



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**ESTIMACIÓN DEL RIESGO EN SALUD POR EXPOSICIÓN A MANGANESO
EN LA HUASTECA SUR DE SAN LUIS POTOSÍ**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

L.A.Q.B. MARIBEL MEDINA FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ DE JESÚS MEJÍA SAAVEDRA

COMITÉ TUTELAR:

DR. ROBERTO BRIONES GALLARDO

DRA. MA. CATALINA ALFARO DE LA TORRE



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**ESTIMACIÓN DEL RIESGO EN SALUD POR EXPOSICIÓN A MANGANESO
EN LA HUASTECA SUR DE SAN LUIS POTOSÍ**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

L.A.Q.B. MARIBEL MEDINA FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ DE JESÚS MEJÍA FERNÁNDEZ

SINODALES:

PRESIDENTE:

DR. JOSÉ DE JESÚS MEJÍA SAAVEDRA

SECRETARIO:

DR. ROBERTO BRIONES GALLARDO

VOCAL:

DR. FERNANDO DÍAZ-BARRIGA MARTÍNEZ

SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.

SEPTIEMBRE DE 2008

PROYECTO REALIZADO EN EL:

**DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA AMBIENTAL, FACULTAD DE MEDICINA E
INSTITUTO DE METALURGIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

CON FINANCIAMIENTO DE:

CONACYT FONDOS MIXTOS-SAN LUIS POTOSÍ

FMSLP-2005-C01-29

**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)
BECA-TESIS CONVENIO NO. No. 201372**

**LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES ESTA INLUIDO EN EL PADRON
NACIONAL DE POSGRADOS DEL CONACYT.**

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

A Fidel

A mis padres y hermanos

*A quienes guiaron, apoyaron y creyeron en mí , para la realización
del proyecto.*

A quienes hicieron de mi estancia en esta ciudad un breve momento.

INDICE GENERAL

	Pág.
1.INTRODUCCION	1
1.1 Manganeso	1
1.1.1 Generalidades	1
1.1.2 Comportamiento ambiental	1
1.1.2.1 Manganeso en suelo	1
1.1.2.2 Manganeso en agua	3
1.1.2.3 Manganeso en aire	7
1.1.3 Manganeso en el organismo	8
1.1.3.1 Toxicocinética	9
1.1.3.2 Toxicodinamia	12
1.1.3.3 Exposición no ocupacional	13
1.1.3.4 Biomarcador de exposición y/o efecto	14
1.2 Antecedentes del sitio de estudio	15
1.2.1 Actividad minera	15
1.2.2 Localización del área	16
1.3 Estimación del riesgo en salud	18
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. HIPOTESIS	21
4. OBJETIVOS	21
4.1 Objetivo general	21
4.2 Objetivos específicos	21
5. METODOLOGÍA DE ESTIMACION DEL RIESGO EN SALUD	22
5.1 Características del área de estudio	22
5.2 Caracterización de la contaminación	22
5.2.1 Muestreo	23
5.2.2 Preparación de muestras	25
5.2.3 Cuantificación de manganeso	25

	Pág.
5.3 Cuantificación de manganeso en orina	27
5.4 Estimación de la bioaccesibilidad	28
5.4.1 Método PBET	29
5.4.2 Método SBRC	29
5.5 Estimar el riesgo	30
5.5.1. Método determinístico	31
5.6 Determinación del tamaño de partícula	33
6. RESULTADOS	34
6.1 Características del área de estudio	34
6.2 Caracterización de la contaminación	40
6.2.1 Muestreo	40
6.2.2 Cuantificación de manganeso	41
6.3 Cuantificación de manganeso en orina	49
6.4 Estimación de la bioaccesibilidad	51
6.5 Estimación del riesgo	54
6.5.1 Método determinístico	54
6.6 Determinación del tamaño de partícula	55
7. DISCUSION	58
8. CONCLUSIONES	64
9. RECOMENDACIONES	65
10. REFERENCIAS	66
11. ANEXO	71

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Niveles basales de manganeso en matriz ambiental	1
Tabla 2. Concentración en aire durante el periodo 1953-1982, para distintas áreas de los Estados Unidos	7
Tabla 3. Valores normales reportados en diferentes tejidos y fluidos	8
Tabla 4. Condiciones de trabajo	26
Tabla 5. Datos demográficos para cada comunidad	38
Tabla 6. Relación de muestras colectadas en los diferentes muestreos	41
Tabla 7. Concentración de manganeso en agua de río en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	42
Tabla 8. Concentración de manganeso en agua de consumo en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	43
Tabla 9. Concentración de manganeso en sedimento en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	45
Tabla. 10 Concentración de manganeso en suelo en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	46
Tabla 11. Concentración de manganeso en polvo exterior de vivienda en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	48
Tabla 12. Concentración de manganeso en orina en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad	50
Tabla 13. Bioaccesibilidad de manganeso por el método SBRC	53
Tabla 14. Factor de exposición	53
Tabla 15. Dosis de exposición estimada y dosis total para cada matriz ambientan en temporada de lluvias y seca, así como cociente de riesgo	55
Tabla 16. Porcentaje de partículas con diámetro menor a 9 μm y 1 μm en polvo exterior de vivienda en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	56
Tabla 17. Tabla resumen de resultados	57

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 Diagrama de pe/pH para manganeso	3
Fig. 2 Esquema metabólico de manganeso	12
Fig. 3 Distribución de la actividad minera en el país	15
Fig. 4 Esquema hipotético de rutas de exposición	23
Fig. 5 Localización del área de estudio	35
Fig. 6 Ubicación de las comunidades respecto al Río claro	36
Fig. 7 Niveles de manganeso detectados en agua de río en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	42
Fig. 8 Niveles de manganeso detectados en agua de consumo en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	44
Fig. 9 Niveles de manganeso detectados en sedimento en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	45
Fig. 10 Niveles de manganeso detectados en suelo en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	47
Fig. 11 Niveles de manganeso detectados en polvo exterior de vivienda en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	49
Fig. 12 Niveles de manganeso detectados en orina en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	51
Fig. 13 Fracción soluble de manganeso bajo condiciones que simulan la fase gástrica por los métodos PBET y SBRC	52
Fig. 14 Porcentaje de partículas de acuerdo a su diámetro en muestra polvo exterior de vivienda en temporada de lluvias y secas para cada comunidad	57

1. INTRODUCCION

1.1 MANGANESO (Mn)

1.1.1 Generalidades

El manganeso es un metal de transición que constituye aproximadamente el 0.1% de la corteza terrestre por lo que se puede encontrar de manera natural en suelo, aire, agua y alimentos en bajas concentraciones (EPA, 2003). Las formas minerales más comunes del manganeso son dióxido de manganeso, carbonato de manganeso y silicato de manganeso (Riojas, 2004). En la Tabla 1, se presentan los niveles basales de manganeso para diferentes matrices ambientales:

Tabla 1. Niveles basales de manganeso en matriz ambiental

Matriz Ambiental	Nivel basal	
Suelo	40 – 900 mg/kg ^a	187 – 767 mg/kg ^b
Guía Ambiental		
Agua	150 µg/L ^c	400 µg/L ^d
Aire	0.00002 mg/m ³ ^a	

^a ATSDR, 2000

^b Chiprés y col., 2008

^c NOM-127-SSA1-1994

^d OMS, 2006

Por sus características químicas el manganeso es usado para la producción de la aleación manganeso-hierro a través de procesos de fundición que incrementan su dureza. También es utilizado como materia prima de fertilizantes, fungicidas, alimento de ganado y como aditivo de gasolina. En México no se tiene registro de su uso como aditivo de gasolina en su forma orgánica (MMT, Metilciclopentadienil Tricarbonil de manganeso) (EPA, 2003).

1.1.2 Comportamiento Ambiental

1.1.2.1 Manganeso en suelo

El manganeso se encuentra de manera natural en el suelo, su presencia se debe a depósitos naturales y a actividades antropogénicas. La presencia de manganeso no es indicativo de que la roca madre contenga el elemento, en algunos casos el manganeso puede ser transportado por viento y agua. La

forma química del manganeso y el tipo de suelo determinan la velocidad con que se moviliza o se retiene. Se puede encontrar como óxido de manganeso, formando parte de la estructura de los silicatos primarios, o como carbonato de manganeso. También puede adsorberse a las superficies de óxidos de hierro, en forma de complejos orgánicos, o en forma intercambiable como Mn (II) en forma iónica o como complejo orgánico soluble. La disponibilidad del manganeso depende del potencial de óxido reducción y del pH del suelo, encontrándose en mayor porción en la solución del suelo bajo condiciones reductoras y/o en suelos con valores de pH ácidos (Riojas, 2004). La reducción del manganeso en los suelos se efectúa por medio de bacterias anaerobias.

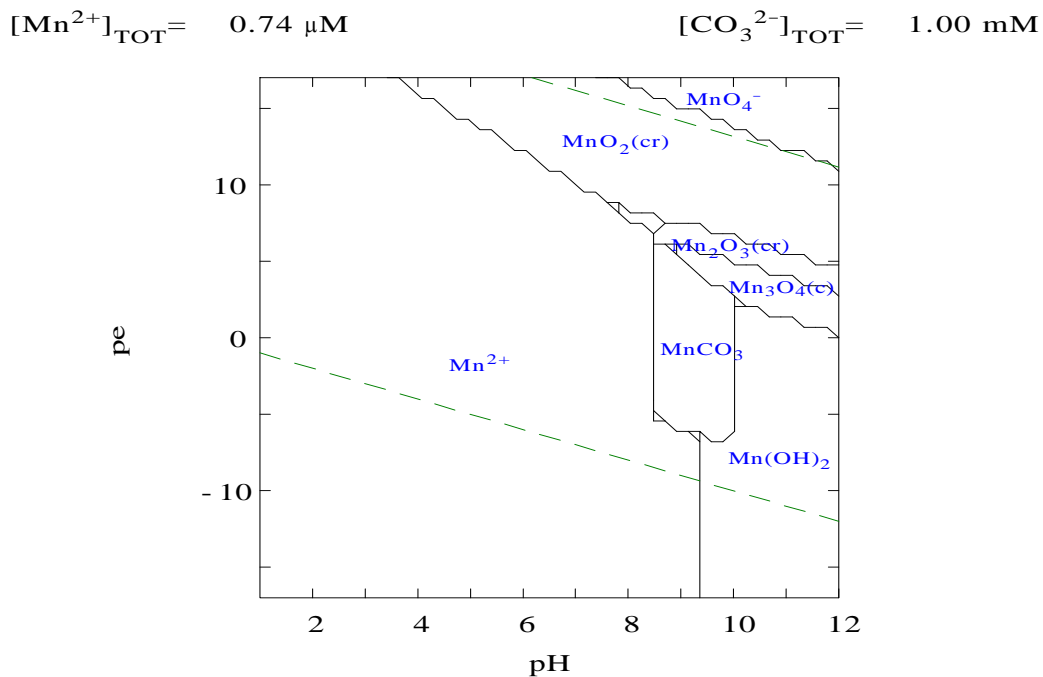
En ambientes reductores las especies de Mn (II) dominan, mientras que en ambientes oxidantes el dióxido de manganeso es el más estable. Su forma más abundante es como óxido de manganeso. El patrón de acumulación del manganeso en el suelo normalmente es el siguiente: el nivel de manganeso es más alto en la superficie del suelo donde se encuentra la materia orgánica en descomposición, alcanza un mínimo en el horizonte B siendo el área de acumulación de material arrastrado y luego aumenta en el horizonte C formando parte del material rocoso (Riojas, 2004). Se estima que del 60-90% de manganeso en suelo se asocia con la fracción arenosa (ATSDR, 2000). Mientras que la acumulación en la superficie se atribuye normalmente a la absorción por las raíces de las plantas y a la deposición de hojarasca (Riojas, 2004). En ATSDR (2000) se reporta una media aritmética de manganeso en suelo de 550 mg/kg, similar a la reportada para México de 503.0 mg/kg (Chiprés y col., 2008).

En Australia se tiene evidencia de que el suelo se encuentra elevado en manganeso (40000 a 50000 mg/kg), se ha reportado que las frutas y vegetales de la región contienen concentraciones elevadas (EPA, 2003). Hasta el momento no existen reportes que asocien la contaminación en suelo por manganeso con exposición por la ingestión de suelo. Por lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS), reporta que hasta el momento no se han identificado poblaciones con potencial de exposición a través de la ingestión de suelo (OMS, 2006). En la actualidad se considera que la ingestión

de suelo en áreas donde de manera natural o por actividad antropogénica se presenta una elevada concentración de manganeso, puede ser una importante ruta y vía de exposición.

1.1.2.2 Manganeso en agua

El agua juega un papel importante en el fenómeno de lixiviación e inundación favoreciendo arrastre de manganeso y aumentando así su movilidad. En la Fig. 1 se presenta el diagrama de pe/pH para manganeso en un ambiente acuoso, la distribución de las especies depende de un amplio número de variables que incluyen el pH y potencial redox (Eh), estas propiedades definen la naturaleza de una especie química que a su vez dependerá de las especies que están presentes en el medio. Entendiendo el Eh ($pe=16.9Eh$) como una medida del estado redox, siendo alto cuando el agua es aireada y bajo cuando el oxígeno se ha sido consumido (Van Loon y Duffy, 2002).



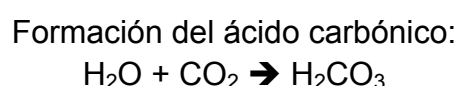
Fuente: Chemical Equilibrium Diagrams (Hydra/medusa) by I. Puigdomenech. Inorganic chemistry. Royal Institute of Technology (KTH). SE-100 44 Stockholm, Sweden.

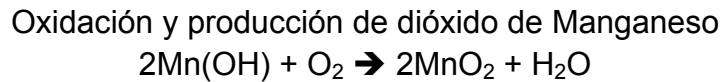
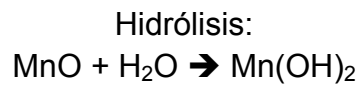
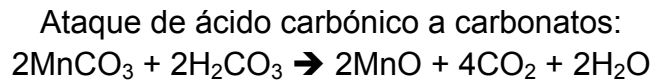
Figura 1. Diagrama de pe/pH para manganeso en solución acuosa

El Mn puede encontrarse en diferentes estados de oxidación (II, III, IV) en el agua en función de su estado de oxidación. Sin embargo, el Mn (IV) es el único estado de oxidación estable en forma cristalina o coloidal para el manganeso

en aguas. Estas formas pueden ser reducidas a especies solubles de Mn (II), en condiciones deficientes de oxígeno. Es por esto que el oxígeno del aire le confiere al agua una apariencia turbia y estéticamente inaceptables debido a la oxidación del manganeso al estado Mn (IV) que puede formar precipitados coloidales. Si la velocidad de oxidación no es rápida la forma de Mn (II) puede persistir por algún tiempo en las aguas aireadas, cuando el pH es inferior a 8 (Sawyer y col., 2000). Además el manganeso puede formar complejos estables con sustancias húmicas en el agua, que pueden ser aún más resistentes a la oxidación que las especies inorgánicas solas (Van Loon y Duffy, 2002). La velocidad de oxidación se puede incrementar por la presencia de ciertos catalizadores inorgánicos o mediante la acción de microorganismos. Las plantas absorben el manganeso como Mn (II), el pH y el potencial redox son los factores que afectan la disponibilidad del manganeso y con ello el crecimiento de las mismas. Concentraciones altas de óxidos de manganeso en los suelos contribuyen a inmovilizar a otros metales, entre los que destacan los elementos potencialmente tóxicos como cadmio y plomo, pero también los micronutrientes cobalto, zinc y cobre

Las aguas subterráneas que contienen concentraciones de manganeso por encima de su nivel basal, son aquellas que carecen de oxígeno disuelto y tienen alto contenido de dióxido de carbono. Bajo esta condición el manganeso predominante está presente como Mn (II). El alto contenido de dióxido de carbono indica que la oxidación bacteriana de la materia orgánica es extensa, la ausencia de oxígeno disuelto muestra que existen condiciones anaerobias favoreciendo la formación de carbonato de manganeso como coloide. La condición anaerobia se da cuando se descargan residuos orgánicos en el cuerpo de agua, esto origina una disminución en la calidad del agua al presentar una elevada concentración de manganeso. Cuando se mezclan aguas anóxicas profundas con aguas superficiales se tiene una precipitación de manganeso como carbonato de manganeso (Van Loon y Duffy, 2002). Desde el punto de vista químico, la formación de óxido de manganeso es la siguiente:





En ambiente acuático el manganeso puede encontrarse parcial o completamente protonado, como complejo de ligandos inorgánicos (cloruros o carbonato) o bien como un complejo de moléculas orgánicas de bajo peso molecular (citrato) o de alto peso molecular como el ácido fúlvico. El ion manganeso forma complejos estables con una variedad de donadores de electrones como el oxígeno, nitrógeno y sulfuros.

– Coloides

Existen cuatro tipos de coloides: óxido de manganeso e hierro, sulfuro mineral, materia orgánica y carbono mineral. El MnO_2 es altamente insoluble y esta presente como coloide (0.001-10 μm) cuando su concentración es baja. Su importancia ambiental radica en que a pesar de ser una partícula muy pequeña presenta una enorme superficie de contacto, por presentar una figura geométrica irregular.

En su forma coloidal de MnO_2 , el mineral insoluble es precipitado y se incorpora al sedimento. Bajo condiciones reductoras, como el fondo del agua del mar y superficie de sedimentos, específicamente condiciones anóxicas, los óxidos acuosos insolubles de manganeso (IV) son reducidos a manganeso (II). Al mismo tiempo los sulfatos que son abundantes en agua de mar y presentes en pequeñas concentración en agua dulce son reducidos a sulfuros. Como consecuencia de este proceso los coloides de sulfuro de manganeso son precipitados y encontrados en sedimentos anóxicos.

– Material Húmico

Parte del material húmico se encuentra disuelto en agua y otra parte esta presente en la fase sólida (suelo o sedimento), sus grupos funcionales son capaces de actuar como ligando en la formación de complejos metálicos. La carga del ácido húmico depende de la ionización del grupo carboxilo que resulta con carga negativa, mientras que el grupo amino se protoniza y adquiere una carga positiva. El equilibrio de ambas cargas depende de la propiedad de cada material, por ejemplo la arcilla presenta una superficie negativa.

– Material Suspendido

Representa a los minerales del suelo y a la materia orgánica (1 μm a 1 mm). El sedimento contiene una cantidad mayor de material suspendido que el presente en agua, el manganeso es adsorbido a la superficie del material suspendido.

En cuanto a la regulación del contenido de manganeso para agua de uso y consumo humanos la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en ingles) establece el límite permisible de 0.15 mg/L para agua potable. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un máximo de 0.4 mg/L, sin embargo se han reportado valores hasta de 10mg/L en agua con condiciones acidas o bien con condiciones aerobias asociadas a descargas industriales (OMS, 2006). La Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-1994 que establece los límites máximos permisibles de diversos elementos y compuestos en agua para uso y consumo humano, establece 0.15mg/L como concentración máxima permisible de manganeso.

El límite permisible se ha establecido en base a las propiedades que presenta el manganeso de teñir la ropa. En segundo lugar a los efectos estéticos, tales como color, sabor y olor que le confiere el manganeso al agua potable. En el 2007, se publicó un artículo en el cual se propone que es tiempo de evaluar estos límites para agua potable, en base a la evidencia toxicológica que se tiene al asociar efectos neurológicos con el consumo de agua contaminada con manganeso (Ljung y Vahter, 2007). Además el artículo refiere que es

importante considerar el manganeso que se adquiere a través de la ingesta de alimentos, así como el contenido de manganeso en leche de fórmula. Tomando en cuenta que la leche de fórmula llega a contener hasta 300 µg/L, mientras que la leche materna contiene 15 µg/L, la leche de fórmula llega a contener hasta 20 veces más manganeso que la leche materna (OMS, 2006).

