CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C.

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE Y ENERGÍA

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS:

CONCENTRACIÓN DE METALES Y METALOIDES EN EL POBLADO DE SANTA BÁRBARA, CHIHUAHUA

"TESIS QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA AMBIENTAL PRESENTA:"

ING. ELISEO VALLES ESPINOZA

DIRECTORA DE TESIS:

PH.D. MA. TERESA ALARCÓN HERRERA

SEPTIEMBRE 2012 CHIHUAHUA, CHIH.

Dedicatoria

A Dios porque contigo todo y sin ti nada, porque simplemente permites que todo esto sea posible.

A mis padres Lydia y Eliseo, mis hermanos Miguel y Axcel, mi sobrino Gael pues es por ellos por quien vivo un día a día tratando de ser y dar lo mejor de mí.

A mis amigos que más que amigos son como hermanos y comparten conmigo esta necesidad y ganas de superación personal y profesional.

Agradecimiento

Te doy las gracias Dios por la vida misma, por todo lo aprendido y vivido, por hacerme un hombre de ciencia.

Por la enriquecedora experiencia que aporta un trabajo de investigación de maestría como este.

Padres siempre agradecido con ustedes porque día a día son mi fuente de inspiración y ejemplo, gracias hermanos por motivarme a seguir adelante.

A mi asesora de tesis: PhD Ma. Teresa Alarcón, quien me brindó su apoyo incondicional, su valiosa y desinteresada guía en la elaboración del presente trabajo de maestría.

A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron presentes con su apoyo, sus consejos y palabras de aliento para no desistir y continuar siempre hacia adelante con esta investigación.

Y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron con la realización de la presente como son los técnicos e investigadores encargados de los laboratorios de energías renovables y protección al medio ambiente así como el de análisis químico y calidad del agua.

Reconocimiento

Al Centro de Investigación en Materiales Avanzados por la oportunidad de aprendizaje, desarrollo de aptitudes y competencias para optar al Grado Académico de Maestro en Ciencia y Tecnología Ambiental.

Un reconocimiento muy especial a los investigadores con quienes realice mis estudios, Tere Alarcón, Ignacio Martin, Eduardo Herrera, Elena Montero, Guillermo Gonzales, Luz Leal, Teresita Ochoa, Lorena Álvarez.

Al Comité de Estudios de Posgrado y al personal en general en esta institución, en especial a Alejandro, Ariane, Flor, Nicte, Mary, Sandra.

A Conacyt por los programas de becas que facilitan la investigación en grados de maestría y doctorado que contribuyen a un México de mejores personas y profesionistas más preparados y competentes.

Índice General

Resumen 1
1. Introducción 2
2. Marco Teórico 3
2.1. Análisis Físico de Santa Bárbara, Chih. 3
2.1.1. Medio Físico 3
2.1.1.1. Localización 3
2.1.1.2. Extensión 4
2.1.1.3. Orografía 4
2.1.1.4. Hidrografía 4
2.1.1.5. Clima 4
2.1.1.6. Principales Ecosistemas 5
2.1.1.6.1. Flora 5
2.1.1.6.2. Fauna 5
2.1.1.7. Recursos Naturales 5
2.1.1.8. Características y uso del suelo 5
2.1.1.9. Demografía 5
2.1.2. Antecedentes Históricos de Santa Bárbara 6
2.2. La Minería a través del tiempo 6
2.2.1. Minería en México 7
2.2.1.1. Historia 7
2.2.1.2. Producción histórica 10
2.2.1.3. Producción Presente 11
2.2.2. Minería en Chihuahua 12
2.2.2.1. Historia 12
2.2.2.2. Valor y producción estatal 13
2.2.2.3. Participación en volumen y valor de la producción nacional 14
2.2.2.4. Regiones Mineras 15
2.2.3. Minería en Santa Bárbara, Chihuahua 18
2.2.3.1. Historia 18
2.2.3.2. Minas en Explotación 18
2.2.3.3. Unidades Minero Metalúrgicas y de Transformación 18
2.3. Sitios Contaminados en México 19

2.3.1. Sitios Contaminados por Emergencias Ambientales 20
2.3.2. Sitios contaminados registrados como pasivos ambientales 21
2.4. Metales Pesados (Residuos Mineros) 21
2.4.1. Características Ppales. y Efectos a la salud del: Al, As, Cd, Cu y Pb 22
2.4.2. Límites permisibles (Agua, Suelo y Aire) 27
2.4.2.1. Agua 27
2.4.2.2. Suelo (Polvo) 27
3. Justificación 29
4. Objetivos 30
4.1. General 30
4.2. Específicos 30
5. Alcances 31
6. Hipótesis 31
7. Metodología 32
7.1. Delimitación del área de estudio (Santa Bárbara, Chih) 32
7.2. Ubicación de los puntos de muestreo 34
7.2.1. Agua 34
7.2.2. Polvo 35
7.3. Colección y conservación de las muestras 36
7.3.1. Agua 36
7.3.2. Polvo 37
7.4. Preparación de las Muestras 37
7.4.1. Agua 37
7.4.2. Muestras de Polvo 37
7.5. Análisis de Muestras 37
7.5.1. Agua 37
7.5.2. Polvo 38
8. Análisis y discusión de resultados 39
8.1. Agua 39
8.1.1. pH 39
8.1.2. Conductividad Eléctrica 40
8.1.3. Alcalinidad 40
8.1.4. Dureza 41

8.1.5. Flúor (F^-) 42
8.1.6. Sólidos Totales 42
8.1.7. Metales 43
8.2. Polvo 44
8.2.1. Aluminio (Al) 46
8.2.2. Arsénico (As) 46
8.2.3. Cadmio (Cd) 47
8.2.4. Cobre (Cu) 47
8.2.5. Plomo (Pb) 48
8.2.6. Comparación con otras ciudades 50
8.2.7. Análisis Estadístico 52
9. Conclusiones 57
9.1. Agua 57
9.2. Polvo 57
10. Recomendaciones 58
Bibliografía 59

Índice de Tablas

Tabla 1: Población en Santa Bárbara (INEGI, 2011)..... 5

Tabla 2: Población de Santa Bárbara, Cabras y Santa Rita (Jose I. Alvarado Castañeda, 2012)..... 6

Tabla 3: Producción minera de oro, plata, cobre, plomo y zinc en México 1521-2008. Moz: millones de onzas, tm: toneladas métricas (Kenneth & David, 2007).10

Tabla 4: Producción de metales importantes en México 2002-2006. tm: toneladas métricas, kg: kilogramos..... 11

Tabla 5: Volumen de la producción minera 2006-2010 (Toneladas)..... 13

Tabla 6: Valor de la producción minera 2006-2010 (Pesos Corrientes)..... 13

Tabla 7: Participación a nivel nacional de la producción de minerales metálicos.. 14

Tabla 8: Participación a nivel nacional en producción de minerales no metálicos 15

Tabla 9: Regiones Mineras del Estado de Chihuahua 17

Tabla 10: Minas en explotación en Santa Bárbara, Chih. (SGM, 2011)..... 18

Tabla 11: Tipos de residuos en sitios contaminados en México..... 19

Tabla 12: Área, volumen y peso de suelo afectado y remediado en sitios contaminaos por emergencias ambientales (SEMARNAT, 2011)..... 21

Tabla 13: Comparación de valores de las NOM-127 (1994), NOM-041 (1993), IBWA, FDA y OMS 27

Tabla 14: Concentraciones de Referencia por tipo y uso de suelo. (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, 2004)..... 28

Tabla 15: Concentraciones máximas aceptable de metales en suelos agrícolas y/o residenciales (mg/kg). [1]NOM.147 [2](Valiente & Torrado, 2003) [3]Gálan (2008)..... 28

Tabla 16: Área y Volúmenes de los residuos mineros cercanos a Santa Bárbara 34

Tabla 17: Coordenadas de los puntos de muestreo para agua potable..... 35

Tabla 18: Coordenadas para los puntos de muestreo de polvo 35

Tabla 19: Métodos estándar de análisis..... 38

Tabla 20: Limites de detección y cuantificación (Al, As, Cd, Cu y Pb) en EAA 38

Tabla 21: Resultados del análisis en agua..... 39

Tabla 22: Clasificación del agua según la dureza y conductividad..... 42

Tabla 23: Resultados de los metales en las muestras de polvo urbano (mg/kg)... 44

Tabla 24: Distancia de la presa de jales a los puntos de muestreo..... 46

Tabla 25: Rango de Concentraciones de fondo, zona habitacional, sedimentos alrededor y dentro de la presa de jales (As, Cd, Cu, Pb) 49

Tabla 26: Concentración de metales en otras ciudades del mundo 51

Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación de Santa Bárbara en México (Wikipedia, 2012). 3

Figura 2: Ubicación de Santa Bárbara en el Estado de Chihuahua (Chihuahua - Santa Bárbara.:, 2011) 3

Figura 3: Colindancias de Santa Bárbara (Chihuahua - Santa Bárbara.:, 2011) 4

Figura 4: Principales depósitos mineros en México (Kenneth & David, 2007) 9

Figura 5: Producción de oro y plata en México 1521-2008. 10

Figura 6: Producción de oro y plata en México 1880-2008. 10

Figura 7: Participación a nivel nacional en producción de minerales metálicos 14

Figura 8: Participación a nivel nacional en producción de minerales no metálicos 14

Figura 9: Regiones mineras del estado de Chihuahua..... 16

Figura 10: Ubicación de la zona de estudio 32

Figura 11: Hidrografía en Santa Bárbara, Chih. 33

Figura 12: Dirección de los Vientos Dominantes en la región de Santa Bárbara .. 33

Figura 13: Ubicación de los puntos de muestreo para agua potable..... 34

Figura 14: Ubicación de los puntos de muestreo para polvo..... 36

Índice de Graficas

Gráfica 1: pH vs. valores recomendados (OMS, NOM-127 y NOM-041) 40
Gráfica 2: Conductividad eléctrica vs. valores recomendados (OMS)..... 40
Gráfica 3: Alcalinidad vs. valores recomendados (NOM-127 y NOM-041)..... 41
Gráfica 4: Dureza vs. valores recomendados (OMS, NOM-127 y NOM-041) 41
Gráfica 5: Flúor (F) vs. valores recomendados (OMS, NOM-127 y NOM-041) 42
Gráfica 6: Sólidos Totales vs. valores recomendados (NOM-127, NOM-041, IBWA y FDA) 43
Gráfica 7: Resultados de los metales en las muestras de polvo urbano (mg/kg) .. 45
Gráfica 8: Concentración de Aluminio 46
Gráfica 9: Arsénico (As) vs. Valores recomendados (NOM-147, EPHC) 47
Gráfica 10: Cadmio (Cd) vs. Valores recomendados (NOM-147, EPHC) 47
Gráfica 11: Cobre (Cu) vs. Valores recomendados (EPHC) 48
Gráfica 12: Plomo (Pb) vs. Valores recomendados (NOM-147, EPHC)..... 48
Gráfico 13: Arsénico vs. Distancia..... 52
Gráfico 14: Cadmio vs. Distancia 53
Gráfico 15: Cobre vs. Distancia..... 54
Gráfico 16: Plomo vs. Distancia 54
Gráfico 17: Arsénico vs. Distancia..... 55

Resumen

El hombre a través del tiempo ha echado mano de los recursos a su alcance para satisfacer sus necesidades más básicas de alimento, hogar y también para obtener riqueza, la obtención de minerales metálicos es una de las actividades que más riqueza genera, sin embargo el beneficio de estos minerales produce como subproducto la generación de residuos peligrosos, en la minería los residuos mineros considerados elementos potencialmente tóxicos que pueden contaminar el suelo y agua, así como afectar la salud de las personas que entran en contacto con estos, los elementos más comúnmente encontrados en sitio contaminados con residuos mineros son el arsénico, cadmio, cobre y plomo. Debido a la historia minera del municipio Santa Bárbara, se han depositado una enorme cantidad de estos residuos mineros en las cercanías del poblado, el problema reside en que anteriormente no se consideraban cuestiones como el crecimiento poblacional, el uso de suelo y factores ambientales como vientos dominantes y fuentes de dispersión de los contaminantes contenidos en los residuos, siendo dispuestos inadecuadamente. Se plantea la hipótesis de que la población de Santa Bárbara está expuesta a concentraciones que pueden implicar daños a la salud por la presencia de metales y metaloides en el polvo y agua de consumo de la población. El presente trabajo tiene como finalidad la identificación de las concentraciones de metales y metaloides en el polvo y agua de consumo. Los resultados en cuanto a la calidad del agua de bebida en este estudio son los recomendados por la NOM-127, para agua potable, NOM-041 para agua embotellada, así como los criterios de calidad propuestos por la OMS. Las concentraciones de arsénico (11942 mg/kg), cadmio (19.43 mg/kg), cobre (373 mg/kg) y plomo (1535 mg/kg) sobrepasan los límites de referencia propuestos por en la NOM-147 y de la regulación australiana (EPHC) para uso de suelo tipo habitacional. El análisis de resultados mediante una prueba de hipótesis refuerza la creencia de que las altas concentraciones presentadas en este trabajo son relacionadas directamente a los residuos mineros presentes en la zona, que al estar en contacto y exposición de las habitantes implican un riesgo a la salud debido a las altas concentraciones.

1. Introducción

A lo largo del tiempo y con el desarrollo del hombre, este ha echado mano de los recursos del medio ambiente a su alcance, para satisfacer sus necesidades de alimento, casa o para generar riqueza, ya sea del suelo, subsuelo o del agua, basado en procesos de producción que a su vez producen subproductos indeseables para el ambiente ya sea por accidentes industriales o porque son dispuestos inadecuadamente y por si fuera poco, muchas veces los sitios de disposición son abandonados por los dueños o responsables de ellos.

Los suelos pueden contaminarse debido a la disposición inadecuada de residuos peligrosos en sitios sin control como son terrenos baldíos y patios traseros de las industrias, fugas de tanques y contenedores subterráneos, fugas de tuberías y ductos, lixiviación de materiales en sitios de almacenamiento, derrames accidentales de sustancias químicas o por la aplicación deliberada de sustancias en el suelo tales como plaguicidas. Esta contaminación puede causar graves problemas a la salud humana y al ambiente debido a la migración de las sustancias químicas presentes en el suelo hacia otros medios como el agua superficial o subterránea, aire y/o sedimentos. Cuando los contaminantes se acumulan durante un largo período de tiempo a velocidad relativamente lenta puede resultar difícil determinar sus efectos sobre el medio ambiente. En cambio es más fácil determinar el impacto que pueden tener los sitios abandonados con probables residuos peligrosos de las industrias que operaron recientemente.

El desarrollo de las industrias, el amplio manejo de agroquímicos en las actividades agrícolas y el crecimiento urbano en América Latina, fomentan una creciente producción de residuos peligrosos, los cuales ante la falta de programas paralelos para su manejo adecuado, causan graves episodios de contaminación ambiental, estos sitios son llamados “Sitios Contaminados” (Díaz Barriga, 1999).

Una problemática ambiental recientemente tomada en cuenta por países desarrollados es el de legislar, inventariar y encontrar el tratamiento adecuado a los pasivos ambientales históricos existentes en sus respectivos estados. En países como el nuestro, este concepto ocupa un marco teórico muy pobre; ya que en la actualidad es más importante reducir la contaminación y minimizar el impacto desde las fuentes hacia el medio circundante (Díaz Barriga, 1999).

Un sitio contaminado representa un riesgo cuando existe la probabilidad de daño, enfermedad o muerte bajo ciertas circunstancias específicas. El término residuo peligroso involucra el concepto de residuo, que son todos los materiales generados en procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permite reutilizarlos, en tanto el término peligrosidad según la OPS engloba a las sustancias que por sus características físicas, químicas o infecciosas pueden (I) causar un aumento de la mortalidad o un aumento de enfermedades graves irreversibles o reversibles que producen invalidez, o contribuir significativamente a ello, o (II) plantear un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al medio ambiente cuando son tratados, almacenados, transportados, eliminados o manejados en forma indebida (CEPIS/OPS, 2005).

2. Marco Teórico

2.1. Análisis Físico de Santa Bárbara, Chih.

2.1.1. Medio Físico

2.1.1.1. Localización

El municipio de Santa Bárbara pertenece al estado de Chihuahua, siendo la ciudad más antigua con más de 400 años de fundación, se encuentra ubicado al sur del estado. Su ubicación dentro de territorio Mexicano se señala en la Figura 1.

Figura 1: Ubicación de Santa Bárbara en México (Wikipedia, 2012).

Sus coordenadas geográficas son: latitud 26°48', longitud 105°49'; con una altitud de 1,969 metros sobre el nivel del mar.

Constituye uno de los 67 municipios que integran el Estado de Chihuahua, en la Figura 2 se muestra su ubicación dentro del estado.

Figura 2: Ubicación de Santa Bárbara en el Estado de Chihuahua (Chihuahua - Santa Bárbara.:, 2011)

Los municipios con los que colinda pueden verse en la Figura 3; esto son: al norte con Parral, al noroeste con San Francisco del Oro, al este con Matamoros y al sur con el estado de Durango.

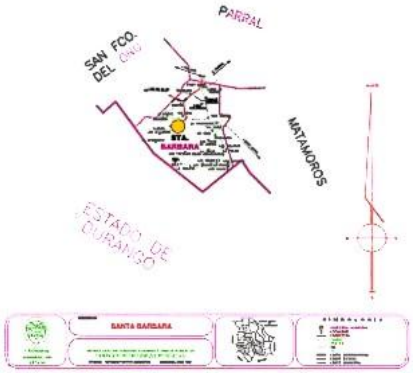


Figura 3: Colindancias de Santa Bárbara (Chihuahua - Santa Bárbara.:, 2011)

2.1.1.2. Extensión

Cuenta con una superficie de 424.20 kilómetros cuadrados, lo cual representa el 0.17% de la superficie del estado.

2.1.1.3. Orografía

Su territorio es muy contrastante, ya que en las partes donde se encuentra el valle de Parral, sus terrenos son planos; en tanto que rumbo al sur y suroeste, su territorio es montañoso y quebrado, que es donde está ubicada la sierra de Santa Bárbara. Cuenta con 12,000 hectáreas de lomeríos, 6,000 de terrenos montañosos y 4,000 de terrenos accidentados.

2.1.1.4. Hidrografía

En la sierra de Santa Bárbara nace el río de Valle de Allende, bajando de las vertientes septentrionales, pasa al municipio de Matamoros y posteriormente al de Allende. Las aguas que caen al sur de la sierra de Santa Bárbara, forman el río Florido en territorio de Durango, el cual penetra después a Chihuahua por el municipio de Coronado. El Rio del Valle de Allende es tributario del Rio Florido y este a su vez del Rio Conchos, que a su vez pertenece a la vertiente del Golfo.

2.1.1.5. Clima

Tiene un clima de transición a semihúmedo templado, con una temperatura máxima de 39° C, y una mínima de -12°C. Su temperatura media anual es de 16°C, con precipitación pluvial media anual de 469.9 milímetros con un promedio anual de 72 días de lluvia y una humedad relativa del 50%. Con vientos dominantes que van en dirección del Noreste al Suroeste.

2.1.1.6. Principales Ecosistemas

2.1.1.6.1. Flora

La flora presente es la característica de las regiones semiáridas del norte de México, la vegetación es integrada por encinos, enebros, nogales, acampos, sauces, mezquites, madroños, gatuñas y pastizales en las partes bajas en relieves casi horizontales y coníferos en sus regiones montañosas.

2.1.1.6.2. Fauna

La fauna consta de paloma güilota y alas blancas, conejo, liebre, venado cola blanca, puma, gato montés y coyote.

2.1.1.7. Recursos Naturales

El municipio cuenta con los siguientes recursos: oro, plata, zinc, cobre, fluorita entre otros.

2.1.1.8. Características y uso del suelo

Con excepción del nororiente que colinda con Parral y que cuenta con suelos xerosoles lúvicos de textura media en pendientes que van desde el nivel hasta fuertemente disectadas, en asociación de yermosoles y/o litosoles y kastañozems, con inclusiones de solonetz en su fase salina en el resto del municipio.

El uso predominante del suelo es ganadero y agrícola. La tenencia de la tierra en su mayoría es privada con 17,451 hectáreas que representan el 41%. El régimen ejidal comprende 11,642 equivalentes al 27.4%; a usos urbanos corresponden 208 que significan el 0.49% del suelo total.

2.1.1.9. Demografía

La estimación más reciente en Santa Bárbara, indica que para 2010 se distribuye una población de 10,427 habitantes en las 48 localidades que la conforman, esta representa el 0.3% de los 3406465 que conforman todo el estado de Chihuahua. La información se ve reflejada en la Tabla 1 donde se observa la población por grupos (INEGI, 2011).

Población	Chihuahua	Santa Bárbara (2010)	Santa Bárbara (2005)	Santa Bárbara (2000)	Santa Bárbara (1995)
Población total	3406465	10427	10120	11597	12699
Población total hombres	1692545	5183	5048	5750	6324
Población total mujeres	1713920	5244	5072	5847	6375
% población de 15 a 29 años	26.1%	25.9	24.6	25.3	27.5
% población de 15 a 29 años hombres	26.3%	26.6	25.0	24.7	27.3
% población de 15 a 29 años mujeres	25.9%	25.1	24.1	26.0	27.6
% población de 60 y mas años	8.6%	13.6	12.9	10.7	9.1
% población de 60 y mas años hombres	8.2%	13.4	12.5	10.3	8.8
% población de 60 y mas años mujeres	9.0%	13.9	13.2	11.1	9.5
Relación hombres-mujeres	98.8%	98.8	99.5	98.3	99.2

Tabla 1: Población en Santa Bárbara (INEGI, 2011)

En la Tabla 2 se pueden ver estos datos para las localidades de Santa Rita, Cabras y la cabecera municipal Santa Bárbara.

