cuadro 2. Regiones mineras del estado de Chihuahua.....	31
Cuadro 3. Regiones mineras del Estado de Coahuila.....	33
Cuadro 4. Regiones mineras del Estado de Durango.....	36
Cuadro 5. Regiones mineras del estado de Guerrero.....	38
Cuadro 6. Regiones mineras del estado de Jalisco.....	41
Cuadro 7. Regiones mineras del Estado de Michoacán	42
Cuadro 8. Descripción de las regiones mineras del estado de Nayarit.....	44
Cuadro 9. Descripción de las regiones mineras del estado de Oaxaca.....	50
Cuadro 10. Descripción de las regiones mineras del estado de Sinaloa.....	51
Cuadro 11. Descripción de las regiones mineras del estado de Sonora	53
Cuadro 12. Estados analizados y distribución de muestras	55
Cuadro 13. Medidas de tendencia central (n=297) de los parámetros fisicoquímicos generales.....	56
Cuadro 14 Medidas de tendencia central de las concentraciones totales (n=297) ..	57
Cuadro 15. Medidas de tendencia central de las concentraciones solubles (n=297)	58
Cuadro 16. Muestras recolectadas y analizadas	59
Cuadro 17. Medidas de tendencia central de los parámetros físicos y químicas de carácter general (n=606).....	60

Cuadro 18. Medidas de tendencia central de las concentraciones totales (n=606)	60
Cuadro 19. Comparación de valores de fondo con los valores referenciados en la NOM-147.....	66
Cuadro 20. Regiones que rebasan los valores referenciados en la NOM-147.....	68
Cuadro 21. Cartas geológicas 1:250 00	70
Cuadro 22. Valores de Fondo y Concentraciones en Sedimentos reportadas por SGM	71
Cuadro 23. Valores de concentraciones solubles.....	72
Cuadro 24. Comparación de datos de concentraciones solubles para valores de fondo con los referenciados NOM-147.....	73
Cuadro 25. Comparación Valores de Fondo Internacionales.....	76
Cuadro 26. Valores máximos de valores de fondo en suelo.....	78
Cuadro 27. Contenido de arsénico en suelos no contaminados de varios países ¹	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de sitios muestreados para valores de fondo	17
Figura 2. Localización Regiones mineras de Chihuahua.....	30
Figura 3. Localización de las regiones mineras del Estado de Coahuila	34
Figura 4. Localización de las regiones mineras del Estado de Durango	35
Figura 5. Localización de las regiones mineras del Estado de Guerrero.....	39
Figura 6. Localización de las regiones mineras del Estado de Jalisco	41
Figura7. Localización de las regiones mineras del Estado de Michoacán.....	43
Figura 8. Localización de las regiones mineras del Estado de Nayarit	45
Figura 9. Localización de las regiones mineras del Estado de Nuevo León	47
Figura 10. Localización de las regiones mineras del Estado de Oaxaca	49
Figura 11. Localización de las regiones mineras del estado de Sinaloa.	52
Figura 12. Localización de las regiones mineras del estado de Sonora.....	54
Figura 13. Acercamiento del mapa de valores de fondo y datos geoquímicos (arsénico), zona centro de San Luis Potosí.....	63
Figura 14. Acercamiento del mapa de valores de fondo y datos geoquímicos (plomo), zona centro de San Luis Potosí.....	64
Figura 15. Distribución de valores de fondo de a) arsénico y b) plomo comparados con el valor de la NOM-147 para suelos de uso industrial	67
Figura 16. Localización cartas geológicas 1: 250 000	69
Figura 17. Comparación de valores de Fondo para As y Pb con datos internacionales	77

RESUMEN

El suelo es un *habitat* muy valioso de la biosfera pues en él ocurren procesos físicos, químicos y biológicos esenciales para la vida. La actividad antropogénica degrada la calidad del suelo de muy diversas formas, una de ellas es el depósito no controlado de residuos que contienen elementos potencialmente tóxicos (EPT). Sin embargo, estos elementos también están presentes en el suelo en forma natural, especialmente en zonas ricas en minerales, por lo que es esencial determinar las concentraciones naturales que se conocen como valores de fondo, las cuales generalmente no representan riesgo para el ambiente y población, pues están formando compuestos químicos muy insolubles.

En marzo del 2007 se publicó la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece los criterios para determinar las "Concentraciones de remediación de suelos contaminados por EPT". En esta norma mexicana una de las opciones para establecer las concentraciones de remediación de suelos contaminados con metales y metaloides, la constituyen los valores totales de fondo, además de que también es un dato necesario para aplicar correctamente las otras alternativas que ofrece esta norma, que son las evaluaciones de riesgo a la salud o a la biota.

Sin embargo, en México prácticamente no se cuenta con información disponible sobre las concentraciones de fondo de estos elementos normados en los suelos, lo que ha llevado a utilizar datos de otros países con condiciones geoquímicas y climáticas diferentes.

Para subsanar al menos en parte, la falta de información al respecto, se desarrolló este proyecto cuyo objetivo fue el de elaborar un mapa de valores de fondo en regiones ricas en minerales. El proyecto se planeó en etapas sucesivas con el fin de enriquecer la base de datos con el fin de lograr en el futuro contar con un mapa a nivel nacional.

Actualmente ya se han llevado a cabo las dos primeras etapas, la primera de las cuales consistió en un estudio denominado "Métodos y criterios para la evaluación de suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos" que tuvo el apoyo del programa Semarnat-Conacyt (C001-0010), con el cual se adquirió el equipo analítico (ICP-óptico), y se establecieron el concepto de valor de fondo para el proyecto, se desarrollaron los métodos para el muestreo y análisis de EPT totales y solubles en suelos, y se muestrearon y evaluaron suelos no impactados por actividades antropogénicas de 309 sitios de regiones mineras de México (Norte, Noroeste y Centro).

La segunda etapa denominada Elaboración de un mapa regional de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) de México (Conabio FB1283/GS002/08) recibió el apoyo de Semarnat a través de Conabio. En este proyecto se muestrearon y analizaron elementos potencialmente tóxicos (EPT) en suelos "tipo" no impactados por actividades antropogénicas en 297 sitios

Los sitios se seleccionaron por ser ricos naturalmente en elementos potencialmente tóxicos (EPT) y estar libres de influencia antropogénica. En todas las muestras se analizaron pH, conductividad eléctrica, % $C_{orgánico}$,

textura y EPT totales (Ag, As, Al, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V y Zn). En muestras seleccionadas se determinó la fracción soluble.

El producto principal es un mapa de valores de fondo en que se representan las concentraciones de Ag, As, Ba, Be, Cd, Cr, Ni, Cr, Se en 606 sitios. Con el total de resultados se elaboró un mapa digital (base de datos). Sin embargo, de acuerdo a la superficie de México y la densidad de puntos de los mapas de otros países, al menos se requieren 3000 muestras para elaborar un mapa nacional, por lo que se requiere de un esfuerzo continuo para enriquecer el actual producto.

Los valores obtenidos de las concentraciones totales y fracción geodisponible, generados durante la investigación se compararon con los datos genéricos que se reportan en la NOM-147 SEMARNAT/SSA1-2004 y en bases de datos internacionales. Los resultados indicaron que los valores medios son similares a los reportados excepto en sitios muy ricos en minerales en donde las concentraciones de ciertos elementos como arsénico, plomo y vanadio son mayores que las que se listan en la norma 147 como límites genéricos para la remediación. Este dato refuerza la necesidad de contar con mayor información en todo el país para poder discriminar sitios contaminados de los naturalmente ricos en EPT. Asimismo se comprobó que la concentración geodisponible (soluble) en sitios no afectados por actividades antropogénicas siempre es muy bajo, no importando que tan alta es la concentración total, por lo que conforma un dato que permite distinguir sitios contaminados en regiones ricas naturalmente en EPT.

Adicionalmente se presentan los datos geoquímicos en sedimentos de las regiones muestreadas que se tomaron de la base de datos del Servicio Geológico Mexicano, los cuales resultaron en general, más altos que en los suelos.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una extraordinaria diversidad biológica y como en otras partes del mundo, se encuentra amenazada por el crecimiento de la población humana y los sistemas de producción de satisfactores. Conabio (1998) señala que "la presión sobre los recursos naturales aumenta día con día y el efecto sobre los ecosistemas se manifiesta notablemente en la pérdida de especies y en la desaparición, fragmentación, y degradación de los hábitats, paisajes y ecosistemas".

El suelo conforma un hábitat para numerosos organismos y microorganismos, además de ser una reserva genética. Constituye la base de la vida en los sistemas ecológicos terrestres junto con el agua, el aire y la luz, pues cumple con funciones tan importantes como la purificación y retención del agua, y el aporte de nutrimentos. En los últimos años la velocidad de degradación de los suelos por erosión, salinización y contaminación ha aumentado en tal magnitud que es muy importante tomar medidas drásticas para conservarlos. Además, un suelo contaminado representa bajo condiciones extremas, una fuente potencial de riesgo para los cuerpos de agua y aire, pues es el sistema que controla el transporte de sustancias a la atmósfera y la hidrosfera (Kabata-Pendias y Pendias, 1989).

Los elementos potencialmente tóxicos (EPT) que generalmente se conocen como metales pesados son contaminantes persistentes y, por lo tanto, se acumulan en el suelo. La tendencia tradicional para la remediación de

suelos afectados con este tipo de sustancias, especialmente EPT, ha sido su retiro y confinamiento, pero es un manejo que causa un alto impacto.

Con el fin de proteger al suelo y recuperar los sitios contaminados, en marzo del 2007 se publicó la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece los criterios para determinar las "Concentraciones de remediación de suelos contaminados por EPT". En esta norma mexicana una de las opciones para establecer las concentraciones de remediación de suelos contaminados con metales y metaloides, son los valores totales de fondo, que también son datos necesarios para aplicar correctamente las otras alternativas que ofrece esta norma, que es el de calcular los valores con base en evaluaciones de riesgo al ambiente, enfocándose a la salud humana o a la del ambiente cuando no hay población expuesta.

Sin embargo, en México prácticamente no se cuenta con información disponible sobre las concentraciones de fondo de estos elementos normados en los suelos, lo que ha llevado a utilizar datos de otros países con condiciones geoquímicas y climáticas diferentes.

Con el fin de cubrir esta deficiencia, se decidió realizar un proyecto en etapas cuyo objetivo es el de elaborar un mapa base de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos en suelos no afectados por actividades antropogénicas de los principales distritos mineros. Este estudio se llevó a cabo en dos etapas, la primera apoyada por el fondo Semarnat-Conacyt (C001.-010) y la segunda por Semarnat a través de Conabio.

Además, como las bases de datos contienen únicamente concentraciones totales y no reportan valores solubles en suelos (fracción geodisponible), lo cual si incluye la NOM-147, se incluyó en el proyecto una meta para medir esta fracción en muestras seleccionadas.

Los integrantes del grupo de investigación pertenecen a tres dependencias de la UNAM: Instituto de Geografía, Instituto de Geología y Centro de Geografía Ambiental; además se contó con la asesoría de especialistas externos, por lo que en su conjunto representan diversas áreas del conocimiento: biogeoquímica ambiental, química analítica, sistemas de información geográfica, geografía física y estadística.

1. ANTECEDENTES

En el suelo coexisten sustancias sólidas, líquidas y gaseosas, de naturaleza orgánica e inorgánica, y organismos vivos, formando un micromundo que cumple entre otras las funciones la de purificar el agua, aportar nutrimentos, protección del subsuelo, retención de contaminantes y control del clima. Es el principal reservorio de carbono en forma de materia orgánica. Los microorganismos, hongos e invertebrados son responsables de transformar los compuestos de carbono y nitrógeno a través de varios procesos de descomposición a compuestos disponibles para el crecimiento de las plantas.

No obstante, la importancia de la fracción orgánica, la fase que domina en el suelo es la inorgánica. La concentración de los elementos depende de la composición de la roca madre y los que se encuentran en mayores concentraciones son silicio, aluminio, hierro, sodio, potasio, calcio, y magnesio; y en menores cantidades ≤ 100 mg/kg hay una gran variedad de elementos que se clasifican en:

- micronutrimentos que son elementos vitales para la vida en bajas concentraciones como es el caso del cobre, zinc, hierro, manganeso, molibdeno, cromo, cobalto y selenio,
- elementos benéficos cuya presencia ayuda a los organismos vivos pero su ausencia no parece tener efectos

- elementos potencialmente tóxicos sin función conocida en los organismos vivos, como es el caso del plomo, cadmio, antimonio, bismuto, etc.

Es muy importante, considerar que todos los elementos vestigiales, incluyendo a los micronutrientes, cuando se supera cierta dosis, son tóxicos (Manahan, 1990; Baldwin et al., 1999; Allan, 1997).

En general estos elementos se retienen en la matriz sólida (reversible o irreversiblemente) evitando su transporte. Sin embargo, la capacidad de retención tiene un límite, la cual varía con la composición específica de cada suelo y las condiciones ambientales de su entorno. Bajo ciertas condiciones, los EPT presentes en el suelo pueden ser transportados por agua y aire; y dependiendo de la vulnerabilidad del entorno pueden representar un riesgo para la biota y la población humana.

La concentración natural de EPT en el suelo depende de la composición de la roca de la cual deriva y de las condiciones ambientales a las que estuvo sujeto (Kabata-Pendias y Pendias, 1989; Aubert y Pinta, 1977; Lindsay, 1979 y Bloomfield en Greenland, 1981). Los principales fenómenos relacionados con la composición de los suelos y su presencia natural en cuerpos de agua, son: riqueza mineral, clima, vulcanismo y/o hidrotermalismo. Por ejemplo, cuando un suelo deriva de rocas que contienen As y Pb, puede contener hasta 626 mg de As/kg (Yan-Chu, 1994; Ruby et al., 1999) y 700 mg de Pb/kg (Lindsay, 1979; Ruby et al., 1999), concentraciones mucho más altas que las medias reportadas a nivel mundial.

En consecuencia, en un país como es México, con una geología tan diversa y considerando que el clima depende de la altura, por lo que varía drásticamente en relativamente cortas distancias, la composición de los suelos es muy variable.

Como ya se comentó en la introducción, los valores naturales (de fondo) de la fracción total de EPT en suelos están siendo alterados por diversas actividades humanas, desde la disposición de basura municipal y lodos de plantas de tratamiento, riego con aguas residuales o aplicación de plaguicidas, hasta la producción del vidrio, explotación del petróleo, actividad de las industrias petroquímica, fabricación de pinturas, tenerías, etc.; y las actividades de extracción, beneficio, fundición y refinación de metales, entre otras. Todas estas operaciones están contribuyendo en forma importante al aumento de EPT totales en áreas de suelos expuestos (Siebe, 1994 b; Gutiérrez-Ruiz, 1982; Gutiérrez et al., 1995; y CFE, 1988).

Sin embargo, evaluar un suelo contaminado y su remediación no es tan sencillo, ya que, en general, los iones metálicos son removidos rápidamente de la solución, mediante diferentes mecanismos como son la adsorción física, quimisorción, coprecipitación, absorción y formación de sólidos (precipitación). Por lo tanto, la determinación de la concentración total no es suficiente y se requiere de determinar la fracción geodisponible.

La fracción geodisponible en el suelo constituye un excelente indicador para evaluar el riesgo que representan para el ambiente; la presencia de EPT, ya que representa la concentración que se puede liberar bajo las condiciones ambientales y, en consecuencia, transportarse y convertirse en un potencial

contaminante de cuerpos de aguas, algunos de los cuales pueden constituir fuentes de abastecimiento para la población; además, es la fracción principal que pueden absorber la edafobiota.

Como el contenido de EPT en la fracción soluble en suelos no contaminados es muy bajo (Sadiq, 1997) y en el equilibrio es independiente de la concentración total de estos elementos (Lindsay, 1979), valores muy altos de geodisponibilidad siempre están relacionados con un evento de contaminación. Esta es la razón por la que la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004¹, publicada en marzo de 2007, la cual establece los “Criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio”; incluyó la aplicación de los valores de fondo y la fracción geodisponible (soluble).

Este instrumento legal señala que:

- el desarrollo de actividades económicas de manera no sustentable, así como la escasez en el pasado de disposiciones jurídicas ambientales para el cuidado de los suelos, ha llevado consigo al deterioro de los recursos naturales no renovables del país;
- las personas responsables de actividades relacionadas con la generación y manejo de materiales y residuos peligrosos que hayan contaminado suelos, están obligadas a llevar a cabo las acciones de remediación;

¹ Se participó en el grupo de trabajo, y se logró que la norma considerara aspectos importantes de la química de EPT en suelos.

- la dispersión atmosférica y la disposición inadecuada de residuos, entre otros, han generado la contaminación de suelos con diversas sustancias que contienen elementos potencialmente tóxicos (EPT)
- la biodisponibilidad de los EPT y su capacidad de bioacumulación pueden generar riesgos a la salud y al ambiente.

En México, hasta la publicación de norma antes citada, se aplicaban criterios internos tomados de la bibliografía mundial. Estos valores genéricos son preventivos y su uso como límites de remediación, práctica que fue común en México y otros países, no fue adecuada. Por ejemplo, como son muy conservadores, ya que su objetivo es preventivo y busca proteger la salud humana bajo cualquier circunstancia, en muchas ocasiones, resultan menores a los valores naturales de los suelos de zonas mineras de México. El límite establecido en los criterios genéricos para el As era de 20 mg/kg, mientras que el intervalo de valores de fondo naturales reportados para México de As es de 2 a 55 mg/kg (Yan-Chu, 1994; IGg-UNAM, 2001).

2. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un mapa base de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos en suelos no afectados por actividades antropogénicas de los principales distritos mineros.

2.1 Objetivos particulares

- Identificar a las regiones mineras prioritarias para el estudio, con base en los resultados obtenidos del proyecto "Métodos y criterios para la evaluación de suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos (Semarnat-Conacyt C0010-2002)" y los datos geoquímicos reportados por el Servicio Geológico Mexicano en sedimentos.
- Elaborar la cartografía con los resultados obtenidos y determinar por prioridad cuales son las siguientes regiones de México que deben considerarse para alimentar la base de datos y llegar a contar con un mapa nacional.
- Contrastar los valores de fondo de México con los informados a nivel internacional y los referenciados en la NOM-147.

3. METODOLOGÍA.

3.1 Muestreo

Se seleccionaron, a juicio de experto, sitios en las diferentes regiones mineras en las cuales por la presencia de yacimientos minerales, la factibilidad de que los suelos contuvieran altas concentraciones de los EPT era probable. Se buscó que no hubiera población y que por sus características geográficas, no estuvieran expuestos a emisiones gaseosas, aguas residuales y arrastres de materiales relacionados con actividades antropogénicas.

En la primera etapa de este proyecto se determinó que las concentraciones de fondo solubles o geodisponibles son muy bajas, tal y como la bibliografía reporta, por lo que para poder evaluar esta fracción se buscaron sitios cuyas características aportaran evidencias de que las concentraciones de EPT en los suelos eran altas, y las concentraciones solubles tendrían mayor oportunidad de ser cuantificables.

3.2. Base documental, métodos y técnicas

Para la selección de los sitios con alta riqueza geoquímica se utilizó la información de los panoramas mineros de los estados que se encuentra publicada en la página electrónica del Servicio Geológico Mexicano

www.coremisgm.gob.mx. Se eligieron las zonas que fueran sitios lejanos a los anteriormente muestreados (primera etapa) y que la topografía no permitiera o redujera al mínimo posible la influencia de actividad antropogénica.