1.1.2.3 Manganeso en aire

Es normal encontrar manganeso en aire a un nivel basal debido a que existen fuentes naturales como es el caso de los desiertos que contienen partículas muy finas de suelo que es transportado por dispersión eólica. Así mismo, existe una incorporación de manganeso al aire por la erosión del suelo, emisiones industriales y de vehículos. Debido a su baja presión de vapor, los compuestos de manganeso existen en el aire como material particulado. Un tamaño de partícula de 1µm a 1 mm favorece su distribución, depositándose en superficies de agua o sobre el suelo.

Durante el periodo de 1953-1982, se realizó un monitoreo ambiental de 24 horas en 102 ciudades de los Estados Unidos. Los resultados se dividieron por tipo de muestra en: zona urbana, no urbana y cercana a una fuente de manganeso. En la Tabla 2, se observa un incremento en la concentración para el periodo de 1965 respecto a 1953. Sin embargo para el año 1982 las emisiones disminuyeron, debido a la legislación que obligó a los emisores a instalar equipos de control para su disminución, desafortunadamente en México no existen registros de éste tipo que evidencien el aporte de manganeso en aire en áreas cercanas a una fuente de emisión.

Tabla 2. Concentración en aire durante el periodo 1953-1982, para distintas áreas de los Estados Unidos

Tipo de Muestra /Año	Concentración (ng/m ³)		
	1953-1957	1965-1967	1982
No urbana	60	12	5
Urbana	110	73	33
Cercana a Fuente	No existen datos	250-8300	130-140

(EPA, 2003)

1.1.3 Manganeso en el organismo

El manganeso exhibe estados de oxidación de -3 a +7, sin embargo dentro del organismo los estados +2 y +3 son los predominantes. Es considerado un elemento importante al ser cofactor enzimático de enzimas como superóxido dismutasa, piruvato carboxilasa y glutamato sintetasa (Klaassen, 2001). Al ser un elemento esencial para el buen funcionamiento del organismo se requiere su presencia en ciertos niveles (Tabla 3), así como una fuente diaria. La más importante es ingerir alimentos que contengan manganeso como granos, frutas, legumbres, té, nuez, formulas infantiles de leche y pescado. La ingesta diaria recomendada es de 2-8.8 mg en adulto, mientras que para niños (4-6 años) es de 1-5-2 mg (OMS, 1973). Del manganeso ingerido en los alimentos se absorbe del 2 al 5%, el resto es excretado en las heces y una pequeña porción (aproximadamente el 1%) es excretado por la orina (Jankovic, 2005). Al ser un elemento esencial su presencia en diferentes tejidos y fluidos corporales es normal pudiéndose encontrar en leche materna, sangre, suero, orina, hígado y cerebro, en la tabla 3 se presentan los valores normales de acuerdo a lo reportado por distintos autores.

Tabla 3. Valores normales reportados en diferentes tejidos y fluidos

Matriz	Leche µg/L	Sangre µg/L	Suero µg/L	Orina µg/g _{creatinina}	Orina µg/L	CSF µg/L	Hígado µg/g	Cerebro µg/g
Valores normales	12.6-57.7 ^a 3-40 ^b	4-12 ^c 4-14 ^d	0.15- 2.65 ^d 0.5-1.2 ^e	0.05-6.4 ^f 0.5-7.8 ^g	0.12-20 ^b	0.83-1.5 ^h 0.5-32 ⁱ	1.1-2.7 ^j	0.24-1.45 ^k
Valores elevados		33.8-101 ^l 8.2-36 ^m	22.9 ⁿ 9.0 ^o	0.05-61 ^f 0.3-14 ^g				

CSF: Fluido cerebro espinal

a: Bocca, 2000

b: Caroli, 1994

c: SAS Trace Elements Laboratories, 1998

d: ATSDR, 2000

e: Versieck, 1980

f: Ellingsen, 2003

g: Iarmarcovai, 2005

h: Takeda, 2003

i: Melo, 2003

j: Keen, 2000

k: Gellein, 2003

l: Fell, 1996

m: Crossgrobe, 2004

n: Bowler, 2006

o: Woolf, 2002

Se considera que existe exposición al inhalar dióxido de manganeso en mineros y soldadores y en población general al beber agua contaminada con manganeso (Yokel, 2002). Se pueden llegar a observar alteraciones

psiquiátricas y neurológicas caracterizadas por irritabilidad, dificultad para caminar, alteración del habla y conducta compulsiva que puede incluir correr, pelear y cantar. Si el padecimiento persiste, aparece facies en máscara (rostro inexpresivo) y retropulsión, al conjunto de este tipo de alteraciones se le conoce como manganismo enfermedad con características parecidas al síndrome de Parkinson (Klaassen, 2001).

Una vez que se observa un efecto en salud éste se puede resolver retirando de la fuente de exposición al individuo, en unas semanas o meses los disturbios conductuales y neurológicos pueden resolverse. Sin embargo, si la exposición continua los signos pueden ser irreversibles (Jankovic, 2005).

De manera general los efectos en salud en adultos se relacionan con la función motora y estado de ánimo, mientras que en niños se relaciona con la función cognitiva (Zoni y col., 2007).

1.1.3.1 Toxicocinética

La exposición a manganeso ocurre principalmente por vía oral e inhalatoria. La exposición dérmica puede ocurrir por la exposición a MMT durante su producción. La mayoría de los reportes que datan desde 1837 asocian la intoxicación a manganeso por vía inhalatoria en población ocupacionalmente expuesta.

En cuanto a la vía inhalatoria se considera que en los procesos industriales la fracción inhalada son partículas con un diámetro $<100\mu\text{m}$ y la fracción respirable con diámetro $\leq 4\mu\text{m}$, presentándose como polvo, óxido o humo (Santamaria y col., 2008). Es importante resaltar que una adecuada ventilación y el uso equipo de protección durante el proceso de soldadura disminuye la exposición a manganeso y por lo tanto se reduce el riesgo de presentar efectos tóxicos (Josephs y col., 2005).

La absorción dependerá de factores como tamaño de partícula, solubilidad, retención en la cavidad nasal, sitio donde se deposita e integridad del epitelio. De acuerdo a la fisiología del tracto respiratorio las partículas con diámetro $>5\mu\text{m}$ se depositan en la región nasofaríngea, que es la más alta. Las partículas

con diámetro de 1-5 μm se depositan en la región traqueobronquiolar del pulmón, que es la intermedia, pudiéndose eliminar a través del moco hacia las regiones ciliadas y eliminarse por estornudos o tos y pasar al tracto gastrointestinal. Las partículas con diámetro $<1\mu\text{m}$ penetran a los sacos alveolares de los pulmones, pudiendo ser absorbidas o bien eliminadas a través del sistema linfático o por medio de macrófagos alveolares (Peña, 2001).

Estudios recientes han descrito al bulbo olfatorio, como una vía de entrada importante de partículas de manganeso ultrafinas ($\leq 100\text{nm} = 0.1\mu\text{m}$), debido a que la cavidad nasal se comunica al bulbo olfatorio y este de manera directa al nervio olfatorio hacia el sistema nervioso central, la solubilidad juega un papel determinante en el proceso (Crossgrove y col., 2004; Elder y col., 2006). Utilizando un modelo de depósito predictivo de partículas en ratas, se ha estimado que el 11.5% de lo que se deposita en la mucosa olfatoria es traslocado al bulbo olfatorio (Asgharian y col., 1998)

En cuanto a la vía oral, las partículas ingeridas por la boca son deglutidas y entran al tracto gastrointestinal, al igual que las inhaladas y que por tos o estornudo pasan al tracto. Dentro de él existen mecanismos homeostáticos que limitan su absorción, este mecanismo actúa aumentando la absorción si se tiene poco manganeso en la dieta mientras que disminuye su absorción si por el contrario la dieta es rica en manganeso (Andersen y col., 1999). En la actualidad es evidente que la vía oral cobra importancia debido a los registros que se tienen de pozos de agua contaminados de manera natural por manganeso cuyos resultados se han asociado con disminución en la función intelectual (Wasserman y col., 2006).

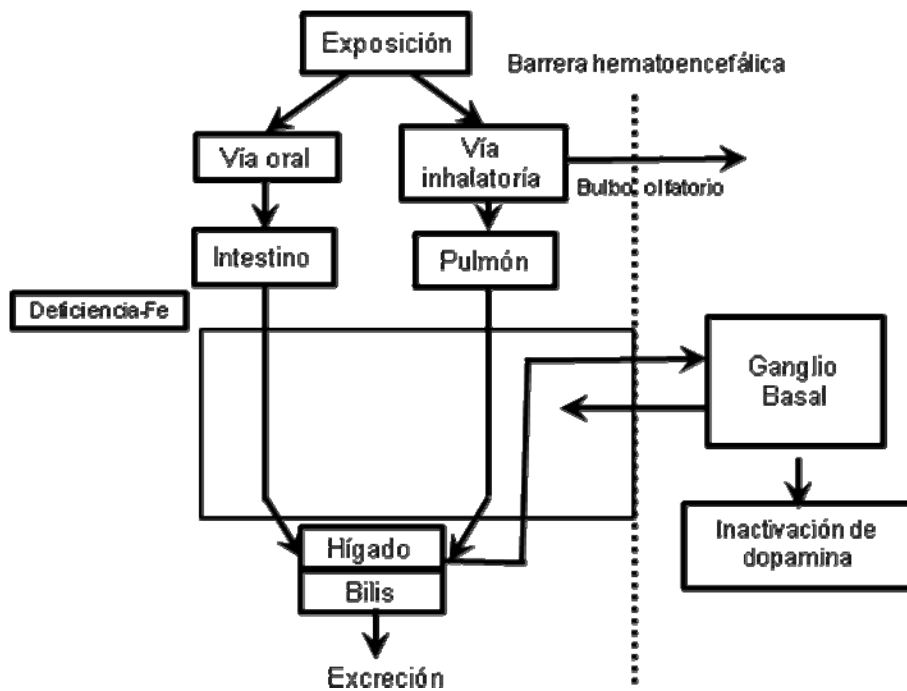
Además, es importante destacar que la absorción de manganeso se incrementa al presentarse una disminución en la ingesta de hierro, debido a que el manganeso utiliza a la transferrina como proteína transportadora (Heilig y col., 2005). La transferrina es una glicoproteína formada por una cadena simple de polipéptidos que tiene dos sitios activos para hierro, en una proporción de dos hierros por cada molécula de transferrina (2:1). Al presentarse un incremento de manganeso o bien una deficiencia de hierro, el

manganeso ocupa el sitio activo del Fe (III), pero con una menor afinidad. Destacando que la deficiencia de hierro en la dieta, se reporta como un problema nutricional ampliamente distribuido, lo cual es preocupante al asociarlo con un aumento en el factor de riesgo por exposición a manganeso (Anderson y col., 2007).

El manganeso es absorbido como Mn (II) en el intestino y pasa a sangre, donde es oxidado a Mn (III) por la ceruloplasmina, con la finalidad de aumentar la afinidad con la transferrina para ser transportado. Mientras que en cuanto a la vía inhalatoria, el manganeso se disuelve y se presenta como Mn (II) o Mn (III), los cuales son absorbidos en la región alveolar hacia sangre, aparentemente el Mn (II) presenta una absorción mayor (Andersen y col., 1999).

En los capilares de la barrera hematoencefálica se localizan receptores de transferrina, los cuales permiten el paso a través de las células endoteliales de cerebro por endocitosis. Además se tiene evidencia de que a través de un transporte saturable ingresa como Mn (II) (Andersen y col., 1999). Una vez que ingresa al sistema nervioso central se acumula en el globo pálido, sustancia negra y cuerpo estriado. Lo cual se demuestra en imágenes de resonancia magnética, siendo el diagnóstico diferencial para manganismo debido a que en el síndrome de Parkinson estas zonas no presenta hiperintensidad (Josephs y col., 2005).

La principal ruta de eliminación es a través de las heces, sin embargo la concentración de manganeso excretada refleja tanto el manganeso no absorbido como el absorbido y eliminado por excreción biliar (EPA, 2003). En la Fig. 2 se presenta el esquema metabólico propuesto para manganeso.



(Adaptado de Michalke y col., 2007)

Figura 2. Esquema metabólico de manganeso

De acuerdo a valores encontrados en sangre se ha determinado que la vida media de manganeso en población ocupacional es de 15 ± 2 días, comparado con individuos control que es de 37.5 ± 7.5 días y de 28.3 ± 8 días para ex mineros (Andersen y col., 1999).

1.1.3.2 Toxicodinamia

Como se mencionó en la superficie capilar del cerebro se localizan los receptores de la transferrina, por medio de endocitosis ingresan el complejo manganeso-transferrina (Ashner y col., 2005).

Debido a sus diferentes estados de oxidación el manganeso potencialmente puede promover reacciones de óxido reducción, generando así especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), las ROS promueven la oxidación e inactivación de la dopamina (Michalke y col., 2007). La dopamina es un neurotransmisor relacionado con la función motora y cognitiva por lo que su inactivación genera una alteración en su función.

1.1.3.3 Exposición no ocupacional

Aunque en la mayoría de los trabajos publicados se registra la exposición ocupacional, en años recientes ha tomado importancia la evidencia de efectos tóxicos en población no ocupacionalmente expuesta. En los cuales se han evidenciado los efectos sobre el sistema nervioso central como resultado de una exposición prolongada a bajos niveles (Levy y Nassetta, 2003).

En Bangladesh se asoció la ingestión de agua con una concentración promedio de 793 µg/L, con una disminución en la función intelectual (Wasserman y col., 2006). Derivado de esa investigación se desarrolló un estudio epidemiológico cuyos resultados indicaron una posible asociación entre la exposición a manganeso a través del agua y los casos de mortalidad infantil, los autores concluyeron que los resultados deben ser confirmados (Hafeman y col., 2007). En un estudio publicado recientemente se plantea si en consecuencia al incremento de evidencia que se tiene sobre los efectos neurológicos por la exposición a manganeso a través de agua de consumo, sería conveniente reevaluar el valor guía de 400 µg/L propuesto por la OMS en el 2004 (Ljung y Vahter, 2007).

Un caso de estudio reportó a un paciente de 6 años de edad, con antecedentes de vivir en un área donde se rebasa el valor de la guía para agua además de ingerir en su dieta alimentos ricos en manganeso. No se identificó exposición por vía inhalatoria pero sí tendencia a la ingestión de sustancia no comestible como hábito en el paciente (Sahni y col., 2007). El paciente presentó pérdida verbal y de habilidades motoras, además la imagen de resonancia magnética reveló acumulación debido a la hiperintensidad observada en el ganglio basal, lo que, sin duda, implica una exposición crónica a manganeso. Mientras que el hermano del paciente un año mayor y los padres a pesar de tener hábitos en común con el paciente, presentaron valores normales de manganeso. Lo que hace suponer que un desorden metabólico aunado a la exposición ambiental a manganeso, sería la explicación más adecuada para el caso.

1.1.3.4 Biomarcador de Exposición y/o Efecto

En un estudio realizado en México no se encontró asociación entre la disminución de la función motora de población no ocupacional expuesta a manganeso por habitar en un área cercana a un distrito minero, con la concentración de manganeso en sangre (Riojas, 2004). En el caso de Bangladesh, no se encontró asociación de manganeso en orina y sangre con la disminución de la función intelectual, por lo que se propone que al ser transportado en la sangre por transferrina sería más conveniente utilizar suero como biomarcador (Wasserman y col., 2006). Sin embargo mas tarde en el estudio donde se diagnosticó un desorden metabólico, al paciente se le tomaron muestras consecutivas de sangre para analizar manganeso en suero, obteniéndose una amplia variación en los resultados: 0.6, 2.2 y 2.4 µg/L (Sahni y col., 2007).

Como se observa en los estudios anteriores aún no se cuenta con un marcador biológico o biomarcador, el cual se define como un cambio bioquímico, fisiológico o morfológico medible, que se asocie con la exposición a un tóxico o bien al efecto (Peña, 2001).

El no contar hasta el momento con evidencia suficiente para señalar a un fluido biológico como el biomarcador para manganeso, los distintos estudios reportados en la literatura han utilizado sangre, orina y cabello para predecir los niveles de exposición o bien los efectos en salud. Se considera que la vida media del manganeso en sangre es de 10 a 42 días, mientras que en orina es de tan solo 30 horas, por lo que pueden ser utilizados cuando existe una exposición reciente o bien si esta continua. Existen reportes donde se observan niveles más altos de manganeso en orina en soldados que en el grupo control (Chandra y col., 1998), por lo que se considero que al tratarse de una muestra que no requiere de un procedimiento invasivo para su obtención y al ser un trabajo inicial con las comunidades donde se busca contar con su confianza y participación, la orina sería el indicador biológico más apropiado como indicativo de exposición.

Recientemente se ha propuesto al cabello como un biomarcador, debido a que se observó una relación entre el contenido de manganeso en cabello y la concentración de manganeso en agua. Sin embargo, existen factores como la edad, color y preparación de muestra, que influyen en el resultado. Considerándose como no confiable debido a que no es indicativo de lo que realmente se absorbió en el organismo (Bouchard y col., 2007)

Hasta el momento aún se tiene en discusión cual debería ser el biomarcador para evaluar exposición a manganeso, debido a que en ninguna de las matrices evaluadas se ha observado asociación.

1.2 ANTECEDENTES DEL SITIO DE ESTUDIO

1.2.1 Actividad minera

La minería es una de las actividades económicas de mayor tradición en México, estando presente en el desarrollo económico del país suministrando insumos a la industria. En la Fig. 3, se observa la distribución de la minería en el territorio nación y los grupos responsables de su extracción y beneficio diferentes grupos mineros. Destacándose el Grupo Autlán el cual se dedica a la exploración y beneficio de manganeso dentro del estado de Hidalgo, ocupando el 10º lugar de producción a nivel mundial de acuerdo a la Coordinación General de Minería.



Fuente: Cámara Minera de México

Figura 3. Distribución de la actividad minera en el país

1.2.2 Localización del área

El estudio se llevo a cabo dentro del municipio de Tamazunchale que colinda al este, oeste y sur con el estado de Hidalgo, caracterizándose el estado de Hidalgo por tener una tradición minera desde el siglo XVII. En la actualidad la Compañía Minera Autlán es la responsable de la exploración y explotación de manganeso. La actividad se realiza desde la década de los sesentas; denominándose el distrito minero de Molango-Otongo como el depósito de manganeso grado metalúrgico más importante de América del Norte. Actualmente sus dos minas están ubicadas en los municipios de Molango y Nonoalco y cuenta con las unidades mineras de Molango, Naopa y Nonoalco. Los minerales que se extraen en Molango y Naopa se destinan a la industria siderúrgica, mientras que en las minas y plantas de Nonoalco se obtiene dióxido de manganeso natural destinado a la fabricación de pilas secas y a la industria de la cerámica (Tecnológico de Monterrey, 2005). La Minera Autlán es el único productor mundial de nódulos de manganeso, por lo que mantiene su posición dominante en el mercado nacional de ferroaleaciones, lo cual se refleja al presentar un crecimiento en ventas del 79% del 2003 al 2004.

La actividad minera conlleva un beneficio aparente al generar empleos e impulsar el progreso en el área donde se localiza, sin embargo, la propia actividad genera residuos que en la mayoría de las ocasiones son depositados a cielo abierto sin ningún tipo de control.