Nombre de la entidad	Nombre del municipio	Nombre de la localidad	Grado de marginación 2005	Población 2005	Población 2010	Ámbito
Chihuahua	Santa Bárbara	Santa Bárbara	Muy bajo	8,673	8,765	Urbano
Chihuahua	Santa Bárbara	Cabras	Muy bajo	56	59	Rural
Chihuahua	Santa Bárbara	Santa Rita	Bajo	45	59	Rural

Tabla 2: Población de Santa Bárbara, Cabras y Santa Rita (Jose I. Alvarado Castañeda, 2012).

2.1.2. Antecedentes Históricos de Santa Bárbara

Santa Bárbara debe su nombre a la santa patrona, otorgado por su fundador el Capitán Don Rodrigo del Río de la Loza, quien llego en 1567 con soldados a sus órdenes para fundar el poblado.

Su territorio fue el primero del estado que ocuparon los españoles en el siglo XVI, como consecuencia de la expedición militar del gobernador y capitán general Francisco de Ibarra. Por tal motivo fue la base de la colonización española en el estado, el principio de la organización del gobierno colonial en la región y el punto de partida de nuevas expediciones que se extendieron paulatinamente en dirección al norte (Chihuahua - Santa Bárbara.:, 2011).

En ese lugar tuvo su asiento una Alcaldía Mayor y en 1788 formó una Subdelegación Real. Obtuvo categoría de municipio en 1820 al elegir su primer Ayuntamiento. De 1826 a 1911 perteneció al Partido, Cantón y Distrito cuya cabecera municipal fue Hidalgo del Parral.

Es sin duda una de las ciudades de mayor trascendencia en el estado de Chihuahua, localizada al sur del estado junto con los municipios hermanos de Hidalgo del Parral, San Francisco del Oro y Valle de Allende, todos de suma importancia y relevancia histórica debido a la gran cantidad de metales preciosos que han proporcionado estas tierras (Chihuahua - Santa Bárbara.:, 2011).

2.2. La Minería a través del tiempo

Desde los inicios de la humanidad, el hombre ha sido minero. Empezando por las industrias líticas: fragmentos de rocas o minerales más o menos trabajados para su uso como herramientas o armas; luego continuo con los metales, que eran extraídos desde los minerales dando origen así a lo que conocemos como la Era de Cobre, Era de Bronce y Era de Hierro; refinándolos y combinándolos en aleaciones a medida que progresaba, de esta manera se dio origen a la metalurgia y con ello una historia de búsqueda de recursos, de su minería, y de las aplicaciones tecnológicas de los productos obtenidos.

Resumiendo los principales hitos mineros-metalúrgicos (y tecnológicos asociados) de la humanidad según (Oyarzun, 2007) esta sería:

- Era de Piedra (Paleolítico, Mesolítico, Neolítico)
- Era del Cobre: 6000 A.C.
- Era del Bronce: 2500 A.C.
- Era del Hierro: 1000 A.C.
- Era del Carbón: 1600 D.C.
- Revolución Industrial: 1750-1850 D.C.
- Era del Petróleo: 1850 D.C.
- Era Eléctrica: 1875 D.C.
- Era Atómica: 1945 D.C.

Debido a la dependencia de la sociedad de los recursos minerales como son el hierro, cobre y zinc solo por mencionar algunos, es que se da tal importancia a la minería. Un ejemplo común son los materiales requeridos para la construcción de un edificio o una carretera (arena, grava, cemento, acero, zinc, cobre, etc.), para un auto o avión (metales comunes o especializados y materiales cerámicos), el tendido eléctrico (acero para las torres, cobre en el cableado). Pensando esto a profundidad, nos daremos cuenta que prácticamente para casi todo aspecto de la vida moderna esta esa actividad oculta que es la minería.

La minería a diferencia de otras actividades, presenta riesgos económicos y humanos muy superiores.

A pesar de todos los beneficios económicos, tecnológicos y demás que trae consigo una actividad tan importante como lo es la minería, existe un problema asociado a la obtención de los recursos minerales y metálicos, estos son los residuos que se generan de la extracción y beneficio del mineral, esto a su vez implica una posible afectación al entorno más próximo, ya sea fuentes de agua, suelo, aire y a la salud de las personas al estar en contacto con estos.

2.2.1. Minería en México

2.2.1.1. Historia

En México el descubrimiento, desarrollo y la producción de riqueza minera, especialmente de los recursos metálicos, pueden ser divididos apropiadamente en seis intervalos de tiempo, cada uno de ellos con características particulares: (1) Pre-Colonial (pre 1521); (2) Colonial (1521-1821); (3) Post- Colonial (1821-1911), incluyendo la era de Porfirio Díaz, de intervención extranjera (1876-1911); (4) Post-Revolucionaria, con participación extranjera adicional (1917-1961; (5) Mexicanización de la industria minera, con el cese de la inversión extranjera (1961-1992); y (6) Post-Mexicanización, con la reanudación de la inversión extranjera, especialmente por compañías canadienses (1992 en adelante) (Kenneth & David, 2007).

La producción documentada de minerales metálicos en México comienza en el siglo IX con la recuperación de oro durante el período clásico en Monte Albán, Oaxaca, posiblemente de depósitos de placer en Tepeucila. Durante el período

colonial, fueron explotados especialmente el oro y la plata, siendo los descubrimientos hechos con frecuencia creciente a través de lo que llegaría a ser la República Mexicana. El inicio del período Colonial empezó con la fundición de mineral de hierro en el estado de Veracruz para proporcionar armamento a los conquistadores españoles, recién llegados. No obstante, el predominio de la producción de plata tuvo inicio en 1521 con el descubrimiento de Taxco, Guerrero, un distrito que está todavía en producción (Ordóñez-Cortés, 1986).

Otros descubrimientos importantes siguieron rápidamente en Sultepec, estado de México; Pachuca, Hidalgo; Tlalpujahua, Michoacán; y en Zacatecas, Zacatecas. Aún más hacia el norte, como resultado de la expansión española, fueron hechos descubrimientos significativos de mineral de plomo-plata en Santa Bárbara, en 1544, y en el cercano Parral, en 1600, ambos en el estado de Chihuahua. Por otra parte, la famosa Veta Madre, del distrito de Guanajuato, rindió los primeros frutos de su prodigiosa riqueza en 1550. En el Cerro de Mercado, Durango, en 1551, fueron identificados grandes depósitos de hierro. En 1554, el bien conocido "método de patio" para el tratamiento de minerales de metales preciosos por amalgamación con mercurio fue desarrollado por Bartolomé de Medina, en Pachuca.

En 1823, la reducción de la prohibición legal contra la posesión de minas por extranjeros permitió la entrada de capitales ingleses, alemanes y estadounidenses, y el período post-colonial vio la continuación de los descubrimientos, varios de los cuales tuvieron lugar en las cordilleras más inaccesibles, por ejemplo, en Moris (1826) y la rica mina de Nuestra Señora del Rosario en el distrito de Guadalupe y Calvo (1835), ambos en Chihuahua. Se dice que esta última alcanzó valores hasta de 7,910 g/t de oro (Bernstein, 1964).

Al comenzar el nuevo siglo, la compañía México Mines of El Oro Ltd., en 1904, en el estado de México, y la compañía San Francisco Mines of México Ltd., que adquirió las propiedades de oro-plata-plomo-zinc en San Francisco del Oro, Chihuahua, fueron ambas empresas inglesas. La presencia norteamericana se hizo sentir con la formación de la Green Gold and Silver Company para la exploración de depósitos de metales preciosos y de cobre en Chihuahua y Sonora, llevando al descubrimiento de los depósitos inmensos de cobre y molibdeno en Cananea, Sonora. En Real del Monte y Pachuca, Hidalgo, en zonas de anterior propiedad inglesa, la United States Smelting, Refining and Mining Company inició sus operaciones en 1906 (Ordóñez-Cortés, 1986).

Hacia 1908, había 1,030 compañías mineras registradas en México durante la última parte del período promovedor del Presidente Porfirio Díaz. Así, al inicio de la Revolución Mexicana, en 1910, había 31,988 concesiones mineras que cubrían 450,371 hectáreas, explotadas mediante 67,987 minas activas.

Así, la política de mexicanización fue abandonada y la ley otra vez fue enmendada en 1996 (Torres, 2002), e inmediatamente aumentó la exploración con el consecuente incremento en el desarrollo y la producción. Nuevamente, se vieron reanimados muchos de los distritos más viejos, que habían estado parados desde la Revolución por falta de inversión y tecnología moderna durante el período 1961-

1992, por el temor de una nacionalización total semejante a la de la industria del petróleo en México. El oro y la plata como objetivos fueron predominantes; unos pocos ejemplos ilustran este acierto: La Colorada, Sonora, en 1993; Ocampo, Chihuahua, en 2003; y La Herradura, Sonora, en 1998, por nombrar sólo unos cuantos.

Entre los descubrimientos recientes de depósitos auroargentíferos más notables que entraron en producción se hallan los de Los Filos, Guerrero, 2007; Peñasquito, Zacatecas; y Dolores, Chihuahua. En resumen, debido al aumento significativo en los precios de varios metales, la exploración, el desarrollo y la producción disfrutan de una nueva ola de actividad de México, por lo menos hasta la crisis financiera global que empezó en la parte tardía de 2008.

La inversión minera en 2006 fue de $1,900 millones de dólares estadounidenses, lo que representa un aumento significativo respecto del año anterior, en el que la inversión fue de $911.8 millones de dólares estadounidenses. En 2006, la mayor parte de la inversión fue para nuevos proyectos con el 40% del total, mientras que la expansión de proyectos ascendió al 14%, y la exploración recibió el 15%. Durante ese año, 204 compañías involucradas en la exploración minera en México tuvieron participación extranjera, principalmente canadiense (Torres, 2006).

La Figura 4 muestra los principales depósitos mineros en México, así como el mineral presente en estas (Kenneth & David, 2007).

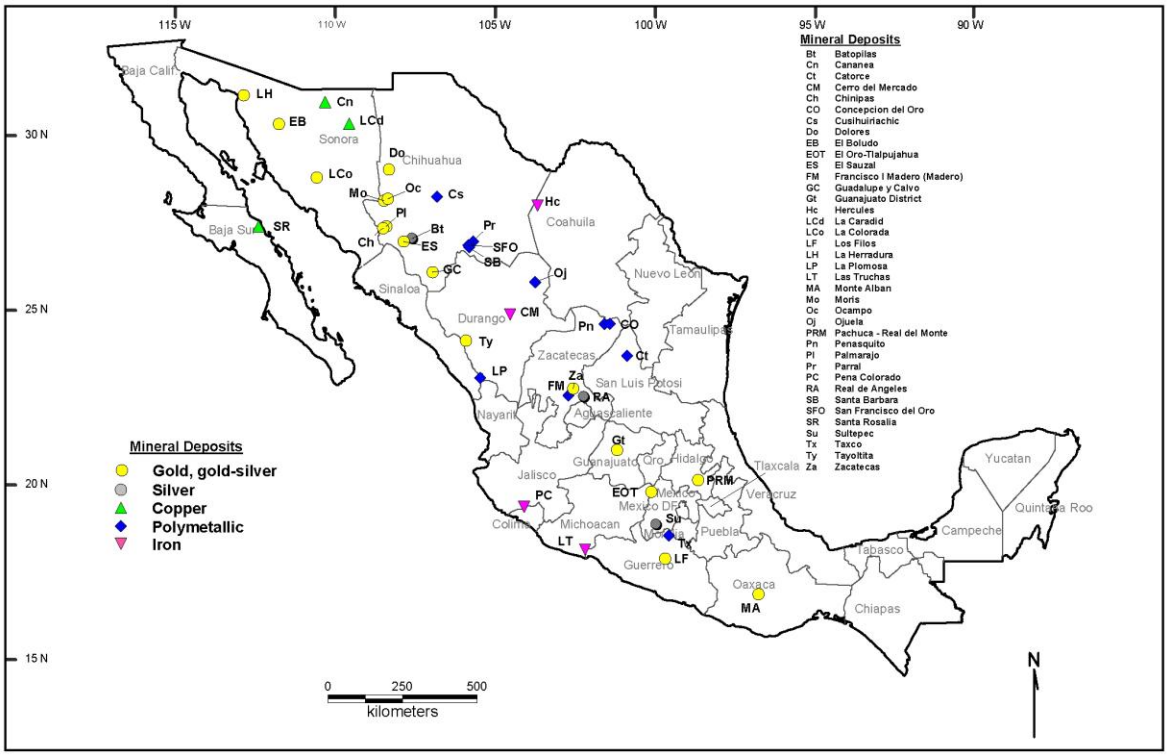


Figura 4: Principales depósitos mineros en México (Kenneth & David, 2007)

2.2.1.2. Producción histórica

La producción minera en la historia de México es estimada por Kenneth & David (2007), donde la producción total de oro, plata, cobre, plomo y zinc en México desde 1521 hasta 2008 se muestra en la Tabla 3, así como la producción de oro y plata por año se observa en la Figura 5 para el periodo de 1521-2008 y se amplía en la Figura 6 para abarcar el intervalo 1880-2008.

	Oro (Moz)	Plata (Moz)	Cobre (Tm)	Plomo (tm)	Zinc (Tm)
1521-1890	8.8	2.843	80,000	300,000	-
1891-2008	61.3	7.523	13,099,741	20,916,121	21,546,486
Total	70.1	10,366	13,179,741	21,216,121	21,546,486

Tabla 3: Producción minera de oro, plata, cobre, plomo y zinc en México 1521-2008. Moz: millones de onzas, tm: toneladas métricas. (Kenneth & David, 2007).

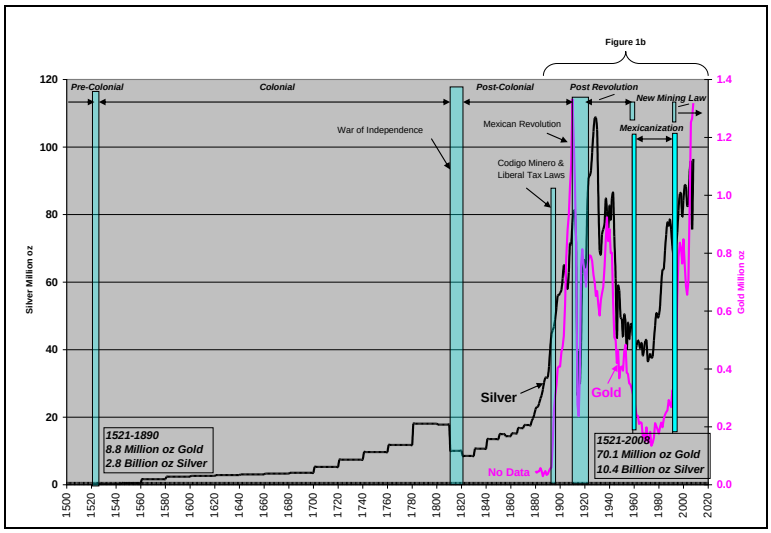


Figura 5: Producción de oro y plata en México 1521-2008.

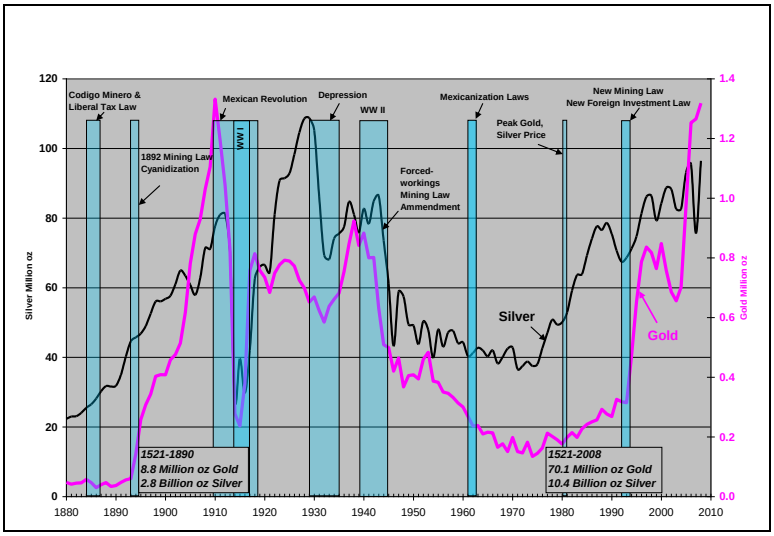


Figura 6: Producción de oro y plata en México 1880-2008.

Los 70 millones de onzas de oro y 10.4 miles de millones de onzas de plata sitúan a México como el país más productivo entre los países latinoamericanos en la producción histórica tanto de oro como de plata.

Las Figuras 5 y 6 llevan a Kenneth & David (2007) a la conclusión de que los eventos políticos tuvieron un efecto mayor en el aumento y disminución en la producción de oro y plata a través del período de 488 años cubierto por los datos. Dos períodos de aumento extraordinario en la producción tanto de oro como de plata son evidentes. Para el oro, el primer período empezó en 1892 y el segundo en 1992, y para la plata en 1976 y 1992, respectivamente, ambos originados por leyes de minería favorables. El primer período empezó con el gran auge del ferrocarril en 1880-1884 y el nuevo Código Minero de 1884 con reglas favorables para la inversión extranjera. A continuación, sobrevinieron la Ley Fiscal de 1887, la Ley Minera de 1892 y la introducción del proceso de cianuración para la recuperación de oro y plata en este último año. El segundo período de crecimiento extraordinario empezó con la Nueva Ley Minera de 1992, descrita anteriormente (Torres, 2006).

2.2.1.3. Producción Presente

En la actualidad la industria minera mexicana moderna produce cantidades importantes de 14 metales. De éstos, 10 son listados en la Tabla 4 de 2002 a 2006, los años más recientes para los que hay datos confiables disponibles. El aluminio no se muestra debido a que es derivado de minerales importados. También, la producción de estaño se debe parcialmente a importaciones.

	2002	2003	2004	2005	2006
Metales Preciosos (kg)					
Oro	21,324	20,406	21,824	30,356	38,961
Plata	2,746,989	2,568,877	2,569,478	2,894,161	2,969,845
Metales industriales (tm)					
Antimonio	155	434	503	564	778
Cadmio	1,609	1,616	1,662	1,627	1,399
Cobre	329,874	355,653	405,540	429,042	334,129
Hierro	9,941,000	11,265,000	11,483,000	11,687,000	10,983,000
Plomo	138,707	139,348	118,484	134,388	135,025
Manganeso	245,000	320,000	377,000	369,000	346,000
Molibdeno	3,428	3,524	3.731	4,245	2,519
Zinc	446,104	413,991	426,360	476,307	453,893

Tabla 4: Producción de metales importantes en México 2002-2006. tm: toneladas métricas, kg: kilogramos.

Así, México se situó entre los primeros productores del mundo en varios metales (Torres, 2006): fue el segundo productor del mundo de bismuto y plata. Además, México se ubicó en una posición alta en la producción de otros metales tales como cadmio, plomo, zinc, molibdeno, manganeso, cobre, hierro (acero en bruto) y oro. En 2006, el valor total de la producción minera de México, que excluye petróleo y gas natural, fue valorado en $7.2 miles de millones de dólares, de los cuales los metales contribuyeron con el 54% del total. Individualmente, el cobre contribuyó

con $2.1 miles de millones de dólares, lo que representa el 30% del valor de la producción minera total. El zinc obtuvo una cantidad de $1.4 miles de millones de dólares y la plata logró $898 millones de dólares, todo en divisas estadounidenses.

2.2.2. Minería en Chihuahua

2.2.2.1. Historia

Históricamente, la minería ha sido pilar en la economía del Estado de Chihuahua, como actividad fundadora de importantes centros poblacionales, en la actualidad es un motor que apoya el desarrollo industrial del Estado. La variación en los precios internacionales de los metales ha sido un factor fundamental para el incremento o disminución de la actividad minera.

Chihuahua ya desde tiempos coloniales ha sido relevante por su producción de minerales metálicos. Durante su historia minera se han explotado importantes yacimientos como los de Cusihuiriachi, Chinipas, Guazapares, Villa Matamoros, Urique, Ocampo, Moris, Sabinal, Dolores, Guadalupe y Calvo, Hidalgo del Parral, San Francisco del Oro y Santa Bárbara. Todos estos distritos mineros han contribuido en gran medida a mantener una posición importante en la producción nacional, representando una alternativa de desarrollo en lugares donde no existía la posibilidad de establecer otro tipo de industria.