El manejo de las muestras siguió los lineamientos señalados en la norma NMX-AA-132-SCFi-2006-“Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra”. Se colectaron muestras simples, el número de muestras por sitio fue de 25 y la profundidad de 0 a 5 cm a partir de la superficie. La distribución de los sitios de muestreo fue radial (radios de 15 km), tomando como centro el sitio donde se identificaron los afloramientos de la mineralización que contienen EPT. La orientación de los radios, sobre los que se ubicaron los sitios de muestreo, se determinó por las 8 direcciones Cardinales (N, NE, E, SE, S, SO, O y NO). Sobre estos radios se ubicaron los sitios de muestreo y la distancia entre ellos fue de aproximadamente 5.0 km.

En este proyecto se muestrearon 12 sitios mineros que se listan a continuación:

- Chihuahua (Región minera “Casas grandes”)
- Coahuila zona Sur(Región minera “General Cepeda”)
- Coahuila zona Centro (Región minera “La Purísima-La Gavia”)
- Durango (Región minera “Parrilla”)
- Guerrero (Región minera “Mezcala”)

- Jalisco (Región minera "Talpa de Allende")
- Michoacán (Región minera "La Huacana")
- Nayarit (Región minera "Rosa Morada y Ruiz")
- Nuevo León (Región minera "Mamulique")
- Oaxaca (Región minera "La Natividad")
- Sinaloa (Región minera "Mazatlán")
- Sonora (Región minera "La Colorada")

En la Figura 1, se ubican los sitios de toma de muestra del proyecto, así como los que corresponden a los muestreos del periodo de 2006 a 2007 (Proyecto Semarnat-Conacyt C01-0010).

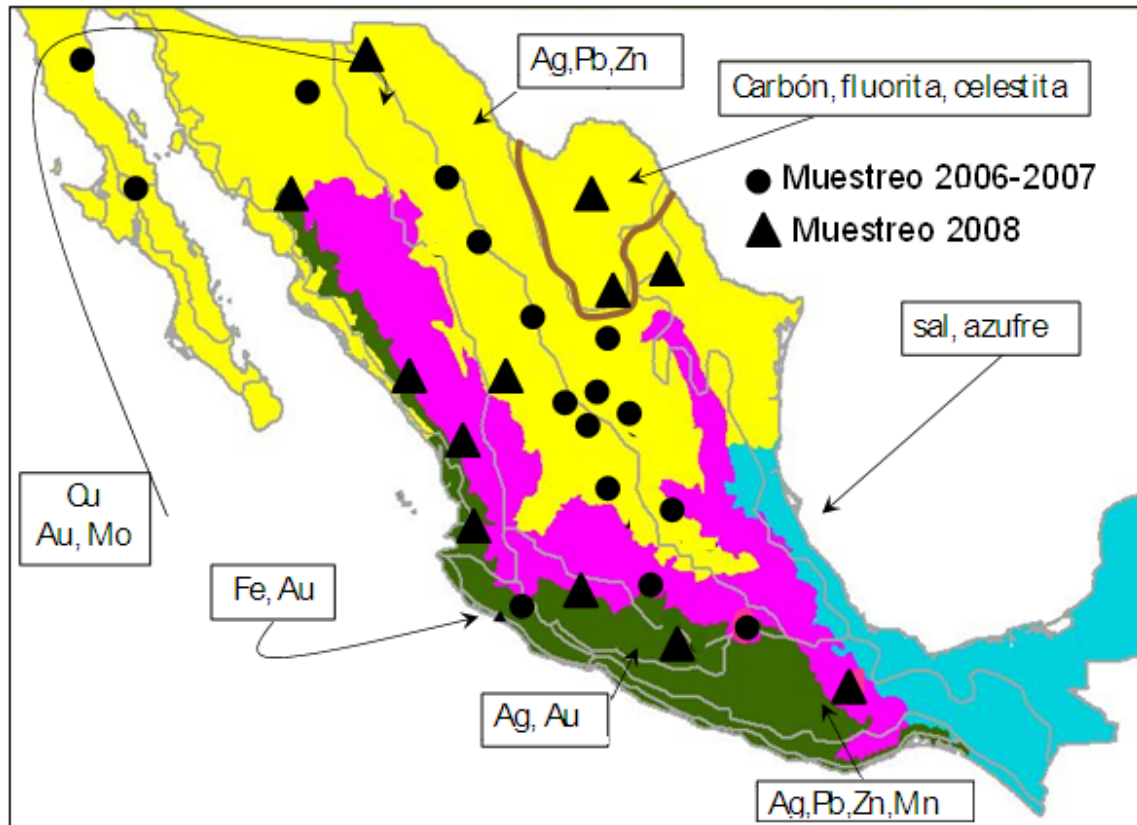


Figura 1. Ubicación de sitios muestreados para valores de fondo

Los análisis realizados en cada muestra fueron: pH, conductividad eléctrica (CE), % de materia orgánica (% C), textura (% arena, % limo y % arcilla) concentraciones totales y solubles de aluminio(Al), arsénico(As), plata(Ag), bario(Ba), berilio(Be), calcio(Ca), cadmio(Cd), cobalto(Co), cromo(Cr), cobre(Cu), hierro(Fe), mercurio(Hg), magnesio(Mg), manganeso(Mn), níquel(Ni), plomo(Pb), antimonio(Sb), selenio(Se), titanio(Ti), vanadio(V) y zinc(Zn). Los métodos de laboratorio seleccionados se describen en la sección siguiente.

3.3 Análisis físicos y químicos de los suelos

La parte experimental para la obtención de los valores de fondo de muestras de suelo constó de dos partes: una preparativa y una determinativa. En caso de la fase preparativa para el análisis de elementos totales se tomó como método de referencia el EPA 3051, Digestión ácida y la extracción de la fracción solubles se realizó con agua en equilibrio con CO₂. Este método se elaboró con base en la prueba ASTM D 3987-85, modificando las características del agua de extracción.

Para la cuantificación (parte determinativa) se utilizó la técnica de espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), y un equipo Thermo Electron Corporation, IRIS INTREPID II XSP Duo, se siguió el Método: EPA 6010B Revisión 2.

La determinación de pH fue por el método EPA 9045C-1985 y la textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Ortiz et al., 1993).

El cálculo de límite de detección (LD) y límite de cuantificación (LC) se realizó de acuerdo a Miller (Miller y Miller 2002). En términos generales, el límite de detección de un analito es aquella concentración que proporciona una señal en el instrumento significativamente diferente a la señal de una muestra en “blanco” o “señal de fondo”. Una definición que es común en química analítica es que el límite de detección es la cantidad de concentración de

analito que proporciona una señal igual a la señal del blanco, más tres veces la desviación estándar del blanco.

Cuadro 1. Límites de detección ICP-AES

Elemento	Longitud de onda [nm]	LD [mg/L]	LD [mg/kg]
Ag	328.068	0.051	5.1
As	189.042	0.048	4.8
Ba	455.403	0.054	5.4
Be	313.402	0.104	10.4
Cd	226.502	0.054	5.4
Co	228.616	0.051	5.1
Cr	267.716	0.114	11.4
Cu	324.754	0.046	4.6
Mn	257.610	0.049	4.9
Mo	202.030	0.049	4.9
Ni	231.604	0.044	4.4
Pb	220.353	0.053	5.3
Se	196.090	0.050	5.0
Tl	190.864	0.044	4.4
V	292.402	0.108	10.8
Zn	213.856	0.180	18.0
Al	308.215	0.8	8200
Ca	317.933	2.3	22800
Fe	259.940	1.5	15000
Mg	279.079	0.6	6000

3.4. Elaboración de los mapas digitales

A partir de la base de datos de los análisis realizados en las muestras de suelos obtenidas en los proyectos SEMARNAT-CONACYT C01-0010/2002 y en este proyecto con convenio específico Núm FB1282/GS002/08 (Anexo Base de Datos), se construyeron dos mapas digitales dentro de un sistema de

información geográfica, con el fin de conocer la distribución de los datos en la República Mexicana. Además se generó un tercer mapa que contiene las ubicaciones de los datos de elementos químicos que forman parte de las cartas geoquímicas del Servicio Geológico Mexicano (SGM) y que coinciden con los sitios de muestreo realizados en estos proyectos.

Estos tres mapas digitales forman parte de los productos finales que se entregan a la Conabio.

El procesamiento de datos se realizó con los sistemas de información geográfica (SIG) Arcinfo WorkStation 8 y ArcGIS 9. El formato del mapa es shapefile, formato nativo de los sistemas de información geográfica ArcView y ArcGIS del Environmental System Research Institute (ESRI). La proyección en la que se encuentran los mapas es Cónica Conforme de Lambert (CCL) y con los siguientes parámetros cartográficos: primer paralelo base, 17°30'00"; segundo paralelo base, 29°30'00"; meridiano central, -102°00'00"; latitud de origen, 12°00'00"; falso este, 2500000 m; falso norte, 0 m; y datum Norteamericano de 1927. Estos parámetros cartográficos se encuentran de acuerdo a lo establecido en el Anexo 1 del Convenio Específico Núm. FB1282/GS002/08 firmado con la Conabio.

3.4.1 Mapa de puntos de muestreo

Nombre del mapa digital: *p_muestreo.shp* (más los archivos complementarios con extensiones: .shx, .dbf y .prj)

Este mapa digital de puntos contiene la ubicación de los 606 sitios de muestreo de suelos que se realizó en los proyectos SEMARNAT-CONACYT C0010-2002 y en el desarrollo del presente proyecto. Los suelos se localizan en diversos distritos mineros a lo largo de todo el país. Los datos resultantes de los análisis aplicados en laboratorio sirven para construir este mapa preliminar, que es la base requerida para obtener el mapa final del proyecto "Elaboración de un mapa regional de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) en suelos de regiones mineras de México". Este documento cartográfico sirve para representar la distribución espacial de los sitios muestreados.

La elaboración del mapa de puntos consistió en tomar los datos correspondientes al identificador de cada sitio de muestreo del levantamiento, así como de sus coordenadas geográficas a partir de la base de datos en formato de hoja de cálculo Microsoft Excel (.xls) y exportaron a un archivo de textop plano (ascii) para generar en el SIG ArcInfo un mapa de puntos. Debido a que la ubicación de los sitios muestreados se levantó con un equipo GPS (Global Positioning System) con coordenadas geográficas (latitud y longitud), fue necesario proyectar el mapa de puntos a la proyección CCL arriba citada.

El mapa de puntos se exportó al formato shapefile del SIG ArcGIS, programa en el que se le agregaron 28 atributos correspondientes a los análisis químicos de los suelos muestreados, mismos que se listan a continuación:

CONDUCTI (conductividad eléctrica de la muestra)

TEXTARCI (porcentaje de arcilla en la muestra)

TEXTAREN (porcentaje de arena en la muestra)

TEXTLIMO (porcentaje de limo en la muestra)

MATORG (porcentaje de materia orgánica en la muestra)

PH (pH de la muestra)

Ag_mg_kg (concentración total de plata en la muestra, mg/kg)

Al_mg_kg (concentración total de aluminio en la muestra, mg/kg)

As_mg_kg (concentración total de arsénico en la muestra, mg/kg)

Ba_mg_kg (concentración total de bario en la muestra, mg/kg)

Be_mg_kg (concentración total de berilio en la muestra, mg/kg)

Ca_mg_kg (concentración total de calcio en la muestra, mg/kg)

Cd_mg_kg (concentración total de cadmio en la muestra, mg/kg)

Co_mg_kg (concentración total de cobalto en la muestra, mg/kg)

Cr_mg_kg (concentración total de cromo en la muestra, mg/kg)

Cu_mg_kg (concentración total de cobre en la muestra, mg/kg)

Fe_mg_kg (concentración total de hierro en la muestra, mg/kg)

Hg_mg_kg (concentración total de mercurio en la muestra, mg/kg)

Mg_mg_kg (concentración total de magnesio en la muestra, mg/kg)

Mn_mg_kg (concentración total de manganeso en la muestra, mg/kg)

Mo_mg_kg (concentración total de molibdeno en la muestra, mg/kg)

Ni_mg_kg (concentración total de níquel en la muestra, mg/kg)

Pb_mg_kg (concentración total de plomo en la muestra, mg/kg)

Sb_mg_kg (concentración total de antimonio en la muestra, mg/kg)

Se_mg_kg (concentración total de selenio en la muestra, mg/kg)

Tl_mg_kg (concentración total de talio en la muestra, mg/kg)

V_mg_kg (concentración total de vanadio en la muestra, mg/kg)

Zn_mg_kg (concentración total de zinc en la muestra, mg/kg)

A través de una función en el SIG fue posible agregar como atributos al identificador y el nombre de la entidad federativa, así como de los municipios de México en donde se ubica cada punto de muestreo. A continuación se listan los atributos adicionados:

EDO_MUN (identificador de la entidad federativa)

EDO_LEY (nombre de la entidad federativa)

MPO_MUN (identificador del municipio)

MPO_LEY (nombre del municipio)

3.4.2 Mapa de valores de fondo

Nombre del mapa digital: *valor_fondo.shp* (más los archivos complementarios con extensiones: .shx, .dbf y .prj)

Este mapa digital de puntos contiene la ubicación de los 606 sitios de los valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) derivados del muestreo de suelos que se realizó para este proyecto, adicionando los recopilados en el proyecto SEMARNAT-CONACyT C01-0010/2002 y que se localizan en diversos distritos mineros a lo largo de todo el país. Este es el mapa final del proyecto "Elaboración de un mapa regional de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) en suelos de regiones mineras de México" y contiene los datos correspondientes a las concentraciones totales de los elementos potencialmente tóxicos regulados en la NOM-147 Semarnat SSA1-2004.

El mapa de puntos *valor_fondo.shp* se generó a partir del mapa *p_muestreo.shp*, en el SIG ArcGIS, se eliminaron algunos campos no necesarios para representar los elementos regulados en la norma arriba citada, permaneciendo solamente los siguientes:

Ag_mg_kg (concentración total de plata en la muestra, mg/kg)

As_mg_kg (concentración total de arsénico en la muestra, mg/kg)

Ba_mg_kg (concentración total de bario en la muestra, mg/kg)

Be_mg_kg (concentración total de berilio en la muestra, mg/kg)

Cd_mg_kg (concentración total de cadmio en la muestra, mg/kg)

Cr_mg_kg (concentración total de cromo en la muestra, mg/kg)

Ni_mg_kg (concentración total de níquel en la muestra, mg/kg)

Pb_mg_kg (concentración total de plomo en la muestra, mg/kg)

Se_mg_kg (concentración total de selenio en la muestra, mg/kg)

También se dejaron los atributos relativos a estados y municipios:

EDO_MUN (identificador de la entidad federativa)

EDO_LEY (nombre de la entidad federativa)

MPO_MUN (identificador del municipio)

MPO_LEY (nombre del municipio)

3.4.3 Mapa de datos geoquímicos

Nombre del mapa digital: *d_geoq_sgm.shp* (más los archivos complementario con extensiones: .shx, .dbf y .prj)

Este mapa digital de puntos contiene la localización de 1292 sitios con datos geoquímicos (Ag, As, Ba, Be, Cd, Cr, Ni, Pb y Se) estos elementos son los regulados en la NOM-147 SEMARNAT SSA1-2004 y pertenecen a la base de datos de las cartas geoquímicas del SGM a escala 1:250 000. Los datos corresponden a las regiones muestreadas en el mapa de valores de fondos. Estos datos se derivan del análisis de laboratorio en muestras colectadas en sedimentos activos de arroyo del SGM y sirven para contrastarlos con los datos obtenidos en el muestreo de suelos de este proyecto. Se obtuvieron los datos de 35 hojas a escala 1:250 000, hojas en las que coinciden los sitios de muestreo levantados en este proyecto.

La metodología para generar este mapa se basó en su totalidad en el manejo de los datos originales en los SIG ArcInfo y ArcGIS. Para elaborar este mapa se compraron los archivos en el formato de hoja de cálculo Microsoft Excel (.xls). Estos archivos contienen los resultados del análisis de 31 elementos químicos y sus coordenadas en la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), atributos que se seleccionaron para cada uno de los 35 archivos y se exportaron a un archivo de textop plano (ascii) para generar en el SIG ArcInfo el mapa de puntos. A cada uno de los 35 mapas de puntos se le definió la proyección y sus parámetros correspondientes (proyección UTM,

datum WGS84, zona UTM -variable). Una vez definida la proyección de origen, cada mapa de puntos se reproyectó a la proyección Cónica Conforme de Lambert (CCL) con los siguientes parámetros: primer paralelo base, 17°30'00"; segundo paralelo base, 29°30'00"; meridiano central, -102°00'00"; latitud de origen, 12°00'00"; falso este, 2500000 m; falso norte, 0 m; y datum Norteamericano de 1927.

A los mapas de puntos se les agregaron los atributos de los elementos químicos provenientes de los archivos .xls del SGM: Plata, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cromo, Níquel, Plomo y Selenio. Se unieron los 35 mapas de puntos en un solo mapa con proyección CCL. El mapa resultante se exportó al formato shapefile. En el SIG ArcGIS se intersectó el mapa de puntos con un mapa de estados y municipios de México (Marco Geoestadístico Municipal del INEGI) para que cada punto contuviera tanto el identificador y el nombre de la entidad federativa como el identificador y nombre del municipio al que pertenecen.

Con el fin de extraer del mapa de puntos de datos geoquímicos únicamente aquellos puntos que coincidieran con las áreas muestreadas en el mapa de valores de fondo, se aplicaron funciones de análisis espacial sobre el mapa de puntos del SGM. A partir del mapa *p_muestreo.shp* se generó un mapa de polígonos de área de influencia (buffer) que abarcara todas aquellas áreas en donde se levantaron muestras en campo y con base en este resultado, se aplicó otra función de extracción de información del mapa de puntos de datos geoquímicos.

Los atributos que contiene este mapa son los siguientes:

Ag_mg_kg (concentración total de plata en la muestra, mg/kg)

As_mg_kg (concentración total de arsénico en la muestra, mg/kg)

Ba_mg_kg (concentración total de bario en la muestra, mg/kg)

Be_mg_kg (concentración total de berilio en la muestra, mg/kg)

Cd_mg_kg (concentración total de cadmio en la muestra, mg/kg)

Cr_mg_kg (concentración total de cromo en la muestra, mg/kg)

Ni_mg_kg (concentración total de níquel en la muestra, mg/kg)

Pb_mg_kg (concentración total de plomo en la muestra, mg/kg)

Se_mg_kg (concentración total de selenio en la muestra, mg/kg)

De la misma manera que los mapas *p_muestreo.shp* y *valor_fondo.shp*, a este mapa también se le agregaron los atributos de estados y municipios en los que se ubican, por medio de la aplicación de una función en el SIG con el mapa de entidades federativas y municipios de México, atributos que se listan a continuación:

EDO_MUN (identificador de la entidad federativa)

EDO_LEY (nombre de la entidad federativa)

MPO_MUN (identificador del municipio)

MPO_LEY (nombre del municipio)

4. RESULTADOS

4.1 Muestreo

4.1.1 Estado de Chihuahua

El Estado de Chihuahua desde tiempos de la colonia ha sido una región minera muy importante. No obstante, en la última década se ha incrementado sustancialmente la exploración en el estado, lo que ha dado como resultado la ampliación de los yacimientos de minerales que actualmente se explotan y el descubrimiento de nuevos sitios. Es evidente que el potencial geológico-minero del territorio del Estado es muy grande, pues cuenta con zonas prospectivas que presentan evidencias de mineralización, con un gran atractivo para la inversión nacional y extranjera.