Desde 1997 se han venido realizando estudios a cargo del Instituto Nacional de Salud Pública para evaluar el efecto negativo en la salud por la exposición a manganeso. El primer estudio se realizó en la población de Chiconcoac localizada a menos de un kilómetro del distrito minero y en una comunidad de referencia alejada del distrito. Se realizó una evaluación de la sintomatología respiratoria y exámenes neuropsicológicos en adultos. Al compararse ambas comunidades se concluyó que la comunidad expuesta presentó menor capacidad cognitiva (Santos-Burgoa y col., 2001).

Se establecieron así las bases para un estudio posterior realizado por el mismo Instituto, en el cual se procuró aumentar el número de comunidades, así como

analizar diferentes rutas. Las comunidades se eligieron en base a la distancia de la unidad de Otongo y Nonoalco, es decir <1Km y >5Km. Se caracterizó la contaminación en agua de río, agua de pozos, sedimento, suelo, pasto, maíz y aire. Se evaluó la exposición en adultos, a través de sangre buscando correlacionar la concentración de manganeso con otros biomarcadores como peroxidación de lípidos y prolactina. Los resultados mostraron un aumento de manganeso en agua del río al final de la temporada seca, sin embargo, aún en la muestra más elevada (4.8 mg/L) no se rebasa el valor permisible. En cuanto al suelo se observaron concentraciones de 1368 a 16626 mg/kg. Las concentraciones más elevadas se observaron en áreas cercanas a la fuente y en áreas impactadas por la agricultura. En la vegetación cercana a la fuente se observó mayor concentración de manganeso, así como mayor contenido en las muestras sin lavar. Esto hace suponer que el contenido se debe a la deposición sobre la superficie de material particulado proveniente de la fuente (Riojas y col., 2004). No se logro establecer correlación con otros biomarcadores, por lo que se considera necesario corroborar los resultados obtenidos (Montes y col., 2008).

En el estudio se evidencia una asociación significativa entre las altas concentraciones de manganeso en aire ($2.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y el riesgo de afectación al sistema nervioso central. Evaluado a través de pruebas que miden la actividad motora como cambio de posición de las manos, coordinación de movimientos y dibujos secuenciales (Rodríguez y col., 2006).

Por otro lado, se tiene evidencia de que el Río Claro es impactado por escurrimientos provenientes de la zona minera (Mejía-Saavedra y col., 2005) y se ha registrado contaminación por manganeso en diferentes comunidades localizadas en la rivera (Huitznopala, Tamala y Tenexco las dos primeras en Hidalgo y la última en San Luis Potosí). El nivel de manganeso en sedimento registrado en el Río Claro es de los más altos reportados en la literatura científica. Hasta el momento es el único estudio sobre manganeso en el sur de la huasteca potosina, por lo que existe la incertidumbre sobre si el manganeso representa un riesgo para la población de las comunidades que habita en la rivera del río y que utilizan este recurso para sus actividades cotidianas.

1.3 ESTIMACION DEL RIESGO EN SALUD

El manejo inadecuado de los residuos generados de la actividad minera, se consideran como una fuente de contaminación que puede representar un riesgo a la salud pública, lo cual dependiendo de su grado podría implicar vigilancia, evaluación de exposición y/o restauración inmediata, en cualquiera de los casos implica un costo que podría llegar a ser muy elevado. En este sentido se han creado herramientas científicas y objetivas, que permitan identificar los sitios de mayor riesgo para priorizar y decidir cuales deben ser atendidos (Díaz-Barriga y col., 1999).

Estados Unidos de América ha sido el país que marca el desarrollo de metodologías en este sentido. La EPA (Agencia de Protección Ambiental, por sus siglas en inglés), diseñó una metodología para estimar el riesgo en salud basada en datos ambientales del sitio, mientras que la ATSDR (Agencia para las sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, por sus siglas en inglés) diseñó una metodología que evalúa el riesgo en salud en base a los datos ambientales y a los antecedentes en salud registrados en el área de influencia del sitio.

La aplicación de estas metodologías en México resulta una labor complicada, debido al gran número de sitios y a la escasez de recursos económicos. Por lo cual se desarrolló una alternativa que adapta los puntos más valiosos de las metodologías mencionadas a las condiciones y necesidades de países como México. La metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados es producto de la segunda etapa de la Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos (1999), fue diseñada con el objetivo de ser aplicada en países como México y hasta el momento ha sido aplicada por el grupo de Toxicología Ambiental de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dentro de la metodología se considera la actividad minerometalúrgica como una fuente de generación de los residuos que pueden contaminar el suelo, aire y agua. Además de considerar al manganeso con uno de los elementos tóxicos más frecuentes en sitios peligrosos.

Se incluyen los siguientes pasos para realizar la estimación de riesgo, los cuales se describirán a detalle en la parte de metodología:

- 1) Identificación del contaminante
- 2) Análisis de la Dosis-Respuesta
- 3) Estimación de la exposición
- 4) Caracterización del riesgo
- 5) Factores asociados al riesgo

La estimación de riesgo se realiza por el método determinístico, basándose en un modelo matemático para calcular la dosis de exposición y el cociente de riesgo, asumiendo el riesgo máximo al considerar la concentración máxima del contaminante en la matriz ambiental evaluada logrando a través del cociente de riesgo evidenciar la existencia o ausencia de riesgo.

El método determinístico (estimación puntual) permite conocer de forma aproximada la dosis del contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto. Se realiza a través de cálculos matemáticos alimentados con las concentraciones de los tóxicos en diferentes rutas ambientales. Su magnitud se determina estimando la dosis de exposición de cada ruta, esto es el camino que sigue el contaminante en el ambiente desde el lugar donde se emite (fuente) hasta que llega a establecer contacto con la población. Además se debe considerar la vía de exposición como el mecanismo por medio del cual el contaminante entra al organismo, tiempo de exposición y efecto tóxico.

La dosis de exposición estimada de cada ruta se suma para obtener una cifra total de esa dosis. Finalmente se establece el cociente entre la dosis de exposición y la de referencia, para conocer el cociente del riesgo el cual determinará si existe riesgo.

2. JUSTIFICACIÓN

El manganeso es considerado un elemento esencial para el buen funcionamiento del organismo por lo que se requiere su presencia en ciertos niveles, así como una fuente diaria. Sin embargo, existe evidencia que soporta que una exposición en exceso puede provocar efectos adversos al sistema nervioso, llegándose a observar alteraciones psiquiátricas y neurológicas. Recientemente se han publicado reportes que relacionan los efectos en salud en adultos con la función motora y estado de ánimo, mientras que en niños se relaciona con la función cognitiva (Zoni y col., 2007).

Al ser un elemento que se encuentra de manera natural en suelo, aire, agua y alimento, su exposición puede darse a través de la vía oral e inhalatoria. Desde el siglo XIX se ha descrito la exposición ocupacional por la vía inhalatoria, sin embargo en consecuencia ante la evidencia toxicológica del manganeso y su presencia de manera natural en el ambiente. Se ha incrementado el interés por estudiar escenarios de población no ocupacionalmente expuesta a manganeso por fuentes naturales como ha sido la contaminación en agua que se ha asociado con disminución en la función intelectual (Wasserman y col., 2006).

Al sureste del estado de San Luis Potosí dentro de la zona huasteca, se localiza el municipio de Tamazunchale que colinda al sur y oeste con el estado de Hidalgo, lugar donde nace el Río Claro cuya corriente se dirige al norte hasta confluir en la ciudad de Tamazunchale con el Río Amajac. Existe evidencia de que el inadecuado manejo de los residuos mineros impacta el sedimento del Río Claro por lo que existe la incertidumbre de conocer si el manganeso presente representa un riesgo para la población que habita sobre la rivera.

La estimación de riesgo será una herramienta que permitirá conocer si la población que habita en las comunidades, se encuentra en riesgo de presentar un efecto en salud por la exposición a manganeso.

3. HIPOTESIS

El manganeso presente en el Río Claro representa un riesgo para la salud de la población infantil de las comunidades que habitan sobre su rivera.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar el riesgo en la salud de la población infantil por exposición a manganeso de las comunidades que habitan en la orilla del Río Claro.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la contaminación por manganeso en diferentes matrices ambientales
- Cuantificar manganeso en orina, como indicador biológico de absorción.
- Estimar la bioaccesibilidad, simulando las condiciones gastrointestinales humanas.
- Estimar el riesgo por el método determinístico.
- Determinar el tamaño de partícula en muestras de polvo

5. METODOLOGÍA DE ESTIMACION DEL RIESGO EN SALUD

Considerando el impacto en el sedimento del Río Claro y conociendo la existencia de comunidades que habitan en su rivera, se decidió seleccionar este tipo de comunidades por su grado de cercanía e interacción con el río. De tal manera que se seleccionaron comunidades que cumplieran con el criterio de localizarse en la rivera del Río Claro y pertenecer al estado de San Luis Potosí. Derivado de una búsqueda bibliográfica y visitas al sitio se determinó que tres comunidades cumplían con los criterios de selección, siendo: Santa María Picula, Tenexco y Texojol (pertenecen al municipio de Tamazunchale).

5.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Mediante fuentes bibliográficas y visitas al sitio, se determinaron los factores que pueden explicar el destino y transporte del manganeso:

- Índice de precipitación anual
- Temperatura
- Velocidad y dirección de los vientos
- Características geomorfológicas
- Características geohidrológicas
- Canales de aguas superficiales
- Flora y fauna

Se recabó información sobre las tres comunidades en cuanto a su densidad demográfica, grupos de población, grado de marginación, entre otros de tal manera que se pudieron identificar factores asociados a la exposición.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MANGANESO, EN DIFERENTES MATRICES AMBIENTALES

Las matrices ambientales se seleccionaron en base al esquema presentado en la Fig. 4, siguiendo un esquema hipotético de rutas de exposición. Al considerar al río como una fuente de exposición dinámica, es necesario caracterizar la contaminación en temporadas donde se tengan registros de mayor y menor precipitación con la finalidad de conocer la importancia que adquieren los cambios de las condiciones meteorológicas en el destino y transporte del manganeso. Al ser arrastrados los residuos mineros por el río, se seleccionaron

como matrices para evaluar la contaminación por manganeso el agua y sedimento, así como el suelo que recibe un impacto directo del sedimento y el polvo que pudiera contener partículas finas provenientes del suelo impactado.

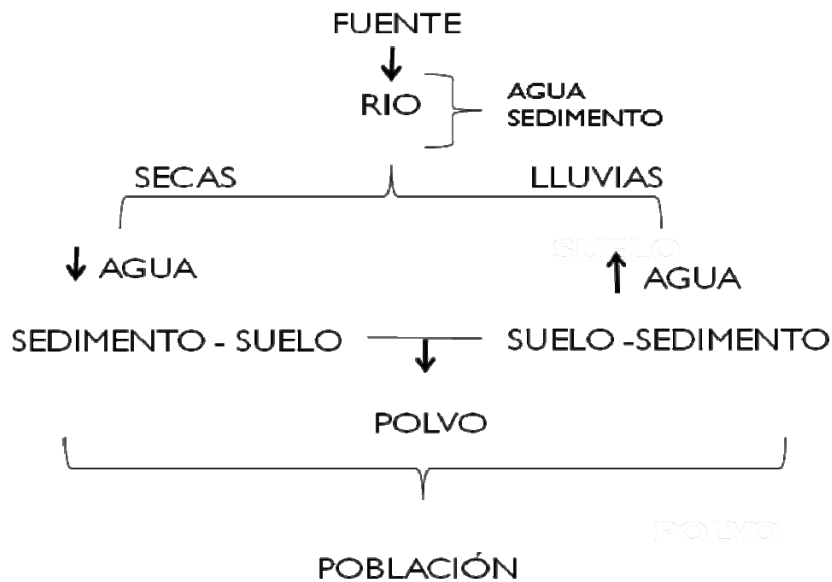


Figura 4. Esquema hipotético de rutas de exposición

5.2.1 Muestreo

– Agua de río

Utilizando un recipiente de polipropileno de 500 mL, previamente lavado con ácido nítrico al 10% y enjuagado con agua desionizada, se colectó la muestra de agua sumergiendo el recipiente en la corriente del río. La etiqueta incluyó: comunidad, tipo de muestra y fecha. Durante su traslado se mantuvo a 4°C. Una vez en el laboratorio se conservaron a 4°C dentro de un cuarto frío.

– Agua de consumo

Las muestras de agua se colectaron de diferente manera para cada comunidad, ya sea solicitando el permiso para tomar muestra del grifo de una vivienda o bien de manantial o pozo, es decir, se consideró el punto donde la población refirió obtener el agua para beber. El material de colecta, muestreo y preservación se realizó igual que para el agua de río (punto anterior).

– Sedimento

Del mismo punto donde se recolectó el agua de río se colectó una muestra de sedimento superficial mediante una espátula de plástico, depositándose dentro de una bolsa de plástico. La bolsa se cerró y se colocó dentro de otra bolsa como protección, debido al contenido de agua. La muestra se etiquetó y se colocó dentro de una hielera a 4°C, para su traslado al laboratorio. Una vez en el laboratorio se colocó dentro de una capsula de porcelana y se introdujo en el horno de secado (Modelo HS-33, Serie HSML) a una temperatura de 40-45°C. El tiempo de permanencia dentro del horno de secado dependió del contenido de agua, la muestra más húmeda permaneció 10 días dentro del horno. Una vez eliminada la humedad, la muestra se pulverizó en un mortero y se conservó a temperatura ambiente dentro de una bolsa de plástico debidamente etiquetada y cerrada hasta su análisis.

– Suelo

Se realizó un muestreo dirigido, determinado por la cercanía al cauce del río, calles y áreas de recreación infantil. Se tomaron muestras de suelo superficial (0-5 cm), ya que existe un mayor contacto con la población. Las muestras de se colectaron dentro de una bolsa de plástico, cerrada y etiquetada. Se trasladaron a temperatura ambiente al laboratorio. Una vez en el laboratorio se colocó dentro de una capsula de porcelana y se introdujo en el horno de secado a una temperatura de 40-45°C. El tiempo de permanencia dentro del horno de secado dependió del contenido de agua, la muestra más húmeda permaneció 3 días dentro del horno. Una vez eliminada la humedad, se siguió el mismo procedimiento que para sedimento.

– Polvo exterior

Se dirigió el muestreo hacia las viviendas de los niños que accedieron a participar en el muestreo biológico. Con una brocha y espátula de plástico se colectó polvo doméstico del exterior de algunas casas, específicamente en los marcos, ventanas y/o puertas, es decir lugares donde se favorece la acumulación de polvo. La muestra se colocó dentro de una bolsa de plástico debidamente etiquetada. Se conservó a temperatura ambiente y se trasladó al laboratorio donde se mantuvo a temperatura ambiente hasta su análisis.

5.2.2 Preparación de muestras

Las muestras de agua fueron acidificadas con 2.5mL de HNO₃ concentrado (Mallinckrodf Chemicals) por cada 500 mL de agua (Método 3005A, EPA). La muestra se conservó a 4°C, para su posterior cuantificación por espectrometría de absorción atómica por horno de grafito.

Las muestras de suelo, sedimento y polvo se prepararon de acuerdo al método 3051A de la EPA y a las recomendaciones del equipo. Es importante mencionar que en el laboratorio de Toxicología, el método de preparación y cuantificación de manganeso ya se tenía validado. Se pesaron 0.5g y colocaron dentro de un vaso de teflón, se adicionaron 10 mL de HNO₃ al 50% (dentro de la campana de extracción). En el tapón del vaso se colocó una membrana de ruptura como protección a un incremento de presión, se introdujo en la camisa correspondiente dentro de la tornamesa y se llevó al horno de microondas (MDS-2000, CEM). El proceso de digestión se llevó a cabo de acuerdo a las siguientes condiciones de trabajo:

Poder	100%
Presión	80 PSI
Tiempo de rampa	50 minutos
Tiempo de residencia	30 minutos
Ventilación	100%

Finalizado el programa se esperó a que se enfriaran los vasos y se filtró con papel Whatman No. 1 (125 mm de diámetro). Cada muestra se proceso por duplicado, por cada corrida se incluyó un blanco de reactivo (10 mL de HNO₃ al 50%.) y material estándar de referencia SRM 2710 y 2711 Montana soil (National Institute of Standards and Technology, USA), obteniéndose un porcentaje de recuperación de 92.2% y 97.4% respectivamente.

5.2.3 Cuantificación de manganeso

– Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito

La curva se realizó a partir de una solución estándar para absorción atómica (SIGMA) con una concentración de 985 mg de manganeso/L en HNO₃ al 1%. Los puntos de la curva se eligieron en base al límite de cuantificación y a las

recomendaciones del equipo, siendo los puntos 4, 8, 16, 32 y 64 µg/L de Mn en HNO₃ 0.2%.

La cuantificación de manganeso en agua se realizó por horno de grafito (HGA-600, Perkin Elmer) acoplado a un espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer 3110. Se utilizó una lámpara de cátodo hueco (Photron). Cada muestra se cuantificó por duplicado y se utilizó material de referencia certificado SRM 1640 (National Institute of Standards and Technology, USA), obteniéndose porcentaje de recuperación de 101.3%. En la Tabla 4 se presentan las condiciones de trabajo del equipo bajo las cuales se hicieron las determinaciones:

Tabla 4. Condiciones de trabajo

Longitud de onda (nm)	Slit	Energía de Lámpara	Corriente de la Lámpara (mA)	
279.5	0.2	51	20	
CONDICIONES DEL EQUIPO				
PASOS	TEMPERATURA	TIEMPO RAMPA		FLUJO
		(seg)	hold	
Secado	120	5	50	300
Calcinado	1300	1	30	300
Estabilización	20	1	15	300
Atomización	2200	0	5	0
Limpieza	2600	1	5	300
Tiempo de lectura: 5 segundos				

– **Espectrometría de absorción atómica por flama**

La curva se realizó a partir de una solución estándar para absorción atómica (SIGMA) de 985 mg de manganeso/L en HNO₃ al 1%. La curva se construyó en base al límite de cuantificación y a las recomendaciones del equipo, siendo las siguientes concentraciones: 1, 5 y 10 mg/L de Mn en diluyente HCl 1% (Mallinckrodt Chemicals).

La cuantificación de manganeso en sedimento, suelo y polvo se realizó por la técnica de flama en un espectrómetro de absorción atómica AAnalyst 100 (Perkin Elmer), utilizando una lámpara Lumina (Perkin Elmer) con corriente de 20 mA.

5.3 CUANTIFICACIÓN DE MANGANESO EN ORINA, COMO INDICADOR BIOLÓGICO DE ABSORCIÓN.

El encontrar manganeso en un fluido biológico por encima del valor de referencia, es indicativo de que el manganeso se está absorbiendo y que por consiguiente la población se encuentra expuesta. Se decidió muestrear orina debido a que es un muestreo sencillo, no invasivo y su colección no requiere de personal especializado.

Se solicitó la primer orina de la mañana la cual se recolectó en un recipiente de polipropileno lavado previamente con HNO_3 al 10% y enjuagado con agua desionizada. A los padres se les proporcionó el recipiente y las indicaciones necesarias para la colecta. Al día siguiente se recogió la muestra, se etiquetó y se trasladó en hielera a 4°C hacia el laboratorio. En el laboratorio cada muestra se homogeneizó y se hicieron 2 alícuotas de 15 mL y se congelaron a -20°C hasta su análisis.