Para los minerales no metálicos y la transformación de minerales industriales como cuarzo, perlita, yeso, arcilla, caliza, caolín, sal, mármol, grava, arena, pumicita y agregados pétreos se tienen importantes zonas de exploración distribuidos en la parte centro-oriente y norte del estado que han sido impulsados principalmente por la industria de la construcción, del cemento y la cerámica. Estos a su vez representan un valor importante a la entidad para el fortalecimiento económico

En la década de los 70’s y 80’s se llevó a cabo una intensa exploración por uranio definiéndose los yacimientos de Peña Blanca y Las Margaritas. Últimamente se ha incrementado sustancialmente la exploración que ha dado como resultado la ampliación y el descubrimiento de nuevos yacimientos minerales como los de Santa María en el Municipio de Moris, El Sauzal, Bolívar y Cieneguita en el Municipio de Urique, Pinos Altos y Ocampo en el Municipio de Ocampo, Dolores en el Municipio de Madera, Palmarejo y Monterde en el Municipio de Chínipas y Guazapares, San Miguel en el Municipio de Cusihuiriachic y Terrazas en el Municipio de Chihuahua, así mismo, en otras partes de la entidad se están llevando a cabo trabajos de exploración en la búsqueda de nuevos depósitos (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

El territorio chihuahuense tiene entonces un potencial geológico muy amplio y favorable para explorar sus recursos naturales el cual representan un gran atractivo para la inversión nacional y extranjera.

2.2.2.2. Valor y producción estatal

La producción minera estatal durante el período enero-diciembre de 2009 ascendió a 13,853 millones de pesos participando con el 11.58% del valor total nacional (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

Las Tablas 5 y 6 muestran el volumen y el valor de la producción minera respectivamente para el periodo 2006-2010.

PRODUCTOS/Años	2006	2007	2008	2009	2010
METÁLICOS					
ORO (kg)	11,573.00	12,891.30	13,140.60	15,221.80	18,256.60
PLATA (kg)	423,524.00	451,292.00	466,242.00	580,271.00	783,081.00
CADMIO	315.48	362.45	350.03	341.00	-
COBRE	13,848.00	13,633.00	13,914.00	13,433.00	13,132.00
FIERRO	437,652.00	378,213.00	381,661.00	106,807.00	438,421.00
MANGANESO	-	-	-	-	-
PLOMO	59,135.00	58,657.00	56,253.00	53,169.00	46,308.00
TUNGSTENO	-	-	-	-	-
ZINC	140,200.00	136,437.00	142,035.00	150,211.00	133,734.00
NO METÁLICOS					
AGREGADOS PÉTREOS	5,700.00	5,300.00	27,020.00	48,750.00	41,285.00
ARCILLAS	31,273,515.00	30,878,358.00	31,115,142.75	1,036,691.50	945,019.00
ARENAS (m^3)	2,006,670.00	3,686,715.00	2,366,234.00	3,403,784.00	2,849,376.00
BARITA	-	-	-	-	850.00
CALIZA	1,395,005.00	3,623,393.00	5,208,263.00	3,048,784.00	4,142,418.00
GRAVA	2,640,688.00	4,020,182.40	3,021,217.00	4,430,550.00	4,767,693.00
PERLITA	419.00	365.00	180.00	31.00	29.00
PIZARRA	-	518,035.00	437,581.00	400,000.00	447,593.00
ROCAS DIMENSIONABLES	30.00	11,140.00	5,570.00	8,570.00	9,678.00
SAL	9,000.00	3,000.00	7,500.00	7,930.81	5,450.00
YESO	282,600.00	156,000.00	157,304.25	120,800.00	168,000.00
FLUORITA	-	-	-	-	-
CAOLÍN	40,000.00	72,000.00	107,005.00	61,500.00	106,000.00
DOLOMITA	7,600.00	-	-	-	6,001.00
ZEOLITA	-	200.00	-	-	-

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2010, edición 2011.

Tabla 5: Volumen de la producción minera 2006-2010 (Toneladas)

PRODUCTOS/Años	2006	2007	2008	2009	2010
Total:	**13,340,912,571.28**	**15,133,062,905.79**	**14,894,998,941.84**	**16,982,913,632.80**	**23,451,233,609.59**
METÁLICOS	**10,059,825,906.49**	**11,296,648,034.72**	**10,880,042,421.69**	**15,709,431,785.09**	**21,994,167,551.28**
ORO (kg)	2,265,864,562.59	2,837,867,512.19	4,059,357,017.67	6,441,349,951.97	9,122,120,464.46
PLATA (kg)	1,394,421,330.26	1,588,625,060.08	2,012,969,866.37	3,710,435,377.49	6,474,165,707.67
CADMIO	10,358,045.14	29,533,777.22	22,406,380.67	13,085,027.92	-
COBRE	978,896,365.69	1,047,382,570.61	1,139,738,424.00	926,072,788.38	1,260,865,375.87
FIERRO	161,413,633.74	162,674,918.74	204,394,327.13	44,676,572.00	221,989,282.63
MANGANESO	-	-	-	-	-
PLOMO	728,468,440.92	1,064,813,417.73	905,172,931.98	1,236,323,744.24	1,261,743,053.91
TUNGSTENO	-	-	-	-	-
ZINC	4,520,403,528.15	4,565,750,778.15	2,536,003,473.86	3,337,488,323.10	3,653,283,666.74
NO METÁLICOS	**3,281,086,664.79**	**3,836,414,871.07**	**4,014,956,520.16**	**1,273,481,847.71**	**1,457,066,058.32**
AGREGADOS PETREOS	499,374.86	481,789.86	2,616,610.35	4,775,128.12	4,188,289.31
ARCILLAS	2,726,339,518.35	2,793,105,906.19	2,998,312,738.57	103,873,432.45	98,068,483.99
ARENAS	172,773,224.53	329,359,359.77	225,195,283.20	336,832,645.62	292,035,684.53
BARITA	-	-	-	-	1,235,481.90
CALIZA	78,282,870.93	210,977,617.83	323,061,925.30	196,638,856.53	276,713,648.09
GRAVA	234,354,225.79	370,195,741.06	296,373,594.15	451,923,621.86	503,674,146.49
PERLITA	293,312.45	265,118.05	139,280.68	24,941.92	24,165.74
PIZARRA	-	19,887,985.29	17,896,251.34	17,010,356.62	19,713,815.58
ROCAS DIMENSIONABLES	47,950.87	18,475,251.80	9,840,842.87	8,772,423.40	10,260,259.78
SAL	1,209,382.94	509,123.67	1,261,246.26	2,251,764.62	1,436,947.98
YESO	24,195,025.60	13,707,229.87	14,637,509.66	12,943,031.90	17,348,183.70
FLUORITA	-	-	-	-	-
CAOLÍN	42,483,052.61	79,344,747.69	125,620,837.77	138,435,644.67	231,806,661.45
DOLOMITA	608,725.87	-	-	-	560,289.77
ZEOLITA	-	105,000.00	-	-	-

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2010, edición 2011.

Tabla 6: Valor de la producción minera 2006-2010 (Pesos Corrientes)

2.2.2.3. Participación en volumen y valor de la producción nacional

En la Imagen 7 se hace una comparación grafica del volumen y valor de la producción minera del estado de Chihuahua para los minerales metálicos contra la producción minera nacional para el año de 2009, de la misma manera en la Figura 7 se muestran los datos comparativos (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

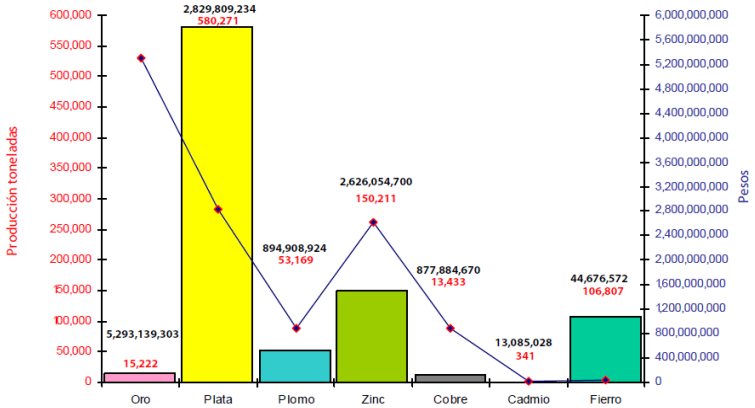


Figura 7: Participación a nivel nacional en producción de minerales metálicos

Metálicos	Producción (t)	Valores en Pesos Corrientes	Participación %
Oro (kg)	15,221.80	5,293,139,302.88	24.38
Plata (kg)	580,271.00	2,829,809,234.06	16.33
Plomo	53,169.00	894,908,923.51	36.96
Zinc	150,211.00	2,626,054,700.06	30.67
Cobre	13,433.00	877,884,669.56	5.69
Cadmio	341.00	13,085,027.92	22.58
Fierro	106,807.00	44,676,572.00	0.91

Tabla 7: Participación a nivel nacional en producción de minerales metálicos

En la Figura 8 se hace una comparación grafica del volumen y valor de la producción minera del estado de Chihuahua para los minerales no metálicos contra la producción minera nacional para el año de 2009, de igual manera en la Tabla 8 se muestran los datos comparativos (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

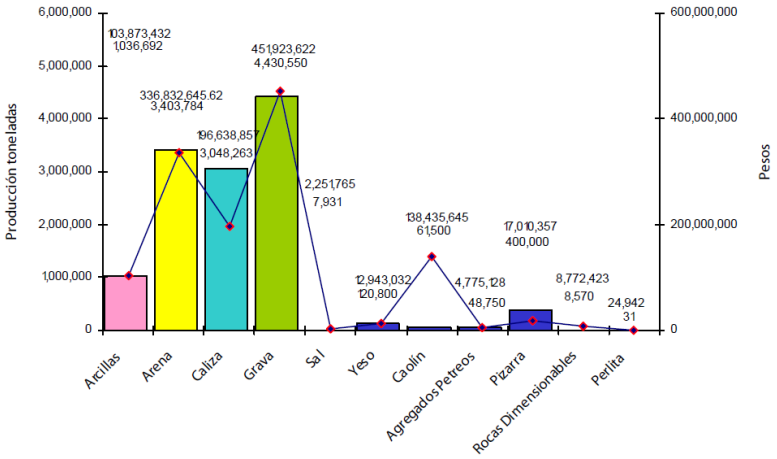


Figura 8: Participación a nivel nacional en producción de minerales no metálicos

No Metálicos	Producción (t)	Valor en Pesos Corrientes	Participación %
Arcillas	1,036,691.50	103,873,432.45	10.33
Arena	3,403,784.00	336,832,645.62	3.82
Caliza	3,048,784.00	196,638,856.53	4.92
Grava	4,430,550.00	451,923,621.86	5.62
Sal	7,930,810.00	2,251,764.62	0.11
Yeso	120,800.00	12,943,031.90	1.60
Caolín	61,500.00	138,435,644.67	17.08
Agregados Pétreos	48,750.00	4,775,128.12	0.09
Pizarra	400,000.00	17,010,356.62	100
Rocas Dimensionables	8,570.00	8,772,423.40	0.65
Perlita	31.00	24,941.92	0.60

Tabla 8: Participación a nivel nacional en producción de minerales no metálicos

2.2.2.4. Regiones Mineras

Desde la colonia se han venido explotando importantes yacimientos minerales, que regionalmente se pueden enmarcar dentro de 12 regiones mineras como se muestra en la Figura 9, estas se han agrupado de acuerdo al tipo de mineralización y a su ubicación (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

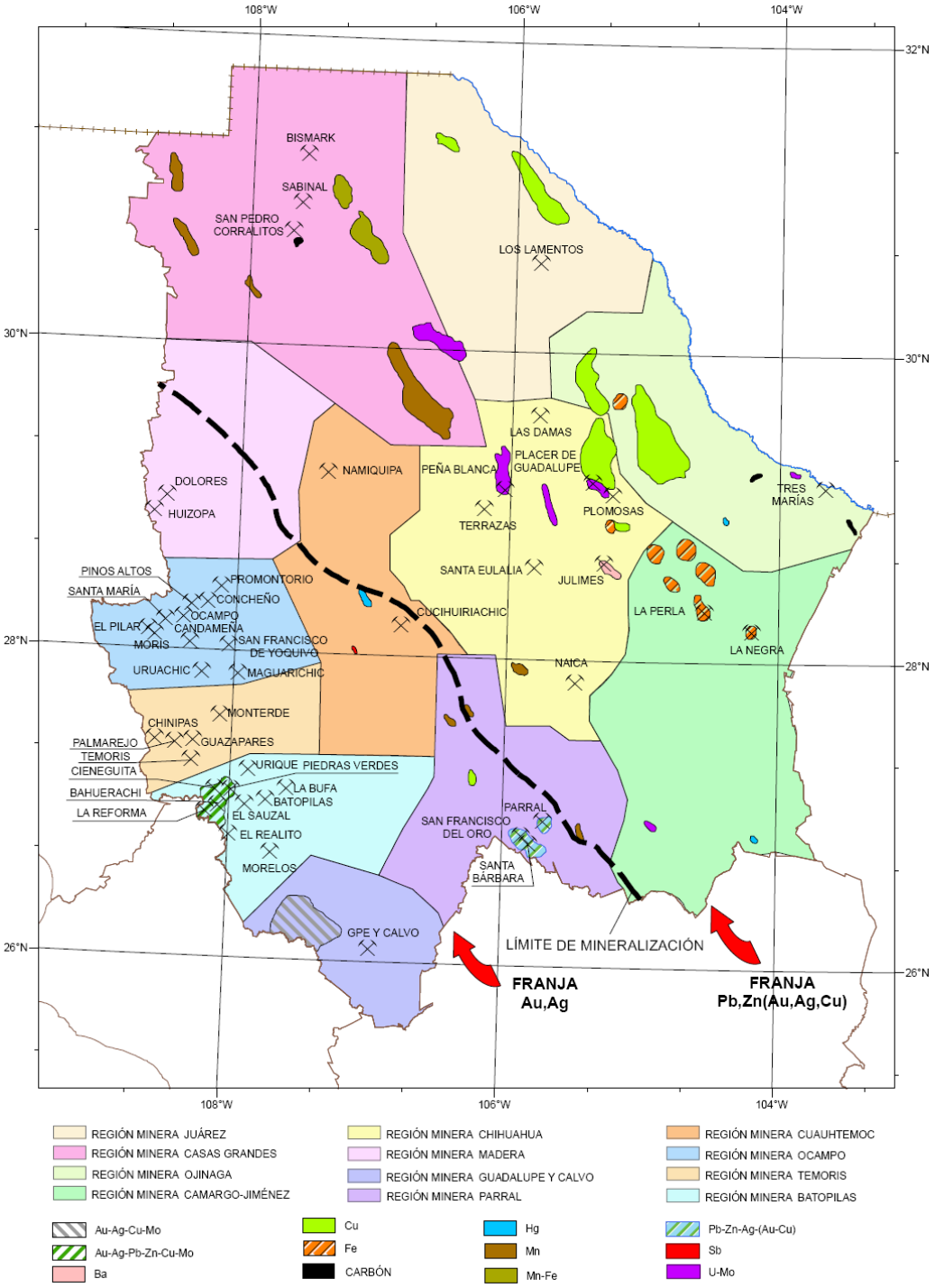


Figura 9: Regiones mineras del estado de Chihuahua

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	BISMARK, 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.
10.- TEMORIS	Au, Ag	VETA, IRREGULAR, DISEMINADO, STOCKWORK	CHINIPAS, PALMAREJO, TEMORIS, GUAZAPARES, AGUA CALIENTE, CHICHACO, GOROGACHIC, LOS LLANITOS, MONTERDE, TEPOCHIQUE, CEROCAHUI, BAHUICHIVO, TEMOCHOCATE Y AGUA SALADA.
11.- OCAMPO	Au, Ag	VETA, STOCKWORK, DISEMINADO, BRECHA	PINOS ALTOS, OCAMPO, MAGUARICHI, EL PILAR, MORIS, URUACHIC, SAN FRANCISCO YOQUIVO, CONCHEÑO, CANDAMEÑA Y PROMONTORIO.
12.- BATOPILAS	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo	VETA, STOCKWORK, DISEMINADO, MANTO, BRECHA, IRREGULAR	BATOPILAS, SAUZAL, LA BUFA, URIQUE, MORELOS, PIEDRAS VERDES, BAHUERACHI, CIENEGUITA, EL REALITO, LLUVIA DE ORO, MINERAL DE POLANCO, LA REFORMA, POTRERO DE BOJORQUES, SATEVO Y CERRO COLORADO.

Tabla 9: Regiones Mineras del Estado de Chihuahua

2.2.3. Minería en Santa Bárbara, Chihuahua

2.2.3.1. Historia

En los primeros años los habitantes de Santa Bárbara enfrentaron grandes dificultades para emprender los trabajos mineros y agrícolas, así como para mantener la comunicación con el sur de la Nueva Vizcaya y con el resto del virreinato.

La minería de Santa Bárbara y más tarde las de los cercanos minerales de San Juan y de Todos Santos (1591) no tenía la riqueza que los españoles esperaban, de hecho se limitaba a la explotación de depósitos superficiales de oro y plata (Aboites).

En la actualidad en Santa Bárbara se producen concentrados de plomo, cobre y zinc e importantes cantidades de plata que están bajo la operación de Grupo México.

2.2.3.2. Minas en Explotación

El Servicio Geológico Mexicano (SGM) contempla entre las principales minas de minerales metálicos en Santa Bárbara que se mencionan en la Tabla 10.

NOMBRE	CONCESIONARIO	PROD. t / DÍA	MINERALES	MUNICIPIO
Segovedad, San Diego y Tecolotes	Minerales Metálicos del Norte S.A. de C.V. Unidad Santa Bárbara Grupo México	5400	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	Santa Bárbara
La Teutonia	José Galindo	75	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	Santa Bárbara

Tabla 10: Minas en explotación en Santa Bárbara, Chih. (SGM, 2011).

2.2.3.3. Unidades Minero Metalúrgicas y de Transformación

En Chihuahua existen un total de 35 plantas de beneficio de minerales metálicos con una capacidad instalada de 78,070 t/día; actualmente se encuentran activas 21, con una capacidad de 74,155 t/día, representando el 95% de la capacidad instalada. Actualmente se encuentra en construcción y ampliación la planta para beneficiar óxidos en San Francisco del Oro y construcción de planta en el proyecto Concheño del grupo CARSO. También se inició trabajos de beneficio en la planta de flotación del proyecto Bolívar en el municipio de Urique.

Una de estas plantas de beneficio activa se encuentra en Santa Bárbara, Chih., esta pertenece a Minerales Metálicos del Norte S.A. de C.V. Unidad Santa Bárbara del Grupo México con una capacidad para 6,100 t/día por el método de flotación, donde las sustancias beneficiadas son Au, Ag, Pb, Zn y Cu (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

2.3. Sitios Contaminados en México

La industrialización en nuestro país se ha venido desarrollando durante décadas, esto sin que existiesen restricciones legales para el manejo y derrame de materiales y residuos peligrosos. Lo más común era deshacerse de ellos al menor costo, disponiéndolos indiscriminadamente, de esta manera se generó una gran cantidad de suelos contaminados. Las principales actividades industriales en México son la Minería, la Explotación de Petróleo, las Actividades Agrícolas e Industriales. Los residuos más comunes y de mayor presencia en los sitios contaminados en México son: Metales pesados (Cr, Pb, Hg, Zn, As, Cd), Hidrocarburos no Halogenados (Fl, Cl, Br, Y) e Hidrocarburos Halogenados (Aceites Minerales y Pesticidas) (SEMARNAT, 2011).

En México como en muchos otros lugares más en el mundo, existen innumerables áreas con fuerte contaminación ambiental a causa de actividades mineras que se han llevado a cabo por siglos; en su momento sin embargo, estas actividades fueron de gran importancia para el país. La contaminación de suelos por metales es un problema persistente en muchos sitios del territorio. Los contaminantes más frecuentes en las zonas mineras del país son el As y el Pb, además del Cd en algunas de ellas. Estos EPT (elementos potencialmente tóxicos), comúnmente, se encuentran en residuos como jales mineros y escorias de fundición, cuyo volumen supera las 80000 toneladas (SEMARNAT, 2011).

Los principales tipos de residuos en México se listan en la Tabla 11.

Tipo de residuo	Total	%
Metales: Cr, Pb, Hg, Zn, As, cianuro, baterías automotrices gastadas	61	35.9
Biológico-infecciosos	30	17.6
Escorias de fundición	23	13.5
Grasas, aceites gastados	19	11.2
Solventes químicos	14	8.2
Químicos inorgánicos	12	7.1
Hidrocarburos	11	6.5

Tabla 11: Tipos de residuos en sitios contaminados en México

La disposición irresponsable e inadecuada de residuos peligrosos aunada a las fugas y derrames de diversas sustancias químicas durante años ha ocasionado un grave problema de contaminación de suelos. Hasta el momento en nuestro país no se han realizado estudios globales que cuantifiquen y ubiquen los sitios donde se encuentran depositados de manera clandestina los residuos industriales que pueden contaminar los suelos, para establecer mecanismos de control y evitar problemas de salud en la población y daños al ambiente. Es por ello que para solucionar este problema de contaminación del suelo se necesita en un principio de la ubicación de los sitios contaminados, y del estudio y caracterización de los mismos para después seleccionar y aplicar las técnicas de limpieza y recuperación en las zonas.

La problemática ambiental que enfrentan en la actualidad la mayoría de los países es la ausencia de un inventario de sitios contaminados que permita conocer la

ubicación, extensión y grado de afectación de sitios contaminados o potencialmente contaminados.

La finalidad de crear una lista de sitios contaminados es catalogarlos por prioridad, con base en sus características (magnitud, tipo y concentración de contaminantes) y niveles potenciales de afectación a la salud y al ambiente (SEMARNAT, 2011).

Es muy importante contar con esta información a los diferentes factores involucrados en la gestión ambiental, ya que con ella es posible tomar decisiones como por ejemplo: la distribución más eficiente de recursos públicos o privados existentes para la atención de pasivos ambientales, la identificación y atención adecuada de población humana y los recursos ecológicos potencialmente en riesgo por la exposición a los contaminantes presentes en sitios contaminados, la ubicación adecuada de desarrollos habitacionales o complejos comerciales y la determinación de áreas de oportunidad en la revitalización de sitios.

