





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

**FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA**

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS  
AMBIENTALES**

**DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE  
RIESGO EN SITIOS CONTAMINADOS**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTA**

**ARTURO TORRES DOSAL**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. FERNANDO DÍAZ-BARRIGA**

**COMITÉ TUTELAR:**

**DR. PEDRO MEDELLÍN MILÁN**

**DR. MARCOS MONROY FERNÁNDEZ**

**SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P. FEBRERO 2006**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS  
AMBIENTALES

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE  
RIESGO EN SITIOS CONTAMINADOS

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

ARTURO TORRES DOSAL

JURADO DE EXÁMEN:

DR. FERNANDO DÍAZ-BARRIGA

DR. PEDRO MEDELLÍN MILÁN

DR. MARCOS MONRROY FERNÁNDEZ

DR. JOSÉ DE JESÚS MEJÍA SAAVEDRA

DR. ULISES RUIZ SAUCEDO

Se muestran tres firmas manuscritas sobre líneas horizontales que sirven como guías para las firmas. Las firmas corresponden a los miembros del jurado mencionados en el texto: Fernando Díaz-Barriga, Pedro Medellín Milán y Ulises Ruiz Saucedo.

SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P. 28 DE FEBRERO 2006

**PROYECTO REALIZADO EN:**

**LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA AMBIENTAL, FACULTAD DE MEDICINA DE LA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUI POTOSÍ**

**CON FINANCIAMIENTO DE:**

**PROYECTO DE FONDOS MIXTOS CLAVE: FMSLP-2005 c01-26**

**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)**

**BECA NÚMERO: 141911**

**EL PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS  
AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL PROGRAMA DE  
FORTALECIMIENTO AL POSGRADO NACIONAL (PIFOP-SEP).**

## INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	2
RESULTADOS DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE RIESGO .....	4
LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGO DE OPS .....	7
OBJETIVO GENERAL .....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
MÉTODOS .....	10
RESULTADOS .....	27
DISCUSION .....	43
REFERENCIAS .....	54

## INTRODUCCIÓN

La evaluación del riesgo para la salud es un proceso cuya finalidad es la asignación de magnitudes y probabilidades de aparición de efectos adversos en una población como consecuencia del contacto con un sitio peligroso (OPS 1999), constituye un instrumento con los pasos necesarios para identificar, priorizar y caracterizar los sitios peligrosos, por lo que puede emplearse para decidir si un área impactada merece: (a) Vigilancia ambiental; (b) Evaluación de la exposición; o (c) Intervención ambiental (restauración) (OPS 1999).

Algunas de las ventajas que presenta la utilización de ésta metodología son:

- Registro gubernamental de los sitios contaminados.
- Identificación de los sitios que requieren atención prioritaria.
- Desarrollo de protocolos de investigación para generar propuestas de limpieza.
- Establecimiento de programas de salud pública.
- Utilización más adecuada de los recursos económicos destinados a los problemas ambientales y de salud pública.

En América, existen dos propuestas principales para realizar la Evaluación del Riesgo de un Sitio Contaminado: a) la planteada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA 1989, EPA 1992) complementada con la metodología diseñada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (ATSDR 2004) y b) la metodología planteada por la organización Panamericana de la Salud OPS.

La propuesta de EPA-ATSDR es muy importante, debido a que de esta metodología derivan los otros diseños de evaluación de riesgo utilizados en América; ambas son dependencias gubernamentales de Estados Unidos; mientras la EPA calcula la probabilidad de encontrar un efecto adverso en la salud de una población basándose sólo en los datos de la concentración de los

contaminantes presentes en el ambiente, la metodología de ATSDR evalúa el riesgo en salud con aquellos datos ambientales generados por EPA y con los antecedentes en salud registrados en el área de influencia del sitio, el propósito final de ambas dependencias es proveer información a los gobiernos responsables para que puedan tomar la mejor decisión a fin de proteger el ambiente y la salud humana.

Esta misma propuesta fue recientemente utilizada por el gobierno de Brasil como parte de su programa de gestión ambiental de sitios contaminados, la metodología busca la protección de lo que denominan "Bienes a Proteger" propósito para el cual se desarrolló un sistema de Identificación y Evaluación Preliminar de Sitios Contaminados (CETESB-GTZ 1999); el sistema se enfoca principalmente al impacto de la contaminación sobre el suelo y las posibles consecuencias derivadas del transporte hacia otros medios ambientales. El proceso completo está basado en este sistema de registro y todas las actividades desarrolladas en un sitio contaminado específico deben ser consideradas.

La clasificación de ese sitio en particular cambia conforme se realizan actividades de limpieza, el procedimiento está constituido por dos fases principales:

- Identificación de las áreas contaminadas.
- Recuperación de áreas contaminadas.

La identificación de los sitios contaminados en esta propuesta está en función de la información existente en cada uno, clasificándolos como Áreas Potencialmente Contaminadas (AP), Áreas donde se Sospecha Contaminación (AS) y Áreas Contaminadas (AC); las informaciones obtenidas se almacenan en una base de datos o registro electrónico donde se puede modificar la calificación de un sitio a medida que se cuenta con más información sobre el área específica (CETESB-GTZ 1999).

Las subsecuentes etapas desarrolladas en el esquema de evaluación Brasil-GTZ se derivan principalmente de las propuestas elaboradas por EPA y ATSR para el estudio de sitios impactados. En su propuesta, el gobierno es el responsable de llevar a cabo la identificación de los sitios, proponer las acciones de remediación y finalmente busca que los responsables de la contaminación realicen las acciones de limpieza.

La segunda propuesta en América, la establecida por la Organización Panamericana de la Salud (OPS)—al igual que Brasil— toma los principales elementos de las metodologías de EPA y ATSDR e incluye un elemento más, la utilización de biomarcadores de exposición y efecto para minimizar la incertidumbre que se genera en el proceso de estimación de la exposición planteada por las metodologías anteriores (OPS 1999).

En la metodología, OPS establece las etapas necesarias para identificar los sitios peligrosos, así como los principales criterios para priorizar dichas áreas de acuerdo a su peligrosidad para las poblaciones humanas; una vez que se identifican los sitios mas peligrosos, se propone una fase de inspección preliminar en busca de los contaminantes principales y la evaluación de la exposición a dichos compuestos; finalmente, en la última parte de la metodología OPS, se establece la caracterización de los elementos de riesgo asociados a un sitio contaminado a fin de proporcionar la mejor herramienta de intervención para disminuir la posibilidad de un efecto adverso.

## **RESULTADOS DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE RIESGO**

Como resultado de la aplicación de las metodologías de Evaluación de Riesgo, desde 1980 a la fecha en Estados Unidos la EPA ha identificado un total de 44,418 sitios posiblemente peligrosos, cada unos de los sitios ha sido estudiado y clasificado de acuerdo con sus criterios y finalmente eligieron 1,245 sitios con los que integraron la lista nacional de sitios prioritarios (NPL por sus siglas en inglés) (EPA 2004).



El proceso EPA-ATSDR involucra el uso y manejo de una gran cantidad de información acerca de las condiciones ambientales que imperan en un sitio específico, además requiere datos estadísticos muy detallados referentes a las condiciones de salud de las poblaciones cercanas; la generación de esa información cuesta millones de dólares anuales a éstas dependencias y a pesar de ello, el proceso no puede dejar de lado la incertidumbre que persiste a lo largo de su ejecución.

La propuesta de Brasil- GTZ se llevó a cabo en su primera parte en el estado de Sao Paulo y hasta la fecha se tienen identificados un total de 1596 sitios contaminados de los cuales 859 están siendo estudiados en detalle, en 564 se preparan las posibles estrategias de limpieza, en 144 las propuestas están en espera de ser aprobadas y 29 sitios ya han sido remediados. Sin embargo, la mayor parte de los sitios identificados en Sao Paulo se ubican y destaca sobre todo, puestos de combustibles, áreas industriales, sitios donde ocurrieron accidentes o disposición no adecuada de residuos. Finalmente, llama la atención que en la mayoría de los sitios los responsables de la contaminación son fácilmente identificados. Una limitante del proceso brasileño es que los sitios impactados por contaminación natural no tienen la misma relevancia en su clasificación y tampoco lo tienen aquellas áreas afectadas por microindustria o por actividades agrícolas. En consecuencia este método presenta un sesgo hacia las áreas urbanas y con la mayor atención a aquellos donde el proceso de remediación es relativamente sencillo; es decir, la importancia de cada sitio no se deriva totalmente de su peligrosidad (CETESB-GTZ 1999).

En Brasil, de forma reciente, el "Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas" ha concluido dos secciones nuevas denominadas como: Etapa de Investigación detallada, y la Evaluación de Riesgo en la Salud Humana (CETESB-GTZ 1999). La Investigación detallada describe el procedimiento para realizar la caracterización de la contaminación de un sitio, así como también la utilización de modelos matemáticos con los que se puede predecir la dispersión de la contaminación, esta información sirve como base del proceso de Evaluación de Riesgo en la Salud Humana, en donde se estima a través de cálculos matemáticos la exposición de un individuo a los contaminantes

presentes en un sitio. Ambas etapas se basan en las metodologías descritas por EPA, por lo que para su ejecución se requiere contar con información muy detallada acerca de las condiciones ambientales, las características de la población habitantes en las cercanías de un sitio, así como de las concentraciones ambientales de los contaminantes. Como es de esperarse, la metodología de evaluación de riesgo propuesta por Brasil presenta las mismas limitantes que las encontradas por EPA-ATSDR ocasionadas principalmente porque su ejecución implica una fuerte inversión económica sólo en la caracterización ambiental del sitio.

En casi todos los países de América Latina, la ausencia de información detallada de las áreas contaminadas, las limitaciones en la asignación de recursos económicos destinados para efectuar estudios y la insuficiencia de recursos humanos especializados en la materia ocasiona que la aplicación exacta de los métodos de la EPA y de la ATSDR presente muchas dificultades; sin embargo, las metodologías de evaluación de riesgos aplicados en Brasil o en México, han tomado los elementos establecidos por las agencias norteamericanas y los han adaptado a las circunstancias imperantes en cada país. La Metodología de Evaluación de Riesgo propuesta por OPS toma en cuenta las condiciones prevalecientes en nuestro país, por lo que establece un esquema de trabajo en el que las primeras etapas tales como la de Identificación, Inspección y Exposición implican el menor gasto económico de todo el proceso, para que las etapas de Intervención ambiental sean aquéllas a quienes le son asignadas la mayor parte de la inversión de recursos.

La metodología de OPS se ha aplicado en México en el estado de San Luis Potosí, donde se identificaron originalmente 47 sitios potencialmente peligrosos. En cuatro de ellos se están llevando acciones de intervención; sin embargo, el monitoreo ambiental de la totalidad de las áreas no se ha llevado a cabo y en consecuencia, se desconoce la magnitud del riesgo asociado a cada uno de los sitios representados ( OPS 1999). Del total de sitios listados un 80% de ellos están ubicados en zonas marginadas o rurales, un 30% de fueron ocasionados directamente por actividad industrial o derivados de dicha actividad; un 30% por actividad agrícola, y el resto de sitios están constituidos

por basureros, microindustria y contaminación natural. En todos ellos, casi el 60% de los sitios están impactados por contaminantes de naturaleza orgánica ya sea de forma principal o como parte de la mezcla de contaminantes, y el resto por compuestos inorgánicos.

Respecto a la naturaleza de los 4 sitios completamente caracterizados, los contaminantes prioritarios identificados son de naturaleza inorgánica debido a que se trata de dos sitios mineros impactados por metales pesados, un acuífero contaminado de forma natural por Arsénico y Fluor, otro impactado por descargas municipales sin tratamiento. En la mayoría los sitios inspeccionados hasta el momento los contaminantes analizados son principalmente de naturaleza inorgánica.

#### **LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGO DE OPS**

La finalidad de cualquier metodología de evaluación de riesgo es constituir una herramienta de decisión en el proceso de intervención de un sitio contaminado, dicha herramienta debe proporcionar la información necesaria para asegurar la necesidad o no de realizar actividades para disminuir la posibilidad de un efecto adverso en una población asociado al contacto con un sitio contaminado, así como delinear las acciones de intervención para el sitio.

El método debe contar con los elementos necesarios para que la incertidumbre acerca del riesgo asociado a un sitio pueda ser superada fácilmente, la metodología propuesta por OPS carecía de los componentes necesarios para superar esa limitante, por lo que no le permitía su aplicación en cualquier sitio. No obstante que la propuesta de OPS toma en cuenta las condiciones de los países en desarrollo, los resultados obtenidos desde su diseño a la fecha, son evidencia de que la metodología no ha logrado su objetivo central, las principales limitantes identificadas son:

- El sistema actual de identificación y clasificación de los sitios contaminados no contempla las potenciales rutas de exposición, el

sistema presenta una sensibilidad limitada que no permite diferenciar claramente los sitios poco importantes de aquellos muy peligrosos.

- El proceso de Evaluación de Riesgo no considera a otras especies biológicas diferentes de los Humanos.
- La utilización de equipo sofisticado para el análisis de contaminantes orgánicos hace que el proceso de evaluación preliminar en sitios impactados por compuestos de ésta naturaleza sea complicado y lento.
- La Evaluación de Riesgo propuesta por OPS no involucra el análisis cuantitativo de la variabilidad y la incertidumbre involucrada en el proceso.