Se descongeló una alícuota a temperatura ambiente y se colocan 5 mL de orina en un vaso de precipitado de 100mL, se adicionaron 5 mL de HNO_3 concentrado (Mallinckrodt Chemicals) y 0.5 mL de HClO_4 concentrado (JT Baker) dentro de la campana de extracción. Se cubrió con un vidrio de reloj y se colocó en una placa de calentamiento a una temperatura de $80 \pm 5^\circ\text{C}$, dejando a reflujo la muestra. Cuando la muestra tornó a un color verde claro y el volumen se redujo, era indicativo de que la digestión había terminado. Se retiró el vidrio de reloj y se llevó la muestra a casi sequedad. El precipitado contenido se resuspendió en 5 mL de HNO_3 al 0.2% y se colocó en un tubo de polipropileno de 15 mL con rosca. La muestra digerida se conservó dentro del tubo a temperatura ambiente, debidamente etiquetada hasta su análisis.

Cada muestra se procesó por duplicado, por cada corrida se incluyó un blanco de reactivo (10 mL de HNO_3 al 50%) y un material estándar de referencia SRM Control de orina nivel II (ClinChek®), obteniéndose 91.2% de recuperación. La cuantificación de manganeso se realizó por la técnica de espectrometría de absorción atómica por horno de grafito, siguiendo las mismas condiciones mencionadas en el punto 5.2.3 para las muestras de agua.

5.4 ESTIMACIÓN DE LA BIOACCESIBILIDAD, SIMULANDO LAS CONDICIONES GASTROINTESTINALES HUMANAS

La biodisponibilidad se determina mediante métodos *in vivo* empleando modelos animales, sin embargo al ser costosos y requerir un periodo prolongado de tiempo para su desarrollo se han establecido métodos que determinen la bioaccesibilidad simulando las condiciones del tracto gastrointestinal humano (Ruby y col., 1996). La estimación se realizó a través de la determinación de la fracción soluble de manganeso bajo condiciones que simulan la solución presente en el tracto gastrointestinal (Razo y col., 2006). Las muestras se tamizaron a un diámetro de tamaño de partícula $\leq 250\mu\text{m}$ a través de una malla No. 60 (USA Standard Test Sieve ASTM), el tamaño de partícula se debe a que a ese diámetro, o menor, tienen la capacidad de poder adherirse a la palma de la mano infantil y de esta manera poder ser ingerido (Duggan y col., 1985).

Se trabajó con dos métodos para conocer la fracción soluble bajo condiciones gástricas e intestinales humanas, los métodos utilizados son PBET (Prueba de extracción basado fisiológicamente, por sus siglas en inglés) que simula las condiciones gástricas e intestinales y el método SBRC desarrollado en los Estados Unidos por el Consorcio de Investigación de Solubilidad/Biodisponibilidad que simula la condición gástrica y es referido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio. En ninguno de los métodos se tienen antecedentes que correlacionen los resultados de manganeso obtenidos con métodos *in vivo*, por lo tanto son métodos no validados para manganeso. Para la validación se requieren comparar los resultados con un modelo experimental *in vivo*, quedando fuera del objetivo planteado en el proyecto, por lo que se simularon las condiciones bajo dos métodos y se compararon los resultados para observar el comportamiento en ambas condiciones. Con la finalidad de conocer la fracción bioaccesible e incluirla en la estimación del riesgo para el cálculo del factor de exposición.

5.4.1 Método PBET

Se colocaron dentro del embudo de separación de polietileno de 250 mL, 0.5g de muestra y se mezclaron con 50 mL de la solución gástrica (1.25 g Pepsina, 0.50 g Citrato de sodio, 0.50 g de Ácido málico L(-), 420 µL Ácido láctico, 500 µL Ácido acético, aforando a 1 L con agua desionizada y ajustando a un pH=1.3 con HCL 12N). El embudo es cerrado para minimizar la interacción entre la solución de extracción y el oxígeno atmosférico, se sumerge hasta la mitad del baño el cual debe estar a 37°C. Se deja reposar 10 minutos sin agitación y se agregaron 200 µL de decanol (agente antiespumante). Se inyectó argón para desplazar el oxígeno simulando las condiciones anóxicas y la agitación con un flujo de 1L/min. El pH se midió después de 5 minutos de haber iniciado la agitación en presencia de argón y posteriormente cada 10 minutos. En caso de ser necesario el pH se ajusto a 1.3 con HCl 12N. Pasados 60 minutos, se extrajo un volumen de 10 mL de la muestra, se filtro a través de un papel filtro de 11 µm diámetro. Se enjuagó con solución gástrica y se aforó a 10 mL con agua desionizada, el tubo se etiquetó como fase gástrica y se agregaron 200 µL de ácido nítrico concentrado para conservar los metales del filtrado, conservándose a 4°C hasta su cuantificación.

Posteriormente se adicionaron 10 mL de solución gástrica dentro del embudo y se ajusto el pH a 7 con una solución saturada de NaHCO₃. Se agregaron dentro del embudo 87.5 mg de sales biliares porcinas y 25 mg de pancreatina porcina, manteniendo la agitación con corriente de argón. Se incubó por 3 horas, al final se tomaron 20 mL de esta solución y se filtró a través de un papel de 11 µm diámetro de poro. Se separaron 10 mL de la solución filtrada y se agregaron 200 µL de ácido nítrico concentrado para conservar los metales del filtrado conservándose a 4°C hasta su análisis.

5.4.2 Método SBRC

El método SBRC considera la extracción de la fracción bioaccesible de un metal únicamente bajo las condiciones gástricas, para lo cual se utiliza una solución de glicina 2 M a pH 1.5 ajustado con HCl concentrado. Otra diferencia con respecto al método PBET además de sólo simular una fase, es que la

agitación de la solución se realiza mediante un sistema mecánico (Kelley y col., 2002).

La solución de extracción se preparó disolviendo 60.06g de glicina (base libre, Ultra Sigma) ajustando el pH a 1.5 y aforando a 2 L. Se adicionaron 50mL de solución de extracción en un matraz erlenmeyer de 250 mL. Se agregaron 0.5g de muestra al matraz, el cual se colocó dentro de un agitador orbital a una temperatura controlada de 37°C. Se mantuvo en agitación de 150 rpm durante 60 minutos. A los 5, 10, 15, 30 y 60 minutos se midió el pH, en caso necesario se ajustó a 1.5 con HCl concentrado. Finalizados los 60 minutos el contenido del matraz se filtró a través de un dispositivo de filtración Millipore donde se colocó un filtro de acetato de celulosa de 0.45µm de diámetro. La solución filtrada se colocó en un tubo de 50 mL, se etiquetó y conservó a 4°C para su posterior análisis.

La cuantificación de manganeso se realizó siguiendo el mismo procedimiento ya descrito para la cuantificación de manganeso en suelo, sedimento y polvo. Hasta el momento ninguno de los dos métodos se habían desarrollado para manganeso, por lo que fue necesario conocer cual sería su comportamiento bajo las dos fases (gástrica e intestinal). Una vez que se conoció el comportamiento para un grupo de 20 muestras que incluyeron: suelo, sedimento y polvo. Se observó que en la fase gástrica se presentó una mayor fracción soluble que en la intestinal. En un estudio de riesgo se debe asumir el escenario de mayor riesgo, por lo que se hará la estimación considerando la fase donde se presentó una mayor fracción soluble, siendo la gástrica por lo que el método elegido para el resto de las muestras fue el SBRC.

5.5 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Conociendo la concentración de manganeso en cada matriz ambiental y estimada la bioaccesibilidad se procedió a realizar la estimación de riesgo. Primero se requirió calcular el factor de exposición a través de la temporalidad y bioaccesibilidad, se asumió la temporalidad con un valor de 1 en base a la consideración de que la población se encuentra en exposición permanente a manganeso. Mientras que la bioaccesibilidad se estimó a través del método

SBRC, ambos parámetros se multiplican y el resultado se considero el factor de exposición.

5.5.1 Método determinístico

Se calculó la dosis de exposición de acuerdo a la siguiente formula considerando los valores teóricos para tasa de ingesta y peso corporal referidos en la literatura, asumiendo el riesgo máximo al considerar la concentración máxima del contaminante en la matriz ambiental. El riesgo se estimó a través del cálculo de la sumatoria de la dosis de exposición para cada matriz evaluada en temporada de secas y de lluvias, de acuerdo a la siguiente formula.

$$\text{Dosis de exposición (mg / kg / día)} = \Sigma \left[\text{Concentración} \times \frac{\text{TI} \times \text{FE}}{\text{PC}} \right]$$

Donde:

Dosis de exposición es la dosis total estimada; Concentración es la concentración máxima de manganeso en cada matriz; TI es la tasa de ingesta, de acuerdo a las siguientes consideraciones (Díaz-Barriga y col., 1999):

- TI agua = 1 litro/niño
- TI suelo = 350 mg/niño
- TI polvo = 35 mg/niño
- TI sedimento= 35 mg/niño, la metodología no establece la tasa de ingesta para sedimento. Sin embargo, se decidió incluir la ruta por el impacto que tiene de los residuos mineros, al no existir un valor confiable en la literatura se utilizo un factor de incertidumbre de 10 con factor de ingesta de suelo.

FE es el factor de exposición e incluye datos de biodisponibilidad y temporalidad. En este caso al no contar con datos de biodisponibilidad se utilizaron los resultados de bioaccesibilidad; PC es el peso corporal (14 kg/niño).

A continuación se calculó el cociente de riesgo, como resultado del cociente de la dosis estimada de exposición total entre la dosis de referencia (RfD). La RfD

se obtuvo del banco de información IRIS (siglas en inglés del Sistema de Información Integrado de Riesgo), la cual es una dosis teórica para daño al Sistema Nervioso Central. Entre mayor sea el resultado, mayor es el riesgo a desarrollar el efecto adverso. El cálculo se hace a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Cociente de riesgo} = \frac{\text{Dosis de exposición}}{\text{RfD}}$$

Donde:

RfD es la dosis de referencia para daño al sistema nervioso central por vía oral con un valor de 0.14 mg/kg/día, valor que se obtiene del cociente de tasa de ingesta de 10mg/día y 70 kg de peso para adulto. La tasa de ingesta se determinó en base a estudios nutricionales realizados en Estados Unidos, Inglaterra y Holanda, siendo el valor más alto que se registró de ingesta de manganeso. Por lo que la RfD es un valor estimado para adultos, si se considera el valor de 1.5-2.2mg/día que establece la OMS como ingesta diaria recomendada para niños (4-6 años) y se divide entre el peso promedio de 14kg para niños (3-6años), se obtiene una dosis de referencia de 0.14mg/kg/día para niños, dando el mismo valor estimado para adultos. Es decir, la ingesta de manganeso se relaciona con el peso corporal, entre mayor sea el peso mayor será la tasa de ingesta. Por lo que se considera apropiado utilizar el valor de 0.14 mg/kg/día en la estimación de riesgo infantil, en función de la proporción que guarda el peso respecto a la ingesta y al cálculo de dosis de referencia infantil.

El nivel de contaminación se puede determinar comparando con valores de referencia, como normas nacionales, referencias internacionales o bien a través de un valor de referencia denominado Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG, por sus siglas en inglés). La EMEG no es una norma ambiental, se considera como una guía ambiental de máxima seguridad donde se considera la dosis a la cual el contaminante no causa efecto para su cálculo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{EMEG} = \frac{\text{RfD} \times \text{PC}}{\text{TI}}$$

5.6 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN MUESTRAS DE POLVO

Como se mencionó en la parte introductoria, el manganeso ingresa al organismo a través de la vía ingesta e inhalatoria, en el apartado 5.3 se considero evaluar la absorción de la vía ingesta. Sin embargo es importante evaluar mediante alguna herramienta la vía inhalatoria, por lo que se realizó la determinación del tamaño de partícula en las muestras de polvo. La información generada permitió suponer en que parte del tracto respiratorio podría depositarse y posiblemente ser absorbidas las partículas contenidas en las muestras de polvo.

La determinación se realizó a través de un analizador de partículas por difracción laser (SALD-1100, Shimadzu), el cual proporciona a través de una dispersión de la muestra en agua desionizada utilizando como agente dispersante el hexametafosfato de sodio, el tamaño de partícula de manera rápida y confiable, presentando el resultado como porcentaje de acuerdo al rango de diámetro de tamaño de partícula que se elija en la celda de trabajo. Se utilizó la celda B, la cual trabaja en el rango de 1-150 μm . Cada muestra se procesó por duplicado, previo al análisis las muestras deben ser tamizadas a un tamaño de partícula $<140\mu\text{m}$ con la finalidad de que el total de las partículas dispersadas, se encontraran dentro del rango de trabajo (1-150 μm).

6. RESULTADOS

6.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se seleccionaron tres comunidades que cumplieron con el requisito de encontrarse sobre la rivera del Río Claro y pertenecer al estado de San Luis Potosí, bajo el supuesto de que la población habitante en ellas por su cercanía e interacción con el Río se encuentra expuesta a manganeso lo que representaría un efecto adverso en su salud. Las comunidades pertenecen al municipio de Tamazunchale, siendo: Santa María Picula, Tenexco y Texojol. Además se muestreo en la colonia W (dentro de la ciudad de Tamazunchale) y la comunidad de Cuatlamayan perteneciente al municipio de Tancanhuitz de Santos. La comunidad de Cuatlamayan presenta características socioculturales y económicas parecidas a las comunidades de estudio, además de no estar impactada por actividad minera ni por el Río Claro, por lo que se le consideró como comunidad de referencia que a diferencia de la colonia W, la cual es una comunidad urbana con características socioculturales y económicas semejantes a las comunidades donde se estimó el riesgo.

En la Fig. 5 se observa la ubicación de la unidad minera de Molango y Nonoalco respecto la comunidad de Santa María Picula dentro del municipio de Tamazunchale, así como de la comunidad de Cuatlamayan propuesta como sitio de referencia.



Figura 5. Localización del área de estudio

En la Fig. 6 se observa el paso del Río Claro por las comunidades de Santa María Picula, Tenexco y Texojol, así como la unión al efluente del Río Amajac dando lugar a la corriente Amajac/Claro que atraviesa por la ciudad de Tamazunchale (Colonia W). En la ciudad de Tamazunchale la corriente se une al Río Moctezuma, la cual es una corriente con mayor flujo de agua.

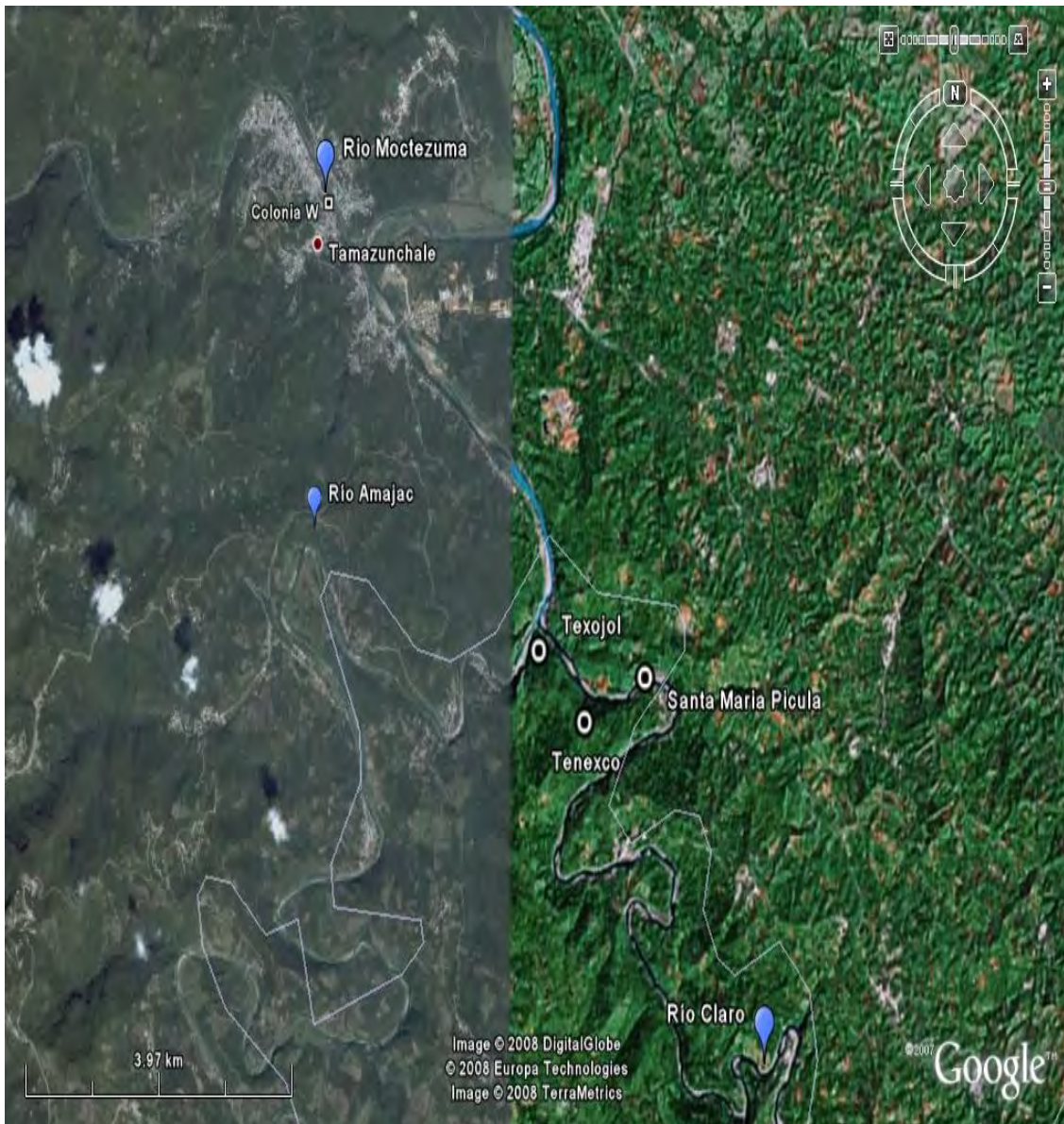


Figura 6. Ubicación de las comunidades respecto al Río claro

La distancia estimada en línea recta de la comunidad de Santa María Picula hacia la unidad de Molango es de 27.4 Km aproximadamente, mientras que la distancia que se tiene del sitio de referencia de Cuatlamayan hacia la unidad Molango se estima de 78 Km, es decir aproximadamente tres veces mayor.

Mediante fuentes bibliográficas y visitas al sitio se investigó sobre los factores que pudieran influir en el destino y transporte de manganeso. La encuesta que se aplicó a la población se presenta en el Anexo 1.

Índice de precipitación anual. En referencia al registro mensual de precipitación pluvial en mm del año 1961 a 2004. El mes que presenta menor precipitación

es Febrero con 43.0 mm, seguido de Enero, Febrero y Diciembre (46.8, 51.9 y 54.4 respectivamente). El mes que presenta mayor precipitación es Septiembre con 425.4 mm, seguido de Junio, Agosto y Julio (298.6, 277.3 y 258.5 mm respectivamente).

Clima. De acuerdo al conjunto de datos geográficos de la Carta de Climas, 1:1000000, el municipio presenta en un 51.21% de su superficie clima semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano y en 48.79% de su superficie un clima semicálido húmedo con lluvias todo el año.

Velocidad y dirección de los vientos. La Comisión Nacional de Agua, cuenta con un registro eólico diario que se genera de la estación meteorológica de Tamamatla, municipio de Tamazunchale. Sin embargo debido a la geomorfología del terreno esta información no es representativa de las comunidades, por lo que no es posible contar con un patrón de vientos para el área de estudio.