Esta información es recabada a través de instituciones como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en México, la cual está haciendo esfuerzos importantes encaminados a la obtención de un inventario de sitios contaminados eficiente. Tales esfuerzos son el Programa Nacional para la Remediación de Sitios Contaminados (PNRSC), que salió a consulta pública en diciembre de 2008 y que tiene entre sus objetivos registrar, diagnosticar y remediar sitios contaminados de forma clara y eficiente, ayudando de esta manera a los gobiernos estatales y municipales a administrar de forma sustentable estos lugares. Como parte de esta iniciativa se tiene en desarrollo en varios estados del país el SISCO (Sistema Informático de Sitios Contaminados), actualmente en desarrollo y no está a consulta del público, el cual tiene como metas conocer y registrar a nivel nacional los sitios contaminados considerados como pasivos ambientales. El sistema es una valiosa herramienta que permitirá identificar los sitios contaminados y priorizarlos según su riesgo al ambiente con base en una evaluación de riesgo ambiental preliminar (SEMARNAT, 2011).

Respecto a sitios contaminados la SEMARNAT los clasifica en Emergencias Ambientales y Pasivos Ambientales, según sea las causas y antigüedad de la contaminación.

2.3.1. Sitios Contaminados por Emergencias Ambientales

Entendiendo por Emergencia Ambiental un evento o circunstancia indeseado o inesperado, que ocurra repentinamente y que trae como resultado la liberación no controlada, incendio o explosión de uno o varios materiales peligrosos o residuos peligrosos que afecten la salud humana y/o ambiente de manera inmediata.

En México las principales causas de contaminación de sitios contaminados por Emergencias Ambientales son: la fuga de oleoducto, robo de oleoducto, volcadura de carro tanque y derrame de tanques al suelo.

De un total de 335 sitios contaminados identificados (142 en 2008, 135 en 2009 y 58 en 2010) a nivel nacional, en Chihuahua el numero de sitios considerados Emergencias Ambientales fue de un total de 12 (9 en 2008, dos en 2009 y uno en el 2010) (SEMARNAT, 2011). De estos sitios contaminados por emergencias

ambientales la estimación del área, volumen y peso de suelo afectado y remediado se pueden ver en la Tabla 12.

Condición de suelo	Año	Área (m2)	Volumen (m3)	Peso (toneladas)	Número de sitios contaminados	Número de sitios remediados
Afectada	2008	147,123.00	101,924.00	152,886.00	142	-
	2009	144,982.00	272,556.00	408,834.00	135	-
	2010	133,745.00	186,055.00	279,082.50	58	-
Remediada	2008	68,506.50	98,854.39	148,281.58	-	76
	2009	180,327.00	360,970.00	541,455.00	-	166
	2010	92,475.00	325,039.30	487,558.95	-	45

Tabla 12: Área, volumen y peso de suelo afectado y remediado en sitios contaminaos por emergencias ambientales (SEMARNAT, 2011)

2.3.2. Sitios contaminados registrados como pasivos ambientales

Se considera pasivo ambiental a aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación. En esta definición se incluye la contaminación generada por una emergencia que tenga efectos a largo plazo sobre el medio ambiente.

De los sitios contaminados identificados en México como pasivos ambientales, se tenía un registro de 465 para el 2009, siendo siete de estos los ubicados en el estado de Chihuahua (SEMARNAT, 2011).

2.4. Metales Pesados (Residuos Mineros)

El termino de “metales pesados” hace referencia a elementos químicos caracterizados por su densidad mayor a la del agua (4 g/cm^3 hasta 7 g/cm^3) y que son tóxicos para la salud humana a bajas concentraciones (mercurio, cadmio, arsénico, cromo, talio, cobre, plomo, antimonio, aluminio) y tienen acumulación en la cadena trófica (EPA-US, 2006) En muchas ocasiones el término, solo se relaciona a las propiedades tóxicas de los elementos y no a su densidad. De igual manera, no todas las especies de un elemento presentan toxicidad, habiendo algunas especies inocuas y otras tóxicas.

Existen varias fuentes naturales y antropogénicas de metales pesados en el ambiente. De forma natural provienen principalmente (cerca del 80 %) por erosión de la corteza terrestre o por erupciones volcánicas; y en menor parte (20% restante) de incendios forestales o fuentes biogenéticas (Nriagu, 1990).

Hay una multitud de emisiones por fuentes antropogénicas al ambiente, en estos casos la industria de la minería y de la fundición son las principales generadoras. En la minería se liberan metales en los efluentes ambientales (conocidos generalmente como drenaje ácido de mina) y como partículas enriquecidas de los mismos a la atmósfera como resultados de procesos de refinamiento de altas temperaturas. En la explotación del plomo, el plomo, cobre, zinc y cadmio son liberados en gran cantidad; en la fundición del cobre y del níquel, elementos como el cobalto, zinc, plomo y manganeso son los liberados (Adriano, 2001).

Para tener acceso y explotar las menas de minerales que se localizan a grandes profundidades, se llevan a cabo excavaciones de casi igual magnitud. Estas operaciones típicamente involucran la remoción de grandes cantidades de material sin o muy poco mineral de interés o valor. Por cuestiones de presupuesto o de métodos de explotación de la mina, la resultante es que grandes cantidades de material con altos contenidos de minerales sulfurados son dejados adyacentemente al término de la excavación. La oxidación de este material depende en parte del área y tiempo de los minerales expuestos al oxígeno. Cuando una mina cierra, los productos de intemperización de los sulfuros expuestos pueden convertirse en una fuente de acidez, sulfuros y de disolución de metales (Nriagu, 1990).

Cuando la roca ya no puede ser procesada con un valor económico, es depositada en largas pilas de dimensiones variables y acorde a la geografía del terreno presente, sin embargo estas pilas abarcan varios kilómetros cuadrados de área y hasta los 500 m de altura. Estas pilas son lo que llaman jales mineros. Los jales pueden ser depositados en trincheras o en terrazas sucesivas, o simplemente ser dispuestos como montículos de material desde la parte más alta de la pila. La disposición de los jales depende de las condiciones locales y como se administre la mina (geografía, consideraciones económicas, políticas ambientales, etc.). Desde un punto de vista ambiental la preocupación primordial sobre los residuos y desperdicios de la minería, es la migración de elementos tóxicos contenidos en estas pilas debido a la oxidación que sufren los sulfuros presentes variando directamente la química en el interior y debajo de los mismos (Nriagu, 1990).

Los metales como parte de los residuos mineros que se analizan en este trabajo son: Aluminio (Al), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu) y Plomo (Pb) para los cuales se mencionan las implicaciones a la salud así como al ambiente debido a la presencia de alta concentraciones de estos.

2.4.1. Características Principales y Efectos a la salud del: Al, As, Cd, Cu y Pb

A. Aluminio

El Aluminio es uno de los metales más ampliamente usados y también uno de los más frecuentemente encontrados en los compuestos de la corteza terrestre. Debido a este hecho, el aluminio es comúnmente conocido como un compuesto inocente. Pero todavía, cuando uno es expuesto a altas concentraciones, este puede causar problemas de salud. La forma soluble en agua del Aluminio causa efectos perjudiciales, estas partículas son llamadas iones. Son usualmente encontradas en soluciones de Aluminio combinadas con otros iones, por ejemplo cloruro de Aluminio (Lenntech, 2012).

Efectos del aluminio sobre la salud

El aluminio puede ingresar al organismo a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La toma de concentraciones significantes de Aluminio puede causar un efecto serio en la salud como: daño al sistema nervioso central, demencia, pérdida de la memoria, apatía y temblores severos.

Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida a partículas de este polvo. La sustancia puede afectar al sistema nervioso dando lugar a disfunciones (INSHT, 2011).

La exposición al aluminio generalmente no es perjudicial, pero la exposición a cantidades altas puede afectar la salud. Los trabajadores que inhalan cantidades altas de aluminio en polvo pueden desarrollar problemas respiratorios tales como tos o alteraciones que se visualizan en radiografías del tórax. Algunos trabajadores que respiran polvo o vapor de aluminio no se desempeñan bien en algunas pruebas que miden funciones del sistema nervioso.

Algunas personas con enfermedades del riñón almacenan una gran cantidad de aluminio en sus cuerpos y en ocasiones desarrollan enfermedades de los huesos o del cerebro que pueden deberse al exceso de aluminio. Algunos estudios sugieren que personas expuestas a niveles altos de aluminio pueden desarrollar la enfermedad de Alzheimer, pero esto no se ha observado en otros estudios. No se sabe con certeza si el aluminio causa la enfermedad de Alzheimer. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la EPA no han evaluado la carcinogenicidad del aluminio en seres humanos. No se ha demostrado que el aluminio produzca cáncer en animales. (ATSDR, 2012).

B. Arsénico

El arsénico es un elemento natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre. En el ambiente, el arsénico se combina con oxígeno, cloro y azufre para formar compuestos inorgánicos de arsénico. El arsénico en animales y en plantas se combina con carbono e hidrógeno para formar compuestos orgánicos de arsénico.

Los compuestos inorgánicos de arsénico se usan principalmente para preservar madera. Los compuestos orgánicos de arsénico se usan como plaguicidas, principalmente en cosechas de algodón y huertos frutales (Lenntech, 2012).

Hay muchos compuestos de arsénico en el medio ambiente, tanto orgánicos como inorgánicos. La concentraciones comunes en el aire de las zonas rurales es de 1 ng/m3 a 10 ng/m3 y de unos pocos nanogramos por metro cúbico a 30 ng/m3 en las zonas urbanas no contaminadas. Cerca de las fuentes de emisión, tales como la fundición de metales no ferrosos y plantas eléctricas que queman carbón rico en arsénico, las concentraciones de arsénico en el aire pueden exceder de 1 g/m3 (Organización Mundial de la Salud, 2012)

Efectos del Arsénico sobre la salud

El arsénico inorgánico puede tener efectos agudos, subagudos y crónicos, que pueden ser locales o sistémicos. El cáncer de pulmón se da por la exposición continua de arsénico cuando es respirado. Un aumento en la incidencia de cáncer de pulmón se ha visto en varios grupos ocupacionales expuestos a compuestos inorgánicos de arsénico. Algunos estudios también muestran que las poblaciones cercanas a las fuentes de emisión de arsénico inorgánico, tales como fundiciones, tienen un riesgo moderadamente elevado de cáncer de pulmón.La inhalación de niveles altos de arsénico inorgánico puede producir dolor de garganta e irritación de los pulmones (Organización Mundial de la Salud, 2012).

La ingestión de niveles muy altos de arsénico puede ser fatal. La exposición a niveles más bajos puede producir náusea y vómitos, disminución del número de glóbulos rojos y blancos, ritmo cardíaco anormal, fragilidad capilar y una sensación de hormigueo en las manos y los pies.

La ingestión o inhalación prolongada de niveles bajos de arsénico inorgánico puede producir oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de los pies y el torso.

El contacto de la piel con arsénico inorgánico puede producir enrojecimiento e hinchazón.

Varios estudios han demostrado que la ingestión de arsénico inorgánico puede aumentar el riesgo de cáncer de la piel y de cáncer del hígado, la vejiga y los pulmones. La inhalación de arsénico inorgánico puede aumentar el riesgo de cáncer del pulmón. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la EPA han determinado que el arsénico inorgánico es un elemento reconocido como carcinogénico en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el arsénico inorgánico es carcinogénico en seres humanos (ATSDR, 2012).

C. Cadmio

El Cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el Zinc. El Cadmio también es un inevitable subproducto en las industrias de extracción de Zinc, plomo y cobre. Este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, debido a que se encuentra en estiércoles y pesticidas. El cadmio tiene los siguientes usos: baterías (83%), pigmentos (8%), recubrimientos electrolíticos (7%), estabilizadores de plásticos (1.2%), aleaciones sin fierro, instrumentos fotovoltaicos y otros usos (0.8%) (Leentech, 2012).

Efectos del Cadmio sobre la salud

Un periodo corto de exposición al cadmio en forma de humo, irrita el tracto respiratorio, puede originar edema pulmonar así como también la llamada fiebre de los humos metálicos. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata (INSHT, 2011).

La exposición prolongada o repetida puede afectar los pulmones, la sustancia puede afectar al riñón, dando lugar a alteración renal. Esta sustancia es carcinógena para los seres humanos (INSHT, 2011).

La exposición prolongada a niveles más bajos de cadmio en el aire, los alimentos o el agua produce acumulación de cadmio en los riñones y posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en daño del pulmón y fragilidad de los huesos (ATSDR, 2012).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos en seres humanos (ATSDR, 2012).

D. Cobre

El cobre es un metal rojizo que ocurre naturalmente en las rocas, el agua, los sedimentos y, en niveles bajos, el aire. Su concentración promedio en la corteza terrestre es aproximadamente 50 partes de cobre por millón de partes de suelo (ppm) o, expresado de otra manera, 50 gramos de cobre por 1,000,000 de gramos de suelo (1.8 onzas ó 0.11 libras de cobre por 2,220 libras de suelo). El cobre también ocurre naturalmente en todas las plantas y animales. En bajas concentraciones en la dieta es un elemento esencial para todos los organismos, incluyendo a los seres humanos y otros animales. A niveles mucho más altos pueden ocurrir efectos tóxicos. En este resumen, el término cobre se refiere no sólo al metal, sino que también a los compuestos de cobre que se pueden encontrar en el ambiente.

El cobre metálico puede ser moldeado fácilmente. El color rojizo de este elemento está de manifiesto en la moneda 1 centavo de EE. UU., en cables eléctricos y en algunas cañerías de agua. También se encuentra en muchas mezclas de metales, llamadas aleaciones, como por ejemplo latón y bronce. Existen muchos compuestos (sustancias formadas por dos o más sustancias químicas) de cobre. Estos incluyen a minerales que ocurren naturalmente como también a productos manufacturados. El compuesto de cobre que se usa más comúnmente es el sulfato de cobre. Muchos compuestos de cobre pueden ser reconocidos por su color azul-verdoso (Lenntech, 2012).

El cobre es minado y procesado extensamente en Estados Unidos y es usado principalmente por sí solo o en aleaciones en la manufactura de alambre, láminas de metal, cañerías y otros productos de metal. Los compuestos de cobre se usan comúnmente en agricultura para tratar enfermedades de las plantas, por ejemplo hongos, o para el tratamiento de aguas y como preservativo para madera, cuero y telas (Lenntech, 2012).

Efectos del Cobre sobre la salud

Los científicos usan una variedad de pruebas para proteger al público de los efectos perjudiciales de sustancias químicas tóxicas y para encontrar maneras para tratar a personas que han sido afectadas.

El cobre es esencial para mantener buena salud. Sin embargo, la exposición a dosis altas puede ser perjudicial. La exposición prolongada a polvos de cobre puede irritar la nariz, la boca, los ojos y causar dolores de cabeza, mareo, náusea y diarrea. Si se bebe agua que contiene niveles de cobre más altos que lo normal, se puede sufrir de náusea, vómitos, calambres estomacales o diarrea. La ingestión intencional de niveles altos de cobre puede producir daño del hígado y los riñones y puede causar la muerte. No se sabe si el cobre puede producir cáncer en seres humanos. La EPA no ha clasificado al cobre en cuanto carcinogenicidad en seres humanos porque no hay estudios adecuados en seres humanos o en animales (ATSDR, 2012).

E. Plomo

El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el 5000 antes de Cristo para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%) (Lenntech, 2012).

Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de Plomo. El humo de los cigarros también contiene pequeñas cantidades de plomo. El Plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. No se sabe que el Plomo cumpla alguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua (Lenntech, 2012).

Los niveles promedio de plomo en el aire son por lo general por debajo de 0,15 g/m3 en sitios rurales. En áreas urbanas los niveles de plomo en aire son típicamente entre 0,15 y 0,5 g/m3 en la mayoría de las ciudades. El plomo en el aire es de especial importancia para los niños. La relación entre la exposición al plomo aire y plomo en la sangre se ha demostrado que presentan una gran relación si la exposición es lo suficientemente grande. El nivel de plomo en la sangre es el mejor indicador disponible de la corriente y la exposición ambiental reciente, y también puede ser un indicador razonablemente bueno de la carga corporal de plomo con exposiciones estables. Los efectos biológicos de plomo, por lo tanto, están relacionados con plomo en la sangre como un indicador de la exposición interna (Organización Mundial de la Salud, 2012).

Efectos del Plomo sobre la salud

La exposición prolongada o repetida puede afectar a la sangre, médula ósea, sistema nervioso central, sistema nervioso periférico y riñón, dando lugar a anemia, encefalopatía (p. ej. convulsiones), alteraciones del sistema nervioso periférico, calambres abdominales y alteración renal. Produce graves alteraciones en la reproducción humana (INSHT, 2011)

Los efectos del plomo son los mismos si se ingiere o inhala. El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición prolongada de adultos puede causar un deterioro en el resultado de algunas pruebas que miden funciones del sistema nervioso. También puede producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo también produce un pequeño aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo. En hombres, la exposición a altos niveles puede alterar la producción de espermatozoides (ATSDR, 2012)

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que el plomo y los compuestos de plomo son carcinogénicos en seres humanos. La EPA ha determinado que el plomo es probablemente carcinogénico en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el plomo inorgánico probablemente es carcinogénico en seres humanos y que no hay suficiente información para determinar si los compuestos orgánicos de plomo pueden producir cáncer en seres humanos (ATSDR, 2012).

2.4.2. Límites permisibles (Agua, Suelo y Aire)

2.4.2.1. Agua

Los límites para el agua de consumo humano se basa en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes: NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" y la NOM-041-SSA1-1993 "Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias". En estas se especifican algunos de los valores máximos permisibles para los parámetros a considerar en el agua de consumo humano. La Asociación Internacional de Agua Embotellada (IBWA por sus siglas en ingles), la Administración Federal del Medicamento (FDA) y la Organización Mundial de la salud (OMS) también consideran algunos valores máximos para el agua de consumo. En la Tabla 13 se resumen los paramentaros que se analizaron en el presente trabajo.

Parámetro/Normatividad	NOM-127	NOM-041	IBWA	FDA	OMS
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5		6.5-8.5
Cond. Elect. (µS/cm)					1500
Alcalinidad (mg/L)		300			
Dureza Total (mg/L)	500	200			500
Flúor (F^-) (mg/L)	1.5	0.7			1.5
Sólidos Totales (mg/L)	1000	500	500	500	
Aluminio (mg/L)	0.20	0.20		0.20	0.20
Arsénico (mg/L)	0.025	0.05	0.01	0.005	0.01
Cadmio (mg/L)	0.005	0.005		0.005	0.003
Cobre (mg/L)	2	1		1	2
Plomo (mg/L)	0.01	0.02	0.005	0.005	0.01

Tabla 13: Comparación de valores de las NOM-127 (1994), NOM-041 (1993), IBWA, FDA y OMS

2.4.2.2. Suelo (Polvo)

Por otro lado los resultados obtenidos se pueden comparar contra los valores que marca la Norma Oficial Mexicana 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".

Los valores máximos permitidos por tipo de uso de suelo que marca la NOM-147 como recomendables se pueden ver en la Tabla 14.

Concentraciones de referencia totales (CRT) por tipo de uso de suelo. NOM 147		
Contaminante	**Uso agrícola/residencial /comercial (mg/kg)**	**Uso industrial (mg/kg)**
Arsénico	22	260
Bario	5400	67000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plata	390	5100
Plomo	400	800
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	78	1000

Tabla 14: Concentraciones de Referencia por tipo y uso de suelo. (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, 2004)

En esta norma solo se regula la concentración de Arsénico, Cadmio y Plomo en suelo de uso residencial, ya que no se consideran al Aluminio y al Cobre como tóxicos, teniéndolos como un componente principal del suelo.

Las concentraciones máximas siempre son en función del uso de suelo, sin embrago el grado de peligrosidad y de los posible elementos tóxicos presentes pueden ser aun más críticos en jardines, parques y aéreas residenciales. De este modo cada región, estado o comunidad propone concentraciones máximas diferentes, esto debido a que los niveles de uso de suelo difieren en función de las condiciones locales, uso, historia de la región, tipo de suelo, clima y hasta de los criterios de los autores que hacen los cálculos e introducen los distintos factores en la formulación. En la Tabla 15 se muestran las concentraciones máximas en otros países para uso de suelo tipo residencial.

Metal	**[1]México**	**[3]Australia**	**[3]Canadá**	**[3]Polonia**	**[3]Japón**	**[3]Gran Bretaña**	**[3]Alemania**	**[3]Argentina**	**Estados Unidos**	**[2]Holanda**	**[2]Italia**	**[2]Francia**	**[2]Suecia**	**[2]España**
As	22	50	25	30	15	20	40		5	29	20	37	15	5
Cd	37	5	8	3		1	2	5		0.8	2	20	0.4	1.5
Cu		100	100	100	150	50	50	100		36	120		200	55
Pb	400	100	200	100	400	50	500	500	200	85	100	400	80	70

Tabla 15: Concentraciones máximas aceptable de metales en suelos agrícolas y/o residenciales (mg/kg). [1]NOM.147 [2](Valiente & Torrado, 2003) [3]Gálan (2008)

3. Justificación

Santa Bárbara, Chihuahua, es un municipio con una historia minera que data desde la época de la colonia, siendo su principal actividad la producción de minerales metálicos como oro y plata y no metálicos como concentrados de cobre, zinc y plomo.