Por lo anterior quedan evidenciadas las limitaciones de las metodologías desarrolladas en los diferentes países y así, se justifica el explorar nuevos procesos metodológicos. Bajo el contexto descrito, la presente tesis tuvo entonces el siguiente:

### **OBJETIVO GENERAL**

Actualización de la metodología de evaluación de riesgo de sitios contaminados propuesta por OPS, su ejecución en un escenario no estudiado con anterioridad y la evaluación de la utilidad de las modificaciones.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Incorporación de los elementos centrales de la metodología de Brasil-GTZ y su adaptación al contexto original del método OPS para la identificación de sitios peligrosos (Fase en colaboración con GTZ-México).
2. Validación del nuevo formato de registro y priorización de sitios potencialmente contaminados.
3. Generación de una nueva lista estatal de sitios peligrosos para el estado de San Luis Potosí.
4. Selección y evaluación de riesgo en el sitio peligroso de mayor prioridad impactado por compuestos orgánicos.

5. Aplicación y validación de nuevas herramientas de análisis ambiental en la fase de inspección preliminar utilizando análisis inmunoquímicos, comparación de las metodologías ELISA vs Cromatografía de Gases.
6. Inclusión del análisis probabilístico por medio del método Monte Carlo para la cuantificación de la variabilidad.
7. Establecimiento de un programa de intervención del sitio en el sitio peligroso de mayor prioridad.
8. Evaluación del programa de intervención.

## **MÉTODOS**

- 1. INCORPORACIÓN DE LOS ELEMENTOS CENTRALES DE LA METODOLOGÍA DE BRASIL- GTZ Y SU ADAPTACIÓN AL CONTEXTO ORIGINAL DEL MÉTODO OPS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS PELIGROSOS.**
- 2. VALIDACIÓN DEL NUEVO FORMATO DE REGISTRO Y PRIORIZACIÓN DE SITIOS POTENCIALMENTE CONTAMINADOS.**
- 3. GENERACIÓN DE UNA NUEVA LISTA ESTATAL DE SITIOS PELIGROSOS PARA EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ.**

La Identificación de sitios contaminados y su posterior clasificación de acuerdo a su potencial peligrosidad, es un instrumento que permite: (1) Alimentar los inventarios estatales de sitios potencialmente contaminados mediante la obtención concentración y organización de la información y (2) Mejora la eficiencia de la gestión de los sitios contaminados.

Con la información recabada y con el apoyo de GTZ, se diseñó una ficha de registro electrónico denominada: Sistema Informático de Sitios Contaminados (SISCO) con la siguiente utilidad:

1. Definir si existe una sospecha fundada de contaminación.
2. Determinar contaminación comprobada en un sitio.
3. Priorizar la atención a estos sitios, dependiendo del riesgo que representan a la salud humana y ambiental. De manera que se requiera con base en la prioridad determinada para cada sitio, la evaluación del riesgo (a sitios prioritarios), y de la intervención cuando así se requiera.
4. Identificar los bienes a proteger (salud de la población, abastecimiento de agua potable, uso de suelo residencial, protección a recursos hídricos, uso de suelo agrícola y pecuario, y otros como patrimonio público, medio ambiente, etc.) las principales rutas y vías de exposición de los contaminantes para la(s) posible(s) población(es) afectada(s) en las áreas cercanas a éstos.

La ficha catastral de sitios contaminados está integrada, conforme a dos grupos de información, una ficha primaria y una secundaria. La Ficha Primaria (de verificación) podrá ser llenada sin necesidad de caracterizaciones ni análisis químicos; y la Ficha Secundaria (de caracterización) será llenada después de la caracterización y análisis del área en cuestión.

La ficha primaria se divide en 6 secciones que son:

- Datos generales
- Descripción de la(s) fuente(s) primarias de contaminación e identificación de las rutas de exposición
- Disposición de residuos y fuentes secundarias
- Descripción del área adyacente
- Observaciones generales
- Clasificación del sitio
- Croquis del área / perfil del área

El llenado de la ficha primaria es lo que permite priorizar los sitios contaminados, la puntuación máxima que pueden alcanzar es de 1000 puntos, así un área muy afectada puede alcanzar eventualmente una puntuación máxima, siendo ésta la prioritaria.

Los avances, alcances de las etapas y las futuras acciones que se planean para el Sistema Informático de Sitios Contaminados se resumen mas adelante en el texto.

#### **Implementación del SISCO de SEMARNAT-GTZ y la UASLP**

En el marco del proyecto "Desarrollo Institucional de la Gestión de Sitios Contaminando" se implementó el Sistema Informático de Sitios Contaminados (SISCO). Durante 2002 y 2003, se iniciaron los trabajos de programación de la base de datos en el lenguaje público, a través de la cual se accede a las bases de datos estatales y se tiene conectividad con sistemas de información

geográficos (SIG) para la visualización de datos. Estos trabajos se terminaron al 100%.

**Primera Fase: levantamiento piloto de datos en las entidades SLP y DF (SEMARNAT-UASLP)**

En el estado de San Luis Potosí se alcanzaron las metas específicas de trabajo en un 100%, de los 41 sitios contaminados, se efectuó el levantamiento en su totalidad por parte de la UASLP. Adicionalmente la SEGAM de SLP levanto 10 sitios adicionales en 2005.

El procesamiento de la información y la priorización de los Sitios Contaminados del Distrito Federal se terminó, la priorización se efectuó para 100% del total de sitios contaminados, de los cuales se obtuvo información: en total 55 Sitios fueron considerados en este trabajo (sitios con ficha de datos del sistema), no se incluyó a la industria en operación en el levantamiento de datos.



#### **4. SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGO EN EL SITIO PELIGROSO DE MAYOR PRIORIDAD IMPACTADO POR COMPUESTOS ORGÁNICOS.**

La VIVIENDA INDÍGENA resultó ser sitio impactado por compuestos orgánicos de mayor prioridad que derivó del cumplimiento de los objetivos anteriores; este escenario presenta diversas particularidades no bien caracterizadas de manera conjunta en estudios anteriores: a) los problemas originados por la emisión de compuestos muy tóxicos originados por la quema de biomasa y, b) el riesgo asociado por la utilización histórica de DDT para el combate a la Malaria.

Como se verá mas adelante, la implementación de la metodología modificada de OPS permitió el diseño de una medida de intervención, misma que fue llevada a cabo; mas adelante en este mismo documento, se presentarán los resultados a los que se llegaron en el sitio intervenido.

Se eligió iniciar el presente proyecto en la comunidad indígena de Tancuime en el municipio de Aquismón, San Luis Potosí. Los antecedentes obtenidos de la comunidad indican que ésta había sido fumigada constantemente desde la implementación del programa de salud contra los transmisores del paludismo desde los años 50's al 2000 (Ortiz-Pérez y col. 2005, Yáñez y col. 2002). La importancia que presenta la comunidad específica que se eligió, no radica en el tamaño con el que cuenta, o en el número de habitantes que posee, si no que en Tancuime se pueden encontrar elementos comunes al resto de las circunstancias en las que viven las comunidades indígenas del Estado, mismas que son similares a las comunidades rurales indígenas del país, por lo que de esta manera buscamos extrapolar los resultados obtenidos con aquellos escenarios donde se utiliza la biomasa como fuente de calor y donde alguna vez se aplicaron pesticidas para el control sanitario de los insectos transmisores de malaria. El abordaje que diseñamos para el estudio de este escenario se integró como el Objetivo 7 de este planteamiento, mientras tanto, en las siguientes secciones se mostrará el desarrollo de las nuevas herramientas utilizadas en el proceso de la Evaluación del Riesgo.

## **5. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE NUEVAS HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS AMBIENTAL EN LA FASE DE INSPECCIÓN PRELIMINAR UTILIZANDO ANÁLISIS INMUNOQUÍMICOS, COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ELISA VS CROMATOGRAFÍA DE GASES.**

Para llevar a cabo la evaluación preliminar dentro de la propuesta original de OPS, es necesario investigar la totalidad de sitios propuestos en la lista de sitios potencialmente contaminados, esto involucra analizar un gran número de áreas. En este punto, la metodología OPS presentaba una seria limitante; pues para la detección de contaminantes del tipo orgánico se requería del transporte de muestra, un proceso de tratamiento de limpieza de las mismas y el uso de equipo de laboratorio para el análisis químico; todo ello implica la capacitación del personal técnico especializado en el manejo de las muestras y equipo; altos costos en reactivos y en consecuencia, mayor tiempo en la obtención de los resultados, por lo que este proceso resultaba muy complicado. Por otra parte, reiteramos que en el Estado de San Luis Potosí, 60% de los sitios listados bajo la metodología original resultaron afectados por contaminación causada por compuestos orgánicos; además, existen otros estados cuyos porcentajes sean posiblemente mayores, como los del sur de México, donde al mismo tiempo que los contaminantes agrícolas y los pesticidas usados para el control de enfermedades como el paludismo, también existen muchas áreas relacionadas con actividades petroleras.

Derivado de todo lo anterior, este proyecto propuso para la fase de inspección, la utilización de métodos analíticos alternos para la cuantificación de contaminantes orgánicos, dichos métodos propuestos son los inmunoensayos.

### **Ensayos Inmunoquímicos en el análisis de contaminantes.**

Los métodos inmunoquímicos para el análisis de contaminantes ambientales son relativamente nuevos en el campo de la química analítica. Éstos se basan en el uso de anticuerpos específicos para detectar los analitos de interés. Los inmunoensayos son rápidos y sencillos, estas características hacen que los análisis inmunoquímicos constituyan una valiosa herramienta en la química analítica ambiental.

Los inmunoanálisis de contaminantes ambientales, como también se les denomina, no son aplicables a sitios donde se desconocen las condiciones, el tipo y las características de los contaminantes. Los sitios ideales para ser estudiados por este tipo de ensayos son aquellos que son impactados por un solo contaminante o por una sola clase química, debido a que presentan generalmente reacciones cruzadas que originan grandes variaciones o falsos positivos.

### **¿Que son los inmunoensayos?**

Los inmunoensayos para el análisis de contaminantes ambientales comenzaron en 1970 con el análisis de pesticidas. La versión más común de los inmunoensayos es el ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay por sus siglas en inglés). ELISA es un método que utiliza anticuerpos y conjugados enzimáticos, para detectar y cuantificar los compuestos de interés en las muestras ambientales.

Brevemente: El procedimiento se basa en una reacción de un anticuerpo afin al contaminante y que compite por unirse a éste o a un compuesto de naturaleza química y estructura similar adherido a las paredes de los tubos de reacción; cuanto mas contaminante haya en la muestra, menos anticuerpos se unirán al compuesto adherido a las paredes, posteriormente se utiliza un segundo anticuerpo que identifica al primero y que lleva consigo una enzima. La enzima sirve para catalizar un cambio de color que puede ser medido por un colorímetro portátil, la cantidad de color generado es inversamente proporcional a la concentración del contaminante en la muestra ( Gee y col. 2004).

### **Ventajas de uso de los inmunoensayos.**

Las principales ventajas de este tipo de métodos son que los procedimientos pueden ser realizados directamente en el sitio contaminado o en el laboratorio y que son adecuados para analizar un gran número de muestras (EPA 1996), por lo que se incrementa el número de sitios estudiados y el número de

muestras analizadas, con lo que eventualmente se disminuyen las incertidumbres involucradas del proceso de evaluación del riesgo. Los inmunoensayos ambientales pueden ser aplicados para confirmar la presencia o ausencia de un compuesto o una clase de contaminantes (EPA 1996)., también tienen diversas aplicaciones como en los estudios de monitoreo; la EPA los ha utilizado para monitorear las actividades de limpieza en sitios peligrosos (EPA,2000). Actualmente existen una gran diversidad de kits comerciales para la determinación de un gran número de compuestos por ejemplo: Organofosforados, BPC, Dioxinas, DDT, HAP's, etc. (EPA 1996, Gee y col. 2004).

### **Limitantes.**

La principal desventaja de los Inmunoensayos es que en algunos casos no son del todo sensibles, además que presentan reacción cruzada con sustancias de similar estructura química, ambas desventajas pueden superarse utilizando métodos de extracción mas eficientes, aunque como se verá mas adelante, para el caso del presente trabajo, las limitantes fueron mas serias de lo que originalmente se plantearon.

Finalmente para tener la certeza de los datos analíticos generados por inmunoquímica es necesaria la confirmación de los resultados a través de otras metodologías como la Cromatografía de Gases, lo que implica una labor intensa a fin de obtener resultados cuantitativos definitivos.

### **Evaluación de la contaminación en un sitio peligroso: Caso del DDT y HAP's**

El DDT es un insecticida del tipo de los organoclorados, utilizado inicialmente en la agricultura, en la preservación de madera y para el control de los mosquitos transmisores de enfermedades como el paludismo (ATSDR 2000) Actualmente en muchos países incluyendo el nuestro, está prohibido el uso de DDT; es por ello que el DDT encontrado en el ambiente es resultado del uso que se le dio en años anteriores.

Cuando el DDT ingresa al ambiente, sufre una lenta degradación que conduce a la formación de DDD y DDE. A la suma de las concentraciones de estos compuestos en el ambiente se les denomina DDT's ó DDT total.

El DDT es un compuesto muy lipofílico que una vez absorbido en el hombre es rápidamente distribuido y almacenado en aquellos tejidos con alto contenido de lípidos. Se metaboliza principalmente en el hígado produciendo también los compuestos DDD y DDE. Los principales efectos en salud producidos por el DDT y sus metabolitos son, daño neurológico, daño hepático, efectos reproductivos, daño genético y efectos antiandrogénicos debido a su semejanza con hormonas sexuales (Waliszewski SM, y col. 1999). Por ello, resulta imperiosa la necesidad de utilizar metodologías analíticas que nos permitan la evaluación de la exposición en las poblaciones mas susceptibles como las mujeres y los niños. La determinación de las concentraciones de DDT en el medio ambiente sirve para definir el escenario y establecer las principales rutas de exposición.