Actualmente, las minas más importantes de elementos metálicos están ubicadas en los distritos mineros de Santa Eulalia, Naica, Santa Bárbara, Bismark, Cusihuirachi, Chinipas, Guazapares, Villa Matamoros, Parral, La Perla, Urique, Ocampo, Plomosas, San Francisco del Oro, Moris, Sabinal, y Guadalupe y Calvo. En la Figura 2 se muestra la localización de las regiones mineras y su descripción se detalla en el Cuadro 2.

Las muestras se tomaron en la mina de Bismark en la región de Casas Grandes, donde abundan los minerales de oro (Au), plata (Ag), plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), vanadio (V), molibdeno (Mo) y manganeso (Mn). El trabajo de campo se realizó los días 19 y 20 de junio de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

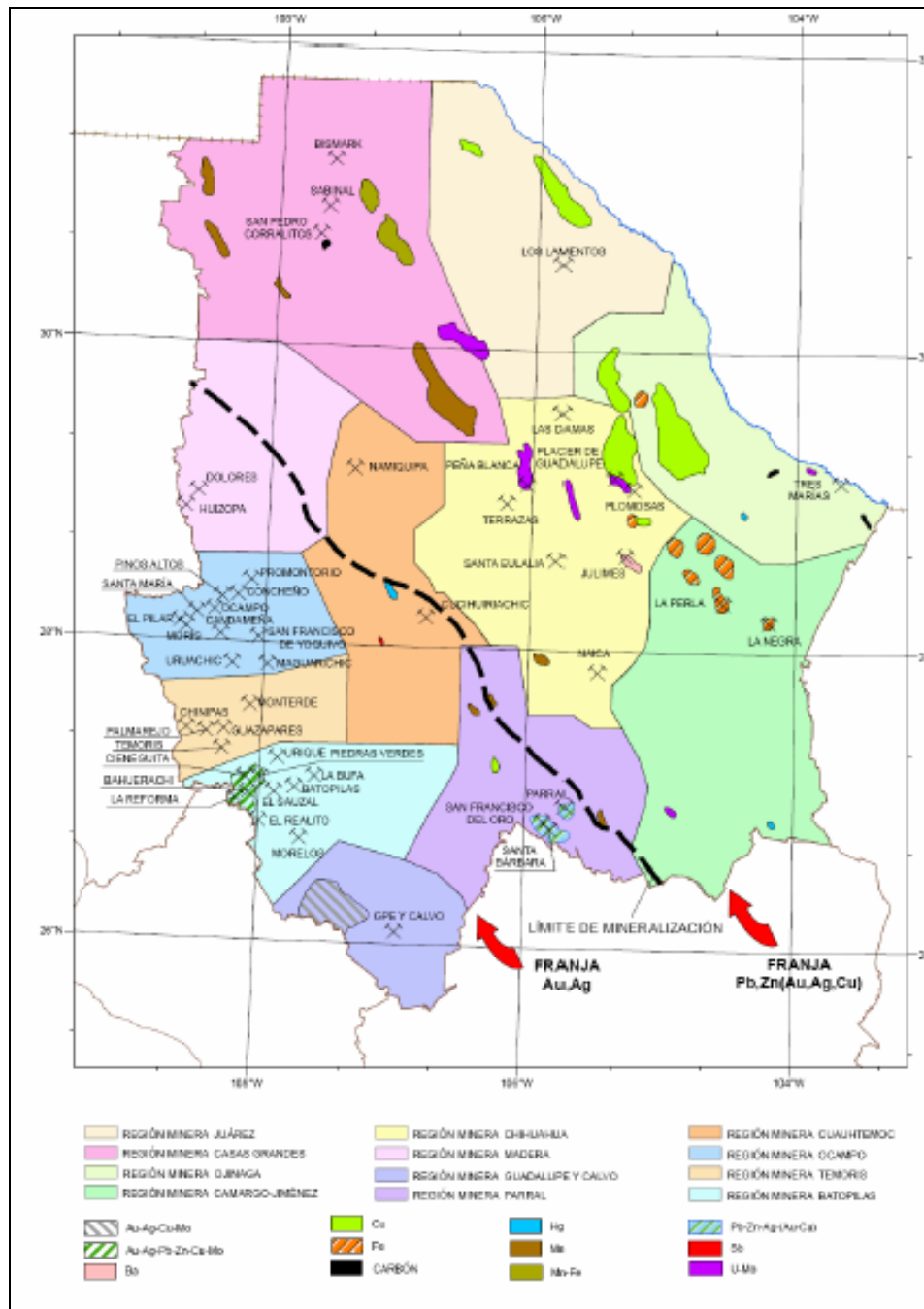


Figura 2. Localización Regiones mineras de Chihuahua.
Fuente www.coremisgm.gob.mx.

Cuadro 2. Regiones mineras del estado de Chihuahua

REGIÓN MINERA	MINERALIZACIÓN	TIPO DE YACIMIENTO	DISTRITOS Y ZONAS MINERAS
1.- JUAREZ	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	VETA, MANTO, CHIMENEA, SKARN Y DISEMINADO	LOS LAMENTOS, SAMALAYUCA, LOS MUERTOS, KLONDIKE, SAN JUAN, EL SOLDADO Y SAN IGNACIO.
2.- CASAS GRANDES	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, U, Mo, Mn	VETA, MANTO, CHIMENEA, SKARN, DISEMINADO Y BRECHA	BISMARCK, SABINAL, SAN PEDRO CORRALITOS, SIERRA RICA, FRESNAL, LOS BORREGOS, NOPALERA, LOS ARADOS, SERVIN, TERRENATES, MOJINA, PROVIDENCIA, PIELAGOS Y NUEVO CASAS GRANDES.
3.- OJINAGA	Ag, Pb, Zn, Cu, Fe, Ge, Mn	VETA, MANTO, CHIMENEA, BRECHA, SKARN Y DISEMINADO	SIERRA AZUL, SIERRA RICA, TRES MARIAS, PRESON Y LEONES, MAIJOMA, CUCHILLO PARADO, TOSESIHUA, LA AGUJA Y LA VENTANA.
4.- CAMARGO-JIMENEZ	Fe, Pb, Zn, Cu, Sal, Mn	VETA, IRREGULAR, SKARN, MANTO Y CHIMENEA	LA PERLA, LA NEGRA, EL ANTEOJO, EL VOLCAN, LOS ORGANOS, CONCHOS, LAS PAMPAS, SAN FRANCISCO, JACO, LOS REYES, CORRALITOS, BARRAZA, BAHUES Y CARRILLO.
5.- MADERA	Au, Ag	BRECHA, STOCKWORK, VETA	DOLORES, HUIZOPA Y GUAYNOPA
6.- CHIHUAHUA	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Fe, Ba, Mn, Mo, U	VETA, MANTO, CHIMENEA, BRECHA, DISEMINADO, STOCKWORK, SKARN	NAICA, SANTA EULALIA, JULIMES, PEÑA BLANCA, PLOMOSAS, PLACER DE GUADALUPE, TERRAZAS, LAS DAMAS, MAGISTRAL, SAVONAROLA, CHORRERAS Y LA ESPERANZA.
7.- GUADALUPE Y CALVO	Au, Ag, Cu, Mo, Pb, Zn	VETA, STOCKWORK, DISEMINADO, BRECHA	GUADALUPE Y CALVO, BABORIGAME, LOS TARROS-INDE, CASAS VIEJAS-SAUCITO, CIENEGUITA-EL JACAL, SAN IGNACIO, SAN ANTONIO, SAN JULIAN Y MINITAS.
8.- PARRAL	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Mn, F	VETA, MANTO, CHIMENEA, STOCKWORK, SKARN, ESTRATIFORME, BRECHA	PARRAL, SAN FRANCISCO DEL ORO, SANTA BARBARA, SAN JOSE DEL SITIO, LOS OLIVOS, EL NAVEGANTE, RONCESVALLES, TALAMANTES, ALMOLOYA, SAN JUAN CORDERO Y SAN ANTONIO DEL POTRERO.
9.- CUAUHTEMOC	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	VETA, IRREGULAR, STOCKWORK	CUSIHUIRIACHI, NAMIQUIPA, CALERA, MILPILLAS, VICENTE GUERRERO, TUTUACA, PEDERNALES, NOROGACHI, COYACHIC Y LOS CUATES.

4.1.2 Estado de Coahuila (zonas Sur y Centro)

En el estado de Coahuila existen grandes regiones ricas en minerales, algunas de las cuales ya están en explotación, por lo que la infraestructura minero-metalúrgica es muy importante; ejemplo de ello son las plantas de fundición de metales en Torreón y Monclova, y las carboeléctricas de Nava, así mismo existen muchas minas y plantas distribuidas en varias regiones.

En el año 2006, el Estado de Coahuila aportó el 7.64% de la producción minera del país y ocupó el primer lugar en la producción de carbón, celestita, sulfato de sodio, sulfato de magnesio, dolomita, estaño, hierro, antimonio y bismuto; y el segundo lugar en barita, fluorita, sílice y yeso. Además, es un productor importante de caliza, arcillas, bentonita, agregados pétreos y en menor proporción, plata y plomo. En el Cuadro 3 se listan las 28 regiones mineras del estado de Coahuila y su localización se muestra en la Figura 3.

Para la toma de muestras de este estado se seleccionaron dos zonas: a) la región de General Cepeda localizada en el Sur del estado de Coahuila, rica en minerales de titanio (Ti), hierro (Fe) y circonio (Zr), en la cual operan industrias que generan residuos peligrosos, por lo que es muy importante conocer la línea base de la concentración de EPT en suelos; b) la Región "Purísima-La Gavia" en la zona Centro que conforma una región mineralizada rica en Pb (plomo)-Zn (zinc).

Los trabajos de campo se realizaron los días 29 y 30 de abril de 2008 en la región Sur y el 8 y 9 de septiembre de 2008 en la región Centro. Las fotografías

de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

Cuadro 3. Regiones mineras del Estado de Coahuila

No.	REGIÓN MINERA	MINERALIZACIÓN	TIPOS DE YACIMIENTOS	MINAS IMPORTANTES
1	Hércules	Fierro	Segregación magmática	Hércules
2	Santa Elena	Pb, Zn, Ag	Hidrotermal	Crestas-Picacho
3	Sierra Mojada	Zn, Pb	Hidrotermal (vetas-mantos-chimeneas)	El Eden
4	Salinas El Rey	NaCl, Mg	Evaporítico	El Rey
5	San Pedro	Yeso, celestita	Evaporítico-hidrotermal	El Cristal, El Triunfo
6	Jimulco	Zn, Pb	Hidrotermal	La Flor de Jimulco
7	Viesca	NaCl, NaSO ₄	Evaporítico	Salinas de Viesca
8	Paila-Alamitos	Celestita, fluorita	Hidrotermal, Mississippi Valley	El Venado
9	La Purísima-La Gavia	Pb, Zn	Mississippi Valley	Reforma
10	Sierra de Padilla	Pb, Zn	Mississippi Valley	El Berrendo-Padilla
11	Potrero de la Mula	Pb, Zn	Hidrotermal (mantos-vetas)	Guadalupe
12	El Fuste	Pb, Zn	Hidrotermal (mantos-vetas)	El Fuste
13	El Volcán	Mn, Pb, Zn, fluorita	Hidrotermal	El Volcán
14	El Carmen-La Encantada	Fluorita	Hidrotermal	La Sabina
15	Santa Rosa	Barita	Hidrotermal	BAROSA
16	Puerto Rico	Pb, Zn	Hidrotermal	Puerto Rico
17	La Encantada	Pb, Zn	Hidrotermal	La Prieta
18	General Cepeda	Ti, Fe, Zr	Sedimentario	Varias minas (Narigua)
19	Cañon Colorado	Zn, Pb	Mississippi Valley	Varias minas
20	Santa María	Barita	Hidrotermal	Santa María
21	Agua Nueva	Pb, Zn	Mississippi Valley	Varias minas
22	Rocamontes	Au, Cu	Hidrotermal	Santa Rosa-Norteña
23	Carneros	Fosforita	Sedimentario	Varias minas
24	Golfo de Sabinas	Carbón	Sedimentario	MIMOSAS-MICARE
25	Cuenca Terciaria	Carbón	Sedimentario	Varias minas
26	Candela	Cu, Mb	Skarn	Providencia
27	Cuatrociénegas	Yeso	Evaporítico	Las Dunas
28	Arocha	Celestita	Mississippi Valley	El Pandito

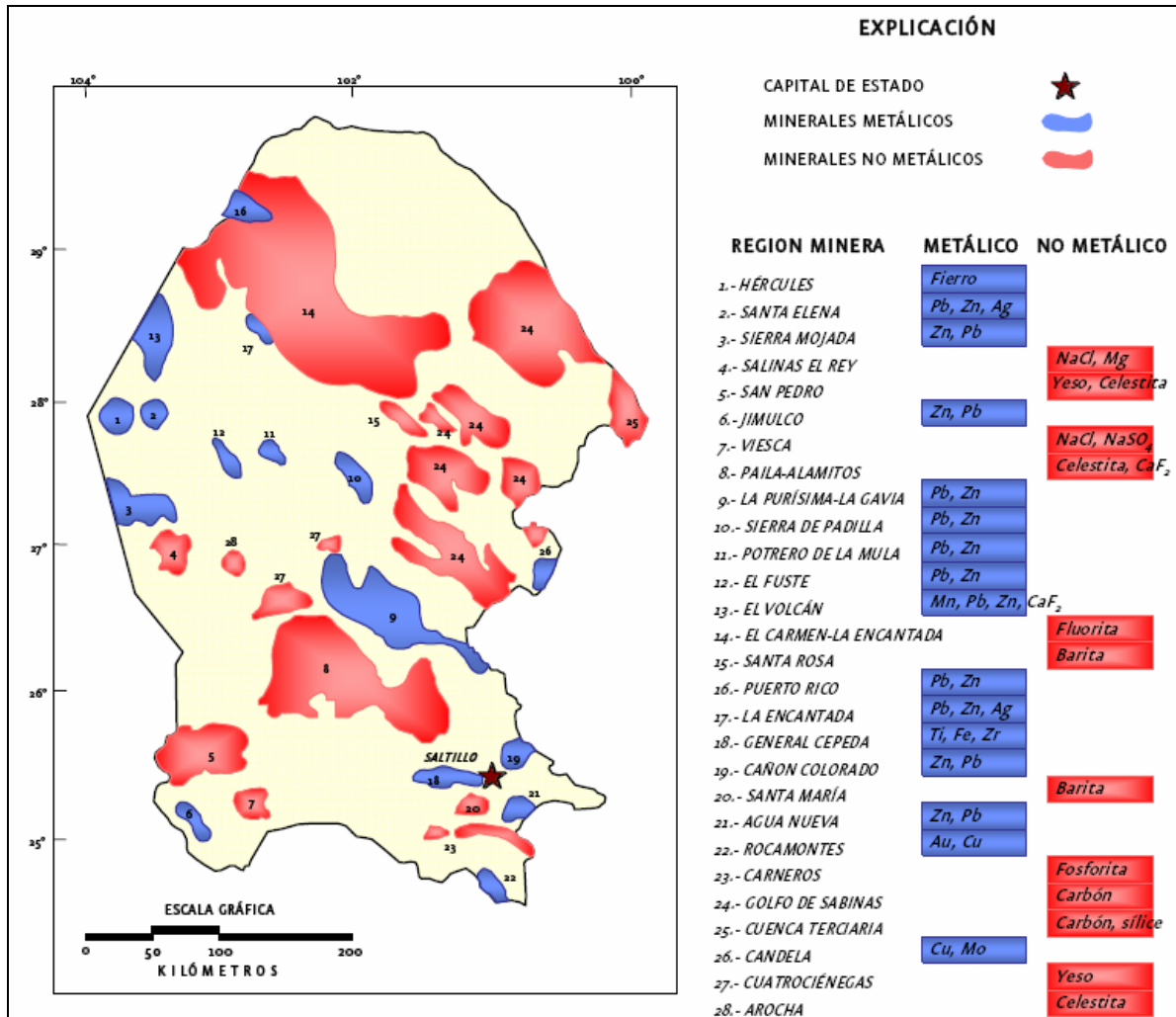


Figura 3. Localización de las regiones mineras del Estado de Coahuila

Fuente www.coremismg.gov.mx

4.1.3 Estado de Durango

El estado de Durango, también ha sido tradicionalmente minero. En 1552, se descubrió el yacimiento de hierro de Cerro de Mercado que condujo a la fundación de la ciudad de Durango. En 1987 la minería seguía siendo la primera fuente productiva con 69 haciendas de beneficio y 709 minas. La

producción de minerales metálicos y no metálicos es relevante contribuyendo a mantener una posición importante en la producción nacional, representando la única alternativa de desarrollo en lugares donde no existe la posibilidad de establecer otro tipo de industria.

En el Cuadro 4 se listan las 19 regiones mineras del estado de Durango, cuya localización se muestra en la Figura 4.