Debido a esta actividad, se han venido depositando a lo largo del tiempo; una cantidad considerable de residuos sólidos mineros (jales), como parte del subproducto del beneficio de minerales. Tales residuos no han tenido a lo largo del tiempo una disposición y manejo adecuado. Anteriormente no se consideraban elementos básicos para la ubicación de los residuos, como son: uso de suelo en la zona, crecimiento de la población y factores ambientales, como vientos dominantes y fuentes de agua que pudieran transportar los posibles elementos tóxicos ante la presencia y contacto de las personas que ahí habitan.

Teniendo en cuenta estos aspectos y a la inexistencia de estudios realizados anteriormente, que indiquen que las concentraciones de metales y metaloides presentes en el agua y polvo de las calles; no representan algún tipo de riesgo. La presente tesis, tiene la finalidad de identificar los posibles factores de riesgo ambiental y salud pública para la población que aquí habita, debido a la dispersión de contaminantes (metales y metaloides) por medio del agua y el viento.

4. Objetivos

4.1. General

Determinar si la zona de Santa Bárbara y localidades cercanas a las presas de jales (Cabras y Santa Rita) se encuentran expuestos a metales y metaloides a través de un muestreo de polvo y agua de consumo.

4.2. Específicos

- Llevar a cabo la recopilación de la información respecto a:
  - La población
  - Aspectos ambientales y topográficos de la zona
  - Estimación del volumen y distancia de los residuos mineros (jales) al poblado.
- Realizar un muestreo preliminar de Agua y polvo en la zona de Santa Barbará y poblados adyacentes.
- Determinación de Al, As, Cd, Cu y Pb en el polvo de las calles de Santa Bárbara
- Determinar la calidad del agua de consumo en Santa Bárbara, Cabras y Santa Rita.

5. Alcances

En el presente trabajo se cuantificaron los niveles de concentración de Al, As, Cd, Cu y Pb en el polvo urbano y la calidad del agua de bebida en el poblado de Santa Bárbara, Chihuahua.

6. Hipótesis

Los residuos mineros depositados en las presas de jales cercanas al poblado de Santa Bárbara, Chihuahua se han dispersado a través del tiempo y pueden estar presentes en concentraciones que afectan a la salud de los habitantes.

7. Metodología

7.1. Delimitación del área de estudio (Santa Bárbara, Chih)

Santa Bárbara se localiza en la latitud 26°48', longitud 105°49'; con una altitud de 1,969 metros sobre el nivel del mar. Su ubicación geográfica se observa en la Figura 10.

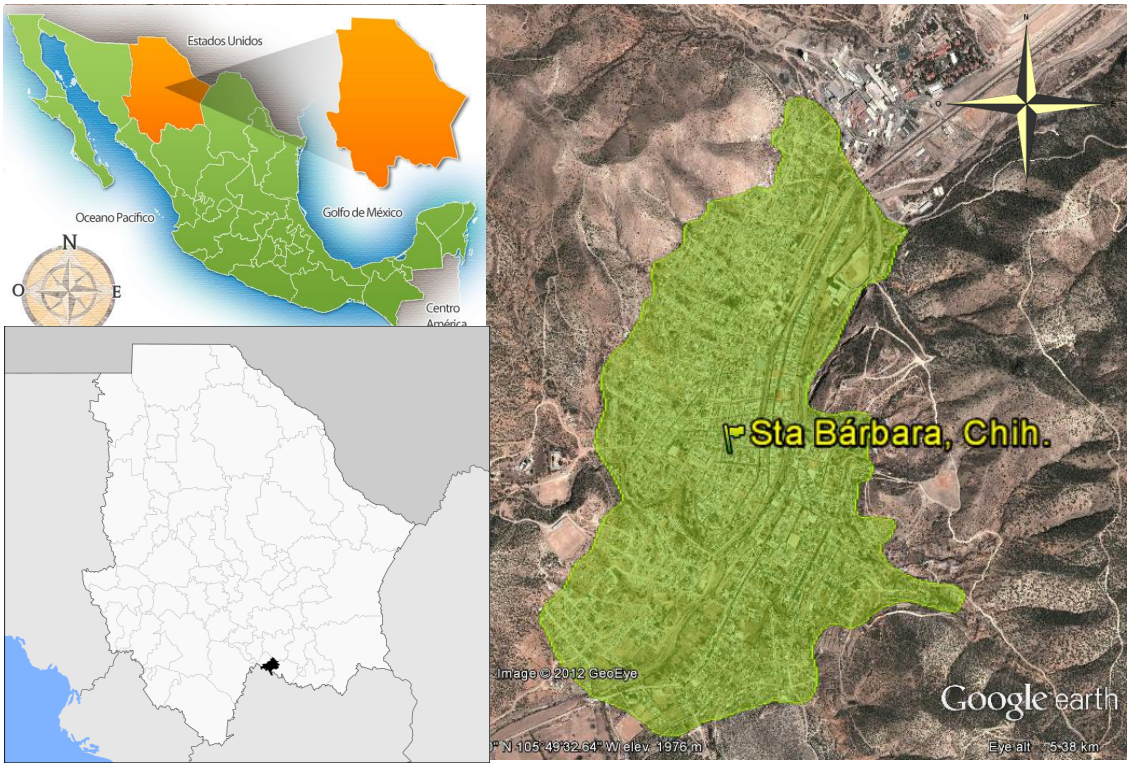


Figura 10: Ubicación de la zona de estudio

Por el municipio de Santa Bárbara, atraviesa un rio cuya hidrografía corresponde al río Valle de Allende, el cual a su vez pertenece a la vertiente del Golfo. El río tiene su origen en la sierra de Santa Bárbara cruzando por en medio del poblado y luego sigue su curso pasando por el municipio de Matamoros y posteriormente al de Allende. El Rio del Valle de Allende es tributario del Rio Florido y este a su vez del Rio Conchos (Chihuahua - Santa Bárbara.:, 2011).

La Figura 11 muestra el curso del río Valle de Allende, el cual va de oeste a este, pasando por medio de la ciudad de Santa Bárbara, otra parte de este río pasa por el llamado valle del verano desde donde se abastece de agua potable al poblado.

Figura 11: Hidrografía en Santa Bárbara, Chih.

En lo que respecta a los vientos dominantes en la zona, estos tienen una dirección predominante que van del Noreste hacia el Suroeste (CEDEMUN, 2009) como se muestra en la Figura 12. En esta figura también se pueden observar cuatro presas de jales donde han sido depositaos los residuos del proceso del beneficio de minerales; dos de las presas (1 y 4) se encuentran actualmente en uso, las otras dos contienen residuos de jales oxidados ya que son los más viejos y no cuentan con una cubierta (2 y 3).

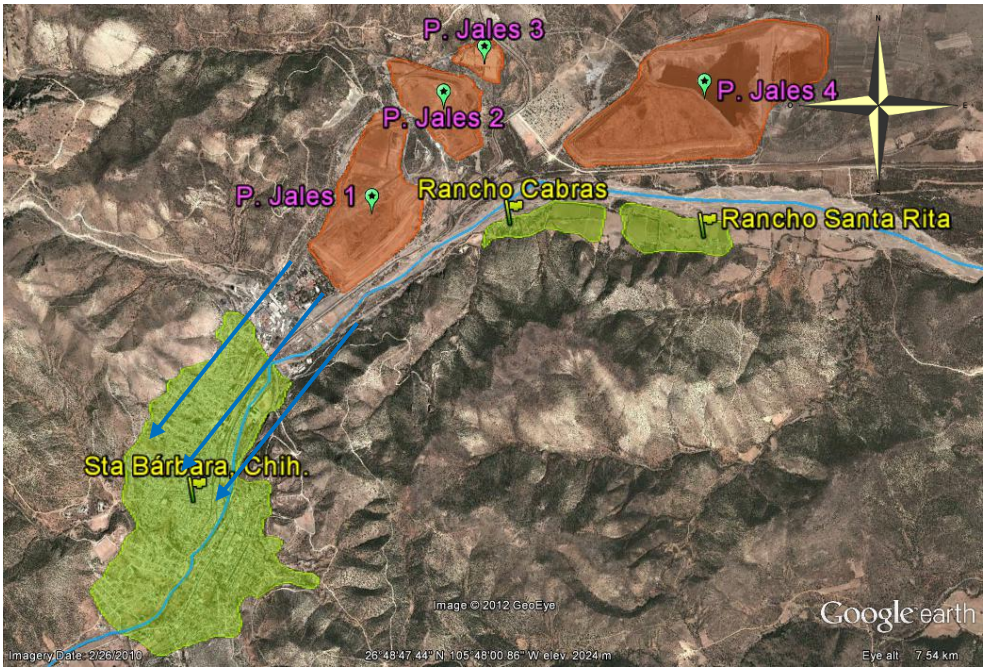


Figura 12: Dirección de los Vientos Dominantes en la región de Santa Bárbara

El volumen de estos residuos mineros en las presas de jales se estima en 38,590,954 m^3 en la actualidad como se puede ver en la Tabla 16, casi de el doble de lo estimado en 2005 de 19,527,678 m^3 de jales inactivos (LAFQA, 2005).

Zona	Área (m^2)	Volumen (m^3)
P. Jales 1	251328	10053120
P. Jales 2	143414	3298522
P. Jales 3	33840	372240
P. Jales 4	690752	24867072
	Totales	38590954

Tabla 16: Área y Volúmenes de los residuos mineros cercanos a Santa Bárbara

Debido a su ubicación y tomando en cuenta la dirección de los vientos dominantes; es que se selecciono el área urbana del municipio de Santa Bárbara así como dos de las localidades cercanas (Cabras y Santa Rita) como el área de estudio para el presente trabajo de investigación.

7.2. Ubicación de los puntos de muestreo

Para llevar a cabo un plan de muestreo se consideraron dos partes, la primera para el muestreo de agua potable y la segunda para muestreo de polvo en la zona urbana de Santa Bárbara.

7.2.1. Agua

Se tomaron tres muestras en el municipio de Santa Bárbara, una en la localidad de Cabras y otra en la de Santa Rita, para un total de cinco muestras. A excepción de la recogida en Santa Rita que fue tomada de una noria, las demás fueron tomadas directamente de la llave. En la Tabla 17 están las coordenadas y en la Figura 13 su ubicación geográfica.

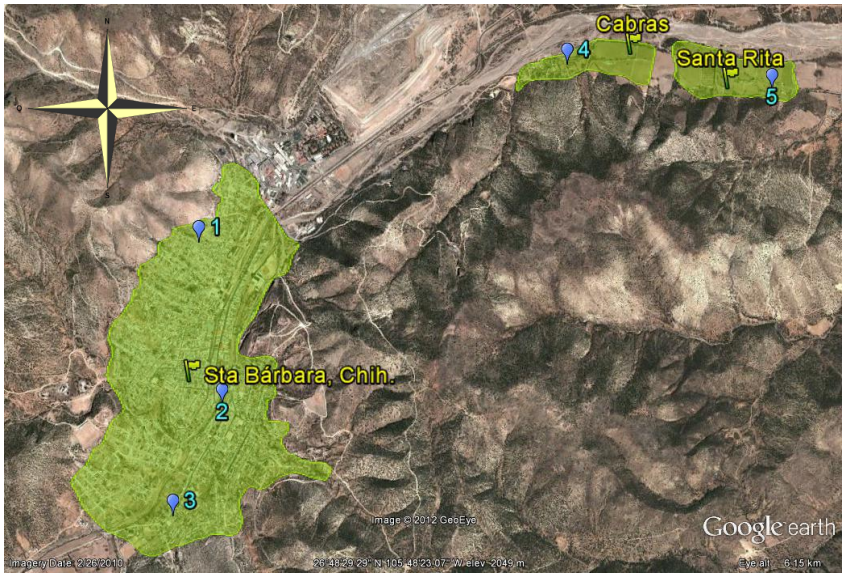


Figura 13: Ubicación de los puntos de muestreo para agua potable

Muestra	Nombre	Coordenadas Geográficas	
1	Santa Bárbara 1	26°48'37.86"N	105°49'90.99"W
2	Santa Bárbara 2	26°48'70.69"N	105°49'50.41"W
3	Santa Bárbara 3	26°47'47.10"N	105°49'15.55"W
4	Cabras	26°49'11.42"N	105°47'52.81"W
5	Santa Rita	26°49'60.73"N	105°47'90.34"W

Tabla 17: Coordenadas de los puntos de muestreo para agua potable

7.2.2. Polvo

Se consideró un muestreo exploratorio sistemático por conveniencia en las banquetas del poblado. Esto debido a que en cuanto al muestreo de polvo no existe una metodología universal dentro de las normas mexicanas. No obstante la metodología consistió en trazar cuadros de 250 m x 250 m de lado ubicados en un mapa de la ciudad, para esto se utilizó la herramienta de Google Earth como se ve en la Figura 14. De la misma manera en la Tabla 18 se indican las coordenadas donde se realizó la recogida de muestras.

Muestra	Latitud	Longitud
1	26°48'50.16"N	105°49'20.43"W
2	26°48'44.09"N	105°49'10.65"W
3	26°48'37.63"N	105°49'50.96"W
4	26°48'37.28"N	105°48'51.32"W
5	26°48'33.91"N	105°49'15.48"W
6	26°48'31.59"N	105°49'00.29"W
7	26°48'25.85"N	105°49'13.37"W
8	26°48'20.89"N	105°49'10.54"W
9	26°48'19.04"N	105°49'18.78"W
10	26°48'14.26"N	105°49'80.18"W
11	26°48'12.72"N	105°49'27.13"W
12	26°48'80.12"N	105°49'13.71"W
13	26°48'40.88"N	105°48'56.71"W
14	26°48'20.00"N	105°49'23.73"W
15	26°47'57.58"N	105°49'70.54"W
16	26°47'51.68"N	105°49'25.61"W
17	26°47'48.22"N	105°49'40.53"W
18	26°47'42.31"N	105°49'16.10"W

Tabla 18: Coordenadas para los puntos de muestreo de polvo

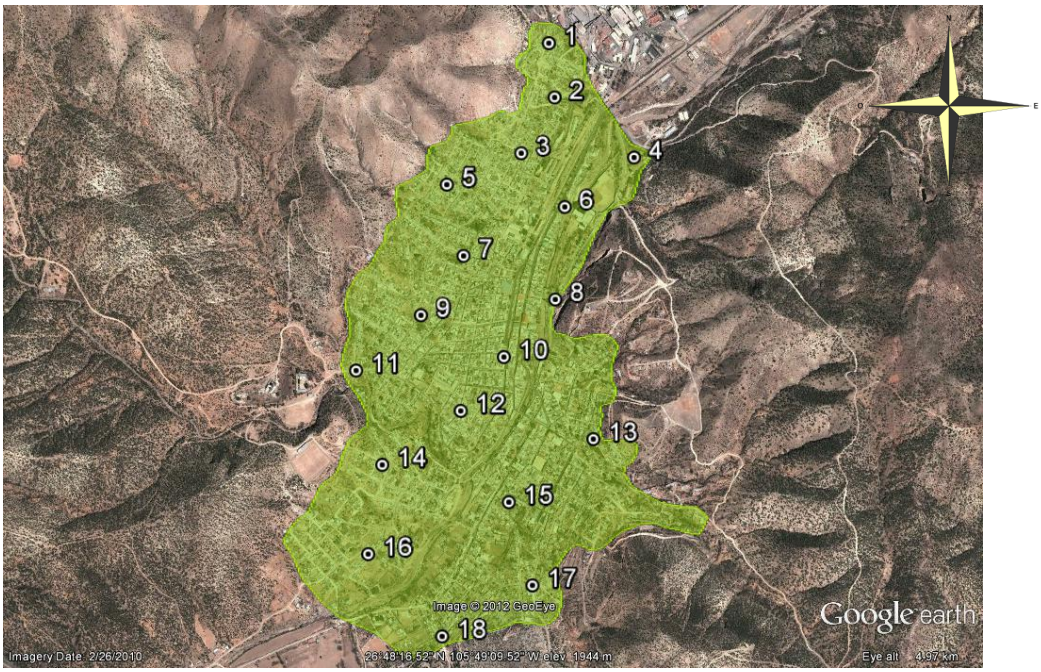


Figura 14: Ubicación de los puntos de muestreo para polvo

7.3. Colección y conservación de las muestras

Para la toma y conservación de la muestra se tomaron como referencia las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993 “Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados” (NOM-014-SSA1-1993, 1993) para el agua potable colectada.

De la misma forma para la conservación de la muestra de polvo se baso la toma de muestras en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 “Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra” (NMX-AA-132-SCFI-2006, 2006).

7.3.1. Agua

Debido al tipo de análisis (físico-químico) requerido en la presente investigación, para determinar algunos de los parámetros como son la dureza, alcalinidad, sólidos totales, pH y conductividad el procedimiento a seguir para la toma de muestras de agua fue el siguiente.

Las muestras de agua se tomaron directamente de las tomas domiciliarias, se abrió la llave y se dejo correr aproximadamente 3 minutos tratando de que el agua contenida en la tubería fuera vaciada en su totalidad, luego se enjuago el envase dos veces con esa misma agua, realizando lo anterior cuidadosamente para evitar la contaminación del interior, el tapón y la boca del envase.

Se utilizaron para esto envases de plástico transparentes, previamente esterilizados y debidamente etiquetados para su identificación (nombre, número de muestra, sitio del muestreo, fecha y hora).

Para su preservación fueron guardadas en una hielera (sin llegar a congelarse), para evitar alteraciones como el calor y la luz solar, hasta su posterior análisis en el laboratorio de análisis químico.

7.3.2. Polvo

Para la recogida de las muestras de polvo se utilizaron brochas nuevas (de las usadas para pintar), se marco un área de un metro cuadrado al nivel de la banqueta de los domicilios y con una pala o recogedor de plástico se recogió lo acumulado en ese espacio, quitando el material más grueso dejando de ser posible las partículas más finas, posteriormente el contenido fue guardado en bolsas de plástico con cierre debidamente etiquetadas, para después ser trasladadas al laboratorio de Calidad del Agua en CIMAV para su preparación y posterior análisis.

7.4. Preparación de las Muestras

7.4.1. Agua

Para el análisis de metales y metaloides en agua las muestras fueron preparadas de la siguiente manera; se tomaron 45 ml de muestra, poniéndolos en un tubo de teflón, luego se adicionaron 5 ml de HNO3, se tapo el tubo y se sometió a un ciclo de digestión acida en un digestor de microondas marca CEM modelo MARSX, el método utilizado fue el SW 3015 de la EPA, terminado el ciclo se transfirió la mezcla acida a un matraz erlenmeyer de 100 ml, se completo el volumen con agua deionizada.

7.4.2. Muestras de Polvo

En lo que respecta a las muestras de polvo también se requirió de un tratamiento previo al análisis, la digestión consistió en pesar 0.5 g de muestra, colocándolos en un tubo de teflón, adicionando 10 ml de HNO3, se tapo el tubo y se sometió a un ciclo de digestión por el método SW 3051 de la EPA, acabado el ciclo se filtro la mezcla acida a un matraz erlenmeyer de 50 ml y se completo el volumen con agua deionizada y se agito. Se almacenó la solución en un recipiente de plástico hasta su posterior análisis.

7.5. Análisis de Muestras

El trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Calidad del Agua en CIMAV con el apoyo de los técnicos encargados.

7.5.1. Agua

Para determinar los parámetros se utilizaron métodos estándar de análisis tal como se indica en la Tabla 19.

Parámetro	Método	Equipo o Procedimiento
pH	Electroquímico	Basado en el procedimiento de operación del equipo marca THERMO ORION 3 STAR
Conductividad Eléctrica	Electroquímico	Basado en el procedimiento de operación del equipo marca ORION modelo 1260
Alcalinidad	Volumétrico	Basado en la NMX-AA-036-SCFI-2001
Dureza Total	Volumétrico	Basado en la NMX-AA-072-SCFI-2001
Sólidos Totales	Gravimétrico	Basado en la NMX-AA-034-SCFI-2001
Flúor (Fluoruros)	Ion Selectivo	Basado en el procedimiento de operación del equipo marca ORION modelo 1260
Metales y Metaloides (As, Al, Cd, Cu y Pb)	Espectrometría de Absorción Atómica	Equipo marca GBC modelo Avanta Σ

Tabla 19: Métodos estándar de análisis

7.5.2. Polvo

Para llevar a cabo el estudio de las muestras de polvo, se partió de los resultados obtenidos en un análisis cualitativo y cuantitativo previo, realizado en el laboratorio del Departamento de Energías Renovables y Protección al Medio Ambiente. Los resultados indicaron que en las tres muestras seleccionadas se presentaron concentraciones altas de Al, As, Cd, Cu y Pb; por lo que se examinaron las 18 muestras por medio de espectrometría de absorción atómica en el equipo marca GCB modelo Avanta Σ. Los límites de detección y cuantificación en este quipo para estos elementos se señalan en la Tabla 20.

Elemento	Limite de Detección (ppm)	Limite de Cuantificación (ppm)
Al	1	1
As	0.005	0.005
Cd	0.0076	0.05
Cu	0.022	0.1
Pb	0.071	0.2

Tabla 20: Limites de detección y cuantificación (Al, As, Cd, Cu y Pb) en EAA

8. Análisis y discusión de resultados

Los resultados obtenidos se revisan en dos partes, la primera comprende a lo obtenido del análisis en las muestras de agua potable, y por otro lado una segunda parte donde se discuten los resultados en las muestras de polvo urbano.