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) son un grupo de compuestos con uno o más anillos aromáticos en su estructura química formados durante la combustión de biomasa (leña), existen mas de 100 diferentes compuestos y se encuentran generalmente presentes en mezcla (varios HAP's). (ATSDR, 1995).

Los HAP's han sido muy estudiados como compuestos originados por actividades industriales en plantas manufactureras de gas y actividades petroleras; sin embargo, la exposición a estos compuestos también se presenta en otros escenarios como en aquellos ambientes rurales derivados de la combustión de biomasa (Yongjian, L., et al. 2001; Bryan, M., et al. 1996).

Los HAP están relacionados con efectos adversos a la salud, benz[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenz[a,h]antraceno, e indeno [1,2,3-c,d]pyreno causan tumores en animales de laboratorio, algunos estudios muestran que la exposición por aire o el contacto por piel a mezclas de HAP por periodos prolongados pueden favorecer el desarrollo de ciertos canceres (ATSDR 1995).

Debido a lo anterior resulta evidente nuestra preocupación por estimar la exposición humana a estos contaminantes en el escenario de la Vivienda indígena.

Actualmente se han desarrollado diversos Inmunoensayos disponibles de forma comercial para medir estos compuestos contaminantes en diversos ambientes; en nuestro caso, el medio que más nos interesa es el suelo por ser éste al que se exponen los niños de menor edad.

Como ya se describió, para tener la certeza de los datos analíticos generados por inmunoquímica es necesaria la confirmación de los resultados, dicho proceso se efectuó para validar los resultados obtenidos para DDT total en el suelo a través del análisis de las muestras por Cromatografía de Gases. Los resultados obtenidos de la ejecución de este objetivo se detallan en la sección correspondiente.

## **6. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO POR MEDIO DEL MÉTODO MONTE CARLO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD.**

La siguiente inclusión a la metodología de evaluación de riesgo de la OPS, lo constituye la cuantificación de la variabilidad en el proceso de la estimación del riesgo, esta fase se realiza por medio de modelos matemáticos de estimación probabilística, ó como comúnmente se le conoce: Modelaje Probabilístico a través del análisis Monte Carlo.

La utilización del modelaje probabilístico permite no sólo conocer un intervalo de riesgo asociado a la exposición de un compuesto tóxico en un sitio contaminado; si no que, además sirve para estimar la proporción de la población que se encuentra sobre las condiciones de riesgo aceptables.

Además de la aplicación para estimar el riesgo en el escenario humano, el modelaje Monte Carlo también se propone para estimar el riesgo para los receptores ecológicos, en el proceso denominado "Evaluación del riesgo Ecológico". El desarrollo de este trabajo permitió plantear la utilización del modelaje probabilístico en la evaluación conjunta de los riesgos en salud humana y de los riesgos en los receptores ecológicos en la Propuesta Metodológica para la Evaluación Integrada de Riesgos Ambientales en Sitios Peligrosos de México; ésta metodología fue diseñada y se presenta como parte de los resultados en el Anexo 2 de este documento.

A continuación se describe el proceso de la estimación probabilística en la evaluación de riesgo; esto es en términos generales, un procedimiento que utiliza modelos matemáticos para representar la probabilidad de encontrar las diferentes dosis de exposición en una población con características específicas. La principal ventaja del método probabilístico es que provee una descripción cuantitativa del grado de variabilidad para los estimados de la dosis. El análisis cuantitativo de la variabilidad, proporciona más información de la exposición que cuando se realiza por medio de una estimación puntual (EPA 2001).

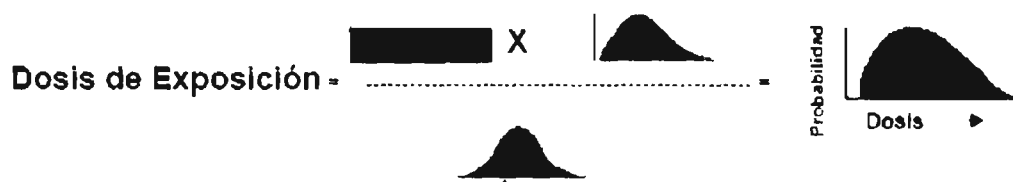
La estimación probabilística se realiza por medio de la técnica numérica de la simulación Monte Carlo (MC). La simulación MC es una técnica cuantitativa que hace uso de la probabilidad para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de fenómenos (procesos o eventos) reales. La clave consiste en crear un modelo global del proceso que se quiere analizar, identificando aquellas variables (parámetros) cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento del fenómeno. Una vez identificados dichos parámetros o variables aleatorias, se lleva a cabo un ensayo que consiste en (1) generar (con ayuda de la computadora) muestras aleatorias (valores) para cada uno de los parámetros; y (2) analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir n veces el experimento, se dispone de n observaciones sobre el comportamiento del modelo, que serán de utilidad para entender el funcionamiento del mismo. El análisis será más preciso cuanto mayor sea el número de "n" experimentos que se lleven a cabo, hay que mencionar que los programas computacionales permiten desarrollar un gran número de repeticiones (del orden de los miles de operaciones) lo que simplifica este proceso.

La ecuación general para calcular dosis de exposición es la siguiente.

$$\text{Dosis (mg/kg - día)} = \frac{\text{Conc} \times \text{TI}}{\text{PC}} \times \text{FE}$$

Usando el método probabilístico, cada parámetro de la ecuación estará definido como variables aleatorias con una distribución probabilística. La Figura 1 esquematiza el cálculo de la dosis de exposición utilizando Monte Carlo.





**Figura 1.** Estimación Probabilística de la Dosis de Exposición.

La etapa fundamental en este método es identificar las distribuciones probabilísticas que definen cada variable en las ecuaciones (parámetros como la concentración del contaminante, ingesta, peso corporal, etc.).

Al llegar a este punto de la metodología ya se realizaron los análisis ambientales; por lo que se cuentan con algunos datos sobre la concentración de los contaminantes del sitio estudiado; y posiblemente en este momento también se genere información adicional acerca de la biodisponibilidad. Utilizando los datos obtenidos, se busca la distribución probabilística que mejor los ajuste (Log-Normal, Exponencial, Normal, etc.).

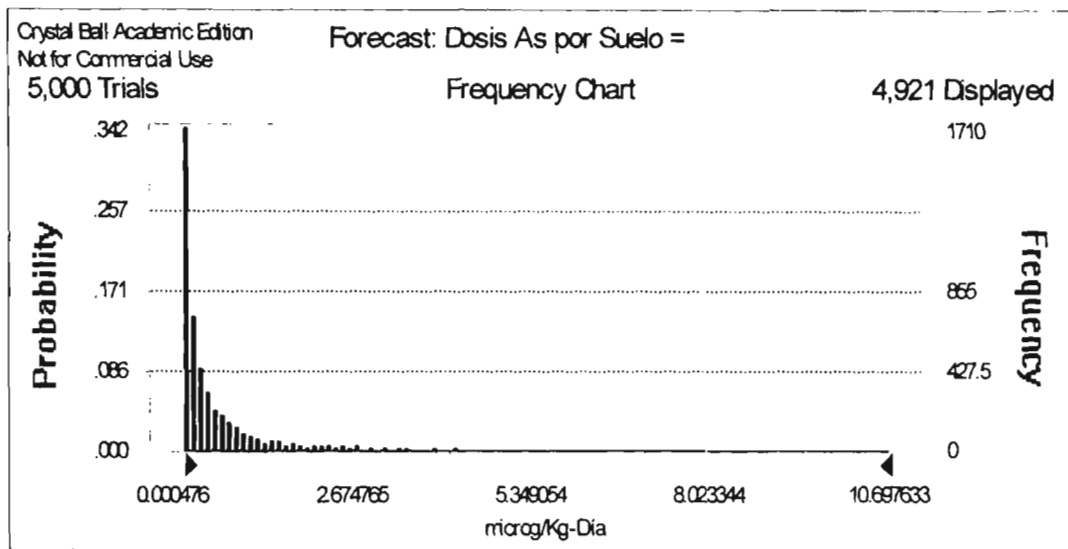
Como ya se señaló, la simulación Monte Carlo se realiza por medio de programas computacionales, actualmente existen diversos paquetes comerciales que facilitan el proceso (Crystal Ball, @RISK, DLP, Risk Software). Cualquiera que se utilice deberá contar con un procedimiento para ajustar los valores a las diferentes distribuciones probabilísticas, en caso de que el software no cuente con esta opción, se puede auxiliar con distintos programas de análisis estadísticos para esta finalidad.

En cuanto a las tasas de ingesta, el peso corporal de los individuos y las otras consideraciones de la exposición, deben medirse directamente en la población de estudio; o bien, se puede hacer uso de los valores citados en la literatura

científica o en diversos manuales, ejemplo: el Manual de Factores de Exposición de la EPA (EPA 2002, EPA 1997). Este manual, resume la información sobre el comportamiento humano y las características que afectan su exposición a los contaminantes ambientales indicando intervalos de valores que se pueden considerar para estimar la dosis de exposición.

Una vez que se han definido todos los parámetros de las ecuaciones, se procede a realizar la primera iteración del modelo. Una iteración representa una combinación específica de valores de cada parámetro, realizar n veces la iteración se denomina modelar o dicho en otras palabras, construir la simulación por Monte Carlo.

El método Probabilístico genera un intervalo de valores expresado como una Distribución de Probabilidad (en este caso de la dosis de exposición) como se muestra en un caso hipotético representado en la Figura 2. En el gráfico, el eje Y representa la probabilidad y la frecuencia de ocurrencia de una dosis de exposición específica (en  $\mu\text{g}/\text{kg}\text{-día}$ ) para una población de características definidas; mientras que en el eje X se muestra el intervalo de los valores de la dosis de exposición; el gráfico se tomó tal y como se expresa en el programa Crystall Ball V 5.0.



**Figura 2.** Resultado Hipotético que muestra la Distribución Probabilística para estimar la dosis de exposición humana a Arsénico por contacto con un sitio contaminado;

Como se puede observar en la Figura 2, las dosis estimadas de la exposición humana a Arsénico proveniente del suelo para este ejemplo está entre 0.00047 – 10.69  $\mu\text{g}/\text{kg-día}$ .

Nota: Debido a la escala en la que están trazados los valores, la Figura 2 parece indicar que no hay una probabilidad de alcanzar la máxima exposición; sin embargo, el programa expresa sólo aquellos valores resultantes para los que existe una probabilidad asociada aunque ésta sea pequeña.

No todas las evaluaciones requieren la caracterización cuantitativa de la variabilidad utilizando Monte Carlo, por ejemplo, esto puede no ser necesario cuando los valores de un contaminante muestran claramente que la exposición o el riesgo está debajo de los niveles no aceptables. En otro ejemplo, el análisis probabilístico resultaría de poca utilidad cuando los costos de remediación resultan relativamente bajos.

De forma reciente el grupo de investigación del laboratorio de toxicología ambiental de la Facultad de Medicina de la UASLP, ha incluido el modelaje

probabilístico dentro del proceso de evaluación del riesgo, ésta aplicación se utilizó en el análisis del sitio denominado Fraccionamiento Morales en la ciudad de San Luis Potosí, Anexo 3 de este documento.

**7. ESTABLECIMIENTO DE UN PROGRAMA DE INTERVENCIÓN EN EL SITIO DE MAYOR PRIORIDAD.**

**8. EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE INTERVENCIÓN.**

En el Anexo 4 se detalla el protocolo de trabajo que se proyectó como estrategia de intervención ambiental para el escenario de la Vivienda indígena; el caso de la comunidad de Tancuime, Aquismón, San Luis Potosí.

En este planteamiento se describe el entorno en el que se desenvuelven los habitantes en el escenario de la vivienda indígena en nuestro país, así como las condiciones de exposición simultánea a pesticidas residuales (DDT), nuevos (Piretroides) y a los diversos productos emitidos por la quema de biomasa agrupados bajo el término de humo de leña.

Este proyecto se llevó a cabo inicialmente como estudio piloto en 10 casas de la comunidad de Tancuime en el municipio de Aquismón, San Luis Potosí; financiado parcialmente por una dependencia gubernamental del estado -el Instituto Potosino de la Juventud. El planteamiento en dicho estudio comprendió la implementación de un programa de limpieza del hollín adherido al techo y paredes internas de las casas, la colocación de cemento para disminuir la exposición a los contaminantes presentes en el suelo del interior de las viviendas y, finalmente la elaboración, instalación y puesta en funcionamiento de estufas ecológicas con chimenea tipo LORENA llamadas estufas PATZARI, el objeto de dichas estufas es reducir la concentración de humo en el interior de los hogares sin cambiar radicalmente los hábitos y patrones de vida de sus residentes.

Es en este mismo sitio en donde se evaluó la utilidad de los inmunoensayos ELISA para el análisis de DDT total y HAP's totales en el suelo de las casas (objetivo 5 del presente trabajo); esta etapa del proyecto requirió de la participación de un estudiante de licenciatura de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca, por

lo que la información generada ha sido de utilidad para elaborar una tesis de Licenciatura en Bioquímica en esa institución.

Por otro lado, en el mismo Anexo referente a esta etapa del proyecto se describen también los métodos que se emplearon para evaluar la eficiencia de la intervención. La sección específica- como se verá mas adelante- de la evaluación de la exposición a humos de leña cumplió con los requisitos necesarios para participar como asesor de una segunda tesis de Licenciatura en Bioquímica en la misma institución que la anterior. En la siguiente sección se indicarán los resultados logrados en esta etapa, para el escenario de la vivienda indígena.