Características geomorfológicas. De acuerdo al conjunto de datos geográficos de la carta geológica 1:250 000, el municipio se localiza en la sierra madre oriental. Un 92.99% de su superficie presenta sistema de topofomas de sierra, mientras que tan solo el 7.01% presenta topofoma de valle.

Características hidrogeológicas. De acuerdo al conjunto de datos geográficos de la carta hidrológica de aguas superficiales 1:250 000, el municipio pertenece a la región hidrológica del Panuco.

Canales de aguas superficiales. Se localiza en la cuenca del río Moctezuma, presentado como subcuenca el Río Moctezuma, Río Axtla y Río San Pedro. Dentro de él se localizan las siguientes corrientes permanentes de agua: Río Moctezuma, Río Amajac. Río Claro y Río Atlamatl.

Información demográfica. Las comunidades pertenecen al municipio de Tamazunchale, el cual se localiza dentro de la microrregión de la Huasteca Sur con una superficie de 349.60 Km². El municipio de Tamazunchale colinda al

norte con los municipios de Matlapa, Tampacán y San Martín Chalchicuautla; al este con el municipio de San Martín Chalchicuautla y el estado de Hidalgo; al sur con el estado de Hidalgo; al oeste con el estado de Hidalgo y el municipio de Matlapa.

Dentro de Tamazunchale se encuentran 253 comunidades de las cuales el 82.5% presentan menos de 500 habitantes. El municipio de acuerdo al Consejo Nacional de Población, presenta un índice de marginación alto (representa las privaciones que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes). En cuanto a este rubro el municipio presenta un 58% de habitantes en viviendas sin agua entubada, 46.3% en viviendas con piso de tierra y 43.8% de población indígena Náhuatl (INEGI, 2005). En la Tabla 5, se presentan los datos demográficos para cada comunidad de acuerdo al 2^{do} conteo de población y vivienda, 2005:

Tabla 5. Datos demográficos para cada comunidad

Parámetro	Comunidad		
	Santa María Picula	Tenexco	Texojol
Población total	922	404	417
Población indígena	897	398	413
Hogares	193	83	65
Niños 0-4 años	123	48	60
Niños 5-14 años	276	95	140

Se considera a la población infantil como un grupo vulnerable, debido a que es un organismo en proceso de maduración resulta blanco de eventos de daño por la presencia de contaminantes, específicamente al sistema nervioso central, siendo éste el daño toxicológico asociado a la exposición a manganeso. Los niños en sus actividades cotidianas presentan mayor contacto a las matrices ambientales evaluadas que el resto de la población incrementando así su vulnerabilidad.

En Agosto de 2006 se realizó el primer acercamiento con las autoridades locales, se les explicó en que consistía el proyecto, así como los objetivos y la metodología. Garantizándoles que la información generada se manejaría de manera confidencial, además de que no se trabajaría en la comunidad sin su previo consentimiento. Se estableció el compromiso de entregar el resultado de manera individual, además de explicarles a la comunidad en su conjunto los resultados y darles una plática sobre la interpretación de los mismos.

Las autoridades, después de una consulta con la comunidad, permitieron llevar a cabo el muestreo ambiental y biológico. De tal manera que se realizaron dos muestreos, que corresponden a la temporada de secas y lluvias, con la finalidad de evaluar el comportamiento de manganeso bajo condiciones climáticas diferentes.

Durante el primer muestreo, se aplicó una encuesta por familia al padre o madre del niño que en ese momento proporcionó la muestra biológica. El propósito de la encuesta fue conocer el grado de interacción y percepción que la población tiene del río como un recurso vital. El diseño de la encuesta así como las respuestas a la misma se presenta en el Anexo 1. A continuación se presenta una breve descripción de las respuestas obtenidas en las encuestas:

– En la comunidad de Santa María Picula el agua del río se bombea hacia un tanque, del cual sale una línea distribución hacia cada uno de los hogares de la comunidad. Las personas acostumbran a hervir el agua y beberla, mencionan que en algunas ocasiones cuando se tienen problemas con la red de distribución excavan pozos cercanos al río para mediante filtración natural obtener agua. Utilizan el río como recurso para obtener alimentos, tales como: mojarra, cosoles y acamayas. Además de lavar ropa, trastes y bañarse en río, no refieren ninguna afectación al estar en contacto con el agua

– En la comunidad de Tenexco bombean agua de un manantial cercano a la comunidad a través de una línea de distribución que llega hasta los hogares. Las personas hierven el agua y la consumen, casi nunca falla la línea de distribución pero cuando esto ocurre excavan un pozo cercano al río para

obtener agua. Del río obtienen recursos alimenticios como cosoles y en menor medida acamayás. Algunas personas refieren la aparición ocasional de ronchas y la presencia de comezón cuando lavan ropa, trastes o se bañan en el río.

– En la comunidad de Texojol excavan un pozo en la orilla del río y por filtración natural las personas obtienen el agua acarreándola con botes y cubetas a sus casas. Cuando el pozo ya no tiene agua excavan otro, por lo que a lo largo de la rivera se observan varios pozos abandonados. La población refiere que de manera ocasional consume cosoles que obtienen del río, además de lavar trastes, ropa y bañarse, algunas personas menciona la aparición de ronchas al contacto y un olor desagradable cuando el agua del río se observa agitada.

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MANGANESO EN DIFERENTES MATRICES AMBIENTALES

6.2.1 Muestreo

- El primer muestreo (temporada de lluvias) se realizó del 29 de Agosto al 1 de Septiembre de 2006, en las comunidades de Santa María Picula, Tenexco, Texojol y la colonia W. Siendo la temporada donde se registra mayor precipitación.
- El segundo muestreo (temporada de secas) se realizó del 19 al 22 de Marzo de 2007, en las comunidades de Santa María Picula, Tenexco, Texojol y la colonia W. Siendo la temporada donde se registra menor precipitación.
- Del 18 al 20 de Noviembre de 2007, se realizó un muestreo en la comunidad Cuatlamayan.

En la Tabla 6, se presenta el número de muestras colectadas para las distintas matrices ambientales en cada uno de los muestreos. Se observa que el número de muestra aumenta en la temporada seca para la matriz suelo, debido a que en el muestreo en temporada de lluvias fue la matriz que presentó las más altas concentraciones de manganeso, por lo que se decidió aumentar el tamaño de muestra para reforzar el resultado.

Tabla 6. Relación de muestras colectadas en los diferentes muestreos

Tipo de muestra		Comunidad									Total
		Santa María Picula		Tenexco		Texojol		Colonia W		Cuatlamayan	
		1 ^{ro}	2 ^{do}	1 ^{ro}	2 ^{do}	1 ^{ro}	2 ^{do}	1 ^{ro}	2 ^{do}	Único	
Ambiental	Agua de río	1	1	1	1	1	--	2	1	1	9
	Agua de consumo	2	--	2	2	1	1	--	--	1	9
	Polvo	8	8	10	24	9	8	--	--	5	72
	Sedimento	2	1	1	1	1	1	1	1	--	9
	Suelo	2	6	2	6	2	5	2	--	5	30
Biológico	Orina	17	16	19	23	16	20	--	--	6	117

1^{ro}: Temporada de lluvias

2^{do}: Temporada de secas

Una vez colectadas las muestras se procedió a la caracterización de la contaminación mediante la cuantificación de manganeso, de acuerdo a la metodología citada.

6.2.2 Cuantificación de manganeso

– Agua de río

En cuanto a los resultados obtenidos se observa que el manganeso presente en el agua de río para las distintas comunidades en ambas temporadas no supera el valor permisible de la Norma Oficial Mexicana que como es evidente es más estricto que el recomendado por la OMS. En la Tabla 7, se presentan las concentraciones de manganeso obtenidas para cada muestra.

Tabla 7. Concentración de manganeso en agua de río en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad

Comunidad	Temporada	n	manganeso (µg/L)
Santa María Picula	Lluvias	1	36.2
	Secas	1	26.6
Tenexco	Lluvias	1	14.2
	Secas	1	38.7
Texojol	Lluvias	1	< 3.4
Colonia W	Lluvias	2	16.1 – 31.3*
	Secas	1	10.0
Cuatlamayan	Lluvias	1	< 3.4

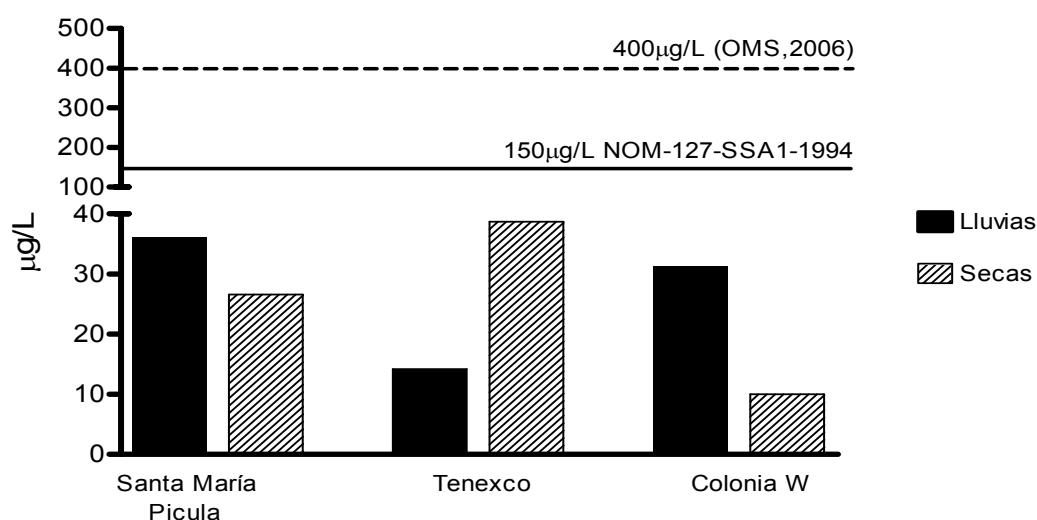
Límite de cuantificación: 3.4 µg/L

* Rango

**NOM-127-SSA1-1994

En la Fig. 7, se observa la concentración media de manganeso detectada en muestras de agua de río, la concentración más alta de Tenexco en temporada de secas se encuentra por debajo del valor guía más estricto e incluso en la comunidad de Texojol y Cuatlamayan, el valor se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método.

Figura 7. Niveles de manganeso detectados en agua de río en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad



Nota: El nivel de manganeso detectado en Texojol y Cuatlamayan se encuentra por debajo del límite de cuantificación (<3.4 µg/L).

– Agua de consumo humano

En Santa María Picula se tomaron 2 muestras una directamente del tanque de distribución donde se almacena el agua del río y otra del grifo de uno de los hogares que se abastecen del mismo tanque de distribución. En la comunidad de Tenexco se colectó la muestra directamente del manantial y del grifo de un hogar. En la comunidad de Texojol, únicamente se colectó una muestra debido a que la población consume agua del río a través de filtración natural. En la Tabla 8 se presentan los valores detectados de manganeso en agua para cada comunidad, de acuerdo a los valores de referencia que se tienen de manganeso para agua de consumo por la OMS y la NOM-127-SSA1-1994, se observa que en ninguna de las muestras colectadas se rebasa el valor de referencia que incluso la muestra más elevada que se detectó en Texojol, se encuentra muy por debajo del valor de referencia (19.9 µg/L).

Tabla 8. Concentración de manganeso en agua de consumo en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad

Comunidad	Temporada	n	manganeso (µg/L)
Santa María Picula	Lluvias	2	4.9 - 14.0*
Tenexco	Lluvias	2	< 3.4
	Secas	2	< 3.4
Texojol	Lluvias	1	19.9
	Secas	1	8.7
Cuatlamayan	Lluvias	1	< 3.4

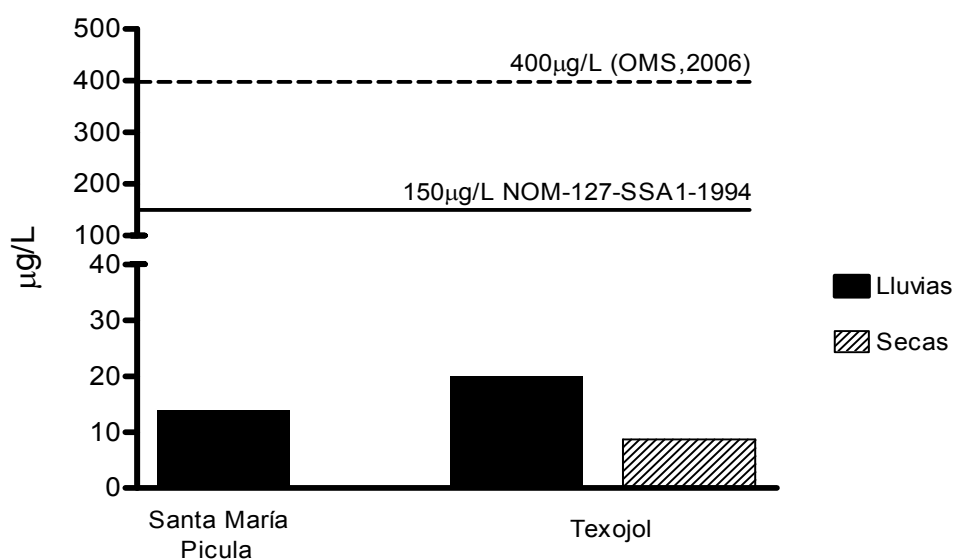
Límite de cuantificación: 3.4 µg/L

* Rango

**NOM-127-SSA1-1994

En la Fig. 8, se observa la concentración media de manganeso detectada en las muestras de agua de consumo, la concentración más alta detectada que corresponde a la comunidad de Texojol en temporada de lluvias se encuentra por debajo del valor guía más estricto. Para la comunidad de Tenexco y Cuatlamayan el valor es menor y no fue posible su cuantificación, por encontrarse debajo del límite de cuantificación.

Figura 8. Niveles de manganeso detectados en agua de consumo en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad



Nota: El nivel de manganeso detectado en Tenexco y Cuatlamayan se encuentra por debajo del límite de cuantificación (<3.4 µg/L).

– Sedimento

En la Tabla 9 se presenta la media de la concentración de manganeso para cada comunidad, el resultado se comparó con el valor de referencia de suelo debido a que en la literatura no se cuenta con un nivel basal de manganeso en sedimento, de tal manera que en todas las muestras analizadas se rebasa el valor de referencia. En la colonia W, se presenta un decremento importante propiciado posiblemente por un efecto de dilución al unirse con el Río Amajac. En cuanto a las comunidades de Santa María Picula y Tenexco, se observa una mayor concentración en la temporada de secas, lo cual coincide con lo reportado en el estudio de Riojas (2004), donde se registró un aumento en la concentración al final de la temporada seca. Respecto a Texojol se observa una mayor concentración en temporada de lluvias, posiblemente se debe a que el sitio donde se tomó la muestra corresponde a una zona del río donde por su propio cauce y corriente se propicia la acumulación de manganeso lo que explicaría el aumento de la concentración respecto al resto de las comunidades. Los valores determinados en la zona se encuentran dentro del rango registrado en estudios anteriores (Mejía-Saavedra y col., 2005).

Tabla 9. Concentración de manganeso en sedimento en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad

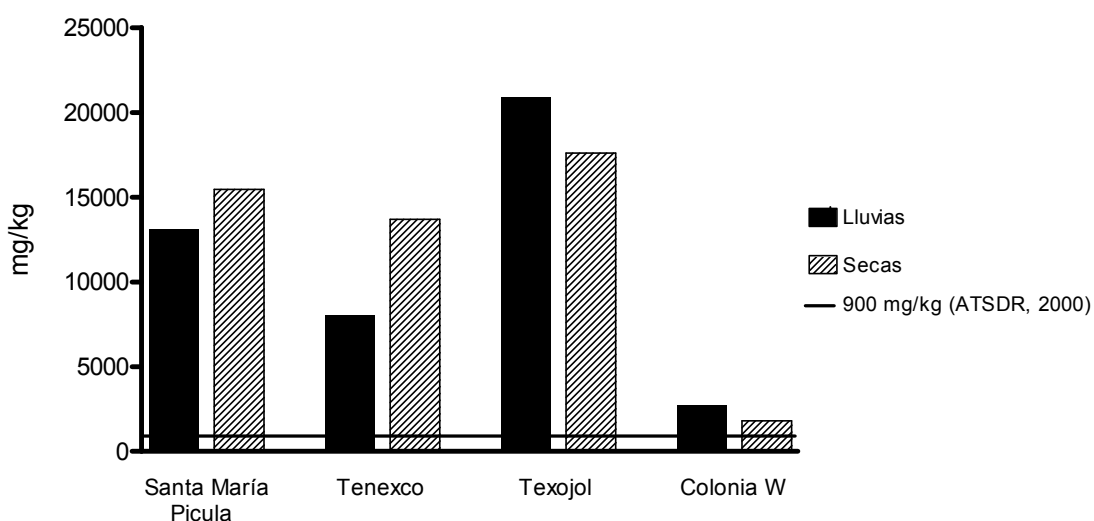
Comunidad	Temporada	n	manganeso (mg/kg)	%>900 mg/kg**
Santa María Picula	Lluvias	2	4488.3 – 13154.2*	100
	Secas	1	15455.1	100
Tenexco	Lluvias	1	8016.1	100
	Secas	1	13691.2	100
Texojol	Lluvias	1	20900.2	100
	Secas	1	17602.5	100
Colonia W	Lluvias	1	2724.4	100
	Secas	1	1794.9	100

* Rango

** ATSDR, 2000

En la Fig. 9, se observa que la concentración detectada en las comunidades es superior a la detectada en la comunidad de referencia. Considerando que Cuatlamayan no tiene contacto con el Río claro, ni registro de ser área manganesífera es normal encontrar niveles dentro del rango basal, mientras que las concentraciones elevadas de las comunidades son reflejo del impacto que se tiene por el arrastre de los residuos mineros que contienen manganeso.

Figura 9. Niveles de manganeso detectados en sedimento en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad



– Suelo

En cuanto a las muestras de suelo, se observa al igual que para las muestras de sedimento, se rebasa el valor de referencia (ATSDR, 2000). En la Tabla 10, se observa que para las comunidades de Santa María Picula, Tenexco, Texojol y colonia W, se rebasa el valor de referencia, mientras que para Cuatlamayan la concentración de manganeso detectada se encuentra dentro del valor considerado como normal para una zona no impactada por manganeso.