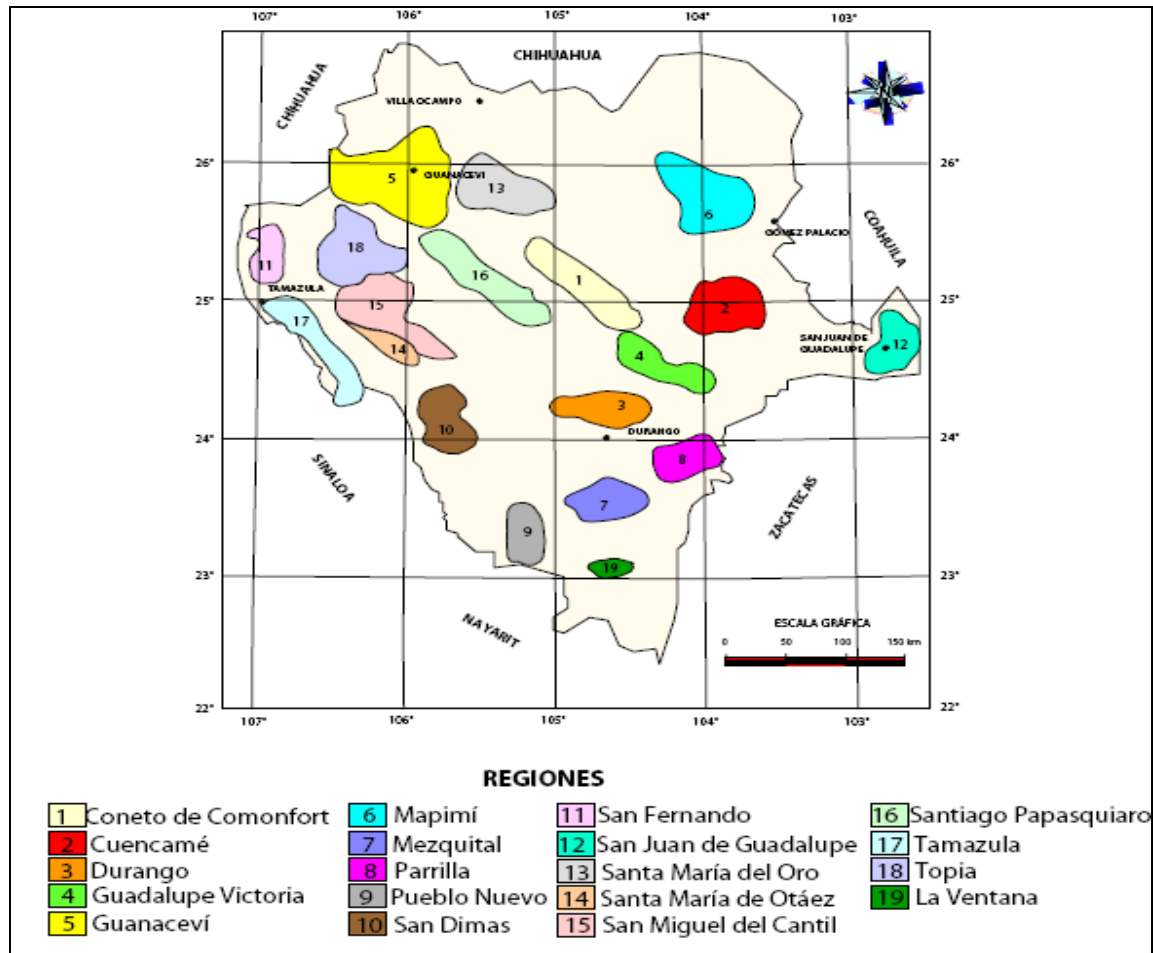


Figura 4. Localización de las regiones mineras del Estado de Durango
Fuente www.coremisgm.gob.mx

Cuadro 4. Regiones mineras del Estado de Durango

No.	REGIÓN MINERA	MINERALIZACIÓN	TIPO DE YACIMIENTO	DISTRITO Y ZONAS MINERAS
1	CONETO DE COMONFORT	Au, Ag, Pb, Zn, Fluorita	VETAS, STOCKWORK, DISEMINADOS	CONETO, SAN LUCAS OCAÑO Y PROMONTORIO
2	CUENCAMÉ	Au, Ag, Pb, Zn, Bentonita, Caolín	VETAS, STOCKWORK, ZONAS SKARN, REEMPLAZAMIENTO, CHIMENEAS Y CUERPOS ESTRATIFORMES	VELARDEÑA, CUENCAMÉ, PEÑÓN BLANCO Y SAN SEBASTIÁN
3	DURANGO	Perilita	CUERPOS MASIVOS IRREGULARES Y SUB HORIZONTALES Y VERTICALES	CERRO DE MERCADO, RÍO CHICO
4	GUADALUPE VICTORIA	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Fluorita	VETAS, BRECHAS Y CHIMENEAS	AVINO, MINITAS, SIERRA DE LA SILLA
5	GUANACEVÍ	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	VETAS DE ALTO Y BAJO ÁNGULO	GUANACEVÍ, EL CARMEN, SAN JULIÁN
6	MAPIMÍ	Au, Ag, Pb, Mn, Cu, Fe	CHIMENEAS, MANTOS, VETAS	OJUELA, DINAMITA, LA PLATOSA, DESCUBRIDORA
		Nármol	MASIVO Y ESTRATIFORME	CERRO DE LA CHICHE Y CERRO DEL GATO
7	MEZQUITAL	Au, Ag, Zn, Ba, Zeolitas	VETAS, HORIZONTES IRREGULARES	MEZQUITAL
8	PARRILLA	Ag, Pb, Zn	VETAS	PARRILLA
9	PUEBLO NUEVO	Au, Ag, Pb, Zn	VETAS, STOCKWORK Y DISEMINADOS	PUEBLO NUEVO, LLUMA DE ORO
10	SAN DIMAS	Au, Ag, Pb, Zn	VETAS, STOCKWORK Y DISEMINADOS	TAYOLTITA, GAVLANES, MALA NOCHE
11	SAN FERNANDO	Au, Ag	VETAS Y DISEMINADOS	COPALQUÍN, SAN FERNANDO
12	SAN JUAN DE GUADALUPE	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	VETAS, MANTOS, DISEMINADOS, STOCKWORK	SAN JUAN DE GUADALUPE, SIERRA DE RAMÍREZ
13	SANTA MARÍA DEL ORO	Au, Ag, Fluorita	VETAS, MANTOS, CHIMENEAS Y ZONAS DE SKARN	MAGISTRAL, INDÉ
14	SANTA MARÍA DE OTÁEZ	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	VETAS	SANTA MARÍA DE OTÁEZ, BACÍS, SANTA CRUZ
15	SAN MIGUEL DEL CANTIL	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Sb	VETAS, MANTOS, STOCKWORK, DISEMINADOS	EL CANTIL, SAN ANDRÉS DE LA SIERRA, MONTOROS, SAN DIEGO DE TEZAINS, SAN JUAN DE CAMARONES Y METATES
16	SANTIAGO PAPANUARGO	Au, Ag, Pb, Zn	VETAS, MANTOS, DISEMINADOS	TOVAR, EL PAPANUARGO, TEJAMÉN, CIÉNAGA DE NUESTRA SEÑORA
17	TAMAZULA	Au, Ag, Pb, Zn	VETAS	CHACALA, MATAVACAS, SIERRA DE ALAPA
18	TOPIA	Au, Ag, Pb, Zn	VETAS, DISEMINADOS	TOPIA, SAN BERNABÉ, TAHUEHUETO, MANZANILLAS, LA HUERTA
19	LA VENTANA	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	VETAS	LA VENTANA

Para la toma de muestras en Durango se seleccionó la región minera de “La Parrilla” que presenta una producción actual de oro (Au), plata (Ag), plomo (Pb) y zinc (Zn). El trabajo de campo se realizó los días 28 y 29 de octubre de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

4.1.4 Estado de Guerrero

El estado de Guerrero ha sido importante en su producción de minerales metálicos desde tiempos de la conquista. En Taxco, se abrió la primera mina de plata y oro. Durante su historia minera se han explotado importantes yacimientos como los de Campo Morado, Huitzucó, Pinzán Morado, Tetipac, La Dicha, Poder de Dios y La Delfina de los metales: plata, oro, plomo, cobre y zinc. Por otro lado, también es muy importante la producción de caliza, dolomita, mármol, yeso, arena, grava, arcillas y cantera.

El potencial geológico-minero sigue siendo muy amplio y favorable, considerando que el territorio guerrerense no ha sido suficientemente explorado y cuenta con grandes posibilidades para la localización de nuevos yacimientos de interés económico, en zonas con evidencias de mineralización, que han justificado nuevos trabajos exploratorios.

En el estado se han delimitado 12 regiones mineras que se describen en el Cuadro 5 y su localización se presenta en la Figura 5.

Cuadro 5. Regiones mineras del estado de Guerrero

REGIÓN MINERA	MINERALIZACIÓN	TIPO DE YACIMIENTO	ZONAS MINERAS
1.- LA UNIÓN	Au,Ag,Cu,Pb,Zn,Fe	ZONAS DE SKARN,SEGREGACIÓN E INYECCIÓN MAGMÁTICA,VETAS	REAL DE GUADALUPE,EL TIBOR,CHUTLA EL TITÁN Y EL PLUTÓN
2.- COYUCA-ZIRANDARO	Au,Ag,Pb,Zn	VETAS, DISEMINADOS, ZONA DE SKARN, REEMPLAZAMIENTO	PINZÁN MORADO,GUAYAMEO,CURINDAL CERRO EL CHIVO
3.- CUTZAMALA	Au,Ag,Cu,Pb,Zn	VETAS,RELLENO DE CAVIDADES	SAN VICENTE TLALCHAPA
4.- ARCELIA-TEOLOAPAN	Au,Ag,Pb,Zn,Cu	VETAS, MANTOS, BRECHAS DISEMINADOS,ZONA DE SKARN RELLENO DE CAVIDADES	CAMPO MORADO, TETIPAC, APAXTLA CERRO TEOTEPEC
5.- BUENAVISTA DE CUELLAR	Au,Ag,Pb,Zn,Cu,Cd,Fe,Hg,Sb	VETAS, ZONAS DE SKARN, RELLENO DE CAVIDADES, MANTOS Y BRECHAS	TAXCO, HUTIZUCO, BUENAVISTA DE CUELLAR
6.- PAPANOA	Fe,Cu,Cr,Ni,Co,Al	MANTOS, DISEMINADOS DEPÓSITOS DE PLACER, RELLENO DE CAVIDADES, INYECCIÓN Y SEGREGACIÓN MAGMÁTICA	COOPER KING,CAMALOTITOS, LOMA BAYA Y EL TAMARINDO
7.- TLAPEHUALA	Au,Ag,Cu,Hg	MANTOS, VETAS, RELLENO DE CAVIDADES, BRECHAS Y RELLENO DE FISURAS	LA NATIVIDAD Y LAS FRAGUAS
8.- SAN MIGUEL TOTOLAPAN	Au,Ag,Pb,Zn	VETAS Y BRECHAS	SAN NICOLÁS DEL ORO, EL QUERENGUE Y PETLACALA
9.- MEZCALA	Au,Ag,Cu,Pb,Zn	VETAS, ZONAS DE SKARN, Y STOCKWORKS	COCULA, ZUMPANGO Y CHICHIHUALCO
10.- LA DICHA	Au,Hg,Cu,Zn,Fe,W	MANTOS, ZONAS DE SKARN Y VETAS	COSTA CHICA Y LA DICHA
11.- MOCHITLÁN-QUECHULTENANGO	Au,Ag,Cu,Pb,Zn,Sn,Sb,Fe,Ba	VETAS, ZONAS DE SKARN, MANTOS Y STOCKWORKS	COAXTLAHUACÁN, EL VIOLÍN
12.- LA MONTAÑA	Au,Ag,Pb,Zn,Cu,Sb,Fe	VETAS, RELLENO DE CAVIDADES STOCKWORKS, MANTOS Y ZONAS DE SKARN	OLINALÁ, ZAPOTITLÁN E ILLATENCO

El muestreo se realizó en la región de Mezcala por su accesibilidad y por su importancia en la producción de minerales ricos en oro(Au), plata(Ag), plomo(Pb), cobre(Cu) y zinc(Zn). El trabajo de campo se realizó los días 5, 6 y 11 de marzo de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

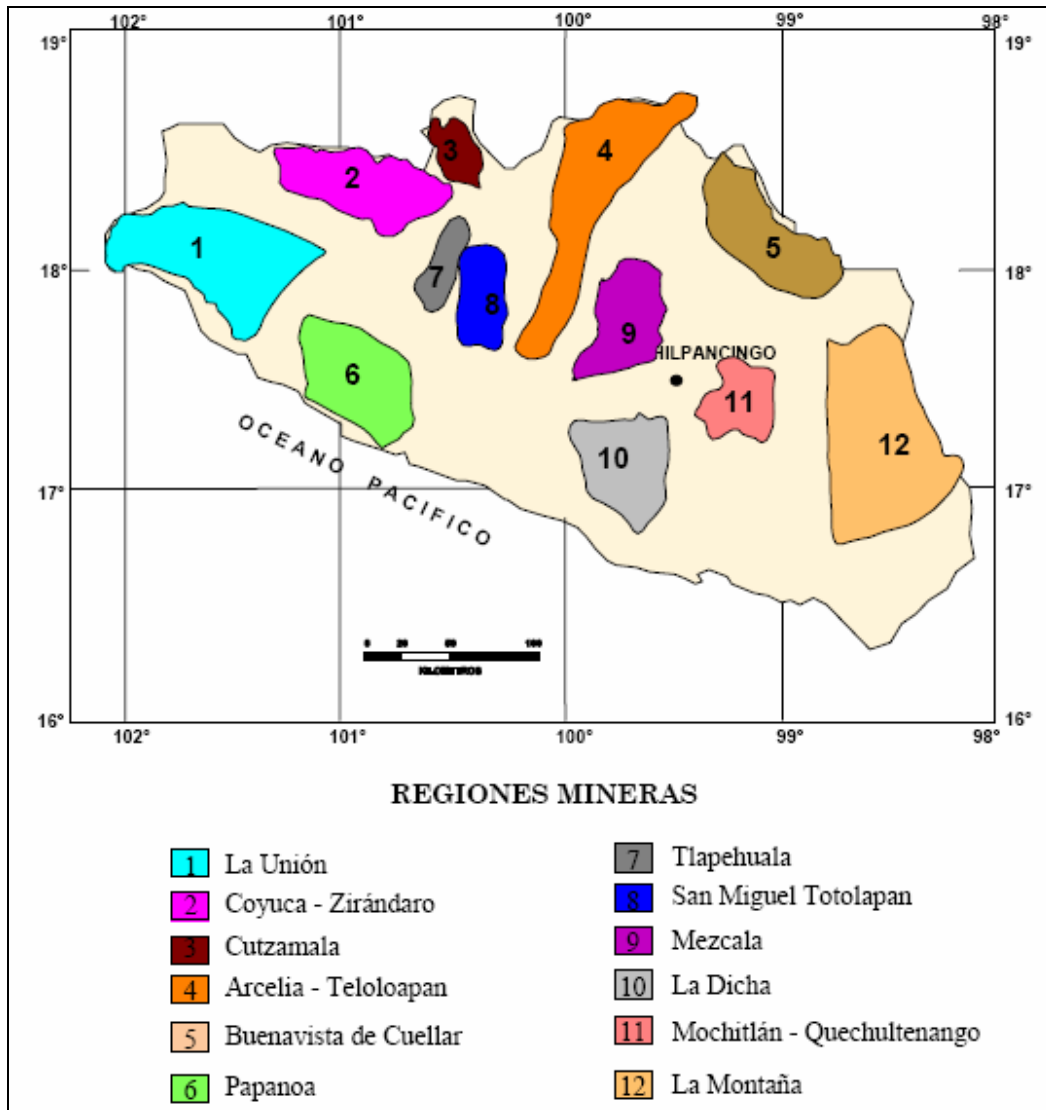


Figura 5. Localización de las regiones mineras del Estado de Guerrero
Fuente www.coremisgm.gob.mx

4.1.5 Estado de Jalisco

En el estado de Jalisco, la minería se remonta a la época precolombina, ya que los indígenas de la región de Bolaños ya trabajaban la plata en forma rudimentaria. Durante la conquista española se explotaron las minas Espíritu Santo, Xaltepec, Xoxotlán, Etzatlán, Guachinango y Purificación.

En el siglo XVII se continuó con el desarrollo de diversos centros mineros entre los que destacaron San Pedro Analco, Hostotipaquillo, Camotlán, Guachinango, San Sebastián, El Cuale y El Bramador. En el siglo XX se trabajó en la explotación de oro y plata así como manganeso y hierro.

La minería en Jalisco ha sufrido altibajos, pero el Servicio Geológico Mexicano reconoce que el estado posee un potencial minero significativo debido a la existencia de yacimientos minerales tanto metálico como no metálico.

Las regiones mineras se agrupan de acuerdo al tipo de mineralización, características del yacimiento y litología. Las regiones se muestran en el Cuadro 6 y su localización se presenta en la Figura 6.

En Jalisco se muestreo en la región de Talpa de Allende específicamente en la mina "El Cuale" donde hay varios proyectos de exploración ya que es rica en oro (Au), plata (Ag), plomo (Pb), zinc (Zn) y cobre (Cu). El trabajo de campo se realizó los días 17 y 18 de marzo de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

Cuadro 6. Regiones mineras del estado de Jalisco

REGIÓN	MINERALIZACIÓN	TIPO DE YACIMIENTO	DISTRITOS MINEROS IMPORTANTES
BOLAÑOS	Au, Ag, Pb, Zn	VETAS	1. BOLAÑOS 2. SAN MARTIN DE BOLAÑOS
BARQUEÑO	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	VETAS , STOCKWORK, BRECHAS PIPE	3. SAN PEDRO ANALCO 4. HOSTOTIPAQUILLO 5. BARQUEÑO 6. ETZATLAN 7. AMECA
TALPA DE ALLENDE	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	VETAS , VOLCANOGENICOS	8. EL RUBI 9. CUALE 10. EL BRAMADOR 11. LA AMERICA
PIHUAMO	Fe, Au, Ag, Pb	VETAS , ZONAS SKARN	12. ORQUIDEA 13. LA PLOMOSA 14. LA SULTANA
COMANJA DE CORONA	Ag, Pb, Zn, Sn, Au, Cu	VETAS	15. LA PAZ 16. SAN GUILLERMO 17. SAN IGNACIO

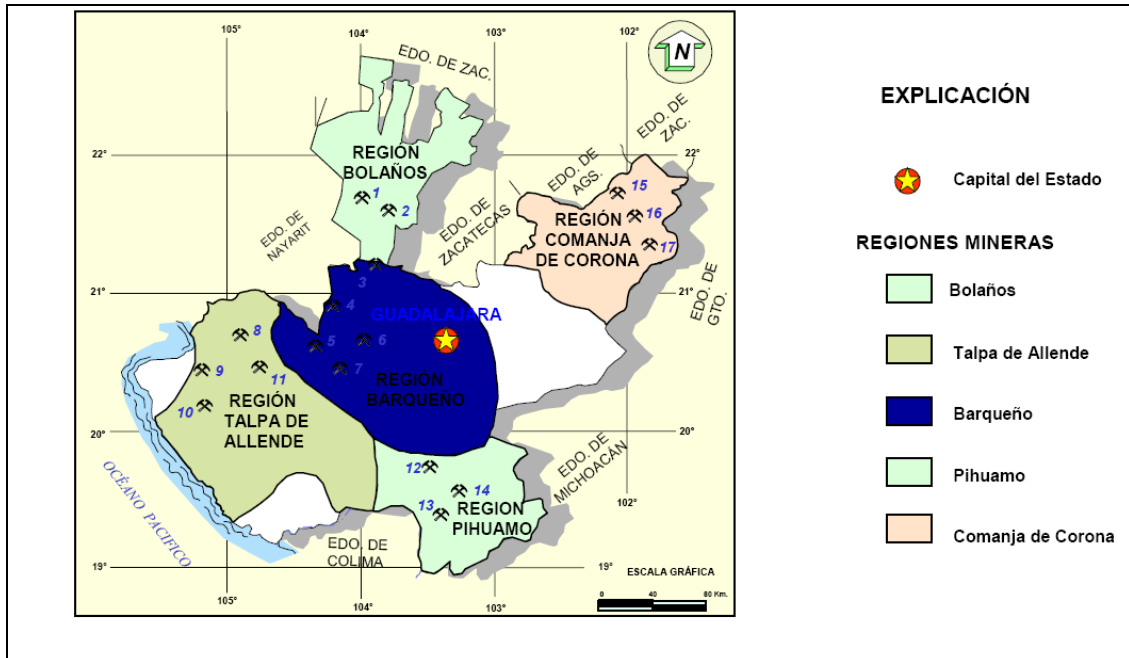


Figura 6. Localización de las regiones mineras del Estado de Jalisco
Fuente www.coremisgm.gob.mx

4.1.6 Estado de Michoacán

La actividad minera en el estado de Michoacán se remonta a la época prehispánica y actualmente la actividad minera es muy importante. Las regiones mineras se han agrupado de acuerdo al tipo de mineralización, tipo de yacimiento y litología. Las regiones mineras se describen en el Cuadro 7 y su ubicación se presenta en la Figura 7. En este estado de Michoacán se eligió la región de “La Huacana”, específicamente la mina LA VERDE. Los minerales que se explotan en este sitio son oro (Au), cobre (Cu) y tungsteno (W).