El término humo de leña se refiere a un gran número de compuestos generados y emitidos por la combustión de la biomasa en el interior de la vivienda, en este grupo de compuestos podemos contar diversos gases, partículas de diversos tamaños, y de nuestro interés particular, un grupo de compuestos que por sus características químicas son capaces de ocasionar un daño al material genético de las células, el ADN ( Robbailis, y col. 2003, Kerns y col.,1983). Diversos autores han asociado la exposición a humo y daño genotóxico en diversos escenarios similares a los encontrados en el sitio de estudio (Albalak, R y col. 1999, Albalak, R y col. 2001, Bailis R y col 2003). Nuestra propuesta estableció la medición del daño al ADN a través del ensayo cometa como un biomarcador del daño asociado a la exposición al humo de leña en la vivienda indígena, de esta manera, si la intervención resulta efectiva, habría una reducción significativa en la exposición al humo y al mismo tiempo la reducción de un efecto adverso asociado a dicha exposición.

En resumen, este planteamiento propone la evaluación de los contaminantes DDT y HAP's en el interior de la vivienda, la utilización de un biomarcador de exposición al humo de leña y un biomarcador de daño genético agudo y reversible, todos ellos, antes y después de las actividades planteadas en las secciones anteriores, con estos elementos se evaluó la efectividad de la intervención planteada.

## RESULTADOS

1. Incorporación de los elementos centrales de la metodología de Brasil-GTZ y su adaptación al contexto original del método OPS para la identificación de sitios peligrosos.
2. Validación del nuevo formato de registro y priorización de sitios potencialmente contaminados.
3. Basados en los anteriores, generación de una nueva lista estatal de sitios peligrosos para el estado de San Luis Potosí.

La metodología descrita en el "Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas" desarrollada por el gobierno de Sao Paulo, hace del sistema de registro de las áreas contaminadas el elemento central de un proceso que busca la remediación de aquellos sitios impactados por diversas actividades industriales; este instrumento sirve para priorizar a cada sitio y al mismo tiempo, es en este sistema de registro donde se debe detallar cualquier actividad relacionada con cada área específica que conduzca a una nueva clasificación por lo que el Catastro de las Áreas Contaminadas (como se le denomina en la metodología) es constantemente modificado conforme se genera nueva información.

La Tabla 1 presenta el listado que se derivó de la aplicación de la ficha de clasificación y priorización, donde se identificaron 42 sitios potencialmente peligrosos del Estado de San Luis Potosí.

Lugar	Nombre del Sitio	Lugar	Nombre del Sitio
1	Villa de la Paz	22	Cerro de San Pedro
2	Morales	23	Ferrocarriles SLP
3	Vivienda Indígena –caso Tancuime	24	Ladrilleras V Reyes
4	Zona Agrícola Rioverde	25	Confinamiento Mexquitic
5	Acuífero SLP	26	Basurero Tamazunchale
6	Nuevo Fracc MORALES	27	Termoeléctrica V Reyes
7	Pujal-Coy	28	Guadalcázar
8	Zona Ind. SLP	29	Basurero CV -Viejo
9	Zona Cañera H. Nte.	30	Ahualulco
10	Basurero SLP	31	Basurero cerritos 2
11	Zona Petrolera Ébano	32	Acuífero V Reyes
12	Papelera Villa Reyes	33	Ingenio Plan de Ayala
13	Fundidora Matehuala	34	Ingenio Plan de San Luis
14	Ladrilleras SLP	35	Ingenio Naranja
15	Río Claro	36	Acuífero Salitral
16	ZM Charcas	37	Juguera Huichihuayán
17	Tanque Tenorio	38	Ingenio Alianza Popular
18	Basurero Nuevo C V	39	Mina Fluorita Zaragoza
19	Termoeléctrica Tamuín	40	Zona Agrícola V Arista
20	Basurero Cerritos-activo	41	Basurero Rioverde
21	Tiradero IQM	42	Basurero Matehuala

**Tabla 1:** Listado de sitios potencialmente peligrosos en el Estado de San Luis Potosí, 2005



El listado contiene 38 sitios clasificados de forma preliminar, los 4 sitios restantes no han sido calificados aún debido a que se requiere de una visita preliminar para conocer las condiciones imperantes en cada área particular, de otra forma se podría subestimar o sobrestimar la puntuación de cada sitio.

La naturaleza de los compuestos contaminantes en la totalidad de los sitios se agrupa de la siguiente forma: un 7% de las áreas identificadas están afectadas por una mezcla de contaminantes de naturaleza tanto inorgánica como orgánica; un 26% de los sitios se encuentra impactado exclusivamente por compuestos de naturaleza inorgánica como metales pesados; y el 66% restante se encuentra impactado por agentes químicos orgánicos.

Los tipos de sitios resultantes se distribuyen de la siguiente forma: Áreas Industriales 45.3%, Sitios Agrícolas 11.9%, Depósitos 26.2%, Microindustria 4.7%, Contaminación Natural 9.5% y Otros (Caso de vivienda Indígena) 2.4%. Del total de sitios indicados se cuenta con 5 de ellos caracterizados: Área minera de Villa de la Paz, en ese Municipio; el Fraccionamiento Morales y el Acuífero de SLP, en la ciudad de SLP; el Río Claro, en el municipio de Tamazunchale; y finalmente el Área minera de Cerro de San Pedro en ese mismo municipio; 9 de ellos parcialmente caracterizados: Zona Industrial de SLP, Tanque Tenorio, Tiradero IQM, en la ciudad de SLP; La fundidora abandonada de Matehuala en esa Ciudad; el área minera de Charcas, en el municipio de Charcas; el acuífero de la comunidad del Salitral, en Villa de Ramos; y por último, debido a sus características específicas, tenemos caracterizadas de forma parcial los sitios identificados como: Ladrilleras de Villa de Reyes y Ladrilleras de SLP y por último un escenario muy particular denominado Vivienda Indígena.

La Tabla 2 muestra cómo la importancia de los sitios identificados cambia con respecto al Bien a Proteger; así, mientras que para el área de salud, Villa de la Paz es el sitio mas importante, para uso de suelo agrícola y residencial, vivienda indígena y la fracción de Morales en SLP, son los sitios prioritarios.

Ordenar los sitios de esta forma tiene la ventaja que si existe una dependencia con interés específico en un área de la clasificación, puede hacer uso de ella de acuerdo con su particular punto de vista.

Salud		Uso de suelo Agrícola	Uso de suelo Residencial
Numero	Nombre del Sitio	Nombre del Sitio	Nombre del Sitio
1	Villa de la Paz	Vivienda Indígena	Morales
2	Morales	Zona Agrícola Rioverde	Villa de la Paz
3	Vivienda Indígena	Zona Ind. SLP	Vivienda Indígena
4	Zona Agrícola Rioverde	Villa de la Paz	Zona Agrícola Rioverde
5	Acuífero SLP	Pujal-Coy	Nuevo Fracc MORALES
6	Nuevo Frac. MORALES	Zona Cañera H. Nte.	Acuífero SLP
7	Pujal-Coy	Basurero SLP	Zona Cañera H. Nte.
8	Zona Ind. SLP	Acuífero SLP	Zona Ind. SLP
9	Zona Cañera H. Nte.	Morales	Pujal-Coy
10	Basurero SLP	Nuevo Fracc MORALES	Basurero SLP

**Tabla 2:** Sitios potencialmente peligrosos de acuerdo a los bienes a proteger.

La Vivienda Indígena es un sitio muy importante debido al número de personas que habitan bajo este escenario. Según datos del censo del año 2000, hay un total de 10, 253,627 habitantes indígenas en nuestro país, mientras que San Luis Potosí cuenta con 348,551 personas que constituyen un 15.2% del total de la población estatal.

El presente trabajo considera que la mayor parte de la población indígena tanto del país, como de nuestra entidad, vive bajo condiciones de marginación y con características semejantes en sus viviendas, y consideramos que este

escenario se encuentra expuesto de manera simultánea a dos grupos de compuestos contaminantes principales: 1) DDT aplicado durante un periodo de aproximadamente 50 años por las campañas sanitarias para el control de los transmisores de malaria y, 2) las diversas emisiones generadas por la combustión de biomasa (leña) usada como fuente de energía en sus actividades domésticas.

4. Selección y evaluación de riesgo en el sitio peligroso de mayor prioridad impactado por compuestos orgánicos.
5. Aplicación y validación de nuevas herramientas de análisis ambiental en la fase de inspección preliminar utilizando análisis inmunoquímicos, comparación de las metodologías ELISA vs Cromatografía de Gases.

De la sección anterior resultan claros los argumentos que nos llevaron a elegir el escenario de Vivienda Indígena como sitio prioritario impactado por compuestos orgánicos.

Tal como se detalla en el Anexo 4, los compuestos prioritarios considerados son: 1) el DDT y sus productos de degradación ambiental, y 2) los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

Se debe precisar que el presente trabajo ha tomado en cuenta también a otros contaminantes, como la Deltametrina utilizada como sustituto del DDT en el combate a la malaria; sin embargo, investigaciones desarrolladas con anterioridad en el mismo sitio (Ortiz y col. 2005), reflejaron que el riesgo por exposición a este compuesto sólo sucede en un periodo dentro de las 24 horas posteriores a la fumigación de la vivienda con el piretroide, por otro lado, los programas de combate al paludismo han optado por disminuir radicalmente la aplicación de productos químicos para este fin, por lo que las viviendas seleccionadas actualmente no han sido rociadas.

El término DDT total sirve para agrupar el compuesto original y los productos de su degradación ambiental (DDT, DDE, DDD), mientras que HAP's totales expresa una mezcla variada de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, ésta mezcla presenta una fuerte variación dependiendo del tipo de madera que se quema. En este proyecto, se midió la concentración del DDT total y de los HAP's totales en el interior de la vivienda por medio de los ensayos inmunoquímicos, los resultados se expresan en las Tablas 3 y 4, ambas tablas muestran las concentraciones preliminares antes de iniciar la instalación de piso de cemento en las viviendas.

Número	Registro	DDT Total ELISA ppm	DDT Cromatografía ppm
1	T-274 (1A)	17.8	
2	T-277 (2A)	17.9	
3	T-277 (2B)	16.0	
4	T-277 (2C)	17.5	
5 CN	Casa Roja Control Neg. (3A)	0.010	
6	T-278 (4A)	17.5	
7	T-334-1 (5A)	17.7	
8	T-335 (6A)	16.5	
9	T-338 (7A)	19.0	
10	T-340-1 (8A)	16.7	
11	T-342 (9A) Muestra directa	2.3	0.925
12	T-359-1 (10A)	2.7	
13	T-359 (11A)	14.894	
14	T-361 (12A)	16.461	
15 CN	Casa Juez Control Neg.	0.010	
16	Ctr (+) Suelo 4 Ext. Ramonal Q. Roo Limpieza	12.19	11.5
17	Ctr (+) Suelo 3 Int. Ramonal Q. Roo Limpieza	0.500	0.3
18	Ctr (+) Suelo 5 Int. Ramonal Q. Roo Limpieza	13.803	13.83

**Tabla 3:** Concentración de DDT total en el suelo del interior de las viviendas determinado por ELISA y por Cromatografía de Gases.

Muestra Número	Casa	Rango de Concentración FINAL ppm
1	T- 274 (1B)	> 0.1 < 1.0
2	T- 277 (2E)	> 0.1 < 1.0
3	T- 278 (4C)	> 1.0 <10.0
4	T- 334-1 (5B)	> 1.0 <10.0
5	T- 334-1 (5C)	> 0.1 < 1.0
6	T- 335 (6B)	>10 <100
7	T- 338 (7B)	> 1.0 <10.0
8	T-340-1 (8B)	< 0.1
9	T- 342 (9B)	>0.1 < 1.0
10	T-359-1 (10B)	>0.1 < 1.0
11	T- 359-1 (10C)	< 0.1
12	T- 359 (11B)	>0.1 < 1.0
13	T- 359 (11C)	>0.1 < 1.0
14	T-277 (2D)	>0.1 <1.0
15	T-277 (2F)	> 5.0 < 50
16	Casa Roja (3C)	< 0.1
17	Casa Roja (3D)	< 0.1
18	T - 278 (4B)	>0.1 <1.0
19	T - 278 (4D)	> 1.0 < 10
20	T - 278 (4E)	>0.1 <1.0
21	T - 334-1 (5D)	> 5.0 < 50
22	T -334-1 (5E)	< 0.1
23	T-340-1 (8C)	> 2.0 < 20
24	T-342 (9C)	>0.1 <1.0
25	T-361 (12B)	>0.1 <1.0
26	T-361 (12C)	>0.1 <1.0
27	Casa 001 dormitorio(13B)	>0.1 <1.0
28	Casa 001 cocina (13C)	< 0.1
29	Casa 001 Disposición de Ceniza(13D)	>0.1 <1.0
30	Casa Roja Control Negativo 01.	> 0.1 < 1.0
	Casa Roja Control Negativo 02 (3B)	< 0.1
	Suelo Ctrl Pos. 11,801 ppm 1:15,000 HEXANO	>1500 < 15,000
	Suelo Ctrl Pos. 11,801 ppm 1:15,000 METANOL	> 1500 < 15,000

**Tabla 4:** Concentración de HAP's totales en suelo del interior de las viviendas determinado por ELISA.

De los resultados expresados en las tablas anteriores se puede observar que en algunos casos existen serias diferencias entre los resultados del DDT total medido por ELISA y los resultados obtenidos por cromatografía de gases como se aprecia en el cuadro 3 en el número 11 identificada como "T-342 (9A) ",

donde se sobreestima la concentración; mientras que en otros, como en el número 18 registrado como "Ctr (+) Suelo 5 Int. Ramonal", las diferencias son mínimas al presentar una exactitud del 99.8%.