Tabla 10. Concentración de manganeso en suelo en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad

Comunidad	Temporada	n	manganeso (mg/kg: media ± DE)	%>900 mg/kg**
Santa María Picula	Lluvias	2	22127.2 – 23737.7*	100
	Secas	6	13080.2 ± 5958.7	100
Tenexco	Lluvias	2	8350.2 – 10453.2*	100
	Secas	6	8411.0 ± 5880.5	100
Texojol	Lluvias	2	2712.6 – 2938.6*	100
	Secas	5	8517.3 ± 4498.7	100
Colonia W	Lluvias	2	5560.2 – 6024.0*	100
Cuatlamayan	Lluvias	5	394.7 ± 59.7	0

DE: Desviación estándar

* Rango

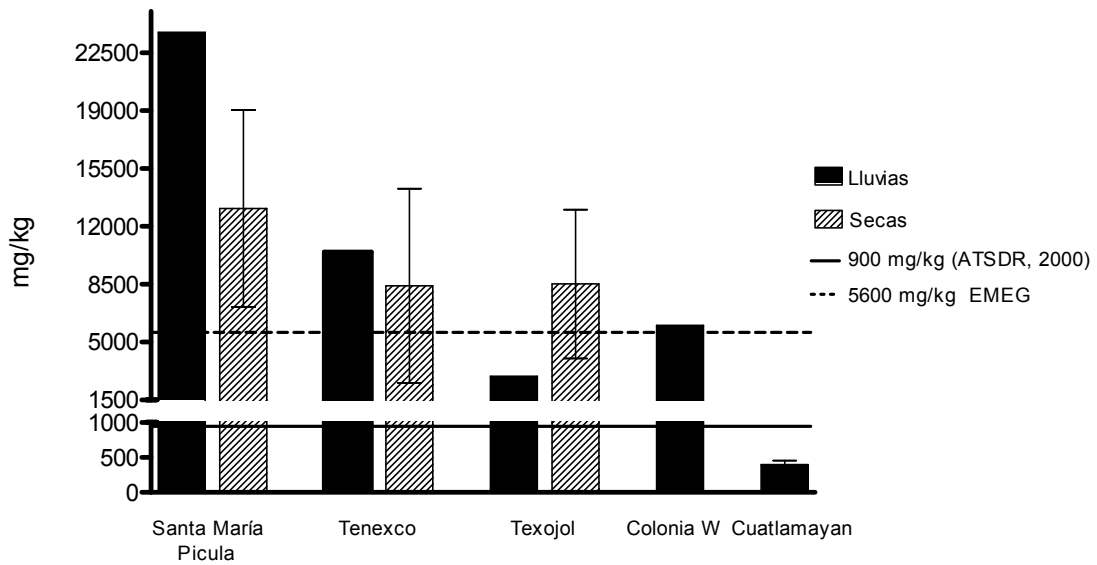
** ATSDR, 2000

De manera general se presenta una tendencia de disminución conforme aumenta la distancia de los residuos mineros, en ambas temporadas (Fig. 9), sin embargo en la colonia W durante la temporada de lluvias se presenta una mayor concentración a la reportada en Texojol durante la misma temporada que se encuentra a una distancia menor, posiblemente como consecuencia de morfología del terreno que influye en favorecer zonas de acumulación de sedimento y que por lo tanto se de un incremento en la concentración de manganeso.

Por otro lado, se cálculo la EMEG para suelo, obteniéndose un valor de 5600 mg/kg como guía ambiental de máxima seguridad que como se apreciar en la Fig. 10 se rebasa en Santa María Picula, Tenexco y Texojol. Indicando que el

manganeso contenido en el suelo es la principal ruta de exposición de las evaluadas y que la estimación de riesgo permitirá definir su implicación en la exposición.

Figura 10. Niveles de manganeso detectados en suelo en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad



– Polvo

En la Tabla 11, se aprecian los resultados obtenidos de la concentración de manganeso en cada comunidad, con los encontrados en la comunidad de referenciase (Cuatlamayan), donde se presentó una diferencia de por lo menos seis veces, lo cual evidencia la contaminación que se tiene de manganeso en el área de estudio.

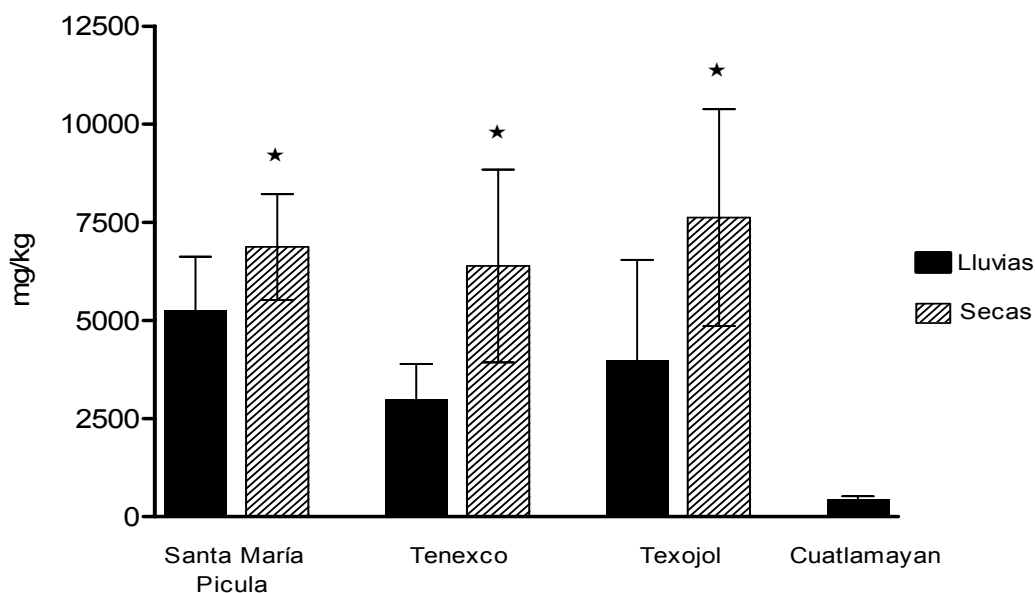
Tabla 11. Concentración de manganeso en polvo exterior de vivienda en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad

Comunidad	Temporada	n	manganeso (mg/kg: media ± DE)
Santa María Picula	Lluvias	8	5271.7 ± 1355.5
	Secas	8	6871.0 ± 1345.0
Tenexco	Lluvias	10	3005.1 ± 886.4
	Secas	24	6384.7 ± 2456.2
Texojol	Lluvias	9	3996.9 ± 2546.6
	Secas	8	7618.8 ± 2764.5
Cuatlamayan	Lluvias	5	452.2 ± 63.7

DE: Desviación estándar

En la Fig. 11 se presenta la concentración detectada, en cuanto a las dos temporadas se observa una diferencia significativa ($P < 0.05$), entre el muestreo realizado en temporada de secas y lluvias. Lo cual, hace suponer que durante la temporada de secas existe una mayor exposición por esta ruta hacia la población. El incremento podría deberse a la reducción del cauce del río por disminución de la precipitación y aumento de la temperatura.

Figura 11. Niveles de manganeso detectados en polvo exterior de vivienda en temporada de lluvias y secas para cada comunidad



En las tres comunidades se presentó una diferencia significativa* ($P < 0.05$) entre la media de manganeso en polvo de la temporada de secas y de lluvias. Observándose un mayor impacto durante la temporada seca. Prueba t-student variables independientes; GraphPad Prism.

6.3 CUANTIFICACION DE MANGANESO EN ORINA, COMO INDICADOR BIOLÓGICO DE ABSORCIÓN.

En la Tabla 12, se presentan los resultados de cuantificación de manganeso en orina para las tres comunidades evaluadas, detectándose individuos con concentración de manganeso por arriba del valor de referencia de $0.12-20 \mu\text{g/L}$ (Caroli, 1994). Siendo resultado de la evidencia de que la contaminación por manganeso registrada en las matrices ambientales está siendo absorbida por la población infantil, mientras que en la comunidad de referencia no se presentó ningún individuo de los evaluados por encima del valor de referencia. Al comparar los resultados obtenidos en Santa María Picula, Tenexco y Texojol contra Cuatlamayan, se observó que todos los individuos evaluados están por arriba del valor reflejando el nivel de exposición como consecuencia del arrastre de los residuos mineros que contienen manganeso.

En cuanto a los resultados obtenidos en las distintas temporadas, en la Fig. 12 se observó que para las comunidades de Santa María Picula y Tenexco existe una diferencia significativa, mientras que para Texojol no existe. De acuerdo al

comportamiento observado en las tres comunidad se detectaron individuos por encima del valor de referencia, siendo más elevado el porcentaje en Santa María Picula donde se presentaron individuos con concentración de manganeso en orina seis veces por arriba de la concentración detectada en la comunidad de referencia, siendo reflejo de la exposición a manganeso. En Texojol se encontraron concentraciones de manganeso en orina similares a Santa María Picula pero en un menor porcentaje de individuos, mientras que en Tenexco se detectaron las concentración de manganeso en orina y porcentaje de población menor en comparación con las otras dos comunidades.

Tabla 12. Concentración de manganeso en orina en temporada de lluvias y de secas para cada comunidad

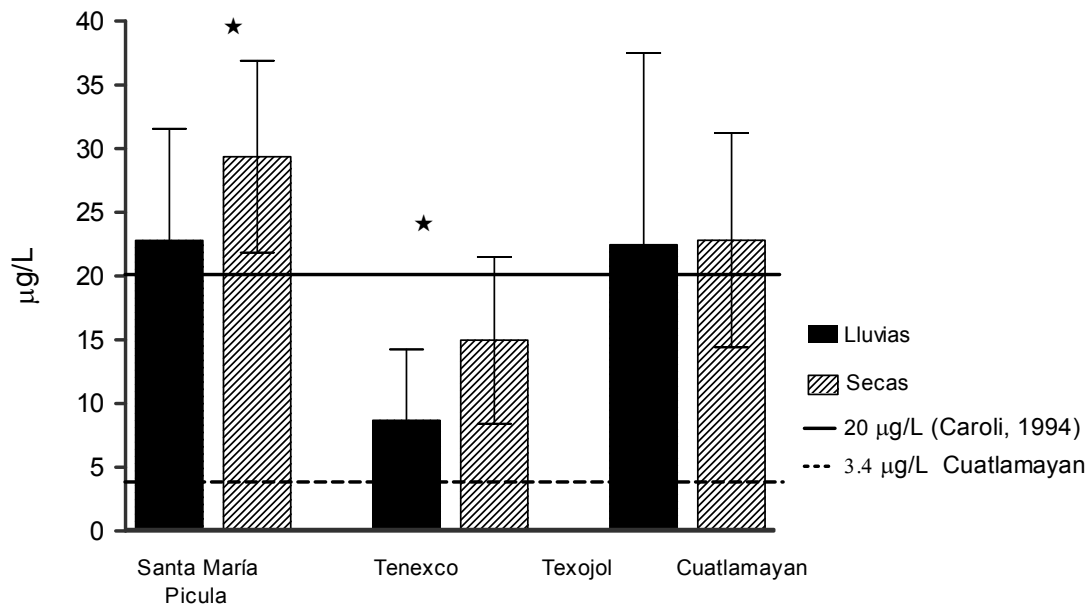
Comunidad	Temporada	n	manganeso ($\mu\text{g/L}$: media \pm DE)	% > 20 $\mu\text{g/L}$*
Santa María Picula	Lluvias	17	22.8 \pm 8.8	58.8
	Secas	16	29.4 \pm 7.5	93.7
Tenexco	Lluvias	19	8.7 \pm 5.6	0
	Secas	23	15.0 \pm 6.5	17.4
Texojol	Lluvias	16	22.4 \pm 15.1	56.2
	Secas	20	22.8 \pm 8.4	57.9
Cuatlamayan	Lluvias	6	< 3.4	0

Límite de cuantificación: 3.4 $\mu\text{g/L}$

DE: Desviación estándar

**Caroli, 1994

Figura 12. Niveles de manganeso detectados en orina en temporada de lluvias y secas para cada comunidad



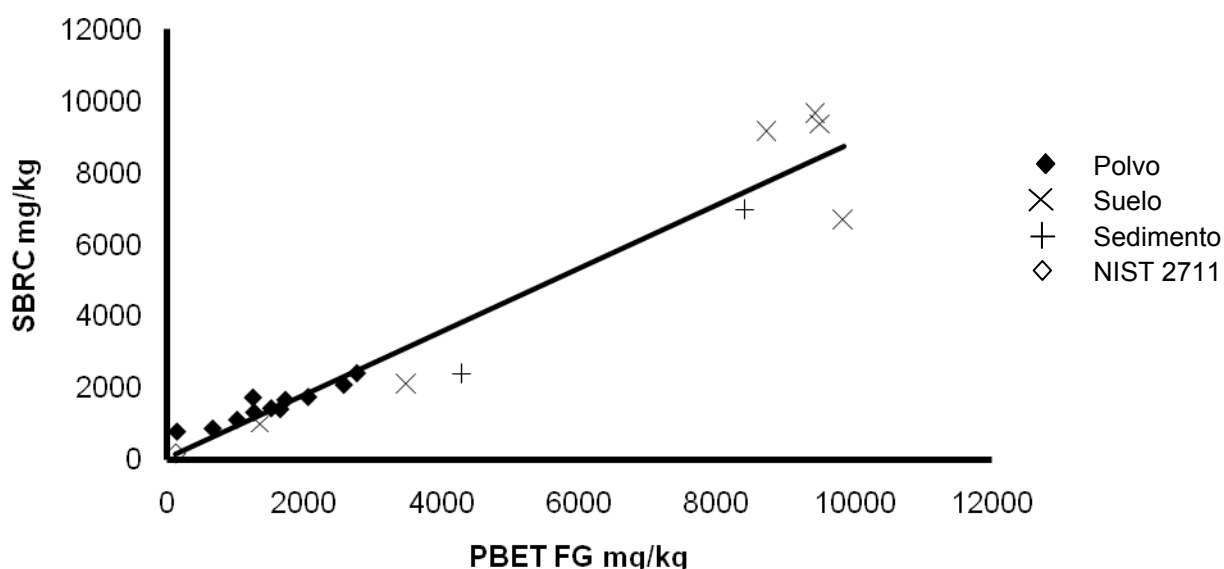
En las comunidades de Santa María Picula y Tenexco se presentó una diferencia significativa* ($P < 0.05$), entre el muestreo realizado en temporada de secas y lluvias. Observando un mayor impacto durante la temporada seca. Mientras que en la comunidad de Texojol, no se observó diferencia significativa ($P > 0.05$). *Prueba t-student variables independientes. GraphPad Prism.

6.4 ESTIMACIÓN DE LA BIOACCESIBILIDAD, SIMULANDO LAS CONDICIONES GASTROINTESTINALES HUMANAS

Los resultados presentados en la Fig. 13, corresponden a las 20 muestras de sedimento, suelo y polvo seleccionadas en base a la cantidad que se tenía de muestra, debido a que ambos métodos (PBET y SBRC) fueron implementados para manganeso. Después de procesar las mismas 20 muestras por ambos métodos se cuantificó el manganeso de la fracción soluble, presentándose un comportamiento semejante en la fase gástrica por los dos métodos, mientras que la fase intestinal por el método PBET presentó en promedio 1.3% de bioaccesibilidad, siendo menor al presentado en la fase gástrica. De tal manera que asumiendo el escenario de mayor riesgo se decidió procesar el resto de las muestras simulando la fase gástrica. Al comparar el resultado obtenido de la regresión lineal para la fase gástrica por ambos métodos se encontró un coeficiente de correlación de 0.964 y una pendiente cercana a la unidad

(0.883). La media de los resultados se comparó a través de la Prueba t-student variables independientes; (GraphPad Prism), indicando que no existe una diferencia significativa ($P>0.05$).

Figura 13. Fracción soluble de manganeso bajo condiciones que simulan la fase gástrica a través de los métodos PBET y SBRC



FG: Fase gástrica

En la Fig. 13, se muestra la comparación del método PBET FG (Fase gástrica) contra el método SBRC. La gráfica representa la concentración de manganeso detectada en la fracción soluble, expresada en mg/kg.

Una vez que se eligió el método se procedió a estimar la fracción bioaccesible para el total de muestras de polvo, suelo y sedimento. En la Tabla 13, se presenta la fracción bioaccesible a través del método SBRC (fase gástrica). Se presenta el porcentaje obtenido para cada matriz analizada en los distintos muestreos por comunidad.

Tabla 13. Bioaccesibilidad de manganeso por el método SBRC

Comunidad	Temporada	Sedimento		Suelo		Polvo	
		n	%	n	% ± DE	n	% ± DE
Santa María Picula	Lluvias	2	47.4	2	42.1	7	54.9±3.7
	Secas	1	45	6	42.6±3.5	8	44.5±7.6
Tenexco	Lluvias	1	46	2	47.1	10	48.7±5.3
	Secas	1	48.9	5	38.2±2.0	24	40.4±7.6
Texojol	Lluvias	1	31.6	2	35.0	9	47.2±10.5
	Secas	1	38.8	5	37.2±8.4	8	30.6±5.3
Colonia W	Lluvias	1	31.9	2	36.0	--	--
	Secas	1	48.4	--	--	--	--
Cuatlamayan	Lluvias		--	5	41.4±3.2	5	38.4±2.6

%. Porcentaje bioaccesible

DE: Desviación estándar

En la Tabla 14 se presentan los valores de temporalidad y bioaccesibilidad de cada matriz para calcular el factor de exposición, de acuerdo a la metodología de estimación del riesgo en salud.

Tabla 14. Factor de exposición

Comunidad	Temporada	Sedimento			Suelo			Polvo		
		T	B	FE	T	B	FE	T	B	FE
Santa María Picula	Lluvias	1	0.47	0.47	1	0.42	0.42	1	0.55	0.55
	Secas	1	0.45	0.45	1	0.43	0.43	1	0.44	0.44
Tenexco	Lluvias	1	0.46	0.46	1	0.47	0.47	1	0.49	0.49
	Secas	1	0.49	0.49	1	0.38	0.38	1	0.40	0.40
Texojol	Lluvias	1	0.32	0.32	1	0.35	0.35	1	0.47	0.47
	Secas	1	0.39	0.39	1	0.37	0.37	1	0.31	0.31
Colonia W	Lluvias	1	0.32	0.32	1	0.36	0.36	1	--	--
	Secas	1	0.48	0.48	1	--	--	1	--	--
Cuatlamayan	Lluvias	1	--	--	1	0.42	0.42	1	0.38	0.38

T: Temporalidad

B: Bioaccesibilidad

FE: Factor de exposición

6.5 ESTIMACIÓN DE RIESGO

La estimación se realiza a través de 3 parámetros que incluyen: severidad del efecto en salud, relación dosis de exposición/RfD y población expuesta. De acuerdo a la severidad del efecto se define como: catastrófico, serio o adverso. El daño neurológico es considerado como serio, debido a que sin poner en riesgo la vida causa un problema de salud. La dosis estimada se calcula siguiendo un modelo matemático a través del método determinístico y en un segundo nivel se estima la población expuesta utilizando el método probabilístico sin embargo por la limitación del tamaño de muestra no fue posible realizarlo.

6.5.1 Método determinístico

En la Tabla 15 se presenta la matriz de cálculo para la estimación de la dosis de exposición y del cociente del riesgo. Se estimó el riesgo para cada matriz ambiental evaluada durante cada temporada considerando como factor de exposición el resultado de bioaccesibilidad y los valores teóricos de tasa de ingesta y peso corporal citados en la metodología (Díaz- Barriga y col., 1999).

Obtener un cociente de riesgo mayor a uno indica que la dosis estimada es mayor a la dosis de referencia, por lo que se considera que existe riesgo de presentar el efecto adverso en salud. De acuerdo a los resultados obtenidos la comunidad de Santa María Picula es la que presenta el valor más elevado de riesgo en ambas temporadas, mientras que Tenexco y Texojol presentan un cociente de riesgo mayor a uno en la temporada seca.