Cuadro 7. Regiones mineras del Estado de Michoacán

REGIÓN MINERA	ZONA O DISTRITO MINERO	SUBSTANCIA	TIPO DE YACIMIENTO
Tlapujahua	1. Tlapujahua 2. Angangueo	Au, Ag	Hidrotermal
Tzitzio	3. Real de Otzumatlán 4. Tzitzio	Au, Ag, Sb	Hidrotermal
Tuzantla	5. Tiámaro	Au, Ag, Cu	Hidrotermal
El Limón de Papatzingán	6. Tzintzinguaro	Au, Ag	Hidrotermal
Huetamo	7. El Bastán 8. San Ignacio 9. San Lucas 10. Tiquicheo	Cu, Au, Ag, Zn, Pb	Hidrotermal
Villa Madero	11. San Diego Curucupaceo	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	Hidrotermal
La Huacana	12. Inguarán 13. La Verde	Cu, Au, W	Hidrotermal
Arteaga	14. Las Truchas 15. Los Pozos 16. Cerro Bola	Fe, Ag, Au	Hidrotermal
El Ahijadero	17. El Ahijadero	Au	Hidrotermal
Las Playas	18. El Jovero 19. El Costeño	Au, Fe, Ag	Hidrotermal
Coalcomán	20. La Minita	Cu, Ag, Zn, Fe, Cu, Ag	Hidrotermal
	21. Arroyo Seco	Pb, Zn, Ag	Vulcanogénico
Aguila	22. Aguila	Fe, Ag, Au, Cu, Mn	Hidrotermal
	23. San Pedro		

El trabajo de campo se realizó los días 12 y 13 de marzo de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

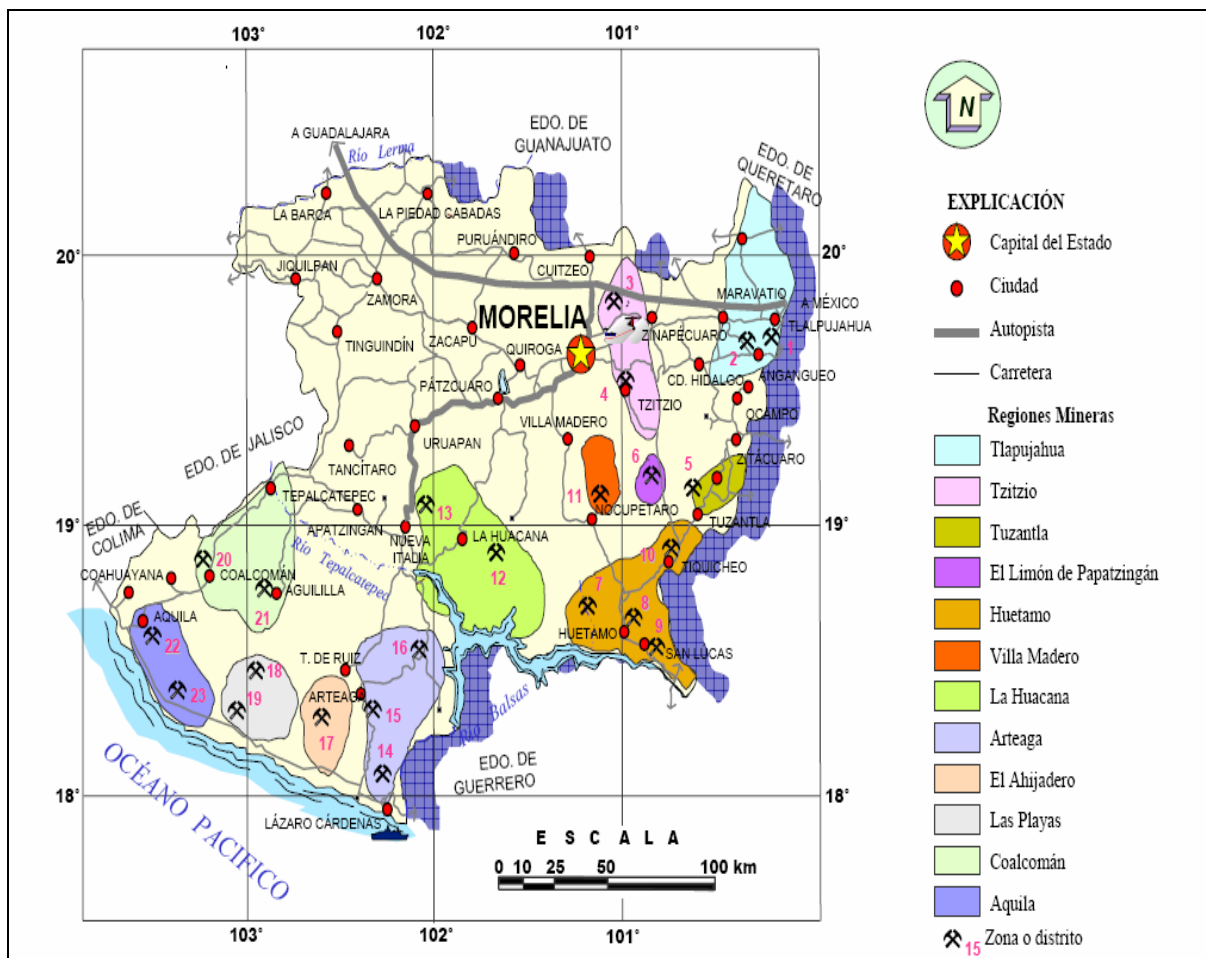


Figura7. Localización de las regiones mineras del Estado de Michoacán.

Fuente www.coremismgm.gob.mx

4.1.7 Estado de Nayarit

En el estado de Nayarit se han delimitado 10 regiones mineras que comprenden 10 distritos y 12 zonas mineralizadas metálicas. En los distritos mineros se desarrolla actividad minera ya sea por la operación o apertura de plantas de beneficio. En el Cuadro 8 se describen las regiones, los distritos y las zonas mineralizadas y su ubicación en la Figura 8.

Cuadro 8. Descripción de las regiones mineras del estado de Nayarit

No.	REGIÓN	DISTRITOS MINEROS Y ZONAS MINERALIZADAS	MINERALIZACIÓN	TIPO DE YACIMIENTO
I.-	Huajicori	El Terrero, El Colomo, La Bufa Cucharas, El Tigre.	Au, Ag, Cu, Pb, Mn	Epitermal
II.-	Acaponeta	La Estrella, El Motaje, zona Mojarra Pinta, Águila de Oro	Au, Ag	Epitermal
III.-	Sta. Teresa	Zona Santa Teresa	Sn, Mn, Ag, Au	Epitermal
IV.-	Rosa Morada	El Frontal, San Lorenzo, La Guadalupeana, El Dorado	Au, Ag	Epitermal
V.-	Ruiz	La Frazada, El Zopilote, La Escondida, El Venado, 8 Sept.	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	Epitermal
VI.-	Huaynamota	Zona de Huaynamota	Au, Ag, Cu	Epitermal
VII.-	Compostela	Eureka, La Huicicila, San Francisco, Tajos de Oro.	Au, Ag	Epitermal
VIII.-	Cebadillas	Cebadillas, Los Mezcales	Au, Ag	Epitermal
IX.-	Ahuacatlán	Buenos Aires, Casados, La Castellana, Mololoa	Au, Ag	Epitermal
X.-	La Yesca	Buenavista, La Colorada, Zapopan y La Yesca.	Au, Ag, Zn, Mn	Epitermal

Por su importancia y vías de acceso para tomar las muestras de suelo se eligió la región localizada entre Ruiz y Rosa Morada, cuyos minerales principalmente contienen plata y oro. El trabajo de campo se realizó el día 15 de marzo de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

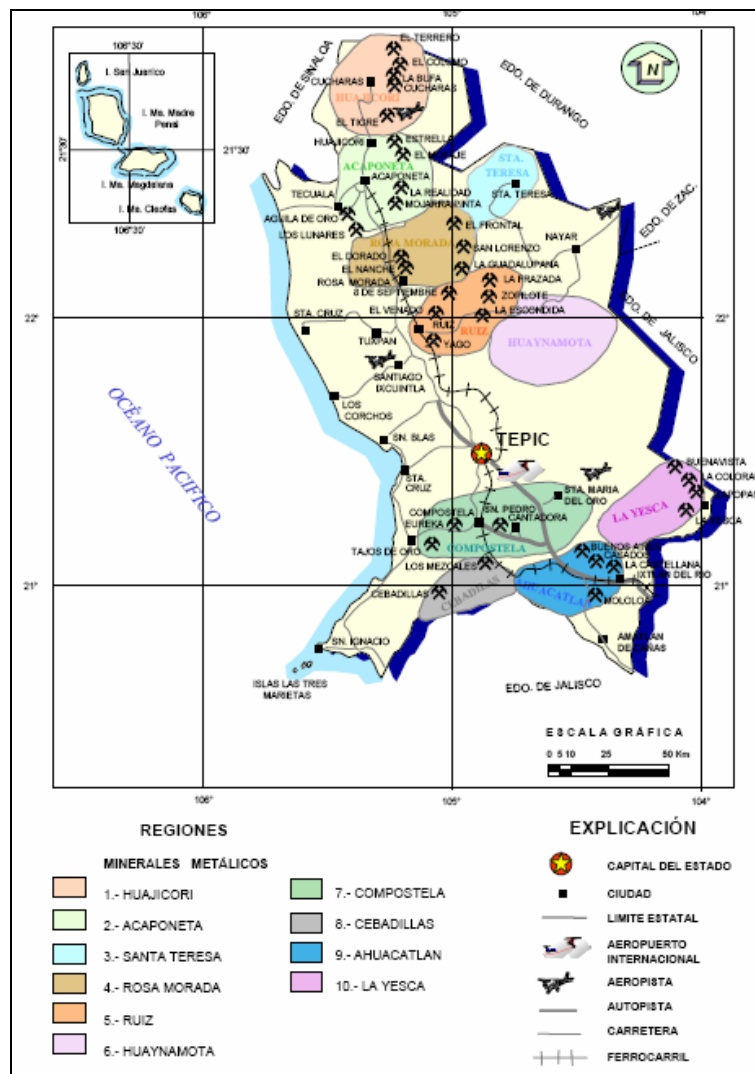


Figura 8. Localización de las regiones mineras del Estado de Nayarit
Fuente www.coremismg.gov.mx

4.1.8 Estado de Nuevo León

Las primeras actividades de exploración en la entidad se remontan a los inicios del siglo XVII, cuando fueron descubiertas las minas de plomo y zinc en Cerralvo y San Nicolás Tolentino, y las salinas de San Lorenzo. En el siguiente siglo se continuaron las actividades de exploración que llevaron en 1757 y 1766 al descubrimiento de las minas de plomo – zinc de La Iguana y Vallecillos en las cercanías de los poblados de Lampazos y Sabinas Hidalgo, respectivamente.

Actualmente las actividades mineras se limitan a productos no metálicos, como es el caso de las empresas productoras de yeso, barita, caliza, fosforita, dolomita, sales de sodio, sílice, cemento, carbonato de calcio y arcillas. Existen también dentro del estado de Nuevo León, empresas sumamente importantes que realizan procesos de transformación de algunos minerales metálicos.

Sin embargo, en Nuevo León hay extensas zonas con claras evidencias de mineralización, lo que justifica el desarrollo de futuros programas de exploración para determinar su valor económico y las posibilidades de ser explotadas. Este es el caso de Sierra de Picachos, Vallecillo, El Fraile, Sierra Los Muertos, Cuenca Terciaria del Golfo, Dulces Nombres, Galeana y San José de Raíces.

En la Figura 9 se muestra la localización y descripción de estas regiones mineras.

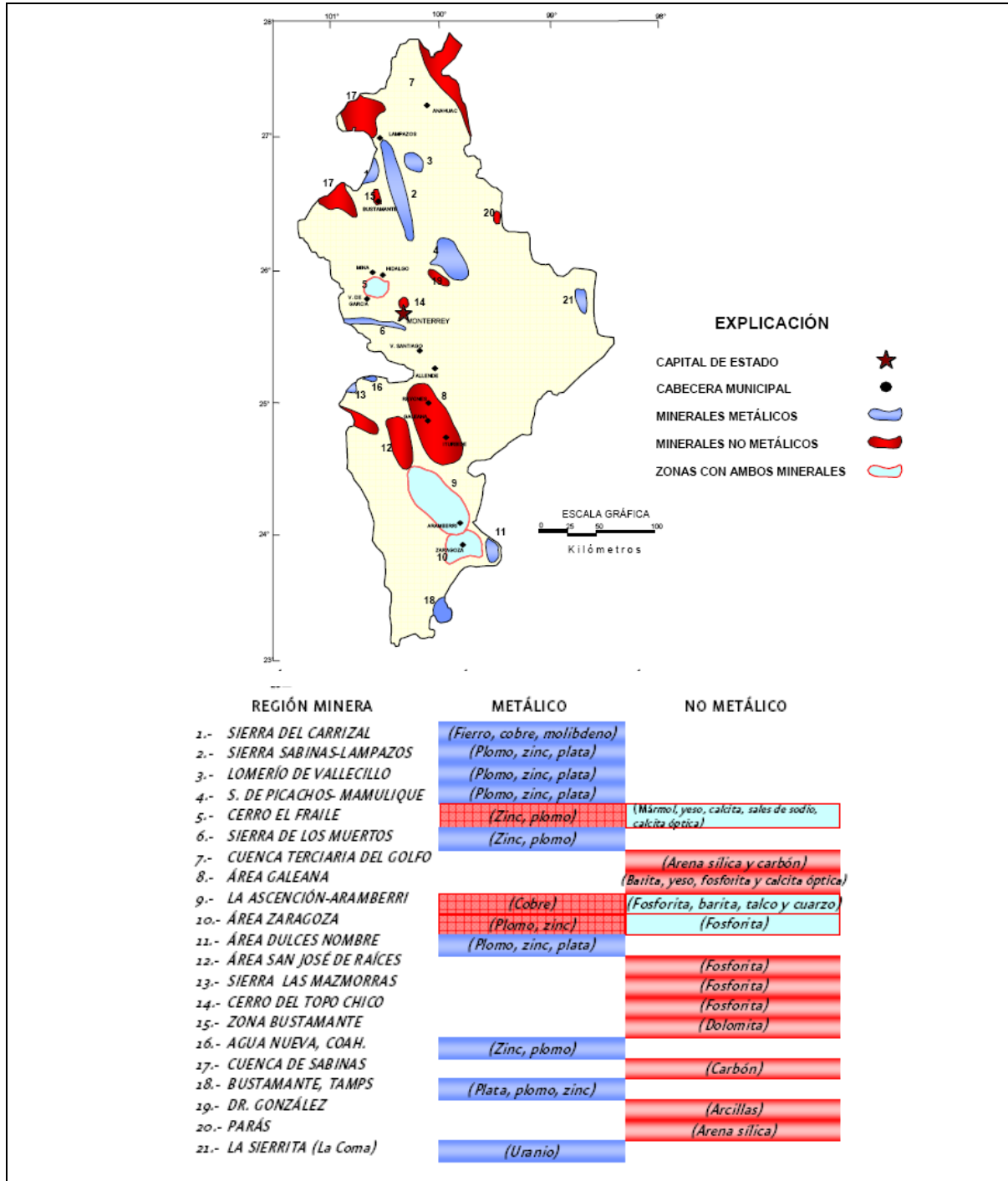


Figura 9. Localización de las regiones mineras del Estado de Nuevo León
Fuente www.coremisgm.gob.mx

Para la toma de muestras de suelo se seleccionó, la región de sur de Picachos, Mamulique que es rica en plomo (Pb), zinc (Zn) y plata (Ag). El trabajo de campo se realizó los días 1 y 2 de mayo de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

4.1.9 Estado de Oaxaca.

En el estado de Oaxaca existe una gran diversidad de minerales, debido a que la entidad es geológicamente favorable para contener depósitos de minerales de tipo económico y desde tiempos remotos la historia de Oaxaca ha estado íntimamente ligada a la producción de minerales preciosos (oro y plata), grafito cristalino, titanio, antimonio, tecalli (ónix Mexicano) y mica.

Desde antes de la conquista hay evidencias de la explotación de minerales y piedras preciosas; sin embargo Oaxaca a pesar de tener un historial minero, es una entidad que prácticamente no ha sido explorada fuera de los distritos mineros y zonas mineralizadas conocidas, existen áreas donde se ha realizado exploraciones de importancia en yacimientos de plomo, zinc y antimonio; y en menor proporción de oro, pero por falta de infraestructura, cultura minera, programas de exploración y evaluación, estas zonas aún no se han desarrollado.

En el estado de Oaxaca se conocen importantes yacimientos que regionalmente se pueden enmarcar dentro de 14 regiones mineras, las cuales se han agrupado de acuerdo al tipo de mineralización Figura 10 y Cuadro 9.

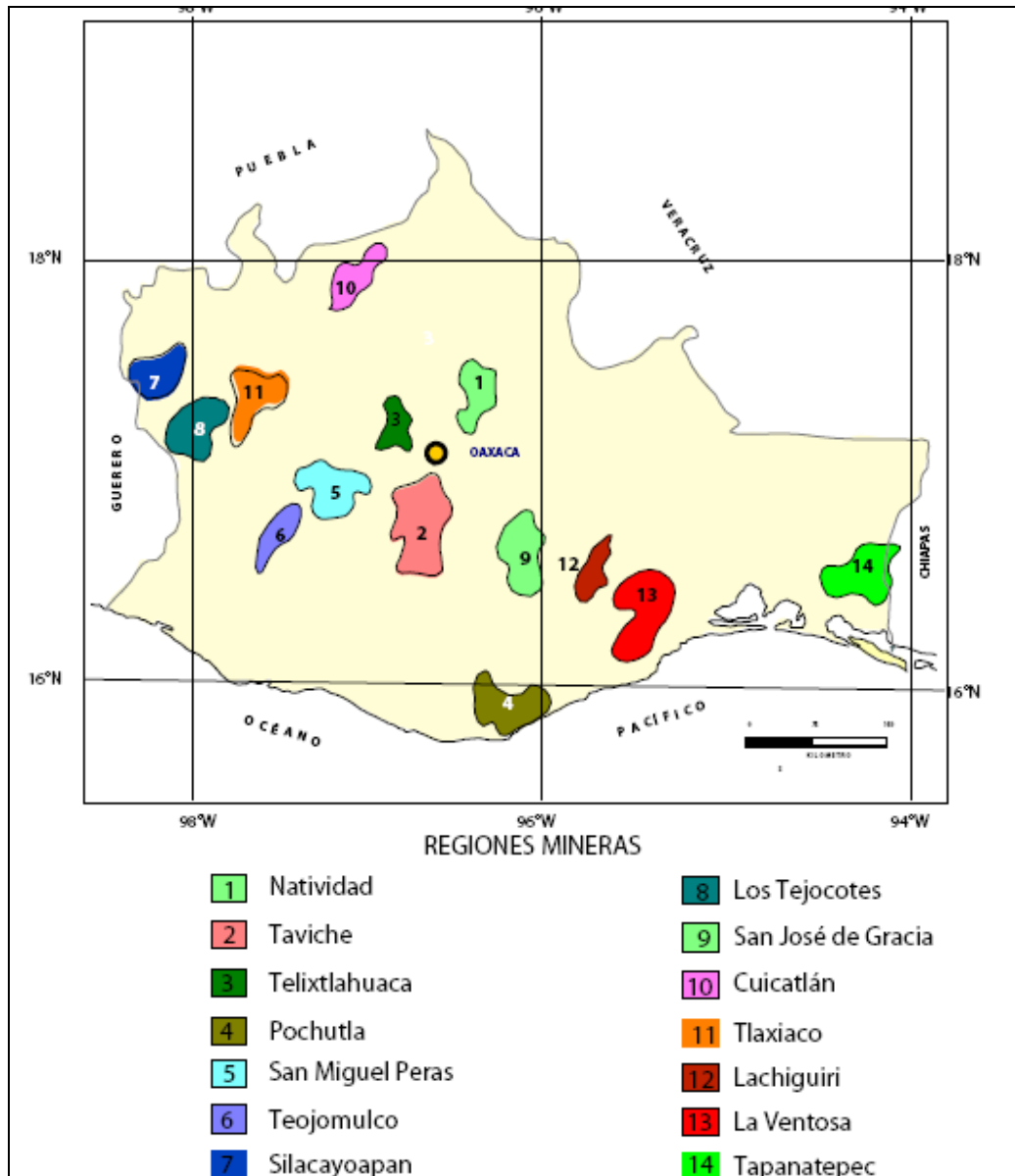


Figura 10. Localización de las regiones mineras del Estado de Oaxaca
Fuente www.coremismg.gov.mx