Para el caso del DDT total, queda clara la necesidad de realizar un proceso de limpieza de la muestra de la misma forma que el procedimiento que se realiza para el análisis por cromatografía de gases con la finalidad de mejorar en la exactitud de los resultados.

Para el análisis de los HAP's hay que indicar que debido a que aun no se ha implementado en el laboratorio el método cromatográfico para determinar éstos compuestos, se utilizó el estándar certificado de referencia de la compañía Resource Technology Corporation No. RTC-CRM105-100 Lot. C5105 que tiene una concentración de HAP's totales de 11,801 ppm. A diferencia del método de ELISA para DDT donde se construye una curva de calibración con 3 estándares (concentraciones) y un control negativo; el procedimiento para los HAP's solo utiliza un intervalo entre las que es probable que las concentraciones medidas en el sitio correspondan, aunque se puede hacer un intento por tratar de interpolar las lecturas y obtener las concentraciones para estos compuestos, ello que trae como consecuencia un aumento en la incertidumbre de los resultados.

En la Tabla 4 se observa que la concentración del estándar de referencia se encuentra dentro del rango de concentración que resultó por la cuantificación por ELISA; sin embargo, al mismo tiempo se advierte claramente que el intervalo es muy amplio como para tener una certeza adecuada de las concentraciones específicas.

6. Inclusión del análisis probabilístico por medio del método Monte Carlo para la cuantificación de la variabilidad.

El siguiente elemento que se incluyó en la metodología de Evaluación de Riesgo fue la cuantificación de la variabilidad mediante el análisis probabilístico Monte Carlo, como ya se mencionó en los apartados anteriores, este procedimiento nos permite estimar la proporción de la población con las características señaladas en este escenario que se encuentran por encima del riesgo aceptable por la exposición a DDT.

Este proceso se realizó tomando las concentraciones ambientales de DDT total cuantificado en las secciones anteriores, los parámetros utilizados se resumen en la Tabla 5.

<b>DDT total por suelo</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Distribución</b>	<b>Referencia</b>	<b>Media</b>
Concentración del DDT en Suelo, mg/ kg	Triangular	Muestreo	
Ingesta de suelo, mg/d	Triangular	Bibliografía	
Peso corporal kg	Log-Normal	Niños Huasteca	
RFD As ORAL mg/kg-day	Valor único	IRIS	0.0005

**Tabla 5:** Parámetros considerados en el análisis Monte Carlo.

La ecuación general para calcular dosis de exposición es la siguiente.

$$\text{Dosis (mg / kg - día)} = \frac{\text{Conc} \times \text{TI}}{\text{PC}} \times \text{FE}$$

Donde:

**Dosis:** Es la Dosis de exposición estimada para los niños de habitantes de la comunidad de Tancuime, expresada como mg / Kg-día.

**Conc:** Es la concentración ambiental de DDT total medida en el sitio estudiado; mg/ Kg de DDT en Suelo. La distribución probabilística que resultó de los



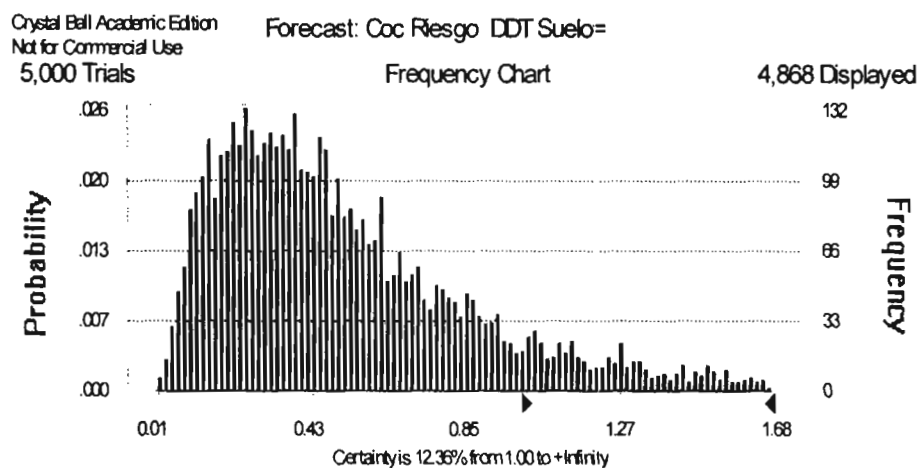
análisis fue una de tipo triangular, significa que las concentraciones encontradas en el suelo se encuentran entre dos valores; uno mínimo y uno máximo, y que la mayor proporción de los valores de las concentraciones medidas se agrupan alrededor de la media.

**TI:** Es la Tasa de Ingesta de suelo, este parámetro se adquirió del Manual de Factores de Exposición Infantil de la EPA, el documento agrupa diversos estudios en los que se determinaron la cantidad de suelo que ingiere un niño, expresado en mg/ día. De la misma forma que en el parámetro anterior, la Tasa de Ingesta se agrupa en una distribución triangular, con un valor mínimo, máximo y uno medio, donde se encuentran la mayor parte de los valores registrados.

**PC:** El peso corporal en kg de los niños de la comunidad de Tancuime. Este parámetro es un valor sesgado; es decir, el límite menor para un peso corporal nunca llegaría a ser cero, mientras que al mismo tiempo, no existe un límite claro para los valores máximos; sin embargo, valores muy altos son poco probables, lo que significa que este tipo de parámetros se ajustan adecuadamente bajo una distribución probabilística Log-Normal.

**FE:** Es el Factor de exposición, para este caso se utilizó un factor de exposición de 1; es decir se asume que un niño de este escenario se expone todo el día a los contaminantes del suelo y que éstos son capaces de absorberse totalmente desde ese medio.

Una vez que se han definido todos los parámetros de las ecuaciones, se procede a realizar la primera iteración del modelo, si éste corre adecuadamente se procede a efectuar la simulación, en este caso se realizaron 5000 repeticiones, cuyo resultado se representa en la Figura 3.



**Figura 3:** Porcentaje de la población infantil de estas características que superarían al menos 1 vez la Dosis de Referencia para DDT en Tancuime.

La Figura 3 muestra que a un 12% de la población infantil en este escenario estaría expuesta por vía oral a dosis superiores a la de referencia descrita por la EPA para el DDT debido al contacto con suelo en el interior de la vivienda.

Este resultado indica el intervalo de riesgo a los que está expuesta la población infantil de Tancuime y además estima la proporción de la población que se encuentra arriba del riesgo aceptable; de esta forma el modelaje probabilístico no sólo indica la magnitud del riesgo, si no que además provee de un elemento adicional para describir el escenario.

Respecto a la estimación del riesgo para HAP's se realizó un ensayo tratando de interpolar la concentración resultante de análisis inmunoquímico, y considerando a las concentraciones como resultantes de HAP individuales; se estimó el riesgo para Acenafteno, Antraceno, Fluoranteno, Fluoreno y Pyreno; sin embargo, los resultados no superaron los riesgos aceptables descritos para esos compuestos derivados sólo por la exposición al suelo conteniendo estos contaminantes.

7. Establecimiento de un programa de intervención del sitio en el sitio peligroso de mayor prioridad.
8. Evaluación del programa de intervención.

De forma adicional a los riesgos indicados en las secciones previas para el escenario de la vivienda indígena, debemos resaltar que también hemos tomado en cuenta la generación y emisión de dioxinas provocada por la quema de leña; diversas publicaciones han descrito el proceso de formación de éstos productos bajo éstas condiciones, estudios previos realizados en el Laboratorio de Toxicología Ambiental de igual forma se han orientado en la búsqueda de tales compuestos (García Nieto, 2005); sin embargo, la finalidad de nuestro proyecto no es generar antecedentes científicos acerca del número y la cantidad de compuestos a los que los habitantes de las viviendas indígenas estarían expuestos, el objetivo primario es disminuir la exposición a los contaminantes descritos en los antecedentes y valorar de forma muy práctica y rápida la eficiencia de las estrategias diseñadas.

Se debe señalar que debido a la pavimentación de los suelos interiores de las casas, el suelo original contaminado con DDT ya no sería muestreado de nueva cuenta, por lo que en esta ocasión lo que se tomó fue polvo de la vivienda, que a diferencia del muestreo anterior, reflejaría la posible exposición derivada del material que se desprende de las paredes y que queda en el piso.

Como era de esperarse, los resultados expresados indican una disminución de las concentraciones de DDT's en los interiores de las viviendas intervenidas. Se realizó un nuevo proceso de estimación probabilística del riesgo bajo estas condiciones y los resultados indicaron que en ninguno de los casos se superaban una exposición mayor a la dosis de referencia propuesta por EPA para el DDT.

La Tabla 6 presenta los resultados de las concentraciones de DDT en suelo medidas en las casas muestreadas 1 mes después de la intervención.

Número.	Registro	DDT total ELISA ppm	DDT Cromatografía ppm
-	Control Negativo	CN	
-	Estándar 1	0.2	
-	Estándar 2	1.0	
-	Estándar 3	10.0	
1	T-274 (1A)	1.580	
2	Casa Roja Control Neg. (3A)	ND	
3	Casa Juez Control Neg.	ND	
4	T-278 (4A)	0.040	
5	T-334-1 (5A)	0.226	
6	T-335 (6A)	1.261	
7	T-338 (7A)	2.650	
8	T-340-1 (8A)	2.066	
9	T-359 (11A)	1.934	
10	T-361 (12A)	2.530	
11	Ctr (+) Suelo 5 Int. Ramonal Q. Roo	16.412	13.83
12	Ctr (+) Suelo 4 Ext. Ramonal Q. Roo	14.572	11.5

**Tabla 6:** Concentración de DDT total en el suelo del interior de las viviendas determinado por ELISA 1 mes después de la Intervención.

Para el caso de los HAP's, se volvió a medir la concentración en el suelo del interior de las viviendas 1 mes después de la intervención; como se esperaba por los antecedentes obtenidos en los análisis previos, en esta ocasión las concentraciones de los HAP's en el polvo recolectado resultaron inferiores a los límites de detección (< 0.1ppm), por consecuencia la estimación del riesgo indicó que éstos no superan a los riesgos aceptables descritos para esos compuestos evaluados solamente en la ruta Suelo interior de la vivienda.

Otro factor de riesgo adicional identificado en el escenario de vivienda indígena es la generación y emisión humo por la quema de biomasa dentro de las casas. Tomando en cuenta el total de los compuestos generados y que monóxido de carbono es el que se emite en mayor proporción, elegimos medir la concentración de CO en sangre -expresada como % de Carboxihemoglobina- como biomarcador de la exposición al humo de leña.

Como se apuntó en la sección de métodos, esta propuesta estableció la medición del daño al ADN a través del ensayo cometa como un biomarcador del efecto adverso asociado a la exposición al humo de leña; de esta manera, si la intervención resulta efectiva, habría una reducción significativa en la exposición al humo y al mismo tiempo la reducción de un efecto asociado a dicha exposición, en la Tabla 7 se resumen los resultados obtenidos en la cuantificación de la exposición al humo de leña expresada como % de monóxido de carbono en sangre.

<b>Etapas</b>	<b>Carboxihemoglobina</b>	<b>No. (%)</b>	<b><sup>a</sup> Media ± DE.</b>
Previo a la Intervención	COHb (%)	20 (100)	4.93 ± 4.33
	COHb < 2.5 %	9 (47)	1.05 ± 0.14
	COHb > 2.5 %	11 (53)	8.39 ± 3.0 *
Posterior a la Intervención	COHb (%)	20 (100)	< 2.5 %
	COHb < 2.5 %	20 (100)	< 2.5 %
	COHb > 2.5 %	0 (0)	

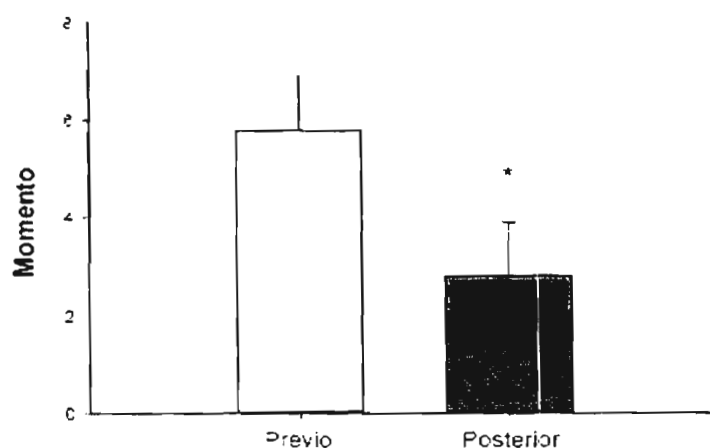
**Tabla 7.** Niveles de Carboxihemoglobina previo y posterior a la intervención.

El % de Carboxihemoglobina se determinó como se indica en el Anexo correspondiente. <sup>a</sup> Valores representan la Media geométrica. (\*) p< 0.05 comparado con <2.5%

Se observa en la Tabla 7 que los niveles medidos del % de la Carboxihemoglobina disminuyeron luego del establecimiento del programa de intervención, los niveles encontrados coinciden con aquellos reportados como normales o personas en ambientes ventilados (Mutation Research 2002; 520, 83–91).