Tabla 15. Dosis de exposición estimada y dosis total para cada matriz ambiental en temporada de lluvias y secas, así como cociente de riesgo

	DOSIS DE EXPOSICIÓN ESTIMADA PARA CADA MATRIZ (mg / kg / día)						Dosis Total (mg/kg /día)	Cociente de riesgo
	Temporada	Agua Consumo	Agua Río	Sedimento	Suelo	Polvo		
Santa María Picula	Lluvias	0.00249	0.00100	0.01559	0.24136	0.00948	0.27002	1.929
	Secas	0.00190	NA	0.01739	0.21809	0.00986	0.24725	1.766
Tenexco	Lluvias	0.00101	0.00029	0.00922	0.11070	0.00563	0.12686	0.906
	Secas	0.00276	0.00029	0.01674	0.18531	0.01244	0.21754	1.554
Texojol	Lluvias	0.00029	0.00142	0.01651	0.02472	0.01204	0.05498	0.393
	Secas	NA	0.00062	0.01707	0.11378	0.00913	0.14060	1.004
Colonia W	Lluvias	0.00224	NA	0.00217	0.05213	NA	0.05654	0.404
	Secas	0.00071	NA	0.00215	NA	NA	0.00289	0.0241
Cuatlamayan	Lluvias	0.00029	0.00029	NA	0.00468	0.00054	0.00579	0.041

6.6 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

En la Tabla 16, se presenta el promedio del porcentaje de partículas con diámetro <1 y <9 µm para las muestras de polvo correspondientes a cada temporada. Es importante recordar que el 100% representa el total de partículas con diámetro <140 µm, sin embargo no fue posible considerar de la muestra total el porcentaje correspondiente a partículas con diámetro <140 µm, por lo que el resultado debe ser interpretado con sus reservas debido a que se desconoce en realidad que parte de la muestra representa. En la literatura se reporta que la absorción a nivel alveolar se da a partir del depósito de partículas con diámetro <10 µm, sin embargo se presentan resultados <9 µm debido a que es el tamaño más cercano proporcionado por el instrumento.

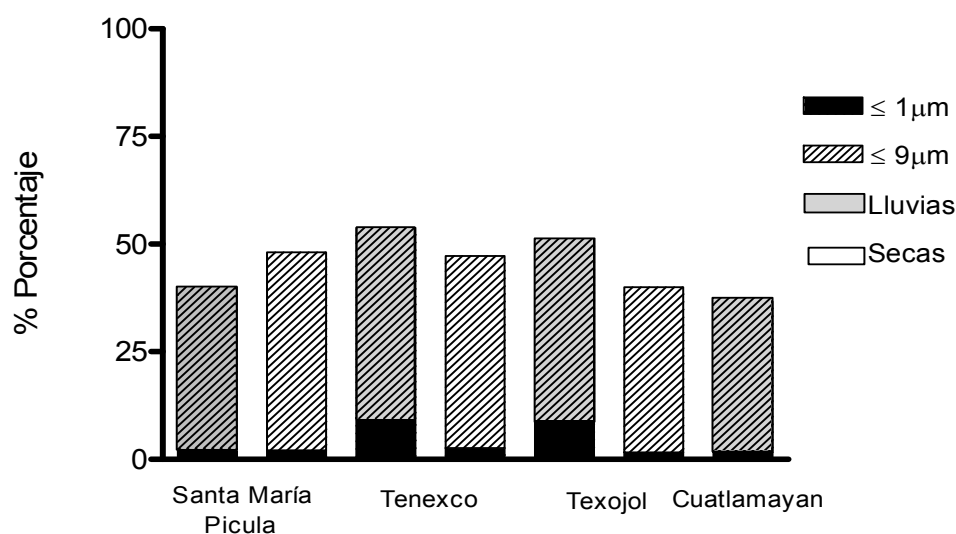
Tabla 16. Porcentaje de partículas con diámetro menor a 9 µm y 1 µm en polvo exterior de vivienda en temporada de lluvias y secas para cada comunidad

Comunidad	Temporadas	n	% Partícula ± DE	
			< 1 µm	< 9 µm
Santa María Picula	Lluvias	4	1.6 ± 0.1	35.1 ± 4.5
	Secas	7	1.6 ± 0.2	38.4 ± 8.9
Tenexco	Lluvias	10	9.7 ± 0.3	41.3 ± 8.0
	Secas	24	2.6 ± 3.1	44.6 ± 8.4
Texojol	Lluvias	9	9.6 ± 0.4	44.2 ± 6.1
	Secas	8	2.1 ± 0.1	46.0 ± 8.6
Cuatlamayan	Lluvias	4	2.0 ± 0.04	37.9 ± 7.5
Promedio			4.2 ± 1.1	41.1 ± 1.6

DE: Desviación estándar

En la Fig. 14, se observa el mayor porcentaje de partículas <1µm en las comunidades de Tenexco y Texojol para la temporada de lluvias, mientras que en el resto de las categorías se observa un promedio de 4.2% de partículas dentro de dicho rango. Los resultados hacen suponer que un porcentaje importante de las partículas corresponden a la fracción <10µm, lo cual adquiere relevancia al conocer la toxicidad que representa la absorción de manganeso por la vía inhalatoria y bulbo olfatorio. La determinación del tamaño de partícula presenta limitaciones debido a que al dispersarse la muestra no es posible recuperarla y así poder cuantificar el manganeso contenido en esa fracción. De tal manera que el resultado evidenció la presencia de partículas con un diámetro que pueden ser absorbidas vía inhalatoria pero que por las limitaciones que se mencionaron de la prueba no fue posible conocer el grado de exposición por dicha vía.

Figura 14. Porcentaje de partículas de acuerdo a su diámetro en muestra polvo exterior de vivienda en temporada de lluvias y secas para cada comunidad



A continuación se presenta en la Tabla 17, se presenta un resumen de los resultados generados de la caracterización del riesgo, siendo: cociente de riesgo, porcentaje de individuos con manganeso en orina por arriba del valor de referencia y porcentaje de partículas con diámetro $<1\ \mu\text{m}$ y $<9\ \mu\text{m}$.

Tabla 17. Tabla resumen de resultados

Comunidad	Temporada	Cociente de riesgo	Indicador biológico % $> 20\ \mu\text{g/L}$	% Partícula \pm DE	
				$< 1\ \mu\text{m}$	$< 9\ \mu\text{m}$
Santa María Picula	Lluvias	1.929	58.8	1.6 ± 0.1	35.1 ± 4.5
	Secas	1.766	93.7	1.6 ± 0.2	38.4 ± 8.9
Tenexco	Lluvias	0.906	0	9.7 ± 0.3	41.3 ± 8.0
	Secas	1.554	17.4	2.6 ± 3.1	44.6 ± 8.4
Texojol	Lluvias	0.393	56.2	9.6 ± 0.4	44.2 ± 6.1
	Secas	1.004	57.9	2.1 ± 0.1	46.0 ± 8.6
Cuatlamayan	Lluvias	0.041	0	2.0 ± 0.04	37.9 ± 7.5

7. DISCUSION

La concentración de manganeso detectada en agua del río y consumo, no representa un riesgo a la población una vez que la concentración se encuentran por debajo del valor permisible, incluso de la muestras más elevada detectada en Santa María Picula en la temporada de lluvias (36.2 µg/L). Los efectos en salud asociados a la exposición a manganeso vía ingesta por agua contaminada reportan valores de hasta 610 µg/L, asociados a hiperactividad y problemas de atención (Bouchard, 2007), o bien valores de 793 µg/L (Wasserman, 2006), asociados a disminución en la función intelectual. Bajo las condiciones en las que fue evaluado el río, no representa de manera individual una ruta de exposición importante. Sin embargo, de acuerdo al comportamiento ambiental del metal la solubilidad puede incrementarse por un aumento de acidez en el medio, lo cual es poco probable que ocurra a menos de que se trate de descargas industriales, siendo poco probable una disminución de pH por descargas residenciales. Si bien la ruta no representa un riesgo de manera individual, no se debe minimizar su aporte a la dosis total de exposición.

No se cuenta con un valor basal de manganeso en sedimento por lo que se decidió comparar con el valor basal de suelo (ATSDR, 2000), observando que la concentración detectada en sedimento para las tres comunidades (Santa María Picula, Tenexco y Texojol) e incluso la colonia W rebasa el valor de referencia. Se observó una disminución en la colonia W respecto a las tres comunidades, probablemente por un efecto de dilución al unirse al efluente del Río Amajac. En cuanto a las comunidades de Santa María Picula y Tenexco, se observó una mayor concentración en la temporada de secas, lo cual coincide con lo reportado en el estudio de Riojas (2004), donde se evidencia un aumento en la concentración al final de la temporada seca. Mientras que en Texojol disminuye la concentración en la temporada seca, siendo difícil establecer un patrón de comportamiento con base a las condiciones meteorológicas. Posiblemente los cambios en el contenido de manganeso se deban a la morfología del terreno que favorece un aumento o disminución en la velocidad del río originando así zonas de acumulación. De manera general los valores detectados en la zona coinciden con los reportados por Mejía-Saavedra

(2005), donde se demostró el impacto sobre el río. En el presente estudio se demuestra que el manganeso presente en sedimento, suelo y polvo puede llegar a solubilizarse hasta en un 40% bajo las condiciones gástricas humanas y por lo tanto puede ser absorbido por vía oral para la población que habita en las comunidades expuestas.

La concentración de manganeso detectada en suelo, evidencia el impacto que ocasiona el manganeso contenido en el sedimento sobre la matriz. El máximo valor establecido como basal es de 900 mg/kg (ATSDR 2000), 3 veces por debajo del menor valor detectado en la comunidad de Texojol durante la temporada de lluvias. El área de Hidalgo (Riojas, 2004), registró valores de hasta 16000 mg/kg en suelo, mientras que en los residuos mineros es de 290000 mg/kg. Es importante destacar que el valor normal se rebasa en las tres comunidades, incluso en la colonia W detectando concentraciones de hasta 22000 mg/kg. Mientras que en la comunidad de referencia se observan concentraciones de 395 mg/kg, consideradas como normal (ATSDR, 2000), lo cual evidencia la influencia de manganeso en el área como consecuencia del arrastre de los residuos mineros. Al comparar los resultados obtenidos con el valor de la EMEG Santa María Picula presenta niveles de manganeso en suelo 3 veces por arriba, mientras que Tenexco y Texojol niveles de manganeso 2 veces por arriba al, la EMEG se define como una guía ambiental de máxima seguridad y el detectar valores por arriba son evidencia del impacto que se esta teniendo por lo residuos mineros que contienen manganeso.

Se detectó una diferencia significativa de la concentración de manganeso en la matriz polvo durante las dos temporadas evaluadas, observándose un incremento durante la temporada seca donde se registraron concentraciones de hasta 7600 mg/kg, por arriba de 452 mg/kg detectadas en la comunidad de referencia. El análisis de partícula evidencia material más fino en la temporada de lluvias para la comunidad de Texojol y Tenexco, pero por las limitaciones de la prueba no fue posible cuantificar la concentración de manganeso en las fracciones determinadas. El porcentaje se obtuvo considerando el contenido de partículas <140 μm como el 100%, por lo que el resultado no represento el porcentaje de la muestra total de polvo. El resultado es evidencia de la

existencia de partículas finas, pero que no es reflejo de la muestra total ni del contenido de manganeso, requiriéndose de estudios posteriores para confirmar la importancia de la vía inhalatoria. Es decir, se debe evaluar la vía inhalatoria para poder conocer realmente cual es el contenido de manganeso en la fracción respirable y si existe posibilidad de que este pase directamente al bulbo olfatorio (Crossgrove y col., 2004; Elder y col., 2006).

Los resultados del factor de riesgo se muestran en la Tabla 15, se observa que de las tres comunidades, Santa María Picula es la que presenta el riesgo más elevado de desarrollar daño al sistema nervioso central durante las dos temporadas del año que se evaluaron considerándose como un daño severo acuerdo a la bibliografía (Díaz-Barriga y cols., 1999). Aunque no se ha demostrado en la literatura una asociación entre la concentración de manganeso en orina y daño neurológico, es importante destacar que durante el segundo muestreo correspondiente a la temporada seca en la comunidad de Santa María Picula el 93.7% de la población infantil evaluada presentó manganeso en orina por encima del valor normal, mientras que en temporada de lluvia el 58% presentaron el mismo comportamiento. Este comportamiento de incrementarse en la temporada de secas la concentración de manganeso es semejante al encontrado en la matriz polvo, donde existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambas temporadas. En cuanto a la población de Tenexco se observó que el factor de riesgo > 1 se presenta durante la temporada de secas, donde el 17.4% de la población rebasa el valor de referencia para en indicador biológico (Caroli, 1994). Respecto a la comunidad de Texojol, no se observó el mismo comportamiento del factor de riesgo respecto a la población expuesta. Es decir en ambos muestreos se observó que alrededor del 50% de la población rebasa el valor de referencia que se tiene para orina, mientras que el cociente de riesgo es >1 únicamente en la temporada de secas. Como era de esperarse no se observó relación entre el cociente de riesgo y el porcentaje de individuos con valor de manganeso en orina por arriba del valor de referencia, confirmando que la concentración de manganeso en orina es indicativo de absorción.

Es importante destacar que la matriz suelo como fue la que presentó un mayor aporte a la dosis de exposición, aunque la concentración de manganeso detectada en suelo fue similar a la de sedimento y polvo, el suelo resalta por relacionarse con una tasa de ingesta mayor. En un estudio posterior se debe diseñar un muestreo para comprobar si existe diferencia dentro de la misma comunidad por exposición a manganeso en relación a la distancia con el río, existencia de cubierta vegetal o influencia de acceso vehicular. Debido a que podrían ser los factores que influyen para que Santa María Picula sea la comunidad que presenta mayor riesgo y más alto porcentaje de población con individuos por arriba del valor normal en orina. Con esto se demostraría si la distancia al río o cubierta vegetal disminuyen la exposición y en consecuencia el riesgo.

De manera general, el detectar niveles de manganeso en orina más elevados respecto al grupo control, es indicativo de exposición a manganeso (Chandra y col., 1981).

Existen factores de riesgo asociados a la exposición a manganeso que no fueron analizados en el presente estudio, como es el nivel de desnutrición que puede presentar deficiencia de hierro en la dieta existiendo evidencia científica de que la deficiencia de hierro incrementa la absorción de manganeso (Michalke y col., 2007). Sin dejar de lado que las comunidades pertenecen a la huasteca potosina, donde se aplicó DDT a partir de la década de las cincuentas dentro de la Campaña Nacional para la Erradicación del Paludismo. Causando como principal mecanismo un efecto sobre el sistema nervioso, interfiriendo con el flujo de iones a través de las membranas de las células prolongando el tiempo de apertura del canal de sodio, presentándose temblor e irritabilidad (Duffard y cols., 2006). Específicamente en Texojol se observó el uso de leña para como fuente de energía dentro de los hogares, generando por la combustión incompleta monóxido de carbono que puede disminuir la irrigación de oxígeno al cerebro o bien exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos clasificados como posibles cancerígenos humanos (ATSDR, 1995).

Como se explicó en la parte introductoria la vía inhalatoria y oral son las más importantes para la exposición a manganeso, en el proyecto solo se estimó el factor de exposición considerando condiciones gástricas, pues no se cuenta con un modelo experimental para evaluar la vía inhalatoria; si bien se analizó el tamaño de partícula, no fue posible cuantificar el contenido de manganeso en las diferentes fracciones debido a que no fue posible recuperar la muestra. Se sugiere desarrollar una metodología que permita recuperar la muestra para poder cuantificar manganeso y conocer las posibles implicaciones por la vía inhalatoria.

En cuanto a la comunidad de referencia (Cuatlamayan) se observó que para ninguna de las matrices se rebasaron los valores de referencia y basales. Si se comparan las comunidades estudiadas con ésta se observa claramente el nivel de impacto a que están siendo sujetas pues inclusive el factor de riesgo más bajo estimado (Texojol, Tabla 15) se encuentra 7.75 veces por arriba del factor de riesgo para Cuatlamayan.

La estimación de riesgo se realizó en base a la RfD del IRIS, sin embargo conociendo la concentración en agua del estudio realizado en Bangladesh se calculó una dosis de exposición como un ejercicio para determinar el cociente de riesgo. Se obtuvo un valor de un valor de LOAEL (mínima dosis experimental en la cual se observa un efecto) y se divide entre 10 como un factor de incertidumbre para utilizarse como una dosis de referencia. Al realizar la estimación de riesgo considerando el valor obtenido de 0.0056 mg/kg/día como la dosis de referencia, se obtuvo un aumento considerable en el cociente de riesgo que va desde un valor de 54 para Santa María Picula en temporada de lluvias hasta el menor de 10 registrado para Texojol en temporada de lluvias. Lo cual, sin duda incrementa el riesgo de presentar un efecto adverso en salud. El resultado que debe ser manejado con cautela debido a que existen puntos que deben ser considerados: 1) Si se calcula el cociente de riesgo para el estudio de Bangladesh considerando el valor de RfD del IRIS, se obtiene un valor menor a uno, lo cual se contradice con el hecho de existir evidencia del daño en salud relacionado con la deficiencia en la función cognitiva; 2) Los individuos evaluados en el estudio de Bangladesh presentan exposición a

arsénico además de manganeso y al no contar evidencia del comportamiento en la mezcla queda la incertidumbre de conocer si el efecto observado es producido únicamente por manganeso; 3) El ejercicio permite evidenciar que la RfD puede tener deficiencias sino se cuenta con un estudio toxicológico que la sustente. En cuanto al cociente de riesgo ocurriría el mismo comportamiento si se utilizará la concentración de 610 $\mu\text{g/L}$ detectada en Canadá, asociada hiperactividad y problemas de atención. Contando con la limitante de ser un estudio piloto (n=46) y que no se consideraron factores confusores como educación, estrés familiar y la presencia de arsénico, plomo y mercurio presentes en el agua.

8. CONCLUSIONES

Los resultados registrados en el presente estudio muestran de manera clara el nivel de contaminación ambiental que se está presentando en las comunidades estudiadas y la diferencia importante con la comunidad de referencia. También es evidente el nivel de bioaccesibilidad que presentó el manganeso en las matrices analizadas, reflejándose en el nivel de exposición evaluado a través del análisis de orina.

La estimación del riesgo en salud evaluada a partir de la concentración de manganeso presente en las matrices ambientales indica que la población infantil de las comunidades de Santa María Picula, Tenexco y Texojol se encuentra en riesgo de presentar un efecto en salud. El riesgo de acuerdo a la literatura se puede manifestar en la función motora y cognitiva.

El suelo fue la ruta más importante de exposición a manganeso, sin embargo, no se puede dejar de lado la ruta aire; la cual no se evaluó, pero podría tener un aporte importante dado que en la temporada de secas se tuvo un aumento en la concentración de manganeso en el polvo, así como en el indicador biológico.

Los niveles de riesgo estimados en las comunidades de estudio, así como el nivel de exposición, hacen necesaria la implementación de un estudio de evaluación de los efectos en salud que se pueden estar presentando en la población infantil de las comunidades estudiadas. Así como, la implementación de medidas de remediación tendientes a disminuir la exposición. Se recomienda establecer un programa de comunicación de riesgos para que las poblaciones afectadas conozcan su problemática, lograr que adopten las medidas de remediación necesarias y participen en su implementación

9. RECOMENDACIONES

En cuanto al diseño del estudio se detectaron puntos en la metodología que se recomienda deberán considerarse en estudios posteriores, ya que limitan los resultados obtenidos al no incluir información que permita una mejor interpretación del resultado. Además de considerar importante transmitir la experiencia aprendida durante el desarrollo del proyecto.

Sería importante incrementar el número de muestras ambientales para tener mayor representatividad de la zona, además de poder incluir un análisis estadístico y la aplicación del método probabilístico para estimar el riesgo.

Durante el muestreo de agua de río sería conveniente determinar el pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales, información que serviría para conocer el comportamiento ambiental del manganeso dentro de la matriz.

Sería conveniente homogeneizar el tamaño del diámetro de partícula en el filtro utilizado en las pruebas de bioaccesibilidad. Recomendando utilizar un tamaño de poro de $0.45\mu\text{m}$ e incluso $0.22\mu\text{m}$ para asegurar que en la filtración se retengan coloides y cuantificar únicamente el manganeso soluble.