Cuadro 9. Descripción de las regiones mineras del estado de Oaxaca

REGIÓN MINERA	MINERALIZACIÓN	TIPO DE YACIMIENTO	ZONAS MINERAS
1.- NATIVIDAD	Au,Ag,Pb,Zn	VETAS Y DISEMINADOS	NATIVIDAD- LACHATAO, ATEPEC TALEA DE CASTRO - SOLAGA - CAJONOS
2.-TAVICHE	Pb, Zn, Au, Ag	VETAS, MANTOS, DISEMINADOS, CHIMENEAS	TAVICHE, TEITIPAC, LACHIGALLA, LOS OCOTES
3.- TELIXTLAHUACA	GRAFITO, Pb, Zn, Au, Ag, Ti, Fe	DISEMINADO, VETAS Y MANTOS	TELIXTLAHUACA, EL PARIAN, HUITZO, SAN JUAN DEL ESTADO
4.- POCHUTLA	Ti, Fe, Pb, Zn, Au, Ag	DISEMINADOS, MANTOS Y VETAS	CANDELARIA LOXICHA, PLUMA HIDALGO, SAN MATEO PIÑAS, LA ESPERANZA-HUATULCO
5.- SAN MIGUEL PERAS	Au, Ag, Zn, CALAMINAS	MANTOS, VETAS Y DISEMINADOS	SAN MIGUEL PERAS, PEÑOLES, ESTETLA, YUCUCUNDO
6.- TEOJOMULCO	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, Ag	MANTOS, VETAS, DISEMINADOS CUERPOS IRREGULARES	TEOJOMULCO, SANTIAGO MINAS, ZANIZA, TEXTITLÁN
7.- SILACAYOAPAN	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, Ag	VETAS, DISEMINADOS	SILACAYOAPAN, SILACAYOAPILLA, SAN MARTÍN PERAS
8.- LOS TEJOCOTES	Sb, Hg	VETAS, MANTOS, CUERPO IRREGULARES	LOS TEJOCOTES, YUCUNICOCO, REYES TEPEJILLO
9.- SAN JOSÉ DE GRACIA	Au, Ag, Zn, CALAMINAS	VETAS, DISEMINADOS	SAN JOSÉ DE GRACIA (TOTOLAPAN), GUELAVILA (COBRE GRANDE), EL MOGOTE (ALBARRADAS)
10.- CUICATLÁN	ASBESTO, Pb, Zn, Au, Ag	VETAS, DISEMINADOS Y MANTOS	CONCEPCIÓN PÁPALO, CHIQUIHUITLÁN
11.- TLAXIACO	CARBÓN	MANTOS	CUENCA CARBONÍFERA DE LA MIXTECA SUBCUENCAS: TLAXIACO-MIXTEPEC, DIQUIYU-TEZOATLÁN
12.- LACHIGUIRI	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, Ag MÁRMOL, ONIX	MANTOS, VETAS, DISEMINADOS, ESTRATIFORMES	LACHIGUIRI, GUIENAGATI, LIEZA, TOTOLAPILLA, JALAPA DEL MARQUEZ, TENANGO, TEQUISISTLÁN
13.- LA VENTOSA	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, MÁRMOL	MANTOS, VETAS, DISEMINADOS, ESTRATIFORMES	LA VENTOSA, ZANATEPEC, EJIDO MAZAHUA
14.- TAPANATEPEC	Fe, Mn, Pb, Zn, Au, Ag	MANTOS, VETAS, DISEMINADOS	SAN PEDRO TAPANATEPEC (EL CARMEN)

Para la toma de muestras se eligió la región de Natividad con mineralización de oro (Au), plata (Ag), plomo (Pb) y cinc (Zn). El trabajo de campo se realizó los días 13 y 14 de octubre de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

4.1.10 Estado de Sinaloa

Por sus características geológicas, el estado de Sinaloa, cuenta con un gran potencial para la actividad minera, tanto de minerales metálicos como no metálicos. La mayor actividad minera se lleva a cabo en 13 regiones mineras, Sin embargo, existen amplias posibilidades de extender las actividades a nuevas áreas en donde hay evidencias de zonas mineralizadas. En la Figura 11 y en el Cuadro 10 se presentan la ubicación y características de las regiones mineras de Sinaloa.

Cuadro 10. Descripción de las regiones mineras del estado de Sinaloa

Regiones mineras	Mineralización	Tipo de yacimiento	Distrito minero
Choix	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	Veta, brechas, oro de placer	Choix
El Fuerte	Au, Ag, Zn, Cu	Veta, brechas, placer	No existe
San Blas	Au, Ag, Cu, Fe	Vetas	Aquincuari
Sinaloa	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	Veta-falla	San José de Gracia
Mocorito	Ag, Au, Pb, Zn	Veta-falla	El Magistral
Badiraguato	Au, Ag, Pb, Zn	Vetas	Badiraguato
Culiacán	Au, Ag	Vetas	No existe
El Salado	Au, Ag, Fe	Vetas, skarn	20 Onzas, Las Varas
Cosalá	Au, Ag	Vetas	Santa Cruz de Alayá
San Ignacio	Ag, Au, Cu	Vetas	Guadalupe de los Reyes El Tambor Las Ollitas, Contraestaca
Mazatlán	Au, Ag, Cu	Vetas, ortomagmático, placer	No existe
Concordia	Ag, Pb, Au	Vetas, brechas	Panuco, Copala
Rosario	Au, Ag	Vetas	Rosario, La Rastra



Figura 11. Localización de las regiones mineras del estado de Sinaloa.
Fuente www.coremisgm.gob.mx

Para la toma de muestras se eligió la región de Mazatlán con mineralización de oro (Au), plata (Ag) y cobre (Cu). El trabajo de campo se realizó los días 9 y 10 de julio de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

4.1.11 Estado de Sonora.

El Estado de Sonora por sus condiciones geológicas y tectónicas contiene una gran diversidad de yacimientos minerales, tanto metálicos como no metálicos, distribuidos en la mayor parte de la superficie de esta entidad.

En el Cuadro 11 y la Figura 12 se presentan las características y ubicación de las regiones mineras de Sonora.

Cuadro 11. Descripción de las regiones mineras del estado de Sonora

REGIONES MINERAS	SUSTANCIA PRINCIPALES	DISTRITOS MINEROS	ZONAS MINERAS
A.- Bahía de Adair	Trona y Morusa		- Bahía de Adair
B.- Caborca	Au,Ag,Pb,Zn,Sb	- Caborca - El Antimonio - El Boludo	
C.- Altar	Borax, yeso, calizas, Mn, Au, Cu	- Magdalena-Tubutama	- Los Nogales
D.- Cananea	Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, Yeso, Calizas, Zeolitas	- Cananea	- Magallanes - Ímuris
E.- Esqueda	Au, Ag, Pb, Zn, Fluorita, Yeso, Diatomita	- Pílares-El Tigre - Esqueda	
F.- Cucurpe	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	- Cucurpe	- San Francisco
G.- Tonichi	Au, Ag, Pb, Cu, Grafito, Carbón, Barita, Fluorita, Arcillas	- San Javier - Carbonífero de Sonora	
H.- Nacozári	Cu, Mo, Au, Ag, Zn, Fluorita, Calizas	- Nacozári - Cumobabi	
I.- Hermosillo	Cu, Ag, Zn, Au, Fe, W, Cuarzo, Bornita, Wollastonita, caliza	- La Verde - Hermosillo - El Tecolote	
J.- Aconchi	W, Cu, Mo, Pb, Zn, Ag, Au, Uranio	- San Felipe - Baviacora	- Rayón - El Crestón
K.- Moctezuma	Ag, Pb, Zn, Cu, Au, Sulfato de Sodio	- Lampazos	- Moctezuma - Bacadehuachi
L.- La Colorada	Au, Ag, Pb, Cu	- La Colorada	
M.- Sahuaripa	Au, Ag, Pb, Zn, W, Fe, Cu, Barita	- Mulatos - Sahuaripa - Mazatán	
N.- Álamos	Ag, Au, Pb, Zn, Cu, W, Grafito	- Álamos - Gochico	- Baboyahui

En los últimos años se han descubierto muchos nuevos yacimientos que ya están en operación y algunas otras zonas están siendo exploradas.

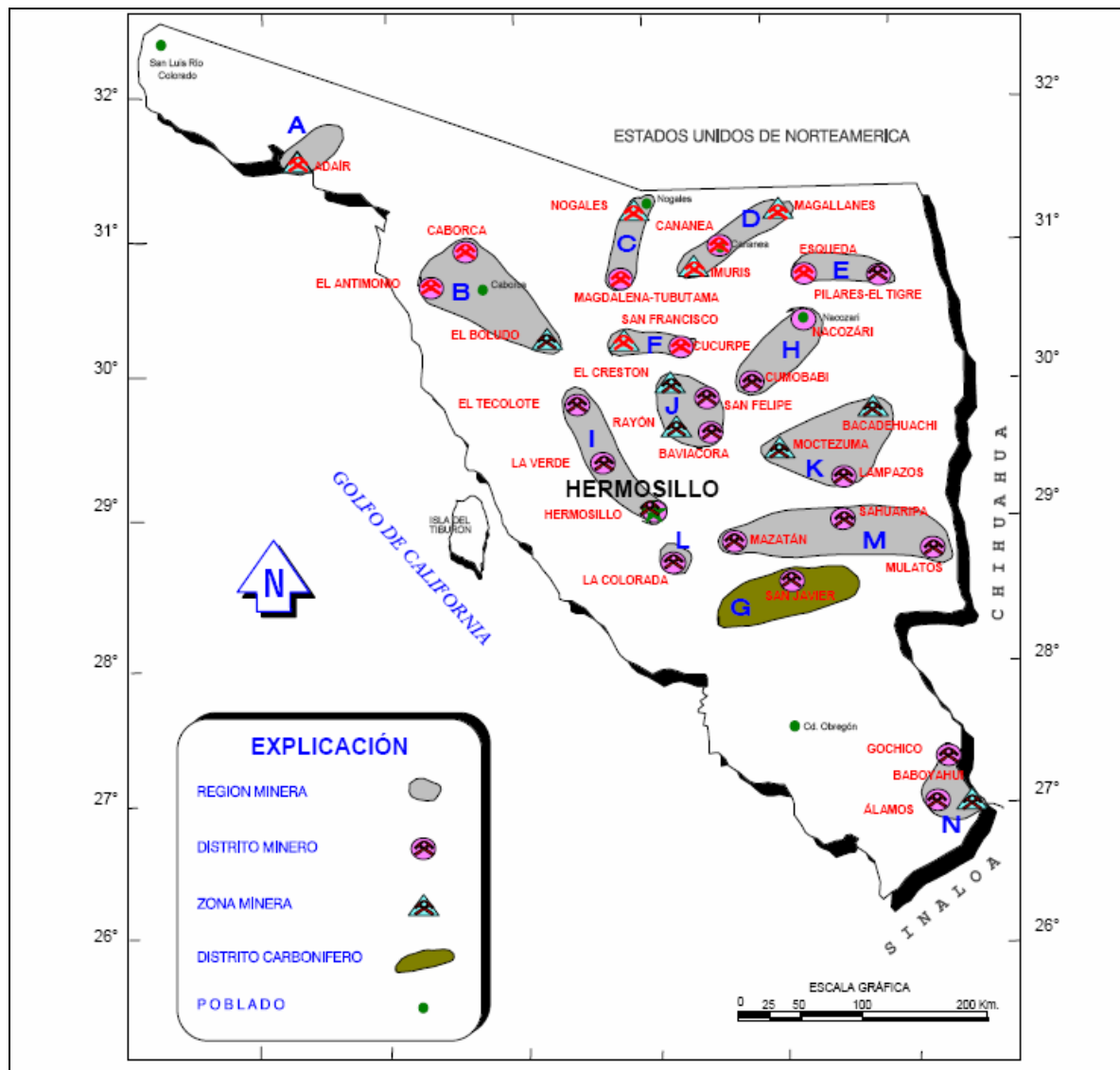


Figura 12. Localización de las regiones mineras del estado de Sonora
Fuente www.coremisgm.gob.mx

Lógicamente en las regiones mineras de mayor importancia se encuentran las zonas donde la mineralización se presenta con mayor frecuencia. La mayor parte están ubicados los distritos mineros que se han explotados desde la época colonial y que siguen activos. Por lo tanto, para la toma de muestras se eligió la región de "La Colorada" con mineralización de oro (Au), plata (Ag), plomo (Pb) y cobre (Cu). El trabajo de campo se realizó los días 6 y 7 de julio de 2008. Las fotografías de los sitios muestreados y de los suelos se encuentran en el Anexo Fotográfico.

En resumen, el muestreo del proyecto abarco 11 estados y se obtuvieron 297 muestras en las cuales se analizaron parámetros físicos (pH, conductividad eléctrica y textura), y composición química del suelo por medio de las concentraciones totales de 22 elementos y concentraciones solubles de 22 elementos. La distribución de las muestras se presenta en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Estados analizados y distribución de muestras

N.	Estado	Número de Observaciones
1	Chihuahua	25
2	Coahuila	49
3	Durango	25
4	Guerrero	24
5	Jalisco	25
6	Michoacán	25
7	Nayarit	25
8	Nuevo León	25
9	Oaxaca	24
10	Sinaloa	25
11	Sonora	25
	TOTAL	297

4.2 Análisis de datos de valores de fondo en suelos de regiones mineras de México

Para el manejo e interpretación de los datos experimentales se agruparon todos los resultados obtenidos en esta segunda etapa y posteriormente del total de resultados de las dos etapas, y se determinaron los valores de tendencia central: media, mediana, así como los valores máximo, mínimo y la desviación estándar.

Los parámetros estadísticos de los 297 sitios estudiados en esta segunda etapa se presentan en los cuadros s 13 al 15.

Cuadro 13. Medidas de tendencia central (n=297) de los parámetros fisicoquímicos generales

	pH	C.E. $\mu\text{s}/\text{cm}$	SO_4 $\text{mg SO}_4 / \text{kg}$	M.O. %	% ARCILLAS	% ARENA	% LIMO
Media	7.44	166.21	269.36	3.55	21.21	54.59	23.16
Maximo	10.21	6100.00	25618.75	33.07	78.00	96.00	76.00
Minimo	4.56	3.88	40.39	0.00	2.00	6.80	2.00
Mediana	7.54	84.10	50.82	2.84	18.00	58.00	20.00
Desv Est	1.13	435.29	1741.89	3.33	14.29	21.59	11.76

Cuadro 14 Medidas de tendencia central de las concentraciones totales (n=297)

	Ag mg/kg	Al mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Be mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg
Media	<LD	13963.9	5.7	150.4	<LD	61618.7	<LD
Maximo		47282.2	493.5	1249.4		2267093.2	
Minimo		998.0	<LD	<LD		2.3	
Mediana		11446.0	<LD	129.1		10217.0	
Desv Est		7971.7	37.5	142.3		221688.2	

	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Hg mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg
Media	<LD	9.9	20.8	17637.0	<LD	3413.3	446.7
Maximo		275.2	307.0	86780.0		37505.0	3296.0
Minimo		<LD	<LD	98.9		<LD	<LD
Mediana		<LD	<LD	14142.0		2500.0	362.8
Desv Est		22.9	40.0	11549.7		4621.7	370.8

	Mo mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Se mg/kg	Ti mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Media	<LD	8.3	40.9	1.0	4.9	144.1	105.9	42.9
Maximo		175.1	489.0	10.6	61.5	3110.0	775.0	454.8
Minimo		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mediana		<LD	23.2	<LD	<LD	10.0	27.4	36.8
Desv Est		19.6	53.0	2.3	11.4	405.2	160.5	59.0

<LD: valor debajo del límite de detección (Ver cuadro1)

Cuadro 15. Medidas de tendencia central de las concentraciones solubles (n=297)

	Ag mg/L	Al mg/L	As mg/L	Ba mg/L	Be mg/L	Ca mg/L	Cd mg/L
Media	<LD	8.68	0.02	0.03	<LD	26.83	<LD
Maximo		113.15	0.18	0.31		980.00	
Minimo		<LD	<LD	<LD		<LD	
Mediana		4.12	<LD	<LD		14.41	
Desv Est		13.61	0.04	0.05		104.84	

	Co mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Hg mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L
Media	<LD	<LD	<LD	5.21	<LD	2.14	<LD
Maximo			0.04	66.92		18.49	
Minimo			<LD	<LD		<LD	
Mediana			<LD	2.07		1.02	
Desv Est			<LD	8.35		3.31	

	Mo mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Sb mg/L	Se mg/L	Ti mg/L	V mg/L	Zn mg/L
Media	<LD	<LD	0.09	<LD	0.08	0.23	0.04	0.01
Maximo			3.72		0.53	3.24	1.07	0.34
Minimo			<LD		<LD	<LD	<LD	<LD
Mediana			<LD		<LD	<LD	<LD	<LD
Desv Est			0.56		0.15	0.48	0.14	0.05

<LD: valor debajo del límite de detección (Ver cuadro1)

Se realizó un análisis estadístico básico de los datos obtenidos en las dos etapas que suman un total de 606 sitios. La descripción de las muestras colectadas y analizadas se presenta en el Cuadro 16. Como se observa se han muestreado un total de 23 estados que cuentan con importantes regiones mineras y se muestrearon suelos en 606 sitios.