Se descartó la exposición a humo por otras fuentes, pues no hay un tránsito de vehículos significativo que pueda influir en nuestros análisis y se determinó de forma cualitativa la presencia de cotinina en la orina a fin de descartar la exposición a humo de tabaco, el total de participantes del estudio resultó negativo, por lo que se descartó también esta otra posible fuente.

La Figura 4 muestra el daño al ADN medido antes y 1 mes después de realizar la intervención.



**Figura 4:** Daño al ADN previo y posterior a la Intervención. \*Diferencias estadísticamente significativas  $p < 0.05$ .

Se observa una disminución significativa del daño al ADN medido por medio del ensayo cometa,

## DISCUSION

La evaluación del riesgo es un proceso que tiene como objetivo asignar magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de la contaminación. En consecuencia, este proceso resulta ser un instrumento que puede utilizarse para definir si un sitio contaminado merece o no ser intervenido. Con ello puede establecerse si el grado de contaminación presente en un sitio genera efectos nocivos; entre mayor sea el riesgo de la afectación de los seres vivos por la contaminación, mayor será la necesidad de instrumentar programas de restauración.

La finalidad de cualquier metodología de evaluación de riesgo es constituir una herramienta de decisión en el proceso de intervención de un sitio contaminado, dicha herramienta debe proporcionar la información necesaria para asegurar la necesidad o no de realizar actividades para disminuir la posibilidad de un efecto adverso en una población asociado al contacto con un sitio contaminado, así como delinear las acciones de intervención para el sitio, basados en las rutas que representan la mayor exposición y por consecuencia mayor riesgo.

La metodología estadounidense propuesta por EPA- ATSDR tiene un apoyo gubernamental de 320,000 millones de dólares anuales; y a pesar de ello, éstas dependencias han desarrollado una metodología que refleja su necesidad de conocer con mucha exactitud si un sitio verdaderamente requiere ser intervenido, debido a los altos costos que presenta un programa de remediación para cada gobierno.

Este mismo escenario - razonando en las adecuadas proporciones- se presenta en los países latinoamericanos; es decir, al igual que en el caso de Estados Unidos, el costo de remediación de un sitio contaminado es sumamente alto. Es por eso que en países en desarrollo, en donde la asignación de los recursos destinados a salud ambiental o a la remediación de sitios contaminados representa un verdadero problema para los tomadores de decisiones, se debe contar con herramientas científicas adecuadas, cuya

utilización permita 1) el mayor grado de certeza respecto a los riesgos que representa un sitio potencialmente contaminado y 2) que su práctica no resulte tan complicada con la finalidad de permitir su rápida difusión.

De las propuestas de evaluación de riesgo existentes para América, la metodología planteada por EPA-ATSDR es la más completa, pues involucra el uso y manejo de una gran cantidad de información acerca de las condiciones ambientales prevalecientes en un sitio específico, además que utiliza datos estadísticos muy detallados referentes a las condiciones de salud de las poblaciones cercanas. La obtención de esa información cuesta millones de dólares y a pesar de ello el proceso no puede dejar de lado la incertidumbre que persiste a lo largo de su ejecución, pues al final del proceso se involucra un análisis económico muy serio en el que se deciden las actividades por desarrollar en un sitio caracterizado.

Para nuestro país, una decisión basada en un estudio con muchas incertidumbres tendría una repercusión muy seria, debido a que el costo que involucra la asignación de recursos a un sitio que no merecería tanta atención es tan grave como la implementación de medidas inadecuadas en un sitio seriamente impactado.

La propuesta elaborada por OPS no solo se ajusta al contexto mexicano, si no que además de utilizar los mismos elementos de la propuesta EPA-ATSDR, introduce la utilización de biomarcadores de exposición y biomarcadores de efecto, con los que se disminuye considerablemente la incertidumbre acerca del contacto de una población con un contaminante presente en un sitio, así como las consecuencias adversas derivadas de tal exposición.

Aún cuando la propuesta OPS contiene elementos que disminuyen la incertidumbre en el proceso de evaluación de riesgo, no ha sido posible llevar a término este planteamiento, debido a que presenta ciertas limitantes que se propusieron superar en este documento.



La primera inclusión que se realizó a la metodología original de OPS se fundamenta en los trabajos desarrollados por el gobierno de Brasil, donde se diseñó una base de datos electrónica y dinámica con la que la clasificación de los sitios se modifica de forma automática en el momento que se realizan actividades encaminadas a la disminución del riesgo. Las actividades que se desarrollaron para esta etapa del proyecto se resumieron en la sección de métodos de este documento; sin embargo, es importante resaltar que al mismo tiempo que se desarrollan elementos técnicos para mejorar el sistema, también se están agrupando los elementos normativos con el propósito de proporcionar las adecuadas bases legales de su utilización.

El propósito fundamental del sistema denominado SISCO por sus siglas, es operar como elemento normativo para el registro y clasificación de los sitios peligrosos. La importancia del establecimiento del SISCO, es que una vez que se obtenga la información acerca del número y la naturaleza de los sitios potencialmente peligrosos en nuestro país, la siguiente cuestión por resolver se centra particularmente en las actividades que deben desarrollarse para disminuir el riesgo asociado para cada uno de los sitios que resulten.

El primer año de la utilización del sistema de registro de Brasil-GTZ (Mayo del 2002) el gobierno brasileño anunció la existencia 255 áreas contaminadas, el año siguiente se presentó una lista con 727 áreas, en el 2004 se actualizó la lista y se presentaron 1336 áreas, finalmente para Noviembre del 2005 la nueva actualización contaba 1596 áreas contaminadas en el Estado de Sao Paulo, y actualmente se están implementando las medidas de remediación en 564 de esos sitios (CETESB-GTZ 2005 ).

Este es el ejemplo de lo que se pretende desarrollar para nuestro país, por lo que la etapa inicial del proceso es tan importante como el desarrollo del resto de la metodología, con lo que se comprende que su desarrollo sea tan cuidadoso, tanto en sentido técnico como en el normativo que lo sustenta.

Los objetivos buscados originalmente con la incorporación de las metodologías de análisis de contaminantes por medio de inmunoensayos proyectaban su

establecimiento como una herramienta adicional que facilitara la etapa de inspección preliminar de sitios afectados por compuestos orgánicos, las principales ventajas que suponían por la utilización de éstos eran la rapidez, el elevado número de muestras analizadas y la sencillez del método, lo que se traducía en mayor efectividad de la inspección preliminar, y al mismo tiempo que un menor costo; sin embargo, quedó demostrado que éstos métodos tienen una aplicación limitada cuando se trata de una mezcla de contaminantes con semejantes propiedades químicas tal como los hidrocarburos aromáticos policíclicos que se emiten en la quema de leña en una mezcla imposible de caracterizar por este medio. La siguiente desventaja que presentan los análisis inmunoquímicos derivan de la poca especificidad de los anticuerpos para identificar algunos contaminantes, motivo por el que se requiere de un proceso de extracciones químicas secuenciales denominadas "limpieza de la muestra" a fin de mejorar la cuantificación, tal proceso termina siendo tan escrupuloso como el que se realiza para el análisis por cromatografía de gases, por lo que las ventajas indicadas inicialmente no se presentan en todos los sitios.

El análisis probabilístico es una herramienta del proceso de la evaluación de riesgo que permite una mejor visión del escenario que se valora; hasta antes de la inclusión del modelaje Monte Carlo, las evaluaciones desarrolladas se limitaban a describir de manera parcial la naturaleza de los riesgos asociados a un sitio, pues por medio del análisis de escenarios solo se puede indicar un rango mínimo y máximo de riesgo que representa un sitio, en éstas condiciones tal intervalo depende exclusivamente de las concentraciones ambientales cuantificadas; aunque, después de realizar el proceso resultaba claro para el evaluador que, el riesgo no sólo dependía de la cantidad de contaminantes presentes en un sitio, pues las características de la población, sus patrones de actividades, las características del sitio y la naturaleza del contaminante poseen una influencia significativa.

Con la inserción del análisis Monte Carlo se puede tomar en cuenta todas aquellas condicionantes del riesgo para un sitio, por lo que los resultados, además de expresar los intervalos de riesgo, también indican la variabilidad del

riesgo para ese escenario y al mismo tiempo, la proporción de la población que se encontraría superando los límites aceptables.

La utilización de esta herramienta en el proceso de la estimación del riesgo ha adquirido gran importancia años recientes, actualmente se comienza a utilizar en otras áreas como la evaluación del riesgo para receptores ecológicos (EPA 2001), el próximo alcance que se debe desarrollar es su aplicación en el proceso integrado de evaluación del riesgo, para la que el presente proyecto ha planteado una estrategia de utilización.

La principal limitante de la modelación probabilística es que el proceso involucra el manejo de un mayor volumen de información, por tanto, la interpretación de los resultados se complica, la siguiente limitante se produce cuando existe la carencia de información para poder realizar las consideraciones adecuadas; por ejemplo, digamos que se pretende realizar un análisis para un receptor biológico al que nadie ha estudiado con anterioridad, esta circunstancia derivará en que el análisis se ve interrumpido. Este inconveniente puede superarse parcialmente si se cuenta con información de una especie de características muy semejantes con la que se desea trabajar, aunque las diferencias finalmente constituyen un serio elemento adicional de incertidumbre.

La siguiente etapa por desarrollar es la utilización del modelaje Monte Carlo para tratar de asociar una exposición a un contaminante para una especie colocada en un nivel de organización biótico específico, y relacionar dicha exposición con un efecto en niveles de organización biológica mayores; estamos conscientes que la interpretación correcta de las relaciones entre las especies silvestres es tan variada que resulta muy complicado; sin embargo pensamos que las posibilidades que se pueden generar con la ayuda del programa nos permitirán realizar una propuesta de asociación entre especies para cada sitio estudiado, para el desarrollo de se requiere la colaboración con especialistas con experiencia en las áreas ecológicas que se plantean analizar.

El desarrollo de los objetivos 5 y 6 permitió la estimación preliminar del riesgo por la exposición a DDT's y HAP's proveniente del suelo de la vivienda indígena. Luego de hacer las operaciones correspondientes los resultados indicaron que para este escenario en particular, el suelo no constituye la ruta principal de exposición a esos compuestos; no obstante, por los antecedentes en la literatura y las visitas al sitio, se reconsideró que este escenario la combustión de leña hace que la ruta aire sea en realidad la mas importante debido al transporte de los contaminantes emitidos por esta fuente.

Se debe señalar que aunque la ruta suelo no resulta importante para la exposición a DDT's y los HAP's eso no excluye la presencia de otros compuestos no cuantificados en el desarrollo de este proyecto, como se indicó en la sección de métodos, se sabe que la quema de la biomasa en escenarios como este es capaz de generar Dioxinas y éstas son dispersadas tanto en el interior, como en los sitios de disposición de las cenizas, investigaciones recientes realizadas en el Laboratorio de Toxicología Ambiental señalaron la presencia de Dioxinas en el hollín adherido a las paredes y el techo interior de las casas (García Nieto 2005); por otra parte Costilla R. 2005 demostró que aquellas mujeres que utilizaban leña como combustible exclusivo estaban más expuestas a éstos compuestos al presentar una mayor concentración de Dioxinas en leche materna que las mujeres que utilizaban exclusivamente gas para cocinar.

Apoyados por estos antecedentes consideramos que la medición de la exposición humana a las Dioxinas en este escenario no resultaría un buen indicador para valorar la eficiencia un plan de intervención para este escenario, debido a que éstos compuestos son almacenados por años en el tejido graso ( ATSDR 2000); lo que ocasionaría que aún retirando la fuente contaminante, la disminución de la exposición no se vería reflejada inmediatamente, pues la disminución de las concentraciones en las mujeres dependería principalmente del metabolismo de cada individuo.

El programa de limpieza que se desarrolló tuvo como finalidad: 1) la remoción de los compuestos emitido por la quema de leña, especialmente las Dioxinas

del techo y las paredes internas de la vivienda, este material se recibió en un contenedor temporal en el que se transportó hasta el contenedor definitivo en el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina de la UASLP; el hollín presente en el interior de las viviendas constituye un depósito muy efectivo para las dioxinas, basta recordar su alta afinidad por las grasas, la siguiente fase del programa de limpieza de la casa lo constituyó 2) la instalación del piso de cemento para cubrir aquellas áreas en donde por lo menos en una ocasión se aplicó el DDT como parte de las campañas sanitarias del control de vectores de malaria; finalmente, 3) Se diseñó la estrategia para la disminución de las concentraciones de los contaminantes ambientales en el aire del interior de las casas, la cual se logró debido a la Introducción y puesta en marcha de las estufas ecológicas tipo LORENA con la que se sustituyeron a los braseros tipo fogata, las estufas PATZARI como también se les denomina cuenta con una chimenea por la que se conducen los humo al exterior de la casa.

Una vez planteada la estrategia para la disminución de los compuestos tóxicos se buscó un indicador que reflejara la exposición aguda al humo de leña. Debido a que la combustión de materia orgánica genera un gran número de sustancias y que de ellas, el CO es el principal compuesto emitido al aire, seleccionamos monóxido de carbono en la sangre, expresado como %de Carboxihemoglobina, como el biomarcador de exposición al humo.

El efecto adverso relacionado con la exposición a los humos fue el daño al material genético expresado como la medición de daño al ADN por el ensayo cometa tal como lo reportan diversos autores ( Clifford, 1972; Franco et al., 1989; Pintos et al., 1998). Los resultados fueron muy alentadores, debido a que solamente un mes después establecidas las actividades de limpieza, ya se puede valorar una estrategia llevada a cabo en san Antonio.