En cuanto a la determinación partícula por difracción láser, se deberá obtener el porcentaje de partículas $<10\mu\text{m}$ y $<1\mu\text{m}$ del total de la muestra de polvo y de ser posible cuantificar el manganeso en estas fracciones. Lo cual sería una evidencia de peso en cuanto a la vía inhalatoria.

Se deben evaluar factores asociados a la exposición de manganeso a través de la ruta aire y alimento, así como el estado nutricional de la población y la exposición a otros contaminantes.

El mejorar las limitantes detectadas en el presente proyecto será de utilidad para estudios posteriores y proporcionará información valiosa para la interpretación de los resultados, así como fortalecer a los mismos.

10.REFERENCIAS

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2000. Toxicological profile for Manganese, Toxicological. 1-13, 176-182.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1996. Toxicological profile for PAHs. http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts69.html
- Andersen M, Gearhart J, Clewell H. 1999. Pharmacokinetic data needs to support risk assessments for inhaled and ingested manganese. *Neurotoxicology*. 20(2-3): 161-172.
- Anderson J, Cooney P, Erikson K. 2007. Brain manganese accumulation is inversely related to γ -amino butyric acid uptake in male and female rats. *Toxicological sciences*. 95(1):188-195.
- Bocca B, Alimonti A, Coni E, Di Pasquale M, Giglio L, Piccioli B, Caroli S. 2000. Determination of the total content and binding pattern of elements in human milk by high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Talanta*. 53(2): 295-303.
- Bouchard M, Laforest F, Vandelac L, Bellinger D, Mergler D. 2007. Hair manganese and hyperactive behaviors: pilot study ok school-age children exposed through tap water. *Environmental Health Perspective*. 115(1): 122-127.p
- Bowler R, Koller W, Schulz P. 2006. Parkinsonism due to manganism in a welder: neurological and neuropsychological sequelae. *Neurotoxicology*. 27(3): 327-332.
- Caroli A, Alimonti A, Coni E, Petrucci F, Senofonte O, Violante N. 1994. The assessment of reference values for elements in human biological tissues and fluids: A systematic review. *Critical Review in Analytical Chemistry*. 24: 363-398.
- Chiprés J, Monroy M, Castro J, Díaz-Barriga F. 2008. Cartografía geoquímica multiescalar de valores de fondo y líneas base en el altiplano potosino, S.L.P., México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 168.
- Crossgrove J, Zheng W. 2004. Manganese toxicity upon overexposure. *NMR in Biomedicine*. 17: 544-553.
- Díaz Barriga F. 1999. Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. OPS/CEPIS/PUB/ 99.34
- Duffard A, Duffard R. 2006. Behavioral toxicology, risk assessment, and chlorinated hydrocarbons. *Environmental health perspective*. 104: 353-360.
- Duggan M, Inskip N, Rundle S, Moorcroft J. 1985. Lead in playground dust and on the hands of schoolchildren. *Science of the total environment*. 44: 65-79.
- Elder A, Gelein R, Silva V, Feikert, Opanashuk L, Carter J, Potter R, Maynard A, Ito Y, Kinkelstein J, Oberdörster G. 2006. Translocation of

-
- inhaled ultrafine manganese oxide particles to the central nervous system. *Environmental Health Perspective*. 114(8): 1172-1178.
- Ellingsen D, Haug E, Ulvik R, Thomassen Y. 2003. Iron status in manganese alloy production workers. *Journal of Applied Toxicology*. 23(4): 239-247.
 - Fell JME, Reynolds AP, Meadows N, et al: Manganese toxicity in children receiving long term parenteral nutrition. *Lancet* 347: 1218-1221, 1996.
 - Environmental Protection Agency. 2003. United States. Health effects support document for manganese. www.epa.gov/safewater/ccl/pdf/manganese.pdf
 - Fell J, Reynolds A, Meadows N, Khan K, Long S, Quaghebeur G, Taylor W, Milla P. 1996. Manganese toxicity in children receiving long term parenteral nutrition. *Lancet*. 347: 1218-1221.
 - Gellein K, Garruto R, Syversen T, Sjobakk T, Flaten T. 2003. Concentrations of Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Rb, V and Zn in formalin-fixed brain tissue in amyotrophic lateral sclerosis and parkinsonism-dementia complex of guam determined by high-resolution ICP-MS. *Biological trace element research*. 96 (1-3): 39-60.
 - Hafeman D, Factor-Litvak P, Cheng Z, Van Geen A, Ahsan Habidul. 2007. Association between manganese exposure through water and infant mortality in Bangladesh. *Environmental Health Perspective*. 115(7):1107-1112
 - Heilin E, Molina R, Donaghey T, Brain J, Weeling-Resnick M. 2005. Pharmacokinetics of pulmonary manganese absorption: evidence for increased susceptibility to manganese loading in iron-deficient rats. *American Physiological Society*. L887-L893.
 - Iarmarcovai G, Minodier I, Chaspoul F, Botta C, De Meo M, Orsiere T, Berge-Lefranc JL, Gallice P, Botta A. 2005. Risk assessment of welders using analysis of eight metals by ICP-MS in blood and urine and DNA damage evaluation by the comet and micronucleus assays; influence of XRCC1 and XRCC3 polymorphisms. *Mutagenesis*. 20(6): 425-432
 - INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2005, XII Censo General de Población y Vivienda, 2000, [Estimaciones oficiales de CONAPO con base en INEGI](#), II Censo de Población y Vivienda 2005.
 - Integrated Risk Information System. IRIS. Manganese (CASRN-7439-96-5). <http://www.epa.gov/NCEA/iris/subst/073.htm>
 - Jankovic J. 2005. Searching for a relationship between manganese and welding and Parkinson's disease. *Neurology*. 64: 2021-2028.
 - Josephs K, Ahlskog J, Klos K, Kumar N, Fealey R, Trenerry M, Cowl C. 2005. Neurologic manifestations in welders with pallidal MRI T1 hyperintensity. *Neurology*. 64, 2033-2039.
 - Keen L, Ensunsa J, Clegg M. 2000. In metals ions in biological systems, Manganese and Its role in Biological Processes. Volume 37. Ed. A. Sigel and H. sigel. 89-121.

-
- Kelley N, Brauning S, Schoof R, Schoof R, Ruby M. 2002. Assessing oral bioavailability of metals in soil. *Journal of Hazardous Materials*. (2): 331-332.
 - Klaassen C. 2001. *Toxicology, the basic science of poisons*. McGraw-Hill. 843-844.
 - La norma mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001, establece el método de espectrometría de absorción atómica para la determinación de metales disueltos, totales, suspendidos y recuperables en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.
 - La norma mexicana NOM-127-SSA1-1994 que establece los límites máximos permisibles de diversos elementos y compuestos en agua para uso y consumo humano.
 - La norma mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio
 - Ljung K, Vahter M. 2007. Time to re-evaluate the guideline value for manganese in drinking water?. *Environmental Health Perspective*. 115(11): 1533-1538.
 - Mejía-Saavedra J, Sánchez-Armass S, Santos-Medrano G, González-Amaro R, Razo-Soto I, Rico-Martínez R, Díaz-Barriga F. 2005. Effect of coexposure to DDT and manganese on freshwater invertebrates: pore water from contaminated rivers and laboratory studies. *Environmental toxicology and chemistry*. 24(8): 2037-2044.
 - Melo TM, Larsen C, White LR, Aasly J, Sjobakk TE, Flaten TP, Sonnewald U, Syversen T. 2003. Manganese, copper, and zinc in cerebrospinal fluid from patients with multiple sclerosis. *Biological Trace Element Research*. **93**(1-3): 1-8.
 - Michalke B, Halbach S, Nischwitz V. 2007. Speciation and toxicological relevance of manganese in humans. *Journal of Environmental Monitoring*. (9) 650-656.
 - Monografía Geologica-Minera del estado de Hidalgo. 1992. Secretaría de energía, minas e industria praestatal. Subsecretaria de minas e industria básica.
 - Montes S, Riojas-Rodríguez H, Sabido-Pedraza E, Ríos C. 2008. Biomarkers of manganese in a population living closet o a mine and mineral processing plant in México. *Environmental Research*. 106(1): 89-95.
 - Organización Mundial de la Salud. 2006. *Guidelines for drinking-water Quality*. Vol. 1, Recommendations. 3^{er} ed.
 - Peña C, Carter D, Ayala-Fierro F. 2001. *Toxicología ambiental, Evaluación de riesgos y restauración ambiental*. Southwest hazardous waste program. The University of Arizona.
 - Razo I, Monroy M, Castro J, Díaz-Barriga F. 2006. Identificación de áreas prioritarias de restauración de suelos contaminados por arsénico y metales pesados en el sitio minero y metalúrgico de Villa de la Paz-Matehuala,

-
-
- Riojas H. 2004. Impacto en la salud del ecosistema por actividades antropogénicas en una cuenta manganesífera. Informe Final. Instituto de Salud, Ambiente y Trabajo.
 - Rodríguez Y, Riojas H, Ríos C, Rosas I, Sabido E, Miranda J, Siebe C, Texcalac L, Santos-Burgoa C. 2006. Motor alterations associated with exposure to manganese in environment in México. *Science of the total environment*. 368: 542-556.
 - Ruby M, Davis A, Schoof R, Eberle S, Sellstone C. 1996. Estimation of lead and arsenic bioavailability using a physiologically based extraction test. *Environmental Science and Technology*. 30: 422-430.
 - Ruby M, Schoof R, Brattin W, Goldade M, Post G, Harnois M, Mosby D, Casteel S, Berti W, Carpenter M, Edwards D, Cragin D, Chappell W. 1999. Advances in evaluating the oral bioavailability of inorganics in soil for use in human health risk assessment. *Environmental Science & Technology* 33: 3697-3705.
 - Santamaria A, Cushing C, Antonini J, Finley F. 2007. State of the science review: does manganese exposure during welding pose a neurological risk?. *Journal of toxicology and environmental health, Part B*. 10:417-465
 - Santos-Burgoa C, Rios C, Mercado L, Arechiga-Serrano R, Cano-Valle F, Alatorre R, Texcalac-Sangrador J, Villa-Barragan J, Rodríguez-Agudelo Y, Montes S. 2001. Exposure to manganese: health effects on the general population, a pilot study in central México. *Environmental research*. 85: 90-104.
 - Sawyer C, McCarty P, Parkin G. 2000. *Química para ingeniería*. Mc Graw Hill. 624-626.
 - Sahni V, Léger Y, Panaro L, Allen M, Giffin S, Fury D, Hamm N. 2007. Case report: a metabolic disorder presenting as pediatric manganism. *Environmental Health Perspective*. 115(12): 1776-1779.
 - SAS Trace Elements Laboratories, 1998, <http://www.toxlab.co.uk/traceele.htm>
 - Sawyer C., McCarty P., y Parkin G. 2001. *Química para ingeniería ambiental*. Editorial Mc Graw Hill. 440-441, 624-629
 - Takeda A. 2003. Manganese action in brain function. *Brain Research Reviews*. 41: 79-87.
 - Van Loon G, Duffy S. 2002. *Environmental chemistry a global perspective*. Oxford. 206-210.
 - Versieck J, Cornelis R. 1980. Review, Normal levels of trace elements in human blood plasma or serum. *Analytica Chimica Acta*. 116:217–254
 - Wasserman G, Liu X, Parvez F, Ahsan H, Levy D, Factor-Litvak P, Kline J, Van Geen A, Slavkovich V, Lolacono NJ, Cheng Z, Zheng Y, Graziano JH. 2006. Water manganese exposure and children's intellectual function in Araihasar, Bangladesh. *Environmental Health Perspective*. 114(1): 124-129.

-
-
- Woolf A, Wright R, Amarasiriwardena C, Bellinger D. 2002. A child with chronic manganese exposure from drinking water. *Environmental Health Perspective*. 110(6): 1-4.
 - Yokel RA. 2002. Brain uptake, retention, and efflux of aluminium and manganese. *Environmental Health Perspective*. 110(5): 699-704.
 - Zakrzewski F. 1991. *Principles of environmental toxicology*. ACS Professional Reference Book. 2
 - Zoni S, Albini E, Lucchini R. 2007. Neuropsychological testing for the assessment of manganese neurotoxicity: a review and a proposal. *American journal of industrial medicine*. 50: 812-830.

11. ANEXO

DISEÑO DE ENCUESTA

¿De donde viene el agua potable?

¿Usted sabe donde esta dicho lugar?

¿Señalar?

¿Que pasa cuando no hay agua?

¿De que se enferman los niños?

¿Come pescado? ¿De cual?

¿Donde lo obtiene?

¿Come acamayas, cosoles?

¿De donde los obtiene?

¿Para que usa el agua del río?

¿Les pasa algo a los niños que se meten al río? ¿Se enferman?

¿El agua que toma, sabe raro? ¿Tiene color?

ANEXO 1
SANTA MARIA PICULA

PREGUNTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IDENTIFICACIÓN												
SMP-O-01	Garrafón, tubería, hervida	--	--	--	Diarrea calentura	Mojarra	Río claro	Cosoles	Río Claro	Lavar ropa, trastes y bañarse	--	El agua del río se filtra con trapos del algodón cuando esta turbia
SMP-O-02												
SMP-O-03	De la llave, hervida	Cerca al río	---	Hacer pozo en el río o en el manantial	Estomago Bronquitis	No	No	Cosoles	Río Claro	Lavar	No se meten	No es normal
SMP-O-04												
SMP-O-05	De la llave, hervida	Tanque de distribución	Si	Es raro, hierven el agua del río	Gripe	Mojarra	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar, ropa	Nada	Nada
SMP-O-06												
SMP-O-07	De la llave hervida	Tanque de distribución	Si	Van al río	Calentura	Mojarra	Río Claro, en Agosto	Cosoles	Río Claro	Lavar	Nada	No
SMP-O-08												
SMP-O-09												
SMP-O-10	De la llave hervida	Tanque de distribución	Si	Hacen pozo en el río a 3 metros	No se enferman	Mojarra, cuando esta claro el río	Río Claro	Acamayas Cosoles	Río Claro Julio, Agosto	Lavar	Nada	No
SMP-O-11	De la llave hervida	Tanque de distribución	Si	Hierven agua del río	No se enferman	Mojarra	Río Claro	Acamayas Cosoles	Río Claro	Lavar	Nada	No
SMP-O-12												
SMP-O-13	De la llave hervida	Tanque de distribución	---	Pozo al lado del río	Calentura	Mojarra, trucha, huavino	---	Acamaya Cosoles	Río Claro	Lavar, bañarse	Ronchas, hace 4 años	No
SMP-O-14												
SMP-O-15	Carcamo	Tanque de distribución	Si	Manantial	No	Mojarra	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar, bañarse	Nada	Nada
SMP-O-16												
SMP-O-17												

TENEXCO

PREGUNTA IDENTIFICACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	TEN-O-01	De la llave hervida	Si	Si	Nunca a pasado	Tos	Si	Río Claro	Cosoles	Río Claro	No la utilizan	No van
TEN-O-02	De la llave	Manantial	Si	No falta	Catarro	No come	---	Cosoles	Río Claro	Lavar, bañarse	Nada	No toman
TEN-O-03	De la llave	De allá abajo	Si	No falta	Catarro, fiebre	No	---	Cosoles	Río Claro	Bañarse	Comezón al Señor	Turbia
TEN-O-04	De la llave	Manantial	Si	No pasa	Diarrea	No	---	Cosoles	Río Claro	No lo usa	Ronchas al jugar	No van
TEN-O-05	De la llave hervida	Manantial	Si	Avisan y guarda	Tos, Calentura	No	No	No	No	Lavar ropa y bañarse	No	En ocasiones huele mal
TEN-O-06	De la llave	Manantial	Si	Siempre hay	Audición y lenguaje	No	No	No	No	Lavar y Bañarse	Ojos rojos	En ocasiones huele mal
TEN -O-07	De la llave	Pozo de arriba	Si	Nunca falla	No se enferman	No	---	Cosoles	---	Lavar y bañarse	En los niños no	No porque se hierve o desinfecta
TEN -O-08	Pozo	Si	Si	Hacen pozos enfrente del río	Tos, fiebre	Si	---	Cosoles	Río Claro	Bañarse y jugar	No	Cuando se la toman
TEN -O-09	Pozo	Si	Si	No pasa	Calentura	A veces	Río Claro	No	---	Cuando esta claro se bañan	Granitos	No
TEN-O -10	De la llave hervida	Deposito	Si	Hacen un pozo	Tos	Si	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar y bañarse	Nada	Turbia, al hervirla se quita
TEN -O-11	De la llave	Deposito	Si	Hacen un pozo	Nada	Si, Mojarra	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar ropa	Nada	Nada
TEN -O-12	De la llave	Depósito	Si	Hacen un pozo	Nada	Poco	Río Claro	Acamayas Cosoles	Río Claro	Lavar	Nada	Nada
TEN -O-13	De la llave hervida	Depósito	Si	Hacen pozo	Nada	Si, Mojarra	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar, baños	Nada	No
TEN-O -14	De la llave	Depósito	Si	Hacen pozo en la orilla	Nada	Si	Compran	Acamayas Cosoles	Compran	Lavar, baño	Nada	Nada

PREGUNTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IDENTIFICACIÓN												
TEN -O-16	De la llave hervida	Depósito	Si	Toman del río	Bronquitis	Si	Río Claro	Cosoles	Río Claro	No la usan	Nada	Nada
TEN -O-17	De la llave	Del pozo				No	---	Acamayas Cosoles	Río Claro	Lavar ropa y baños	Les da comezon	En algunas ocasiones desagradable
TEN-O-18	De la pileta	---				---	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar, Bañarse	No	No la toman
TEN-O-19	De la pileta	Si, arriba				---	---	---	---	---	No se bañan	No la toman

TEXOJOL

PREGUNTA ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEX-O-01	Hervida	Pozo	Si	Nada	Sinusitis, tos	Si	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar y bañarse	Nada	No
TEX-O-02												
TEX-O-03	Manantial	Si	Si	No se seca	Calentura	Si, Bagre	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar, baño	No	Nada
TEX-O-04												
TEX-O-05												
TEX-O-06												
TEX -O-07	Pozo	Manantial	Si	No pasa	No se enferman	Si	Río Claro	Cosoles, abril	Rió Claro	Lavar, baño	Nada	Nada
TEX -O-08	Pozo al lado del río	Si	Si	Lavan en el pozo con cloro	Nada	Si, bagrue en domingo	Río Claro	Si	Río Claro	Lavar, baño	Nada	Cuando se inunda huele a lodo
TEX-O -09	Rozo en el río	Si	Si	Manantal de Texojol	Nada	Si, mojarra	Río Claro	Cosoles	Río Claro	Lavar, baño	Nada	No
TEX-O -10												
TEX-O -11	Pozo, arriba del río	Si	Si	Manantial de Texojol	Calentura, tos	Si, charales	Río Claro	No	Río Claro	Lavar, bañarse	Ronchas y río crecido	Nada
TEX-O -12												
TEX -O-13	Pozo	Si	Si	Texojol, manantial	Calentura	No	---	Cosoles	Río Claro	Lavar, bañarse	A veces ronchas	Nada
TEX-O -14												
TEX -O-15	Pozo	Si	Si	Manantial Texojol	Calentura, gripe	No	---	Acamayas cosoles	---	Lavar trates, ropa	No	Nada
TEX -O-16	Pozo del río	Si\$	Si	Manantial Texojol	No	A veces	Comprad o	Acamayas	Río Claro	Lavar, baño	Nada	Nada
TEX -O-17												