Cuadro 16. Muestras recolectadas y analizadas



Los resultados estadísticos obtenidos con el total de muestras (n=606) y que se presentan en Cuadros 17 y 18, son similares a los obtenidos en el análisis de las 297 muestras analizadas en esta segunda etapa (Cuadros 13 al 15)

Cuadro 17. Medidas de tendencia central de los parámetros físicos y químicas de carácter general (n=606).

	pH	C.E. $\mu\text{s}/\text{cm}$	M.O. %	% ARCILLAS	% ARENA	% LIMO
Media	7.49	244.41	2.66	22.35	53.89	23.09
Maximo	10.80	36050.00	33.07	78.00	100.00	76.00
Minimo	4.31	3.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Mediana	7.76	89.65	2.13	19.20	56.00	22.00
Desv Est	1.09	1524.77	2.68	14.08	20.10	10.67

Cuadro 18. Medidas de tendencia central de las concentraciones totales (n=606)

	Ag mg/kg	Al mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Be mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg
Media	1.51	17955.1	9.65	160.56	<LD	55191.551	0.43
Maximo	110.19	66288.7	493.51	1800.86		2267093.2	25.15
Minimo	<LD	<LD	<LD	<LD		<LD	<LD
Mediana	<LD	14300	<LD	126.94		10226	<LD
Desv Est	11.77	12307	34.20	167.84		188386.53	2.13

	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Hg mg/kg	Mg mg/kg	Hg mg/kg
Media	3.56	16.27	21.04	19316.67	<LD	3810.54	<LD
Maximo	75.25	275.20	307.00	86780.00		37505.00	
Minimo	<LD	<LD	<LD	98.90		<LD	
Mediana	<LD	<LD	8.74	15385.00		2862.00	
Desv Est	7.06	29.46	34.54	12344.89		4855.27	

	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Se mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Media	442.37	0.01	10.29	56.02	2.40	74.35	68.68
Maximo	3296.00	6.93	230.87	974.62	61.50	775.00	1759.00
Minimo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mediana	358.26	<LD	<LD	39.45	<LD	30.09	46.95
Desv Est	354.20	0.29	21.51	84.64	8.36	120.16	133.97

<LD: valor debajo del límite de detección (Ver cuadro 1)

4.3 Mapa de Valores de Fondo de Elementos Potencialmente Tóxicos

Como se menciona anteriormente los productos resultantes del proyecto son 3 mapas digitales de puntos.

a) Mapa de puntos de muestreo. Indica la localización de los suelos muestreados a lo largo de las 2 etapas realizadas, 1) Semarnat-Conacyt C01-0010/2002 y 2) Semarnat- Conabio.

b) Mapa de valores de fondo. Los atributos del mapa son los elementos potencialmente tóxicos regulados en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA-2004.

c) Mapa de datos geoquímicos. Este contiene los mismos atributos que el mapa de valores de fondo, pero son las concentraciones encontrados en sedimentos de arroyo y recolectados por el SGM.

Es importante resaltar que con los productos finales se cuenta con tres mapas digitales que permiten manejar una gran cantidad de información en una forma dinámica. Estos mapas digitales permiten visualizar gráficamente cualquiera de los parámetros medidos y encontrar relaciones espaciales entre ellos, e inclusive correlaciones existentes entre dichos parámetros.

Como ejemplo del manejo de los mapas digitales, a continuación se representan de manera gráfica, dos acercamientos en la región centro de San Luis Potosí, que muestran 2 afloramientos con sitios muestreados. En la

Figura 13 se representa únicamente el valor de fondo para el arsénico en muestras de suelos y los valores de arsénico en sedimentos (datos geoquímicos del Servicio Geológico Mexicano). El mapa permite identificar rápidamente que los sitios con concentraciones mayores de arsénico se encuentran cerca de Matehuala y además, que los valores de fondo en suelos son similares o menores a los encontrados en sedimentos.

En la Figura 14 se representan los valores de fondo y los datos geoquímicos para el plomo. Se observa que en este caso los valores de plomo en suelos son menores a los sedimentos, posiblemente debido a arrastres de minerales ricos en este elemento.

Por lo que se observa la utilidad de los mapas para identificar sitios con concentraciones naturalmente ricas en elementos potencialmente tóxicos en suelos y sedimentos.

Es importante mencionar que en la base de datos que se entrega como producto final de este proyecto (Anexo base de datos) se presentan los datos de los parámetros generales y concentraciones totales y solubles. Los parámetros que se reportan son: pH, conductividad eléctrica (CE), % de materia orgánica (% C), textura (% arena, % limo y % arcilla) concentraciones totales y solubles de aluminio(Al), arsénico(As), plata(Ag), bario(Ba), berilio(Be), calcio(Ca), cadmio(Cd), cobalto(Co), cromo(Cr), cobre(Cu), hierro(Fe), mercurio(Hg), magnesio(Mg), manganeso(Mn), níquel(Ni), plomo(Pb), antimonio(Sb), selenio(Se), titanio(Ti), vanadio(V) y zinc(Zn).

4.4 Análisis y discusión de resultados de los datos de valores de fondo de México

Los datos generados durante la investigación adicionalmente permitieron:

- Hacer comparaciones de los valores de fondo de concentraciones totales obtenidos vs límites de referencia establecidos en la NOM-147
- Examinar la concordancia con los datos geoquímicos para sedimentos informados de cartas geológicas
- Hacer comparaciones de la fracción geodisponible con los límites de referencia de la NOM-147
- Examinar la concordancia de los valores de fondo obtenidos para México con valores de fondo internacionales
- Hacer correlaciones de los valores de fondo entre EPT-EPT

4.4.1 Comparación de los valores de fondo (concentraciones totales) con los límites de referencia establecidos en la NOM-147

Si se comparan los valores de media, mediana y máximo de las concentraciones totales obtenidas para las 610 muestras con los valores referidos en la Norma NOM-147 SEMARNAT/SSA1-2004 (Cuadro 19); se observa que tanto la media como la mediana no sobrepasan las concentraciones de genéricas de referencia. Sin embargo, cuando se analizan los valores máximos para arsénico, plomo y vanadio se observa que sobrepasan los valores genéricos de referencia inclusive para suelos de uso industrial. Para As el valor referido en la NOM-147 es de 260 mg/kg y en el muestreo de valores

de fondo se han encontrado valores de hasta 493 mg/kg. En el caso de Pb el valor máximo de fondo (975 mg/kg) también es mayor al del valor referenciado para uso industrial (800 mg/kg). Por último, vanadio sobrepasa el valor para uso agrícola/residencial/comercial, pero no el valor para uso industrial. Es importante mencionar que la distribución de los datos es del tipo exponencial, es decir pocas muestras presentan valores mayores a la media. En la Figura 15 se observa dicho comportamiento.

Cuadro 19. Comparación de valores de fondo con los valores referenciados en la NOM-147

Concentraciones de referencia totales (CR _T) por tipo de uso de suelo. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004			PROYECTO FONDOS 1er etapa y 2a etapa N= 606		
Contaminante	Tabla 1 NOM 147 Uso agrícola/residencial/comercial (mg/kg)	Tabla 1 NOM 147 Uso industrial (mg /kg)	Conc. TOTALES (mg/kg) MEDIA	Conc TOTALES (mg/kg) MEDIANA	Conc. TOTALES (mg/kg) MAX
Arsénico	22	260	9.6	<LD	493
Bario	5 400	67 000	162	126	1800
Berilio	150	1 900	<LD	<LD	<LD
Cadmio	37	450	0.4	<LD	25
Cromo Hexavalente	280	510	16.3	<LD	275
Mercurio	23	310	0.3	<LD	15
Níquel	1 600	20 000	10.3	<LD	230
Plata	390	5 100	1.5	<LD	110
Plomo	400	800	56	39.4	975
Selenio	390	5 100	2.4	<LD	61
Vanadio	78	1 000	74.4	30.1	775

NOTA:

a. En caso de que se presenten diversos usos del suelo en un sitio, debe considerarse el uso que predomine.

b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos del suelo, se usará el valor residencial.

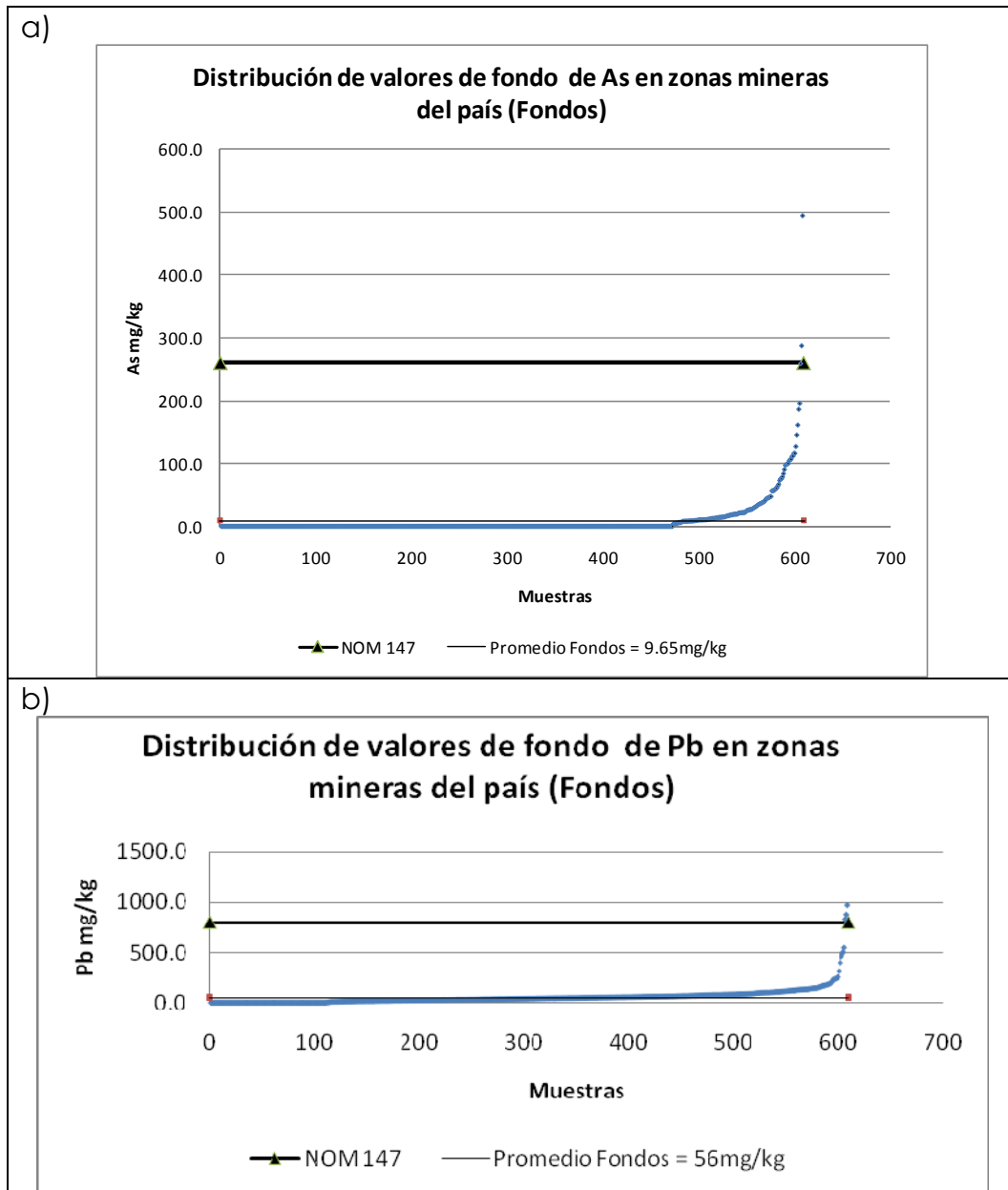


Figura 15. Distribución de valores de fondo de a) arsénico y b) plomo comparados con el valor de la NOM-147 para suelos de uso industrial

En el Cuadro 20 se muestran las regiones del país en las que se encontraron las concentraciones máximas de arsénico, plomo y vanadio, y que sobrepasan los valores genéricos de remediación de la NOM-147.

Cuadro 20. Regiones que rebasan los valores referenciados en la NOM-147

Contaminante	Tabla 1 NOM 147 Uso agrícola/residencial/comercial (mg/kg)	Estados que sobrepasan el valor de la NOM-147*	Tabla 1 NOM 147 Uso industrial (mg /kg)	Estados que sobrepasan el valor de la NOM-147*
Arsénico	22	Aguascalientes (83 mg/kg), Baja California Norte (127 mg/kg), Chihuahua (116 mg/kg), Durango (111 mg/kg), Hidalgo (195 mg/kg), Estado de México (161 mg/kg), Michoacán (104 mg/kg), Nayarit (37 mg/kg), Querétaro (31 mg/kg), San Luis Potosi (75 mg/kg) y Zacatecas (56 mg/kg)	260	Guerrero (287 mg/kg), Oaxaca (493 mg/kg) y Sonora (359 mg/kg)
Plomo	400	Aguascalientes (461 mg/kg) e Hidalgo (550 mg/kg)	800	Chihuahua (881 mg/kg) y Guerrero (974 mg/kg)
Vanadio	78	Baja California Sur (107 mg/kg), Coahuila (460 mg/kg), Colima (172 mg/kg), Chihuahua (775 mg/kg), Estado de México (225 mg/kg), Guerrero (97 mg/kg), Guanajuato (190 mg/kg), Hidalgo (289 mg/kg), Jalisco (128 mg/kg), Michoacán (167 mg/kg), Nayarit (143 mg/kg), Nuevo León (713 mg/kg), Querétaro (206 mg/kg), San Luis Potosi (112 mg/kg) y Sonora (78 mg/kg)	1 000	Ningún dato sobrepasa el valor

* El valor encontrado se encuentra entre paréntesis

En el Cuadro 20 se observa que en el caso del arsénico, se sobrepasan los valores referidos para suelos de uso agrícola/residencial/comercial en 11 regiones mineras. Únicamente en Guerrero, Oaxaca y Sonora se obtuvieron datos mayores a 260 mg/kg que es el límite establecido para suelos de uso industrial. En el caso de plomo se sobrepasa el límite de uso agrícola/residencial/comercial en Aguascalientes e Hidalgo, y en Chihuahua y Guerrero los límites para uso industrial. En el caso del vanadio se sobrepasa el límite de 78 mg/kg para suelos de uso agrícola/residencial/comercial en 15 regiones muestreadas, pero en ningún caso se encontraron valores mayores a 1000 mg/kg que es lo que se establece para uso industrial.

4.4.2 Análisis de datos de sedimentos de cartas geológicas del Servicio Geológico Mexicano

Durante el desarrollo del proyecto se adquirieron 37 cartas geológicas 1:250 000 de la República Mexicana, cuya localización se muestra en la Figura 16 y se describe en el Cuadro 21.

Estos datos tiene la finalidad de enriquecer los datos obtenidos del proyecto. En primer lugar, se valora si existe una relación entre las concentraciones de los EPT en sedimentos y los valores de fondo de los suelos.



Figura 16. Localización cartas geológicas 1: 250 000

Cuadro 21. Cartas geológicas 1:250 00

Carta Geológica	Nombre	Número de muestras
H11-3	San Felipe	251
H13-1	Ciudad Juárez	405
H12-6	Nacozari	511
H12-10	Isla San Esteban	361
H12-11	Sierra Libre	408
H13-10	Chihuahua	815
H13-11	Ciudad Delicias	540
G12-1	Santa Rosalía	355
G13-1	San Juanito	616
G13-2	Ciudad Camargo	543
G13-5	Hidalgo de Parral	600
G13-9	Torreón	410
G13-12	Juan Aldama	639
G14-4	Monclova	831
G14-7	Monterrey	509
F13-1	Mazatlán	187
F13-2	El Salto	603
F13-3	Fresnillo	675
F13-5	Escuinapa	535
F13-6	Zacatecas	747
F13-8	Tepic	595
F13-11	Puerto Vallarta	624
F14-1	Matehuala	699
F14-4	San Luis Potosí	600
F14-7	Guanajuato	871
F14-10	Queretaro	391
F14-11	Pachuca	757
E13-2-5	Manzanillo	381
E13-3	Colima	435
E14-1	Morelia	614
E14-4	Ciudad Altamirano	592
E14-5	Cuernavaca	649
E14-8	Chilpancingo	632
E14-9	Oaxaca	593
TOTAL		18974

Para ejemplificar la relación entre la concentración de los elementos en suelos y sedimentos, se analizaron los datos obtenidos en el estado de Guerrero (Cuadro 20) ya que presentó altas concentraciones en arsénico y plomo. Las cartas geológicas E14-8, y E-14-5 (1:250 000) presentan valores de medias para arsénico total de 26.7 y 15.04 mg/kg respectivamente y valores

máximos de 1463.24 y 378.66 mg/kg. En el caso del plomo los valores de las medias son 30.54 y 38.38 mg/kg respectivamente y los valores máximos son 927.0 y 1659.6 mg/kg. Estos valores máximos no sobrepasan las concentraciones en los sedimentos de la misma región.

En el Cuadro 22 se presentan las medias y las medianas, así como los valores máximos reportados en sedimentos en todos los casos son mayores. Las medias de las concentraciones de EPT en suelos y sedimentos presentan un coeficiente de correlación de 0.89, mientras que entre las medianas no hay correlación, ya que los sedimentos presentan valores máximos mucho más altos que los suelos. En etapas posteriores se podrá evaluar si es posible encontrarse una relación suficientemente fuerte entre las concentraciones de EPT en sedimentos y suelos. Esto permitirá construir un modelo que prediga los valores de fondo de EPT en suelos con base en la base de datos de los sedimentos del Servicio Geológico Mexicano, ya que los datos geoquímicos en sedimentos cubren prácticamente todo el país.

Cuadro 22. Valores de Fondo y Concentraciones en Sedimentos reportadas por SGM

Contaminante	PROYECTO FONDOS 1er etapa y 2a etapa N= 610			Sedimentos Servicio Geológico Mexicano N= 18860		
	Conc. TOTALES (mg/kg) MEDIA	Conc TOTALES (mg/kg) MEDIANA	Conc. TOTALES (mg/kg) MAX	Conc. TOTALES (mg/kg) MEDIA	Conc TOTALES (mg/kg) MEDIANA	Conc. TOTALES (mg/kg) MAX
Arsénico	9.6	<LD	493	12.0	7.2	6820.5
Bario	162	126	1800	181.0	158.0	3792.9
Berilio	<LD	<LD	<LD	1.2	1.1	11.0
Cadmio	0.4	<LD	25	1.3	0.6	226.3
Níquel	10.3	<LD	230	23.4	15.8	887.3
Plata	1.5	<LD	110	1.1	0.8	283.0
Plomo	56	39.4	975	41.1	27.9	8438.0
Selenio	2.4	<LD	61	84.0	3.9	35281.0

4.4.3 Comparación de la fracción geodisponible con los límites de referencia de la NOM-147

En el Cuadro 23 se presentan las medias, medianas, valores máximos y mínimos y la desviación estándar de las concentraciones geodisponibles (solubles). Se puede observar que con excepción de algunos valores máximos, en casi el total de casos las concentraciones son muy bajas.

Cuadro 23. Valores de concentraciones solubles

	Ag mg/L	As mg/L	Ba mg/L	Be mg/L	Cd mg/L	Co mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L
Media	<LD	0.016	0.100	<LD	<LD	<LD	0.003	0.133
Maximo		1.400	2.800				0.224	23.300
Minimo		<LD	<LD				<LD	<LD
Mediana		<LD	<LD				<LD	<LD
Desv Est		0.091	0.377				0.021	1.491

	Mn mg/L	Mo mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Se mg/L	V mg/L	Zn mg/L
Media	0.102	<LD	0.003	0.050	0.042	0.074	0.083
Maximo	11.300		0.800	3.720	0.534	13.217	4.300
Minimo	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mediana	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Desv Est	0.815		0.048	0.406	0.118	0.804	0.499

Si se comparan con los datos referenciados en la NOM-147 (Cuadro 24), se observa nuevamente que el As, Pb y V presentan los más altos valores de manera similar cuando se analizaron directamente las concentraciones totales.