El trabajo desarrollado en la vivienda indígena demostró que las condiciones imperantes en este escenario representan un verdadero riesgo para sus habitantes cuya fuente de emisión de contaminantes se deriva por satisfacer sus necesidades energéticas, este proyecto ha sido tomado como modelo de atención al problema de la vivienda indígena por parte del Estado de San Luis

Potosí, la utilidad de diseñar una estrategia de intervención ambiental en basada en criterios de riesgo hace que las actividades encaminadas a disminuir la exposición y el efecto adverso se enfoquen a las rutas principales, en nuestro caso quedó demostrado que la ruta suelo no presentaba el mayor riesgo para el caso de los HAP's y DDT's, pero que la ruta aire es la prioritaria debido al gran número de compuestos que se generan y por las concentraciones se alcanzan en este escenario.

El primer resultado que se obtuvo por el desarrollo de este proyecto se relaciona con la demostración de la correspondencia del diseño propuesto por la metodología de OPS a las circunstancias imperantes en nuestro país, en donde las limitantes de información, personal técnico, infraestructura y de asignación de recursos no se debe traducir obligatoriamente en proceso cuyo desempeño revele un gran número de incertidumbres eviten la utilización de la Evaluación del Riesgo como una herramienta valiosa para generar medidas de intervención en sitios peligrosos para la protección de la salud ambiental.

Lo que de inicio plantea como limitantes para la utilización de las metodologías de evaluación propuestas en otros países, se traduce en la necesidad de buscar nuevos planteamientos para los que las todas las restricciones antes indicadas, no alteren la calidad de la información obtenida, y que éste proceso sea verdaderamente útil para el planteamiento de la soluciones a los problemas ambientales en el contexto nacional.

El diseño de una metodología que no pretenda solamente la generación de información científica, si no que se enfoque principalmente en la solución de un problema identificado constituyó el objeto central en el desarrollo del presente proyecto, caracterizado principalmente por la búsqueda de la certidumbre para facilitar una decisión adecuada de las acciones correspondientes para disminuir el riesgo asociado con un sitio peligroso.

Si bien es cierto que la primera propuesta generada por OPS, se ajustaba a las condiciones nacionales, su ejecución planteaba ciertas dificultades por lo que su utilidad como parte de la solución de los problemas no era lo que se

pretendió desde su diseño, de otra manera el número de sitios intervenidos hasta la fecha no serían los que se han logrado hasta el presente, tomando en cuenta por supuesto todas aquellas limitantes que no se superan solamente por contar una metodología de evaluación de riesgo.

La principal diferencia de la propuesta planteada por este documento con aquella desarrollada por Brasil-GTZ, radica en el enfoque asignado para el proceso, mientras que el "Manual del Gerenciamiento de Áreas contaminadas" establece desde el inicio la identificación de las áreas en donde se desarrollan actividades denominadas "riesgosas" para facilitar la asignación de la responsabilidad de un sitio peligroso, la propuesta OPS busca la caracterización de riesgo que implica el contacto con los contaminantes presentes en un sitio contaminado. Es por esto que la mayor parte de los sitios identificados en Sao Paulo, lo constituyen áreas industriales, accidentes y puestos de gasolina, mientras que basureros, áreas afectadas por contaminación natural, no tienen la misma importancia que las primeras.

En este proyecto se identificaron los sitios denominados potencialmente peligrosos en el estado de San Luis Potosí, se generó un grupo de 42 áreas, en los primeros sitios prioritarios ya se están realizando actividades como la caracterización y el diseño de propuestas de intervención, por lo que el siguiente sitio resultante lo constituía la vivienda indígena.

Este escenario no había sido identificado como un área potencialmente peligrosa por la metodología original de OPS; pero, basados en los antecedentes descritos por la literatura científica y los generados por nuestro grupo de investigación, se decidió incluir éstas viviendas. Debido a que contábamos con la información resultante de estudios previos no fueron requeridos-solo para este caso- los estudios de caracterización del sitio, por lo que se contaba con suficiente información que indicaba un verdadero riesgo en la salud por este escenario.

La conjunción de los trabajos previos desarrollados en la vivienda indígena y la búsqueda de otras rutas realizada en este trabajo, nos permitió identificar

plenamente las fuentes, las rutas y los contaminantes críticos, lo que también sirvió para plantear rápidamente una estrategia de intervención para este escenario.

El planteamiento de la intervención, con la introducción de las estufas ecológicas tipo LORENA además de favorecer la disminución del riesgo en la población por minimizar la exposición a los contaminantes, su uso encaminaba además a otros beneficios, identificados como la disminución del impacto sobre los recursos madereros de la zona y de la posibilidad de reducir una fuente constante de gases de efecto Invernadero; la instalación del suelo, además de reducir el contacto de las áreas fumigadas y dejar de constituir un "depósito" de contaminantes, promueve un mejor desarrollo de las condiciones de vida de los habitantes.

Tal planteamiento, tuvo una gran aceptación, primeramente entre los interesados, los habitantes; seguido de diversos grupos de la sociedad, como el grupo ROTARIOS de San Luis Potosí y de Cd. Valles, que se mostraron interesados en participar con nosotros con una aportación muy importante en la intervención para Tancuime; finalmente, el gobierno estatal, se mostró muy interesado en la propuesta, primero a través del Instituto Potosino de la Juventud que a mismo tiempo de colaborar en la ejecución de la intervención, sirvió de intermediario para presentar este mismo planteamiento al a Secretaría de Desarrollo Social y Regional SEDESORE, quienes se comprometieron a la instalación de 600 pisos y 600 estufas en diversas comunidades indígenas y rurales de nuestro Estado.

Al mismo tiempo de todo lo anterior, se diseñó una propuesta que sirvió para la obtención de una partida Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de San Luis Potosí, para realizar los estudios en este sitio.

Finalmente, todas estos elementos se agruparon en la propuesta metodológica planteada en el Anexo 2 de este documento, como se observa, en tal documento se planteó la Evaluación del Riesgo considerando criterio aún mas



complejos ya que se propone considerar tanto a humanos como receptores ecológicos en un mismo diseño de estudio, pero la utilización y validación de tal metodología quedó fuera de los alcances y objetivos propuestos para este proyecto en particular.

## REFERENCIAS

- Albalak, R.; Keeler, G. J.; Frisancho, A. R.; Haber, M. (1999). Assessment of PM10 Concentrations from Domestic Biomass Fuel Combustion in Two Rural Bolivian Highland Villages. *Environ. Sci. Technol.* 33: 2505-2509.
- Albalak R., 2001. Indoor Respirable Particulate Matter Concentrations from an Open Fire, Improved Cookstove, and LPG/Open Fire Combination in a Rural Guatemalan Community. *Environ. Sci. Technol.* 35, 2650-2655
- Bailis R., Ezzati M., And Kammen D.M., 2003. Greenhouse Gas Implications of Household Energy Technology in Kenya. *Environ. Sci. Technol.* 37, 2051-2059
- ATSDR 1995. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia
- ATSDR 1998. Toxicological Profile for Chlorinated dibenzo-p-dioxins. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia
- ATSDR 2000. Toxicological Profile for DDT,DDE, and DDD. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia
- ATSDR 2004. Public Health Assessment Guidance Manual. Public Health Service, or the U.S. Department of Health and Human Services. Accesado 2006; <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/HAGM.bak/disclaimer.html>
- Bryan M. Jenkins, A. Daniel Jones, Scott Q. Turn and Robert B. Williams. Emission Factors for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Biomass Burning. 1996. *Environ. Sci. Technol.*, 30,2462-2469
- CETESB – GTZ 1999. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.
- CETESB – GTZ 2005. Relación de Áreas Contaminadas, informe técnico.
- Clifford P. 1972. Carcinogens in the nose and throat: nasopharyngeal carcinoma in Kenya. *Proc R Soc Med* 65:682–686.
- Costilla Salazar Rogelio, 2005. Determinación de dioxinas en leche materna de mujeres expuestas a humo procedente de la quema de leña. Tesis de maestría. UASLP
- Franco EL, Kowalski LP, Oliveira BV, Curado MP, Pereira RN, Silva ME, Fava AS, Tortoni H. 1989. Risk factors for oral cancer in Brazil: a case control study. *Int J Cancer* 43:992–1000.
- Gee, S. J., Hammock, B. D., Van Emon, J. M.. 1994. EPA/540/R-94/509, A User's Guide to Environmental Immunochemical Analysis.
- EPA 1989. Risk Assessment Guidance For Superfund Volume I. Human Health Evaluation (Part A). U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, D.C. EPA/540/1-89/002. December.
- EPA 1992. Guidelines For Exposure Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, Dc, 600z-92/001
- EPA 1996. Immunoassay Guideline for Planning Environmental Projects. US EPA New England Region 1

EPA 1997. Exposure Factors Handbook. U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. EPA/600/P-95/002fa August

EPA 2001. Risk Assessment Guidance For Superfund: Volume III- Part A, Process For Conducting Probabilistic Risk Assessment. Environmental Protection Agency Washington, Dc. EPA 540-R-02-002. Osver 9285.7-45. Pb2002 963302. [www.EPA.Gov/Superfund/Rags3a/Index.Htm](http://www.EPA.Gov/Superfund/Rags3a/Index.Htm).

EPA 2002b. Child-Specific Exposure Factors Handbook. U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. EPA-600-P-00-002b. Interim Report. September.

EPA 2004, Superfund, Fiscal Year Report.

García Nieto Edelmira 2005. Dioxinas en Suelo y exposición en Mujeres Lactando. Tesis Doctorado UASLP

Kerns WD, Pavkov KL, Donofrio DJ, Gralla EJ, Swenberg JA. 1983. Carcinogenicity of formaldehyde in rats and mice after long-term inhalation exposure. *Cancer Res* 43:4382-4392.

María D. Ortiz-Pérez, Arturo Torres-Dosal, Lilia E. Batres, Olga D. López-Guzmán, M. Grimaldo, C. Carranza, Iván N. Pérez-Maldonado, Flavio Martínez, José Pérez-Urizar, and Fernando Díaz-Barriga. 2005. *Environmental Health Perspectives*, Vol 113; 6

OPS. 1999. Metodología de Identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Organización Panamericana de la Salud. OPS/Cepis/Pub/99.34.

Pintos J, Franco EL, Kowalski LP, Oliveira BV, Curado MP. 1998. Use of wood stoves and risk of cancers of the upper aero-digestive tract: a case-control study. *Int J Epidemiol* 27:936-940

Robbailis, Majidezzati, and Daniel M. Kammen. Greenhouse Gas Implications of Household Energy Technology in Kenya, *Environ. Sci. Technol.* 2003, 37,2051-2059

EPA 2000. Innovations in site characterization. August 2000. EPA -542-R-00-009

Waliszewski SM, Aguirre, Infazon RM, Benitez A, Rivera J, 1999, Levels of organochlorine pesticides in blood serum and umbilical blood serum of mothers living in Veracruz, México. *Fresenius Environ Bull.* 8, 171- 178

Yanez L, Ortiz-Perez D, Batres LE, Borja-Aburto VH, Diaz-Barriga F. Levels of dichlorodiphenyltrichloroethane and deltamethrin in humans and environmental samples in malarious areas of Mexico. 2002. *Environ Res. Mar*; 88 (3):174-81

Yongjian Liu , Lizhong Zhu and Xueyou Shen. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Indoor and Outdoor Air of Hangzhou, China, *Environ. Sci. Technol.* 2001, 35,840-844

# **ANEXO 1a.**



**ANEXO 1a.**

**GUÍA DE LLENADO PARA LA FICHA DEL INVENTARIO DE  
SITIOS CONTAMINADOS**

**DGNX Technologies**

D.F., Mayo 2004

ÍNDICE

Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados .. ¡Error! Marcador no definido.