8.1. Agua

En la Tabla 21 se presentan los resultados de los parámetros determinados en las muestras de agua: pH, Conductividad Eléctrica, Dureza, Alcalinidad, Fluoruros como F- , Sólidos Totales (ST) y Metales (Al, Ag. As, Be, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Tl y V).

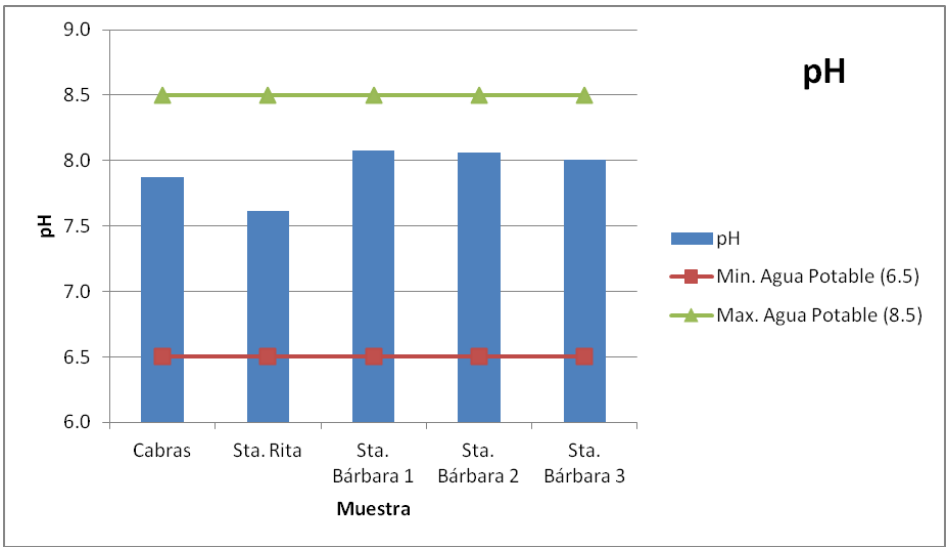
Muestra	pH	Cond. Elect. (µS/cm)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Fluor (F^-) (mg/L)	ST (mg/L)	Metales
Cabras	7.9 ±0.1	411 ±1	176 ±1	193 ±1	0.11 ±0.01	220 ±7	ND
Sta. Rita	7.6 ±0.2	1224 ±2	195 ±2	481 ±7	0.21 ±0.02	1023 ±4	ND
Sta. Bárbara 1	8.1 ±0.2	418 ±1	179 ±2	195 ±1	0.13 ±0.01	207 ±6	ND
Sta. Bárbara 2	8.1 ±0.1	424 ±1	178 ±3	196 ±3	0.13 ±0.01	200 ±7	ND
Sta. Bárbara 3	8.0 ±0.2	412 ±1	174 ±1	193 ±1	0.13 ±0.01	225 ±3	ND

ND: no detectado

Tabla 21: Resultados del análisis en agua.

8.1.1. pH

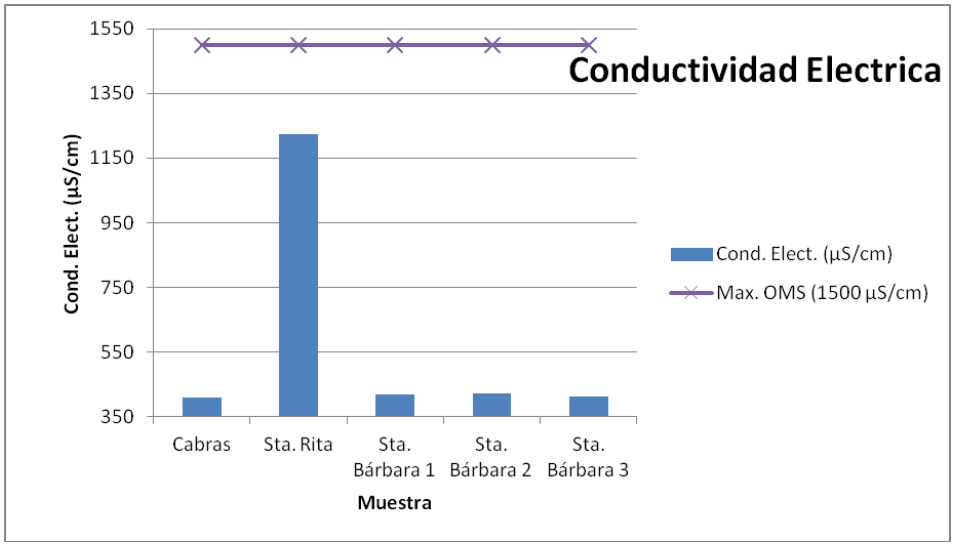
En el caso del pH los resultados indican que todas las muestras se encuentran entre el rango de valores recomendados por la OMS (6.5-8.5), así como los establecidos en la NOM-127 y la NOM-041, ya que en ambas se considera el mismo rango de pH para considerar un agua apta para consumo humano. En la Gráfica 1 se pueden relacionar lo anterior.



Gráfica 1: pH vs. valores recomendados (OMS, NOM-127 y NOM-041)

8.1.2. Conductividad Eléctrica

En la Gráfica 2 se observa como los resultados obtenidos en las muestras para la conductividad eléctrica, están por debajo de los valores aconsejables para el agua de uso doméstico que van de 500 a 800 µS/cm y están también por debajo el valor especificado por la OMS (1500 µS/cm) esto podría deberse a la baja concentración de sólidos disueltos totales en las muestras; el valor más alto que representa al del Rancho Santa Rita donde la muestra fue tomada directamente de una noria sigue estando dentro de los valores establecidos por la OMS.

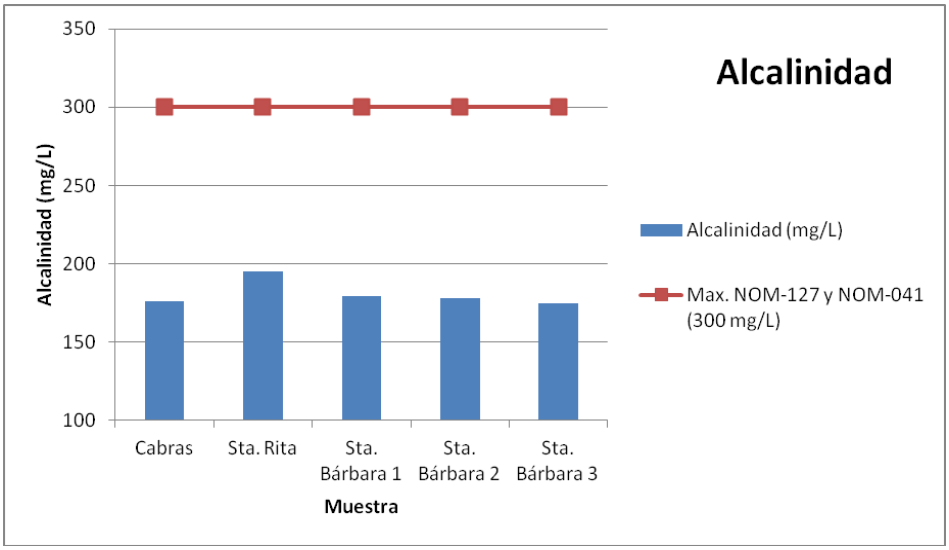


Gráfica 2: Conductividad eléctrica vs. valores recomendados (OMS)

8.1.3. Alcalinidad

Los resultados en cuanto a la alcalinidad reflejan que todas las muestras analizadas están muy por debajo de los valores máximos aconsejables (300 mg/L)

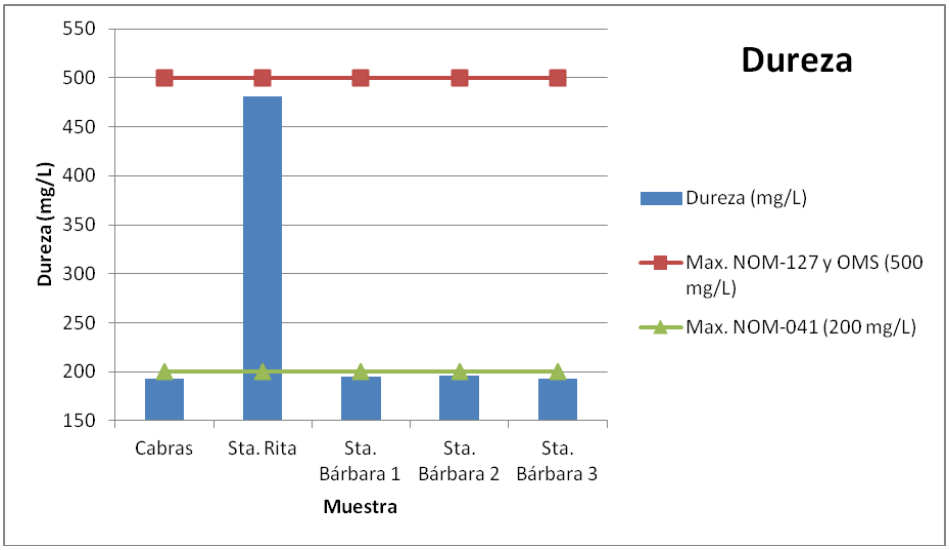
en la normatividad (NOM-127 y NOM-041). En la Gráfica 3 se ilustra comparativamente los valores obtenidos contra los que marca la normatividad.



Gráfica 3: Alcalinidad vs. valores recomendados (NOM-127 y NOM-041)

8.1.4. Dureza

La dureza en el agua se representa en la Gráfica 4, en este se puede ver que si bien los valores obtenidos están muy por debajo de los establecidos en la NOM-127 y por la OMS (500 mg/L), se encuentran muy cercanos a los que marca la NOM-041 como máximo. La excepción se da en la muestra del Rancho Santa Rita donde al igual que en la conductividad eléctrica la dureza es alta, esta vez quedando muy por encima de los valores de la NOM-041 (200 mg/L) y solo un poco por debajo de la NOM-127.



Gráfica 4: Dureza vs. valores recomendados (OMS, NOM-127 y NOM-041)

La conductividad y la dureza tienen una relación que se muestra en la Tabla 22 donde se clasifican según esta relación.

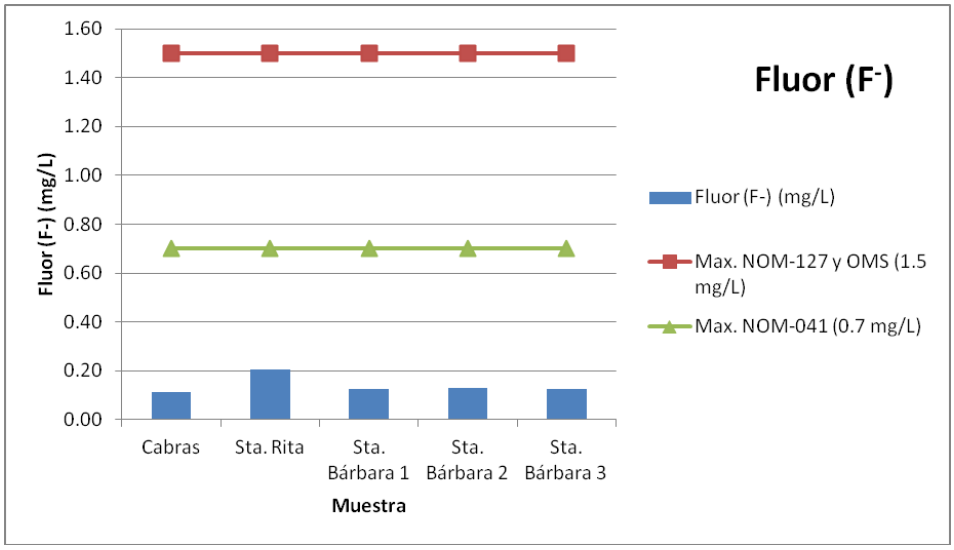
Dureza (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	Clasificación
0-70	0-140	Muy blanda
70-150	140-300	Blanda
150-250	300-500	Ligeramente dura
250-320	500-640	Moderadamente dura
320-420	640-840	Dura
Superior a 420	Superior a 840	Muy dura

Tabla 22: Clasificación del agua según la dureza y conductividad

Con los anterior se puede decir que de las cinco muestras, la del Rancho Santa Rita es agua muy dura (dureza 481 mg/L y conductividad 1224) siendo las cuatro restantes aguas ligeramente duras.

8.1.5. Flúor (F^-)

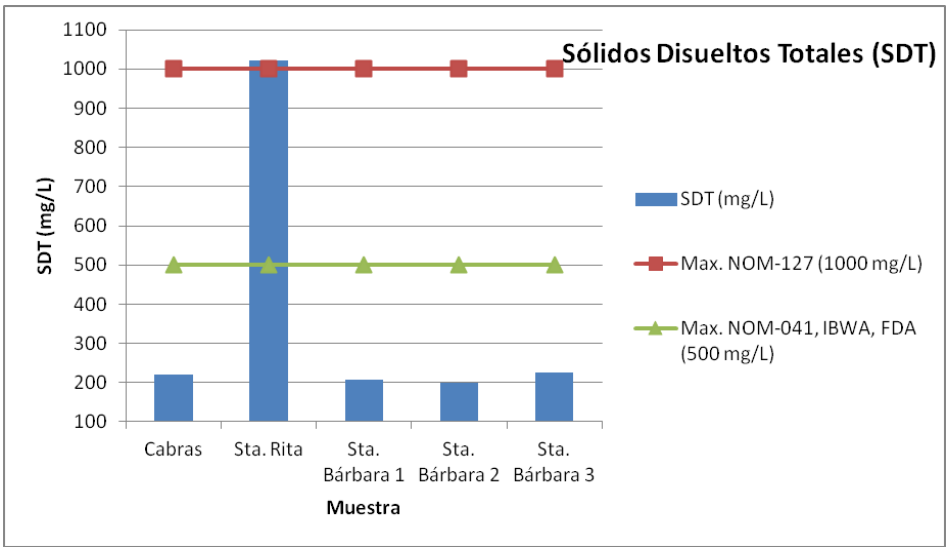
El análisis de Flúor en forma del Ion Fluoruro se observa muy por debajo de los máximos permisibles referidos; 1.5 mg/L en la NOM-127, 0.7 en NOM-041 y 2 mg/L que marca la OMS como se muestra en la Gráfica 5.



Gráfica 5: Flúor (F) vs. valores recomendados (OMS, NOM-127 y NOM-041)

8.1.6. Sólidos Totales

Los sólidos totales presentes en las muestras son relativamente bajos a excepción de la muestra del Rancho Santa Rita; donde excede los valores normados por la NOM-127 (1000 mg/L), así como los valores descritos como máximos, en la NOM-041 por la FDA, la IBWA (500 mg/L) como se observa en la Gráfica 6.



Gráfica 6: Sólidos Totales vs. valores recomendados (NOM-127, NOM-041, IBWA y FDA)

8.1.7. Metales

Los metales analizados en las cinco muestras de agua fueron: As, Ba, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Ta, V, Fe, Mn y Al. Estos metales no fueron detectados, esto quiere decir que en lo referente a metales y metaloides la calidad del agua es adecuada para consumo humano.

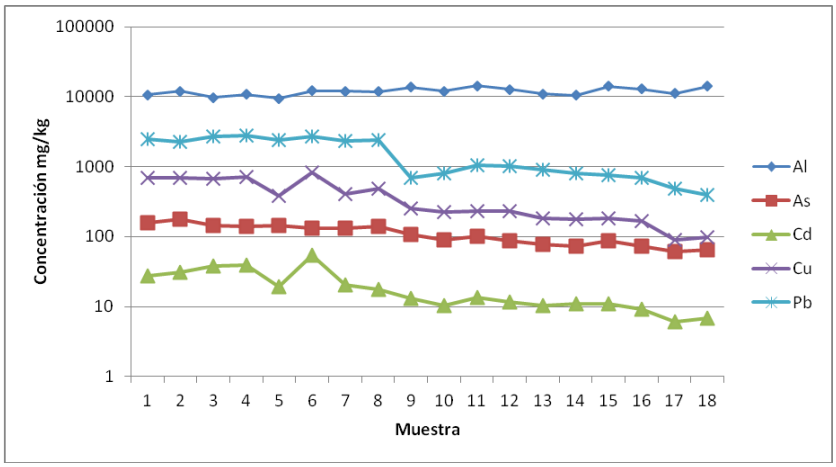
Los resultados presentados, indican que todas las muestras cumplen con la calidad que un agua para consumo humano debe tener; según lo especificado en la NOM-127, NOM-041 mexicanas, así como los recomendados por la OMS, la FDA y la IBWA.

8.2. Polvo

En las muestras de polvo, se llevo a cabo un análisis cualitativo- cuantitativo en el que sólo los metales (Al, As, Cd, Cu y Pb) se presentaron en concentraciones altas, los demás elementos detectados por el ICP (B, Ba, Ca, Co, Cr, Fe, K, Mg, Na, Ni, P, S, Si, Sr, Ti, V y Zn) se presentaron solo en concentraciones mínimas; por lo que no se consideraron para el análisis por espectrometría de absorción atómica (EAA). Los resultados por EAA se presentan en la Tabla 23 así como esquemáticamente en la Gráfica 7.

Muestra		Al	±	As	±	Cd	±	Cu	±	Pb	±
						mg/kg					
Nom-147	Uso Residencial			22		37				400	
	Uso Industrial			260		450				800	
1		10605	1	158	1	27.76	0.01	689	2	2479	2
2		12035	3	175	1	31.13	0.01	693	1	2292	1
3		9725	3	144	1	38.18	0.02	676	1	2683	1
4		10773	2	138	2	39.29	0.01	708	1	2787	1
5		9451	3	144	3	19.16	0.02	387	1	2373	1
6		12113	1	132	2	53.58	0.02	825	1	2722	1
7		11923	3	133	2	20.50	0.01	405	1	2310	1
8		11859	1	138	1	17.44	0.01	487	2	2382	2
9		13663	5	108	0	13.13	0.01	253	1	688	2
10		12034	2	88	1	10.24	0.01	224	1	800	1
11		14247	1	101	2	13.50	0.01	234	1	1058	1
12		12631	3	88	1	11.52	0.02	233	1	1030	1
13		10944	2	77	3	10.42	0.02	180	1	898	2
14		10485	2	73	2	10.78	0.01	178	1	792	2
15		14159	1	88	2	10.93	0.01	185	1	757	1
16		12959	2	73	2	9.28	0.02	167	1	699	1
17		11175	1	60	3	6.14	0.03	91	1	489	1
18		14175	3	66	2	6.78	0.02	97	1	390	1
Promedio		11942		110		19.43		373		1535	

Tabla 23: Resultados de los metales en las muestras de polvo urbano (mg/kg)



Gráfica 7: Resultados de los metales en las muestras de polvo urbano (mg/kg)

Los elementos analizados: (Al, As, Cd, Cu, y Pb) se presentan en concentraciones abundantes en las muestras recogidas de la zona urbana del poblado. La concentraciones elementales promedio presentan el siguiente orden: Al> Pb> Cu> As> Cd.

Existe también una fuerte relación entre el Cadmio y el Cobre como se observa en las series de la gráfica. Por otro lado el Aluminio no parece seguir el patrón de los demás elementos, pues este se mantiene entre un rango de valores (9451 a 14247 mg/kg) mostrando un comportamiento independiente de la distancia del punto donde se tomo la muestra, esto podría deberse a que este elemento es un componente principal del suelo y está presente naturalmente, no porque haya sido incorporado y acumulado por medio del viento en el polvo urbano.

Puede observarse un patrón común en las series del gráfico, para el caso del As, Cd, Cu, y Pb, lo que indica que las concentraciones de los metales estudiados son proporcionales en cuanto a la distancia de la muestra. De esta forma los valores más altos se encuentran en los puntos más cercanos que son las muestras 1, 2 y 4; presentándose las concentraciones más bajas en los muestras 17 y 18 que son las más distantes.

Las distancias desde la presa de jales a los puntos de muestreo se pueden ver en la Tabla 24, la distancia se tomo desde un mismo punto en común desde la presa de jales hacia el punto de muestreo.

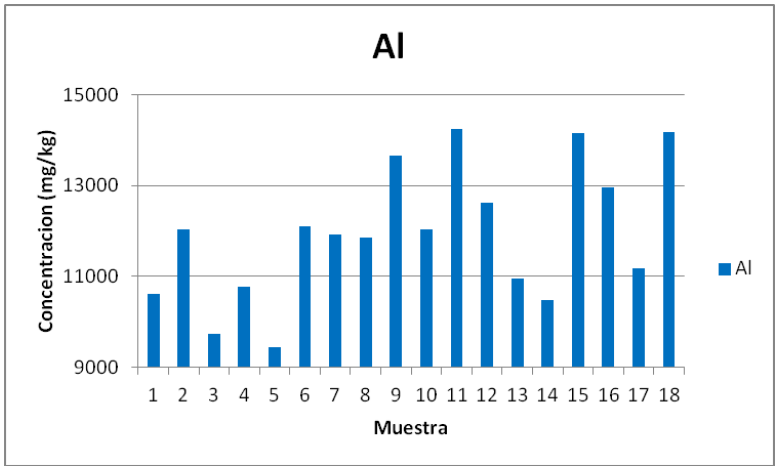
Muestra	Distancia (km)
1	0.7
2	0.8
3	0.8
4	1.0
5	1.1
6	1.3
7	1.4
8	1.4
9	1.7

10	1.7
11	1.8
12	1.9
13	2.0
14	2.1
15	2.2
16	2.4
17	2.5
18	2.6

Tabla 24: Distancia de la presa de jales a los puntos de muestreo

8.2.1. Aluminio (Al)

En la Gráfica 8 se muestran las concentraciones obtenidas para el Aluminio, en ésta se puede observar que tiene un comportamiento relativamente constante en todas la muestras, con valores que van de los 9500 a 14500.