Cuadro 24. Comparación de datos de concentraciones solubles para valores de fondo con los referenciados NOM-147

Concentraciones de referencia de contaminantes solubles (CR _s) NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004		PROYECTO FONDOS 1er etapa y 2a etapa N= 606		
Contaminante	Concentración (mg/L)	Conc. SOLUBLES (mg/L) MEDIA	Conc. Solubles (mg/L) MEDIANA	Conc. SOLUBLES (mg/L) MAX
Arsénico	0.50	0.2	<LD	1.4
Bario	10.00	0.11	<LD	2.8
Berilio	0.12	<LD	<LD	<LD
Cadmio	0.10	<LD	<LD	<LD
Mercurio	0.02	<LD	<LD	<LD
Níquel	1.10	<LD	<LD	0.8
Plata	0.50	<LD	<LD	<LD
Plomo	0.50	0.06	<LD	3.72
Selenio	0.10	0.05	<LD	0.5
Vanadio	0.16	0.09	<LD	13.2

Las concentraciones totales más altas de arsénico se encontraron en Guerrero, Chihuahua y Oaxaca. En los Estados de Hidalgo y Sinaloa se ubicaron las zonas con mayores concentraciones de As soluble, El Pb soluble se detectó únicamente en el Estado de Chihuahua, que junto con Guerrero presentan las mayores concentraciones totales de Pb. En los Estados de Coahuila, Nuevo León y Chihuahua se identificaron las zonas con las mayores concentraciones totales de vanadio, mientras que la mayor geodisponibilidad se encontró en sitios de Zacatecas y Michoacán.

Considerando que en casi la totalidad de las muestras los valores de la fracción geodisponible son muy bajos, lo cual concuerda con los resultados en otros sitios; se debe considerar que los sitios que presentaron valores extremos pueden estar afectados por contaminantes generados por la actividad antropogénica, especialmente en el caso del cobre. Pero otra posibilidad es que los altos valores pueden estar causados por nanopartículas que pasan por el filtro y sesgan los resultados analíticos.

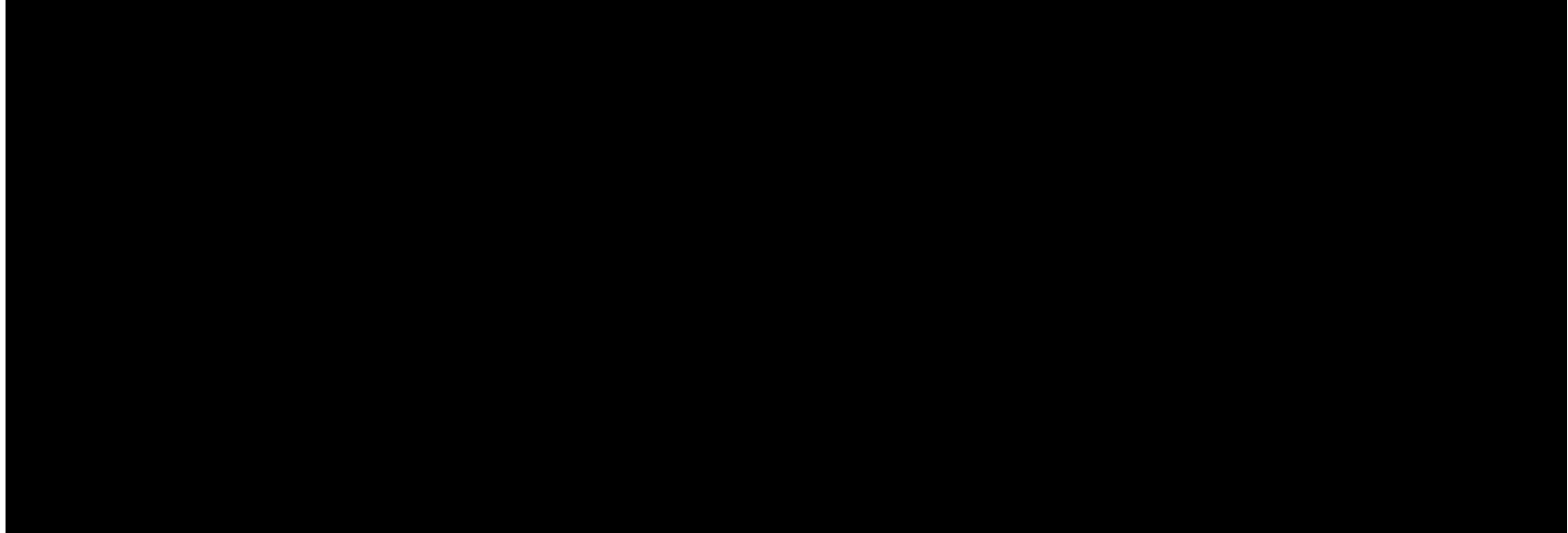
Por otra parte, queda en evidencia que para evaluar un sitio contaminado con EPT se requiere medir no solamente la concentración total sino también la fracción geodisponible. Por ejemplo, un sitio de una zona mineralmente rica no afectada por una fuente de contaminación antropogénica, puede presentar una concentración total muy alta pero la fracción soluble siempre será baja. En cambio un suelo con una baja o alta concentración total, si presenta una alta fracción soluble, es muy probable que esté contaminado y represente un riesgo para el ambiente.

En el Cuadro 24 se comparan los valores solubles para los elementos potencialmente tóxicos referenciados en los NOM-147 con los obtenidos para valores de fondo. Se observa que en los casos de As, Pb y V; los valores máximos solubles sobrepasan los referenciados en la NOM -147. Es necesario realizar más estudios sobre este tema para contar con información que permita establecer límites adecuados a las condiciones de México, pues los listados en la NOM-147 fueron tomados de diferentes datos internacionales y no siempre se refieren a suelos.

4.4.4 Concordancia de los valores de fondo (concentraciones totales) obtenidos con valores de fondo internacionales

Los valores de fondo promedio y máximos del país obtenidos con las 606 muestras al compararse con los reportados en la bibliografía internacional (Cuadro 25), se observa que los valores de fondo determinados en este estudio son para la mayoría de los elementos más altos que los reportados en otros sitios, con excepción de Almería, España la cual también es una zona minera (Sierra et al., 2007). El resto de los valores de fondo de elementos analizados y regulados en la NOM-147, se encuentran dentro del intervalo de los datos reportados internacionalmente (Taylor, 1964, Ure, 1979, Takeda, 2004 y Shocklette, 1984) Sin embargo, se observa nuevamente que sobrepasan los niveles referenciados en NOM-147.

Cuadro 25. Comparación Valores de Fondo Internacionales

The content of this table is completely redacted with a solid black box.

En el caso específico de As y Pb (Figura 17) se comparan las medias de los valores de fondo (concentraciones totales) encontrados y se observa que para As los datos de Holanda y Almería (España) son mayores que los de México. Para Pb únicamente Almería presenta un valor mayor que nuestro país.

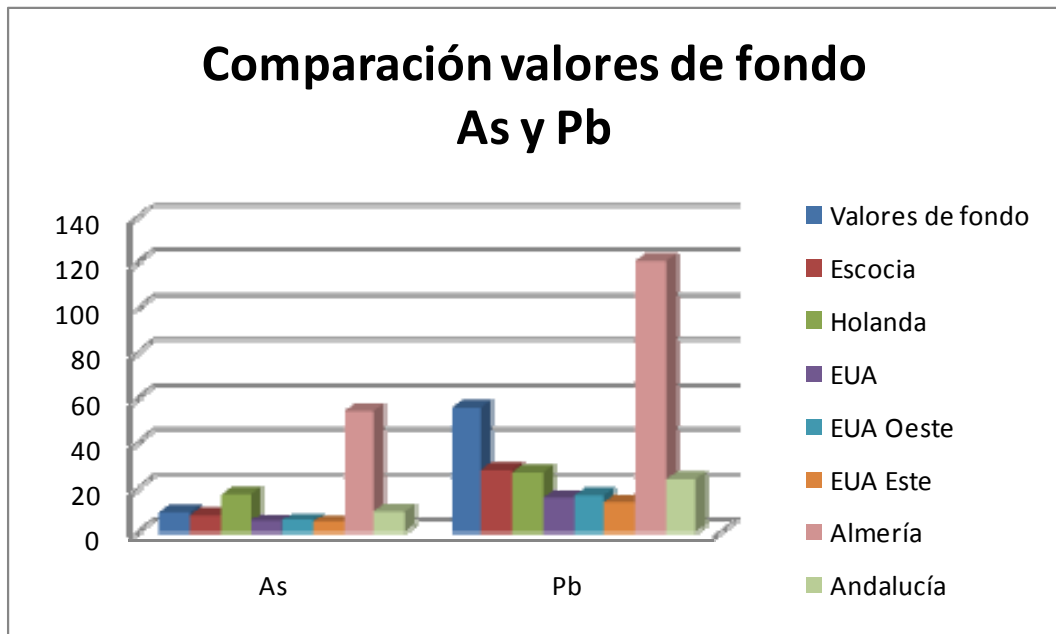


Figura 17. Comparación de valores de Fondo para As y Pb con datos internacionales

Se observa en el Cuadro 26 que en México se presentan datos más altos de Ag, As, Cd, V, Ca y Fe; pero, para el resto de los elementos los valores máximos de fondo son menores o iguales a las más altas concentraciones reportadas en los estudios internacionales.

Cuadro 26. Valores máximos de valores de fondo en suelo

Elemento	Valores de Fondo	Japón(2)	Holanda(3)	OESTE EUA(4)	ESTE EUA(4)	Bután(5)	Brasil(6)	Bowen(7)
Ag	110.19	0,45						5
As	493.51		30,73	97,00	73	99,3		40
Ba	1800,86	1500	172,5	5000,00	1500	1021,6		3000
Cd	25,15	3,4	0,6					7
Co	75.25	61		50,00	70	191,2	23	40
Cr	275.2	230		2000,00	1000			3000
Cu	307	230	33,23	300,00	700		211	100
Mn	3296		541,97	5000,00	7000			4000
Mo	6,93	8		7,00	15			5
Ni	230.87	110	29,83	700,00	700		46	1000
Pb	974,62	1100	50,19	700,00	300			100
V	775	540		500,00	300	426		500
Zn	1759	330	131,59	2100,00	2900			300
Al	66288.7			100000,00	100000			
Ca	2267093		51900	320000,00	280000			
Fe	86780		46200	100000,00	100000		323000	

(2) Akira Takeda, Kauhiko, Shin-ichi Yamasaki (2004) Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group and agricultural use. *Geoderma* 119: 291-307

(3) J. Spijker, S.P. Vriend, P.F.M. Van Gaans (2005) Natural and antropogenic patterns of covariance and spatial variability of minor and trace elements in agricultural topsoil. *Geoderma* 127: 24-35.

(4) Shocklette, Hansford T. y Boerngen, Josephine G, (1984) ELEMENT CONCENTRATIONS IN SOILS AND OTHER SURFICIAL MATERIAL OF THE CONTERMINOUS UNITED STATES, U.S. Geological Survey Paper 1270, United States Government Printing Office, Washington.

(5) Thomas Caspari, Rupert Baumler, Chenchu Norbu, Kado Tshering, Ian Baillie (2006) Geochemical investigation of soils developed in different lithologies in Bhutan, Eastern Himalayas. *Geoderma* 136: 436-458.

(6) Joao José Marques, Darrell G. Schule, Nilton Curi, Stanley A. Mertman (2004) Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma* 119: 179-195.

(7) Bowen, H.J.M., 1966, Trace elements in biochemistry, Academic Press, London, 241 pp.

En el caso del arsénico, el valor máximo del intervalo reportado por Nriagu et al. (1994) es más alto que el valor máximo determinado en este estudio (Cuadros 26 y 27).

Cuadro 27. Contenido de arsénico en suelos no contaminados de varios países¹

País	Número de muestras	Intervalo, mg/kg	Media, mg/kg
Argentina	20	0.8 - 22	5
China	4095	0.01 - 626	11.2
Francia		0.1 - 5	2
Alemania	2	2.5 - 4.6	3.5
Italia	20	1.8 - 60	20
Japón	358	0.4 - 70	11
México	18	2 - 40	14
Sudáfrica	2	3.2 - 3.7	3
Suiza	2	2 - 2.4	2.2
EUA	52	1.0 - 20	7.5
Mundial	1215	1.6 - 72	7.5

¹Nriagu, J.O. Arsenic in the Environment Part 1: Cycling and Characterization. Wiley Series in Advances in Environmental Science and Technology, USA, 1994.

4.4.5 Correlaciones de los valores de fondo entre EPT-EPT

Las correlaciones lineales entre los elementos determinados en el total de las muestras no son significativas, con excepción de la relación entre plomo y zinc totales:

$$\text{Pb total y Zn total } r=0.77$$

Entre el arsénico y el plomo y el zinc, los valores son bajos pero mayores que para el resto de los elementos:

$$\text{As total y Pb total } r= 0.36$$

$$\text{As total y Zn total } r=0.34$$

Esta última es debido a que como se muestra en la Figura 1, las regiones muestreadas son mineras y principalmente del cinturón de Pb-Zn, lo que indica que estos dos elementos encontrados están ampliamente relacionados

5. CONCLUSIONES

Los mapas elaborados en este estudio, cuentan con información suficiente y de calidad, para que los sectores gubernamental y privado puedan utilizarlos para la toma de decisiones en relación a sitios con suelos contaminados con EPT. Los valores totales y solubles permiten discriminar a zonas contaminadas por fuentes antropogénicas de suelos naturalmente ricos en EPT.

En el caso de arsénico, plomo y vanadio los valores de fondo obtenidos son mayores que las concentraciones genéricas de referencia en la NOM-147, por lo que la aplicación de los valores de referencia debe limitarse a su uso como un criterio preliminar para determinar sitios contaminados, sujeto a confirmación mediante valores de fondo y otros estudios. Los datos encontrados de valores de fondo en suelo en su mayoría están en concordancia con los reportados a nivel internacional, para As y Pb se presentan igualmente valores altos en regiones mineras (Almería).

Los valores geodisponibles no se relacionan directamente con las concentraciones totales, por lo que deben determinarse ambos valores para establecer el riesgo asociado a suelos contaminados con EPT.

Las medias de las concentraciones de EPT en sedimentos en la misma región son similares a las determinadas en suelos no afectados, pero los valores máximos en sedimentos son notablemente mayores que en suelos, lo que se debe a arrastres de minerales por viento y agua, que directamente van a los cauces de los cuerpos de agua.

6. REFERENCIAS

- Aubert, H. y Pinta, M. (1977). "Trace elements in soils". Development in soil science 7. Elsevier Scientific Publilish Company. pp. 395.
- Allan R. (1997). "Mining and metals in the environment". Journal of Geochemical Exploration 58. pp. 95-100
- Andrews-Jones, D.A., 1968, The application of geochemical techniques to mineral exploration, Miner. Ind. Bull., 11(6): 1-31
- Baldwin et al. (1999). "Heavy metal poisoning and its laboratory investigation". Ann Clin Biochem. 36. pp. 267-300.
- Bloomfield, C. 1981. "The translocation of metals in soils", en The Chemistry of Soil Processes, Greenland - D.J. an Hayes, M. H. B. Eds. John Wiley and Sons. New York. pp 453
- Bowen, H.J.M., 1966, Trace elements in biochemistry, Academic Press, London, 241 pp.
- CFE 1988. "Estudio y detección de elementos tóxicos en el area de Villa Juárez, Dgo." Comisión Federal de Electricidad. Reporte Especial.
- Conabio (1998). La diversidad biológica de México. Estudio de País. 1998. Comisión Nacional párale Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México
- EPA Method 3051. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils.

EPA Method 6010B "Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy".

Gutiérrez Ruiz M. 1982. "Estudio del Contenido de Iones Inorgánicos y sus Interacciones en Suelos y Plantas de los Distritos de Riesgo 03 y 88". Tesis maestría. Facultad de Química-UNAM. pp 251

Gutiérrez-Ruiz, M.; Siebe, Ch.; Sommer, I. 1995. Effects of land application of waste water from Mexico City on soil fertility and heavy metal accumulation: a bibliographical review. *Environ. Rev.* 3: 318 - 330.

IGg-UNAM 2001. "Diagnóstico Ambiental de la Planta Monterrey, IMMSA". Informe final para el Instituto Nacional de Ecología. LAFQA, Instituto de Geografía, UNAM, México. 500 pp.

Kabata-Pendias, A. y Pendias, H., 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press. US. pp. 315

Lindsay W. 1979. Chemical Equilibria in Soils, John Wiley & Sons, USA, 450 pp

Manahan et al., (1990). "Toxicological Chemistry. A Guide to toxic substances in Chemistry". Lewis Publishers, Inc. Michigan, USA

Miller J. N. y J. C Miller (2002). Estadística y quimiometría para Química analítica. 4ta edición. Prentice Hall. Madrid: pp. 21-35.

NAP (2000). Bioavailability of contaminants in soils and sediments: Processes, tools, and applications. National Academy Press. Washington, D.C. www.nap.edu.

NMX-AA-132-SCFi-2006- Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece Criterios para determinar las Concentraciones de Remediación de Suelos Contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

Nriagu JO, Pacyna JM. 1988. "Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals". *Nature* 333:134-139.

Nriagu, J.O. 1994. *Arsenic in the Environment Part 1: Cycling and Characterization*. Wiley Series in Advances in Environmental Science and Technology, USA.

Ortiz Hernández M. L., Sánchez Salinas E. y Gutiérrez Ruiz M. E.(1993) *Análisis de Suelos Fundamentos y técnicas*. Vol. 1 y 2. Ed. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Morelos, México. 143 pp.

Ruby, M.V., Schoff, R., Brattin, W., Goldade, M., Post, G., Harnois, M., Mosby, D.E., Casteel, S.W., Berti, W., Carpenter, M., Edwards, D., Cragin, D., Chappell, W. 1999. "Advances in evaluating the oral bioavailability of inorganics in soils for use in human health risk assessment". *Environmen. Sci. Technol.*, 33 (21) 3697 – 3705.

Sadiq, M. 1997. "Arsenic chemistry in soils: an overview of thermodynamic predictions and field observations". *Water, Air and Soil Pollution*, Vol 93:117-136 pp

Shocklette, H. T. y Boerngen, J. G., 1984. *ELEMENT CONCENTRATIONS IN SOILS AND OTHER SURFICIAL MATERIAL OF THE CONTERMINOUS UNITED STATES*, U.S. Geological Survey Paper 1270, United States Government

- Semarnat-Profepa. 2000. "Disposiciones y Procedimientos para la caracterización y Restauración de Suelos Contaminados". Dirección General de Emergencias Ambientales Ed., Subprocuraduría de Auditoría Ambiental. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Siebe, Ch. 1994b. "Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el D.R. 03, Tula, Hidalgo". Rev. Int. Contam. Ambient. 10: 15-21
- Sierra, M., Marine, F.J, y Aguilar, J., 2007. Baselines for trace elements and evaluation of environmental risk in soils of Almeria (SE Spain). *Geoderma*, 139:209-219
- Spijker, J. Vriend, S.P., Van Gaans, P.F.M. 2005. Natural and antropogenic patterns of covariance and spatial variability of minor and trace elements in agricultural topsoil. *Geoderma*, 127:24-35
- Sterckman, T., Douay, F., Baie, D., Fourier, H., Proix, N., Schvartz, C., 2006. Trace elements in soils developed in sedimentary materials from Northern France. *Geoderma*, 136:912-929
- Takeda, A, Kauhiko, Yamasaki, S. 2004. Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group and agricultural use. *Geoderma*, 119:291-307
- Taylor, S.R. 1964. Abundance of chemical element in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28: 1273-1285.
- Ure, A.M., Bacon, J.R., Berrow, M.I. y Watt, J.J. 1979, The total trace element content of some Scottish soils by spark source mass spectrometry. *Geoderma*, 22:1-23

Yan-Chu Huang. 1994. "Arsenic Distribution in Soils" en Arsenic in the Environment, Nriagu, J.O. Ed. Wiley Series in Advances in Environmental Science and Technology.