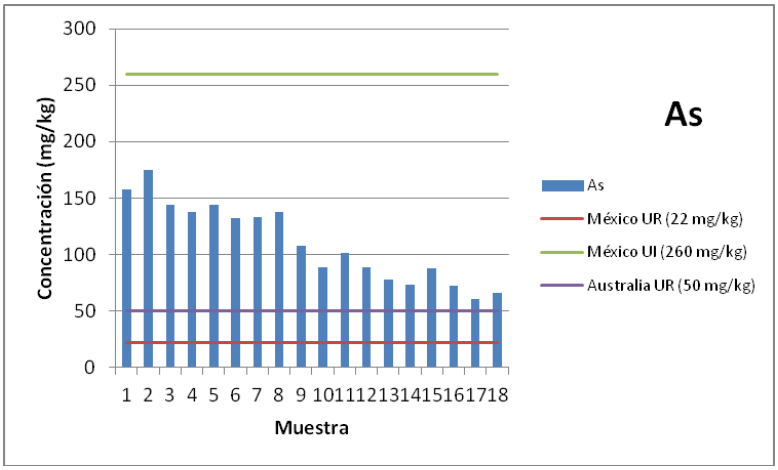
Gráfica 8: Concentración de Aluminio

La siguiente consideración hecha por Gálan en 2008 da una idea de la relación que tiene el Aluminio con estos Metales y su presencia en el suelo, es decir en polvo urbano como en el caso de este estudio. “Otra posibilidad para comparar la abundancia relativa de los elementos; trazada en suelos, es normalizarla con un elemento universalmente encontrado y considerado como estable en la mayor parte de los ambientes geoquímicas. Tal es el caso del Aluminio que en comparación; ha mostrado que algunos elementos como Cd, Pb y As aparecen normalmente concentrados en el suelo”.

8.2.2. Arsénico (As)

Como puede verse las concentraciones de arsénico presentan altos niveles (60 a 175 mg/kg) en todas las muestras, aun el valor más bajo (uno de los más lejanos a los jales) rebasa casi por tres veces los limites propuestos por la NOM-147 (22 mg/kg) para uso residencial (UR), no obstante los valores máximos obtenidos se encuentran muy por debajo de los limites para uso de suelo industrial (UI), todavía

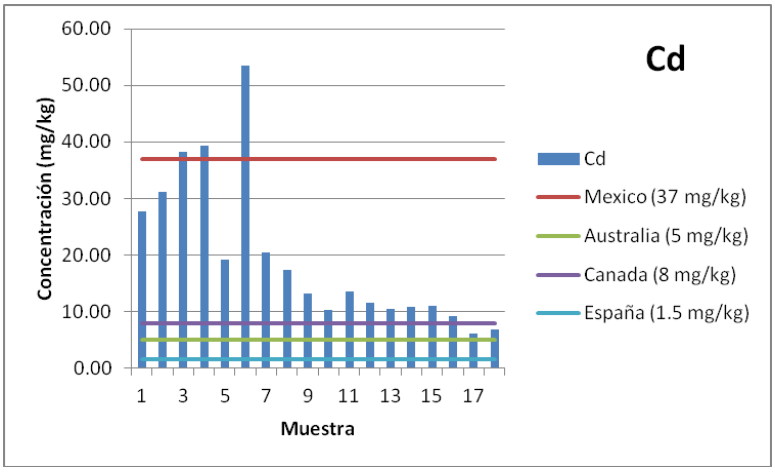
para la legislación Australiana que tiene valores más altos (50 mg/kg) para uso residencial, los valores se ven superados mostrando contaminación por arsénico en el polvo urbano de Santa Bárbara como puede verse en la Gráfica 10.



Gráfica 9: Arsénico (As) vs. Valores recomendados (NOM-147, EPHC)

8.2.3. Cadmio (Cd)

En el caso del cadmio, los resultados indican que si sólo se consideran los límites propuestos en nuestro país (37 mg/kg); podríamos considerar que la contaminación por cadmio es muy baja, ya que sólo tres de las muestras presentan concentraciones que rebasan este valor (Gráfica 12). Por otro lado si se hace la comparación contra los valores regulados en Australia (5 mg/kg), el 90% están por arriba; Canadá (8 mg/kg) y España (1.5 mg/kg) el 100% de los valores rebasan las concentraciones aconsejables para uso de suelo tipo residencial, lo cual indica que hay un riesgo de exposición para a población.

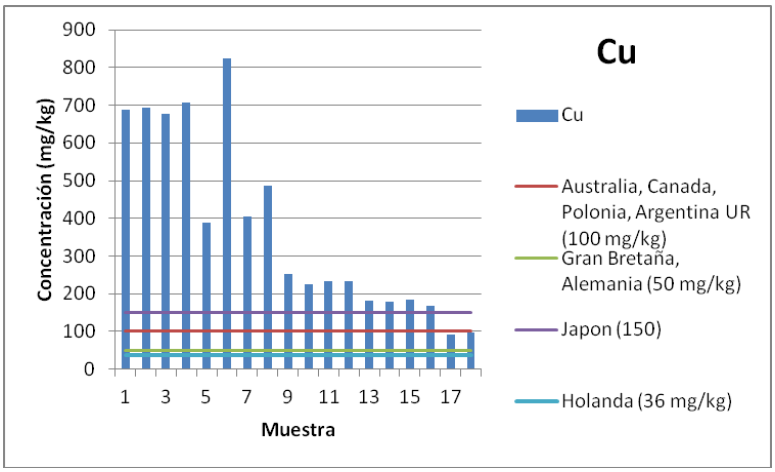


Gráfica 10: Cadmio (Cd) vs. Valores recomendados (NOM-147, EPHC)

8.2.4. Cobre (Cu)

Los resultados indican que el 90% de las muestras presentan concentraciones de cobre por arriba de las regulación Japonesa, sólo las muestras de los puntos más

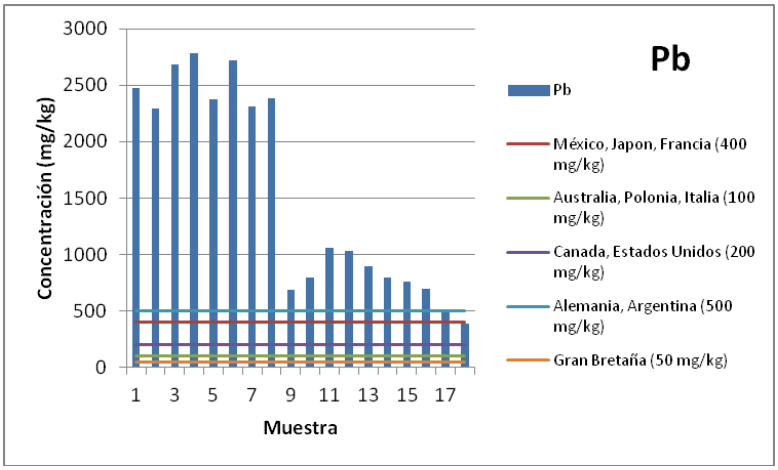
alejados tiene concentraciones menores a 150 mg/kg a que hace referencia estos países. De la misma manera sucede con las regulaciones de Australia, Canadá, Polonia y Argentina (100 mg/kg). Gran Bretaña y Alemania tienen concentraciones más bajas para considerar a un suelo contaminado con cobre como no apto para uso residencial, este valor es de 50 mg/kg para el cual todas las muestras presentan valores superiores (Gráfico 14).



Gráfica 11: Cobre (Cu) vs. Valores recomendados (EPHC)

8.2.5. Plomo (Pb)

La concentraciones de plomo rebasan por mucho los valores regulados en México, Japón y Francia (400 mg/kg) en el 100% de las muestras, aun en la regulación de Alemania y Argentina que tienen los valores más altos permitidos para el uso de suelo industrial (500 mg/kg), las concentraciones resultan ser hasta cinco veces más altas, por lo que se considera un suelo contaminado por Plomo. En la Gráfica 16 se puede observar la comparación entre las concentraciones obtenidas y los valores aconsejables en diferentes países.



Gráfica 12: Plomo (Pb) vs. Valores recomendados (NOM-147, EPHC)

Por otro lado, cabe señalar que aun en las concentraciones más bajas, estas se encuentran por arriba de los niveles especificados a los que se hace referencia en la mexicana NOM-147, y por la EPHC australiana entre otras. Indicando una alta exposición de la población.

Un estudio realizado en las presas de jales cercanas al municipio de Santa Bárbara, (Gutiérrez Ruiz & Romero, 2007) reporta que la concentración de metales y metaloides varia en los siguientes rangos: As (410–3,281 mg/kg), Cd (10–239 mg/kg), Cu (472–2,415 mg/kg) y Pb (972–16,881 mg/kg) dentro de la presa de jales. También estudio las concentraciones en el suelo y sedimentos en los alrededores de las presas de jales y obtuvo las concentraciones medias de: 342 mg/kg de arsénico, 28 mg/kg de cadmio, 190 mg/kg de cobre y 947 mg/kg de plomo (Tabla 25).

Rango de Concentraciones	Arsénico	Cadmio	Cobre	Plomo	Referencia
		mg/kg			
Sta. Bárbara (niveles de fondo)	7-656	-	15-729	20-7323	Carta Geoquímica G13-A57 (As, Cu y Pb)
Santa Bárbara (zona habitacional)	60-175	6.14-53.58	91-825	389-2787	Presente estudio
Santa Bárbara (suelo dentro de la presa de jales)	410-3281	10-239	472-2415	972-16881	Gutiérrez Ruiz & Romero, 2007
Santa Bárbara (suelo y sedimentos alrededor de la presa de jales)	39-499	ND-42	33-430	55-1849	Gutiérrez Ruiz & Romero, 2007

Tabla 25: Rango de Concentraciones de fondo, zona habitacional, sedimentos alrededor y dentro de la presa de jales (As, Cd, Cu, Pb)

Al comparar las concentraciones de referencia por la NOM-147, donde se recomienda una concentración de 22 mg/kg de Arsénico para uso residencial y 260 mg/kg para uso industrial como máximo, contra los valores de fondo; según la Carta Geoquímica G13-A57, las concentraciones naturales en la zona de Santa Bárbara (7 a 656 mg/kg); se encuentran en un rango de valores por arriba de los recomendados en la normatividad.

Lo mismo sucede con el Plomo cuyos de niveles de fondo (20-7323 mg/kg) se encuentran por arriba de las concentraciones de referencia de la NOM-147 (400 mg/kg para uso residencial y 800 mg/kg para uso industrial), aunque puede observarse que el rango de valores es muy amplio por lo que las concentraciones pueden ser muy variantes en escasos metros.

Los niveles de fondo Cobre (15-729 mg/kg) pueden compararse con los de la regulación australiana (EPHC) que considera 100 mg/kg de plomo como máximo para zonas habitacionales, valores que se observan superados por las concentraciones naturales según los valores de la carta geoquímica de la G13-A57.

En lo que respecta al Cadmio no se cuenta con la información geoquímica de la zona de Santa Bárbara como en el caso del arsénico y el plomo. Sin embargo, como ya se comento, en el punto 8.2.3 los resultados obtenidos superan los recomendados por la NOM-147.

Lo más probable es que estos valores tan altos que se manejan como niveles de fondo, dado el desarrollo histórico del lugar a través de los 445 años de fundación como sitio minero, no pueden ser considerados valores naturales de fondo, sino mas bien atribuidos a la presencia de los residuos mineros producto de la principal actividad en la zona de Santa Bárbara.

Por otra parte, cabe resaltar que los resultados obtenidos por (Gutierrez Ruiz & Romero, 2007) dentro de las presas de jales son muy altas; 410-3281 mg/kg de Arsenico, el valor minimo es del orden de tres veces mas, que los encontrados en este trabajo dentro de la zona habitacional (60-175 mg/kg). Las cocentraciones de Cadmio resultaron para Gutierrez y Romero (10-239 mg/kg) ser hasta cuatro veces más; que las de los valores presentados en este trabajo (6.14-53.58 mg/kg). De la misma forma sucede con el Cobre, el Plomo; donde las concentraciones obtenidas en el área habitacional de Santa Bárbara (91-825 mg/kg de Cobre y 389-2787 mg/kg de Plomo), se observan ampliamante superadas por las concentraciones que Gutierres y Romero en 2007 obtuvieron dentro de la fuente generadora; que son las presas de jales (472-2415 mg/kg de Cobre y 972-16881 mg/kg de Plomo).

En lo que respecta a las concentraciones resultantes en el trabajo de Gutierres y Romero en el suelo y sedimentos alrededor de la presa de jales, los valores se encuentran muy cercanos a los resultados obtenidos en este trabajo, en el polvo de la zona habitacional de Santa Bárbara como se puede observar en la Tabla 25.

8.2.6. Comparación con otras ciudades

Resultados obtenidos en trabajos similares en distintas ciudades del mundo se han resumido en la Tabla 26.

Ciudad	Al	As	Cd	Cu	Pb	Referencia
			mg/kg			
Santa Bárbara	**11942**	**110**	**19.43**	**373**	**1535**	**Presente Estudio**
Avilés, España			22.3	183	514	(Ordonez & Loredo, 2003)
Baharian			72		697.2	(Akhter & Madany, 1993)
Birmingham, Reino Unido			1.6	467	48	(Charlesworth & Everett, 2003)
Coventry			0.9	226.4	47.1	(Charlsworth & Everett, 2003)
Nueva Delhi, India			18.9	512	598	(Banerjee, 2003)
Delta Región, Egipto	30260	6.53	2.98	102	308	(Khairy & Barakat, 2010)
Kuala Lumpur			2.96	35.5	2466	(Ramlan & Bradi, 1989)
Londres			3.50	155	1030	(Schwar, 1988)
Luanda, Angola	4839	5	1.15	42	351	(Ferreira-Baptista & DeMiguel, 2005)
Madrid, España				188	1927	(De Miguel E. e., 1997)
Manchester				92	354	(Robertson & Taylor, 2003)
Oslo, Noruega			1.4	123	180	(De Miguel & Llamas, 1997)
Ottawa, Canadá	24481		4.42		233	(P.E. Rasmussen &

					Subramanian, 2001)
Taejon			57	52	(Kim & Myung, 1998)
Tlaquitenango, Morelos	139			2298	(Martínez Becerril, 2009)
Torreón, Coahuila	113	112		2448	(Valdés Perezgasga, 1999)

Tabla 26: Concentración de metales en otras ciudades del mundo

El suelo de Santa Bárbara, presenta concentraciones elevadas de aluminio (11942 mg/kg). Sin embargo no existe un valor de referencia para los diferentes usos en la normatividad Mexicana, y la de otros países, por lo que resulta difícil su análisis. Un estudio realizado en Ottawa, Canadá (P.E. Rasmussen & Subramanian, 2001), indica que existe contaminación por aluminio en dicha área; debido a la actividad industrial, reportando concentraciones del orden de 24481 mg/kg; en Delta Región, Egipto (Khairy & Barakat, 2010), también se reportan concentraciones más altas (30260 mg/kg) que las encontradas en este trabajo (Tabla 26), en ambas se atribuyen las altas concentraciones a las actividades antropogénicas como la industria, construcción y a la emisiones de los vehículos, por otra parte en Luanda, Angola (Ferreira-Baptista & DeMiguel, 2005) obtuvieron entre sus resultados una concentración media de 4839 mg/kg, la mitad de la concentración media en este trabajo. En el poblado de Santa Bárbara, no existe ninguna industria en la cual el aluminio sea un constituyente residual, como en el caso de los otros elementos. Por lo que se considera un componente natural que puede ser considerado como una concentración de fondo en el área. Lo cual explica también que en los resultados obtenidos no se haya encontrado alguna tendencia respecto a la distancia de las presas de jales.

El valor medio del arsénico (110 mg/ kg) presente en las muestras; es mayor que al reportado en otros sitios, considerados como contaminados Tabla 26. Siendo ligeramente menor, al valor reportado para el sitio minero de Tlaquitenango, Morelos (139 mg/kg), también considerado como sitio contaminado (Martínez Becerril, 2009).

En cuanto al cadmio presente en el polvo de Santa Bárbara, los resultados indican que la concentración media (19.43 mg/kg) se encuentra por arriba de las concentraciones encontradas en otros sitios reportados como contaminados por diferentes fuentes, siendo sólo comparable con los niveles encontrados en Nueva Delhi, India con concentraciones de 18.9 mg/kg (Banerjee, 2003) atribuible al crecimiento de parque vehicular (seis millones para 2011), así como la ciudad de Avilés, España con concentraciones de 22.3 mg/kg relacionada con la industria metalúrgica (Ordonez & Loredo, 2003)

Las concentraciones de cobre en Sta. Bárbara, también se encuentran en niveles elevados (373 mg/kg), concentraciones de dos a tres veces más altas que los resultados en otras partes del mundo, con concentraciones sólo por debajo de Delhi, India (512 mg/kg), ésta ciudad es considerada una de las más contaminada en el mundo, lo cual pone a Santa Bárbara en una situación equiparable de riesgo hacia los habitantes con concentraciones tan altas en cuanto al cobre.

El plomo no es la excepción, ya que se presenta en concentraciones (1535 mg/kg) tan altas, como las registradas en ciudades como Kuala Lumpur que presentó en

sus resultados concentraciones de 2466 mg/kg (Ramlan & Bradi, 1989), Tlaquitenango (Morelos) con concentraciones que fueron de 2298 mg/kg (Martínez Becerril, 2009) y la ciudad de Madrid en España con concentraciones más bajas que los lugares anteriores de 1927 mg/kg (De Miguel E., 1997), pero aun muy altas en cuanto a las concentraciones de referencia de la NOM-147.

En el presente trabajo, por el tipo de residuo (minero), el volumen de estos (estimados en la Tabla 16) y las concentraciones tan altas en que se presentaron los resultados del polvo en la zona habitacional de Santa Bárbara, podemos decir los jales son los principales contribuyentes de metales y metaloides en el suelo de Santa Bárbara.

8.2.7. Análisis Estadístico

Se realizó un análisis estadístico, con la herramienta Minitab para determinar la relación entre las variables distancia y la concentración de los elementos analizados.

Arsénico vs. Distancia

En el modelo de regresión para el As, se muestra como variable predictor a la distancia, que fue altamente significativa (P<0.000), teniendo la certeza de que existe un 100% de confianza de que hay relación entre el Arsénico y la distancia a la presa de jales; la tendencia negativa indica que a medida que se alejan los puntos de muestreo de la fuente de contaminación, esta disminuye. De la misma forma se obtuvo un coeficiente de correlación (R=-0.93), lo cual indica una correlación muy fuerte entre los datos (Gráfico 18).

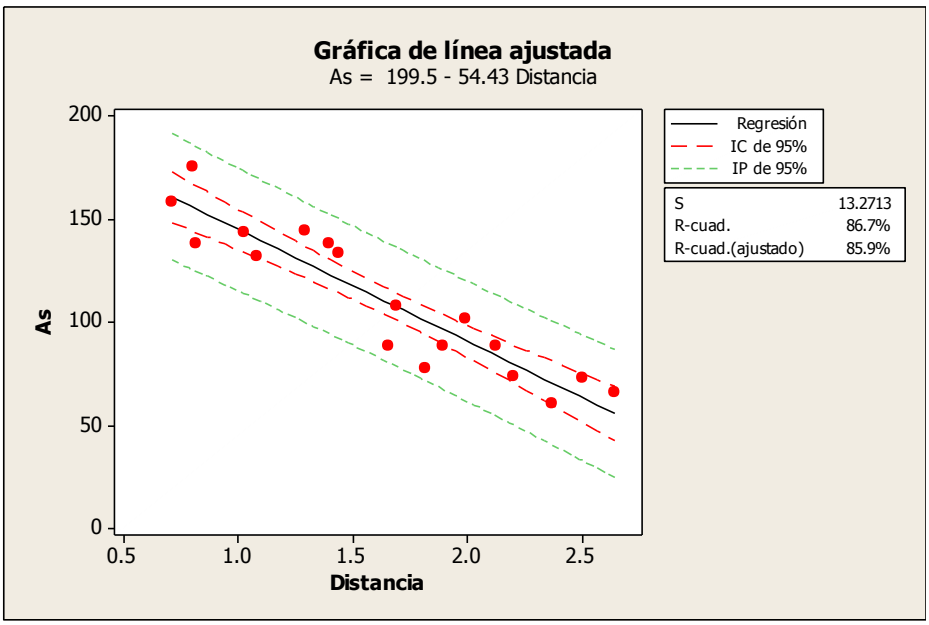


Gráfico 13: Arsénico vs. Distancia

Cadmio vs. Distancia

El análisis de regresión para Cadmio, muestra un nivel altamente significativo (P<0.000) con respecto a la distancia, también con una tendencia negativa, disminuyendo la concentración a medida que se aleja de la presa de jales. Por otro lado el coeficiente de correlación también es alto (R=-0.81) indicando una correlación entre los datos bastante buena.

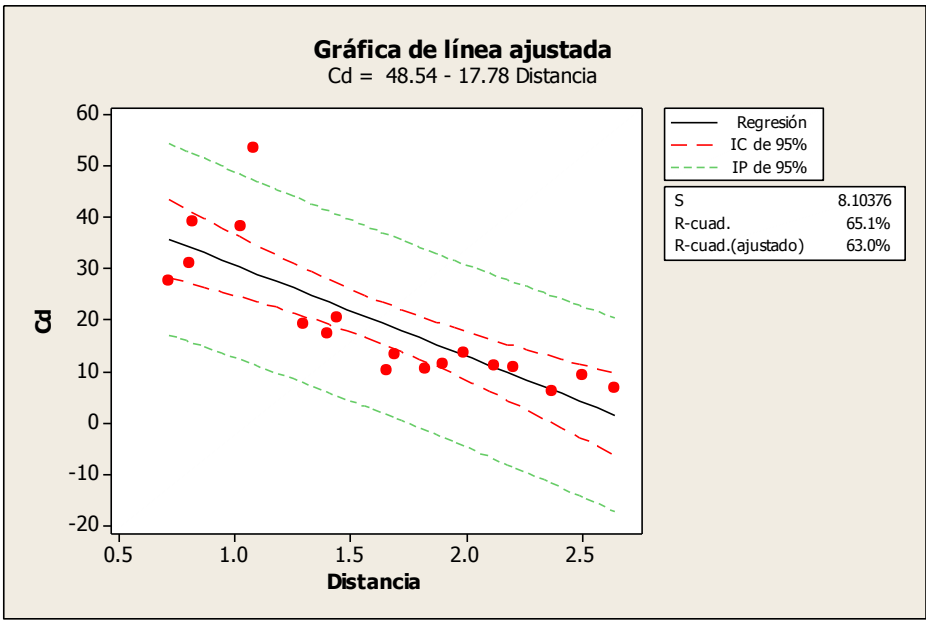


Gráfico 14: Cadmio vs. Distancia

Cobre vs. Distancia

El modelo de regresión muestra para el Cobre un nivel altamente significativo (P<0.000) para la variable distancia comportándose de una forma similar al As y al Cd, ya que a medida que se aleja de la fuente de contaminación disminuye la concentración, el valor de correlación (R=-0.92) indica una fuerte relación entre los datos, explicando el 92% del comportamiento de las concentraciones respecto a la distancia.

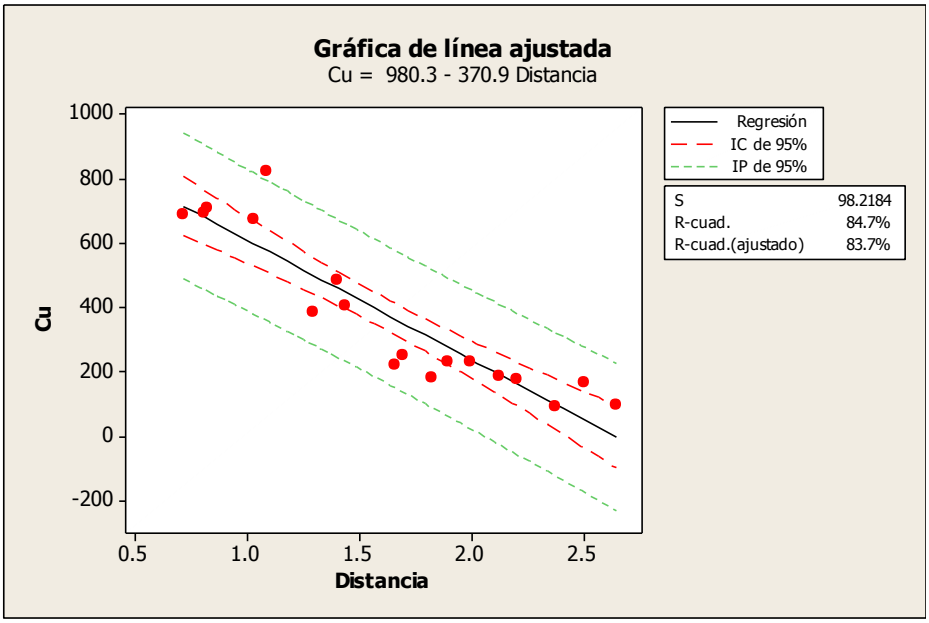


Gráfico 15: Cobre vs. Distancia

Plomo vs. Distancia

De la misma forma que para el Arsénico, Cadmio y Cobre, el Plomo mostro un comportamiento similar, con un nivel altamente significativo (P<0.000) con un 100% de confianza de que hay relación entre el Plomo y la Distancia, también se observa una pendiente negativa ya que a medida que se aleja de la fuente de contaminación disminuye la concentración, con un coeficiente de correlación (R=-0.90).

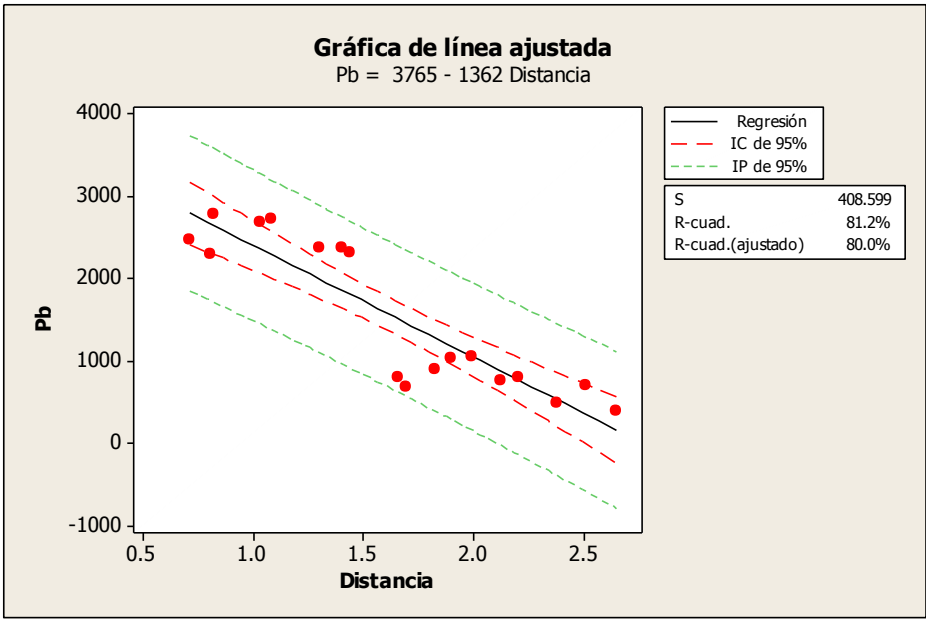


Gráfico 16: Plomo vs. Distancia

Aluminio vs. Distancia

Aunque el Aluminio también muestra un nivel significativo aceptable (P<0.026) todavía para un intervalo de confianza del 0.95. El aluminio a excepción de los otros cuatro elementos tiene una tendencia positiva lo cual podría indicar que este aumenta junto con la distancia, sin embargo la variabilidad de las concentraciones y el nivel tan bajo de correlación (R=0.47), se puede decir que el aluminio es un elemento que forma parte de la composición química del suelo de Santa Bárbara de forma natural y no necesariamente se haya incorporado por los residuos mineros.

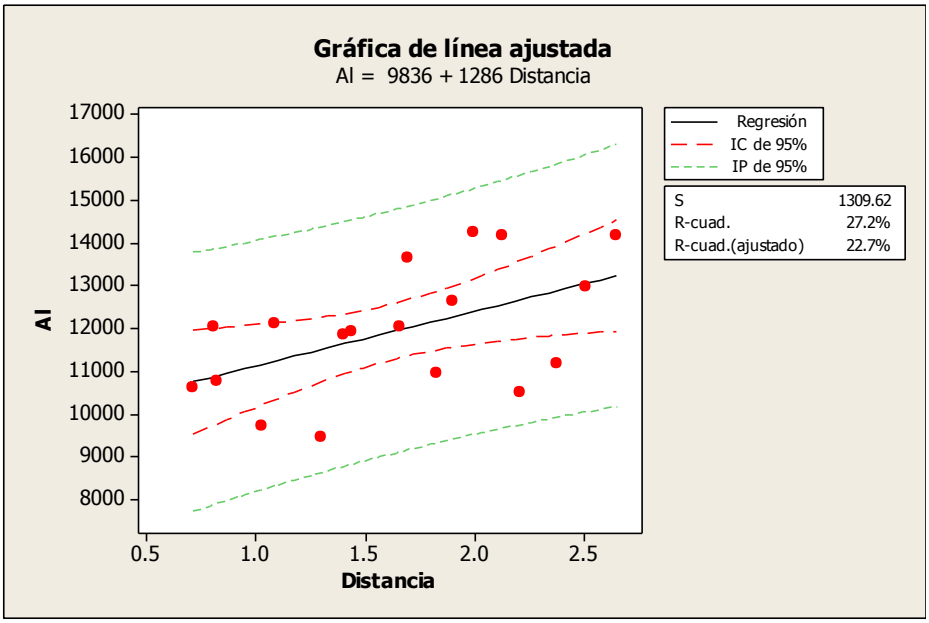


Gráfico 17: Arsénico vs. Distancia

Correlaciones: Distancia, Al, As, Cd, Cu y Pb

Un análisis de correlación entre las variables Distancia, Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cobre y Plomo, muestran la relación que existe entre estas.

En primera instancia, la correlación de Pearson entre la distancia y los elementos, el aluminio es el único elemento que muestra un comportamiento diferente, donde la correlación de Pearson es de 0.52, a diferencia la observada en los otros elementos que es mayor a 0.80 indicando una fuerte relación entre estos y la distancia.

La relación que existe entre el Aluminio y los demás elementos (As, Cd, Cu y Pb) no es buena, los valores negativos indican que el aluminio aumenta en sentido contrario de los demás elementos, o sea; cuando estos disminuyen su concentración, y el nivel de significancia tampoco es bueno (valores mayores de 0.05 indican una falta de confianza entre los datos obtenidos).

Los metales As, Cd, Cu y Pb se muestran con una correlación de Pearson muy fuerte como se observa en la tabla, así como niveles de confianza altamente significativos (P<0.000), indicando que el comportamiento de estas es el mismo y que la presencia de estos elementos en el polvo de Santa Bárbara se encuentra relacionado, que a medida que uno disminuye, el otro también de acuerdo a sus niveles.

Correlaciones: Distancia, Al, As, Cd, Cu, Pb

	Distancia	Al	As	Cd	Cu
Al	0.522 0.026				
As	-0.931 0.000	-0.395 0.105			
Cd	-0.807 0.000	-0.370 0.131	0.737 0.000		
Cu	-0.920 0.000	-0.424 0.080	0.883 0.000	0.950 0.000	
Pb	-0.901 0.000	-0.551 0.018	0.906 0.000	0.857 0.000	0.931 0.000

Contenido de la celda: Correlación de Pearson
Valor P

9. Conclusiones

9.1. Agua

La calidad del agua potable en el municipio de Santa Bárbara, Chih. satisface con los criterios de calidad que marca la NOM-127 para agua de consumo humano, así como la NOM-041 para agua envasada en México. De la misma manera cumple con los valores recomendados por la OMS y La Asociación Internacional de Agua Embotellada (IBWA).

La dispersión de metales por medio hídrico no representa riesgo de exposición por ingesta.

9.2. Polvo

El polvo en la zona urbana del municipio de Santa Bárbara, Chih. muestra concentraciones elevadas de metales potencialmente tóxicos (Al, As, Cd, Cu y Pb) rebasando los valores recomendados en la NOM-147 y los limites propuestos en otros países. Las altas concentraciones no se consideran aptas para el uso de suelo tipo residencial ya que pueden ser un riesgo para la salud de la personas que están expuestas por contacto, inhalación o ingestión.

Existe dispersión de metales desde los jales hacia la población por medio eólico principalmente. Los resultados obtenidos muestran que las concentraciones más altas se encuentran a menor distancia de la presa de jales, siendo los de menor concentración las más lejanas a estos.

La tendencia que muestran los resultados, en cuanto a la disminución de las concentraciones, cuando aumenta la distancia; se refuerza mediante el análisis estadístico, donde se observo que no hay una diferencia significativa entre las muestras.

10. Recomendaciones

Se recomienda un estudio posterior, como un análisis completo de riesgo ambiental y de salud en la población (que incluya estudios toxicológicos y análisis fisicoquímicos más profundos).

Identificar que otras fuentes pudieran contribuir a las altas concentraciones de los elementos presentados en este trabajo.

Realizar un monitoreo, para conocer el comportamiento de estos metales en el futuro y crear de esta manera una base de datos; que permita la implementación de acciones correctivas, para el mejoramiento del medio ambiente urbano del municipio y con ello se minimice la exposición de la población.

Bibliografía

Aboites, L. (s.f.). *Biblioteca Digital: Libros del Estado de Chihuahua*. Recuperado el 11 de Marzo de 2012, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/estados/libros/chihua/html/sec_7.html

Adriano, D. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments, 2da ed. Springer-Verlag, Nueva York, Berlin, Heidelberg.

Akhter, M., & Madany, I. (1993). Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water, Air and Soil poUution 66* .

ATSDR. (19 de Agosto de 2012). *ATSDR - Resumen de Salud Pública: Cobre (Copper)*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/es_contents3.html

ATSDR. (19 de Agosto de 2012). *ATSDR - ToxFAQsTM: Aluminio (Aluminum):.* Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts22.html

ATSDR. (20 de Agosto de 2012). *ATSDR - ToxFAQsTM: Arsénico (Arsenic)*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de http://emergency.cdc.gov/agent/arsenic/espanol/

ATSDR. (18 de Agosto de 2012). *ATSDR - ToxFAQsTM: Cadmio (Cadmium):.* Recuperado el 18 de Agosto de 2012, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html

ATSDR. (18 de Agosto de 2012). *ATSDR - ToxFAQsTM: Plomo (Lead):.* Recuperado el 18 de Agosto de 2012, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html

ATSDR. (1992). Healt Assessment Guidance manual. USA.

Banerjee, A. (2003). Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Dehli, India. *Environ. Pollut. 123* .

Bernstein, M. (1964). The Mexican mining industry, 1890-1950: Albany, New York, State University of New York Press. 412.

CEDEMUN. (31 de Marzo de 2009). *Enciclopedia de los Municipios de México: Estado de Chihuahua*. Recuperado el 15 de Febrero de 2012, de http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CDIQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.e-local.gob.mx%2Fwork%2Ftemplates%2Fenciclo%2Fchihuahua%2FMpios%2F08060a.htm&ei=0gg9UIPwGcr02QW9vIHYDQ&usg=AFQjCNEtRdWKOw7vSgLhuwJfjwwd1BR5rQ

CEPIS/OPS. (10 de Julio de 2005). *CEPIS/OPS, Curso de autoinstrucción "Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en sitios Contaminados"*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2011, de http://www.bvsde.ops-oms.org/tutorial3/e/introducc.html

Charlesworth, S., & Everett, M. (2003). A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environ. Int. 29* .

Charlsworth, C., & Everett, M. (2003). A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban área: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environmental International 29* .

Chihuahua - Santa Bárbara.:. (1 de Abril de 2011). Recuperado el 24 de Noviembre de 2011, de http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM08chihuahua/municipios/08060a.html

Clark, K. (1998). Gold deposits of Northern Sonora, Mexico: Society of Economic Geologists Guidebook Series. 252.

De Miguel, E. e. (1997). Origin and pattems of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment vol. 31* .

De Miguel, E., & Llamas, J. (1997). Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmos. Environ. 31* .

Díaz Barriga, F. (1999). Metodología de Identificacion y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados. Lima, Perú.

Economía española y trabajo indígena:. (28 de Junio de 2011). Recuperado el 10 de Febrero de 2012, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/estados/libros/chihua/html/sec_7.html

EPA-US. (2006). Residential lead hazard standards-TSCA section 403: office of pollution prevention and toxics. *United States Environmental Protection Agency* .

Ferreira-Baptista, L., & DeMiguel, E. (2005). Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmos. Environ. 39* .

Gutierrez Ruiz, M., & Romero, F. (2007). Suelos y sedimentos afectados por la dispercion de jales inactivos de sulfuros metalicos en la zona minera de Santa Bárbara, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 24, núm. 2* , 170-184.

INEGI. (2 de Diciembre de 2011). *INEGI - México en cifras:*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2011, de http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=8

INSHT. (11 de Mayo de 2011). *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.* Recuperado el 3 de Abril de 2012, de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/901a1000/nspn0988.pdf.

Jose I. Alvarado Castañeda, E. R. (20 de Enero de 2012). *SEDESOL, Gobierno Federal*. Recuperado el 25 de Febrero de 2012, de http://cat.microrregiones.gob.mx/catloc/Default.aspx?order=CAST(pobtot2010%20as%20bigint)%20desc&campo=loc&tipo=clave&valor=08060

Kenneth, C., & David, F. (2007). Evolución de los depósitos metálicos en el tiempo y el espacio en México.

Khairy, M. A., & Barakat, A. O. (2010). Multielement determination by flame atomic absorption of road dust samples in Delta Region, Egypt. *ELSEVIER Microchemical Journal* .

Kim, J.-Y., & Myung, J.-H. (1998). Heavy metal speciation industry and stream sediment in Taejon área, Korea. *Joumal of Geochemistry Exploration 64* .

Leentech. (28 de Febrero de 2012). *Cadmio (Cd) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente:*. Recuperado el 28 de Febrero de 2012, de http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm

Lenntech. (29 de Febrero de 2012). *Aluminio (Al) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente:*. Recuperado el 29 de Febrero de 2012, de http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm

Lenntech. (30 de Febrero de 2012). *Arsenico (As) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente:*. Recuperado el 30 de Febrero de 2012, de http://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm

Lenntech. (28 de Febrero de 2012). *Cobre (Cu) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente:*. Recuperado el 28 de Febrero de 2012, de http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm

Lenntech. (28 de Febrero de 2012). *Plomo (Pb) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente:*. Recuperado el 28 de Febrero de 2012, de http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm

López, M. (1996). Evaluación de riesgos a la salud, derivados de la exposición a plaguicidas, en la población del Municipio Rivas Dávila, Estado Mérida, Venezuela.

Martínez Becerril, C. (2009). Efecto de los metales pesados en jales mineros sobre la comunidad vegetal de la microcuenca Huautla y el daño genotoxico en su herbívoro dominante Peromyscus levipes (Rodentia: Muridae).

NMX-AA-132-SCFI-2006. (2006). *"Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra".* México, D.F.: Diario Oficial de la Federación.

NOM-014-SSA1-1993. (1993). *Norma Oficial Mexicana "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua publicos y privados".* México, D.F.: Diario Oficial de la Federación.

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. (2004). *Norma Oficial Mexicana "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 vanadio".* México D.F.: Diario Oficial de la Federación.

Nriagu, J. (1990). Global metal pollution. *Environment. 32* , 7-33.

Ordonez, A., & Loredo, J. (2003). Distribution of heavy metals in street dust and soils of an industrial city in northern Spain, Arch. *Environ. Contam. Toxicol. 44* .

Ordóñez-Cortés, J. (1986). Cronología de las minas mexicanas. *Minas Mexicanas: American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Sección México y Society of Economic Geologists* , 11-34.

Organización Mundial de la Salud. (12 de Enero de 2012). Air Quality Guidelines for Europe. Copenhagen, Union Europea. Recuperado el 2012 de Marzo de 28

Oyarzun, R. (3 de Octubre de 2007). *Historia de la Minería:*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2011, de http://www.ucm.es/info/crismine/Geologia_Minas/Geologia_Minas_portada.htm

P.E. Rasmussen, P., & Subramanian, S. (2001). A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *Sci. Total Environ. 267* .

Piggott, K. (2000). Air Separation-Success in Mexico: Mining Magazine. 32-35.

Ramlan, M., & Bradi, M. (1989). Heavy metáis in tropical city street dust and soils: case ofKuala Lumpur, Malaysia. *Environmental Technology Letters 10* .

Rasmussen, P., & Subramanian, K. (2000). A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *ELSEVIER The Science of the Total Environment* .

Robertson, D., & Taylor, K. (2003). Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK. *Applied Geochemistry 18* .

Schwar, M. e. (1988). Baseline metal-in-dust concentrations in Greater London. The Science of . *The Science of the Total Environment 68* .

SEMARNAT. (8 de Febrero de 2011). *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* Recuperado el 6 de Diciembre de 2011, de http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGIRA/Guia/MiaRegionalRiesgo/EstudioRiesgo/GUIA%20DE%20ERA%20MODALIDAD%20ANALISIS%20DE%20RIESGO%20FINAL.pdf

Servicio Geológico Mexicano. (2011). Panorama Minero del Estado de Chihuahua.

Torres, I. (2002). The Mineral Industry of Mexico: U.S. Geological Survey, Minerals Yearbook. 12.1-12.5.

Torres, I. (2006). The Mineral Industry of Mexico: U.S. Geological Survey, Minerals Yearbook. 13.1-13.9.

Valiente, M., & Torrado, A. (2003). Development of Improved Detection Systems for Monitoring of Toxic Metals in Contaminated Groundwaters and Soils. *DIMDESMOTOM, Final Report 1999-2003* .

Wikipedia. (19 de Febrero de 2012). *Santa Bárbara (Chihuahua) - Wikipedia, la enciclopedia libre:*. Recuperado el 24 de Febrero de 2012, de http://es.wikipedia.org/wiki/Santa_B%C3%A1rbara_(Chihuahua)