Introducción a la ficha ..... 3

Ficha de verificación ó ficha primaria ..... 5

1. Datos generales ..... 5

    Número de registro ..... 5

    1.1 Clave catastral ..... 6

    1.2 Razón social ..... 6

    1.3 Domicilio ..... 7

    1.4 Fecha del llenado de la ficha ..... 7

    1.5 Inspectores ..... 8

    1.6 Información geografica ..... 8

    1.7 Tipo de fuente ..... 9

    1.8 Atributos de la fuente ..... 11

    1.9 Responsable del sitio ..... 12

    1.10 Tipo de actividad industrial o comercial ..... 12

    1.11 Registro de descarga de aguas residuales ..... 17

    1.12 Situación actual de la fuente ..... 17

    1.13 Área total de la fuente y del área afectada ..... 18

    1.14 Ocupación del suelo ..... 19

    1.15 Uso del suelo ..... 20

    1.16 Uso actual del área ..... 20

    1.17 Condiciones de impermeabilización general en el área ..... 21

2. Medios físicos afectados ..... 23

    2.1. Medios contaminados que pueden representar rutas de exposición ..... 23

    2.2 Causas de la contaminación ..... 23

    2.3 Fecha de ocurrencia ..... 25

    2.4 Contaminantes presumidos en el área (sustancias presentes en el área) ..... 25

    2.5 Destino de las sustancias / materiales involucrados ..... 26

    2.6 Transporte del medio primario a un medio secundario ..... 28

    2.7. Posibilidad de influencia directa del sitio sobre las aguas superficiales ..... 28

3. Disposición de residuos y fuentes secundarias ..... 30

    3.1. Tipo de disposición ..... 30

    3.2. Existencia de impermeabilización inferior ..... 31

    3.3. Destinos de los lixiviados ..... 31

    3.4. Existencia de impermeabilización superior ..... 32

    3.5. Material de impermeabilización superior ..... 32

    3.6. Existencia de impermeabilización superficial del área alrededor del confinamiento de residuos ..... 33

    3.7. Volumen estimado de residuos ..... 34

    3.8. Tipo de residuos predominantes ..... 34

    3.9. Detalle de residuos ..... 35

    3.10 Formas de almacenamiento ..... 35

    3.11 Fuentes secundarias ..... 35

    3.12 Destino de las aguas residuales ..... 35

## DGnX Technologies – GTZ

### Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados– Diccionario de datos

4	Descripción del sitio y los puntos de exposición .....	36
4.1	Distancia al área urbana adyacente .....	36
4.2	Poblacion en areas urbanas adyacentes .....	36
4.3	Poblacion infantil menor a 14 años .....	36
4.4	Distancia a la edificacion más cercana .....	36
4.5	Distancia a cuerpos de agua superficial para abastecimiento público .....	36
4.6	Distancia a pozo para abastecimiento público domiciliario .....	36
4.7	Distancia a pozo para abastecimiento público industrial .....	37
5	Observaciones generales .....	37
6	Clasificación del sitio .....	37
7	Croquis del área perfil del área .....	39
Ficha de caracterización .....		40
1.	Caracterización de aguas .....	40
1.1	Existencia de agua subterránea contaminada por influencia del área .....	40
1.2	Existencia de agua superficial contaminada por influencia del área .....	40
1.3	Posibilidad de afectación del área por el uso del agua superficial en la localidad .....	41
1.4	Nivel regional de aguas subterráneas más elevado .....	42
1.5	Existencia de agua subterránea contaminada por las sustancias .....	42
2	Caracterización detallada del suelo .....	43
2.1	Existencia de suelo contaminado (confirmado por análisis) .....	43
2.2	Impermeabilización de la superficie del suelo .....	43
2.3.	Existencia de infiltraciones .....	43
3	Caracterización del aire .....	45
3.1.	Existencia de sustancias en el aire del sitio confirmada por análisis .....	45
4	Caracterización y perfil de la actividad económica .....	45
4.1.	Tipo de actividad industrial o comercial .....	45
4.2.	Materiales utilizados / producidos / almacenados / desechados .....	45
4.3.	Tipo de tratamiento de aguas residuales .....	45
5	Eventos existentes de riesgo .....	46
5.1.	Ocurrencia de accidentes y/o eventos importantes .....	46
5.2	Existencia de riesgo por presencia de contaminación en el suelo .....	47
5.3.	Indicadores perceptibles en la superficie del suelo .....	48
5.4	Presencia de gases / vapores en edificaciones vecinas .....	48
6	Estudios desarrollados en el área .....	49
6.1.	Evaluación preliminar .....	49
6.2.	Caracterización .....	49
6.3.	Evaluación de riesgo .....	50
6.4.	Acciones de remediación .....	50

## Introducción a la ficha

La ficha es un instrumento central que permitirá: (1) Mejorar la eficiencia de la gestión de sitios potencialmente contaminados y contaminados, y (2) Alimentar los inventarios estatales de estos sitios; mediante la obtención, concentración y organización de información de éstos.

La información recabada en la ficha es útil para:

1. Definir si existe una sospecha fundada de contaminación
2. Determinar contaminación comprobada en un sitio
3. Priorizar la atención a estos sitios, dependiendo del riesgo que representan a la salud humana y ambiental. De manera que se requiera, con base en la prioridad determinada para cada sitio, la ejecución de medidas de caracterización (a sitios potencialmente contaminados), y de remediación (a sitios comprobadamente contaminados)
4. Identificar los bienes a proteger (salud de la población, abastecimiento de agua potable, uso de suelo residencial, protección a recursos hídricos, uso de suelo agrícola y pecuario, y otros como patrimonio publico, medio ambiente etc.) y las principales rutas y vías de exposición de los contaminantes para la(s) posible(s) población(es) afectada(s) en las áreas cercanas a éstos.

La ficha catastral de sitios contaminados está integrada, conforme a dos grupos de información, por una ficha primaria y una secundaria. La Ficha Primaria (de verificación) podrá ser llenada sin necesidad de caracterizaciones ni análisis químicos; y la Ficha Secundaria (de caracterización) será llenada después de la caracterización y análisis del área en cuestión.

La ficha primaria se divide en 6 secciones que son:

1. Datos generales
2. Descripción de la(s) fuente(s) primarias de contaminación e identificación de las rutas de exposición
3. Disposición de residuos y fuentes secundarias
4. Descripción del área adyacente
5. Observaciones generales
6. Clasificación del sitio
7. Croquis del área / perfil del área



## DGnX Technologies – GTZ

Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados– Diccionario de datos

La ficha secundaria se divide en 7 secciones que son:

1. Caracterización de aguas
2. Caracterización detallada del suelo
3. Caracterización del aire
4. Caracterización y perfil de la actividad económica
5. Eventos existentes de riesgo
6. Estudios desarrollados en el área
7. Observaciones generales

La información obtenida en la ficha catastral es utilizada directamente en el sistema de puntuación, que será utilizado para dar prioridad de atención a las áreas que lo requieran.

La ficha catastral deberá ser levantada por técnicos capacitados, que tengan conocimientos de los procedimientos presentados en esta guía.

Cualquier información introducida en la ficha catastral deberá corresponder a la situación actual del área en estudio, incluyendo las áreas inactivas.

A continuación se describen a detalle los campos de la ficha y el procedimiento a seguir para su llenado.

## Ficha de verificación ó ficha primaria

### 1. Datos Generales

En este punto, debe estar considerada la información necesaria para la identificación y localización de las áreas evaluadas.

#### Número de registro

El número de registro será requerido para el banco de datos y para el catastro informatizado, y se marcará también en la ficha de puntuación tanto de los sitios potencialmente contaminados como de los sitios contaminados está compuesto de 12 dígitos; los dos primeros identifican a la entidad federativa, los tres siguientes el municipio o delegación, el siguiente identifica, con una letra, al tipo de fuente de contaminación (punto 1.7 de la ficha primaria), y los últimos seis son un número secuencial de que será único para cada sitio.

.El tipo de fuente se describe en el punto 1.7 de la ficha, y son:

- A. Área de disposición de residuos
- B. Área industrial
- C. Áreas de extracción y manejo de petróleo y derivados
- D. Área minera
- E. Áreas agrícolas de aplicación de H/P
- F. Accidentes (Emergencias ambientales)
- G. Área Comercial
- H. Otros tipos

Una vez atribuido un código de identificación a un determinado sitio, éste solamente podrá ser modificado cuando la evaluación de la información recopilada muestre que la identificación original de la fuente no corresponde la realidad.

Entidad federativa		Municipio o Delegación			Tipo de fuente	Numero de sitio					
0	5	0	8	5	A	0	0	0	0	0	1

Los listados de numeración de las entidades federativas y de los municipios corresponden a la clasificación del INEGI.

### 1.1 Clave catastral

La clave catastral está compuesta por 15 dígitos. Los tres primeros están asignados a la región, los tres siguientes a la manzana, los siguientes tres al lote y por último los seis dígitos al número de identificación.

Región			Manzana			Lote			Numero de identificación						
0	5					0	7	0							4

### 1.2 Razón social

La denominación del sitio debe identificar la actividad actual que se esté desarrollando en el sitio de evaluación. En la siguiente tabla se presentan algunos ejemplos.

TIPO DE ACTIVIDAD	INFORMACIÓN A SOLICITAR
Áreas industriales activas	Se debe requerir la razón social de la empresa, que consta en su documentación oficial.
Áreas industriales inactivas	Si el área permaneció sin otro uso, debe ser indicada la razón social de la antigua empresa.
Área industriales inactivas donde ocurre cambio en el uso del suelo	Indicar la razón social de la antigua empresa y establecer un nombre que identifique el uso actual del sitio.  Ejemplo: Industria inactiva: Industrias Caramuru. Nuevo uso del área: Condominio residencial Parque Sauces
Rellenos sanitarios	Debe ser informado el nombre por el cual éste es conocido en el municipio o delegación y su denominación según la NOM 083 "Especificaciones de diseños, construcción y clausura de rellenos sanitarios" publicada el día viernes 10.10.2003:  <b>Sitio de disposición final:</b> lugar donde se depositan los residuos sólidos municipales en forma definitiva. <b>Sitio controlado:</b> sitio de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, sin cumplir con las especificaciones de impermeabilización.

TIPO DE ACTIVIDAD	INFORMACIÓN A SOLICITAR
	<b>Sitio no controlado:</b> sitio de disposición final que no cumple con los requisitos establecidos en esta Norma.
Basureros clandestinos	Se debe dar el nombre que identifique el sitio, utilizando datos de referencia, como su localización.
Estaciones de servicio	Se utiliza la razón social y el número de franquicia proporcionado por PEMEX.
Fuentes no conocidas u otras fuentes	Se utiliza un nombre que la identifique al área por su localización y su uso actual.

### 1.3 Domicilio

En este campo se indica la dirección completa del predio en cuestión siguiendo el siguiente orden:

- Estado
- Ciudad
- Delegación o municipio
- Colonia nominal (ver en mapas de la localidad o en listados oficiales),
- Calle y número
- Código postal.

El croquis de localización puede indicar esta información del sitio.

### 1.4 Fecha del llenado de la ficha

Se indicará la fecha de la primera inspección en la etapa de verificación. Esa fecha deberá conservarse en el catastro durante todo el proceso de evaluación, independientemente de que se realicen nuevas inspecciones en el sitio, esto para posibilitar la identificación del inicio del proceso de evaluación del sitio.

Se indicaran la(s) fecha(s) de actualización, ese campo solamente deberá ser llenado cuando:

1. Se realice una inspección del sitio y con base en la información obtenida se haga una revisión completa de la ficha,
2. Se realice una exploración (caracterización) del sitio y a partir de los nuevos datos y resultados de ésta se realice la actualización. En este caso una nueva ficha deberá ser llenada (en papel), manteniéndose el dato de la

primera inspección. Los datos de la nueva ficha deberán alimentar el catastro informatizado. Todas las fichas de un sitio, tanto la inicial como las fichas posteriores, deberán ser guardadas en catastro físico.

3. Se haya realizado en un sitio contaminado una remediación y cambie el estatus del sitio de “contaminado” a → “Remediado”.

Estos campos se deberán llenar de la siguiente manera: los dos primeros espacios serán dedicados para el día, los siguientes para el mes y los dos últimos para el año.

Día		Mes		Año	
0	5	0	7	0	4

Adicionar información a la ficha inicial o a alguna de las fichas posteriores no debe ser entendida como “actualización”, en este caso se mantiene la fecha de la primera inspección y el campo de fecha de actualización se deja en blanco.

### 1.5 Inspectores

Dar el nombre de los técnicos de la autoridad competente y responsable de la realización de la inspección de reconocimiento, la cual corresponde a la etapa de evaluación preliminar.

En el caso de que se realice por cualquier motivo una nueva inspección del sitio y esto implique la actualización de la ficha catastral, este campo deberá ser actualizado con el nombre del responsable para la nueva inspección.

### 1.6 Información geográfica

La siguiente información puede conseguirse en los bancos de información estatales de INEGI o en la documentación disponible en instituciones dedicadas al monitoreo de información climática a nivel estatal: Promedio de precipitación pluvial, promedio de temperatura, tipo de suelo en general. Estos promedios se forman utilizando todos los datos disponibles, por ejemplo promedio de precipitación pluvial media de los últimos 10 años. Los criterios para considerar a un suelo como orgánico o inorgánico son: su color y el contenido de materia orgánica.

La topografía y las coordenadas en el sistema UTM pueden ser tomadas a partir de los mapas que la autoridad estatal competente conserva o a partir de mapas específicos publicados por INEGI.

Las coordenadas que se indicaran son las del punto central aproximado del predio o sitio. Para obtener esta información se puede utilizar un GPS con un margen de

error de exactitud de  $\pm 0.5$  % aproximadamente y comprobarse con mapas-base georeferenciados.

### 1.7 Tipo de fuente

Este rubro de la ficha corresponde a la clasificación de los tipos de áreas y proporciona un carácter del número de registro del sitio (ver inicio de la ficha) y una primera orientación para identificar la actividad potencialmente contaminante presente o que haya existido en el área en cuestión y los posibles contaminantes asociados a ella, las opciones son:

**A. Disposición de residuos:** Áreas de manejo, transferencia y disposición de Residuos Urbanos, Residuos de Manejo Especial (\*) y Residuos Peligrosos.

**B. Área industrial:** Son instalaciones en las cuales se producen, manejan, almacenan y transportan materiales y residuos peligrosos, que son utilizados en procesos productivos.

**C. Áreas de extracción y manejo de petróleo y derivados:** como son refinerías, estaciones de transferencia de diesel, combustoleo, turbosina, estaciones de gasolina y diesel, módulos mantenimiento de transporte colectivo, estaciones de autobuses, gaseras y otros sitios semejantes (ver norma 138, "Límites Máximos Permisibles de Hidrocarburos en suelos").

**D. Áreas mineras:** Son predios y sitios donde se realizan actividades como la molienda de mineral, fundiciones, jales mineros, graseros de escorias, áreas afectadas por emisiones de chimeneas de fundidoras, minas a cielo abierto y minas cerradas (ver NOM 141 "jales mineros" y Proyecto de NOM "Criterios para la elección de niveles de limpieza para suelos contaminados con metales pesados").

**E. Áreas agrícolas de aplicación de herbicidas y plaguicidas (H/P):** se consideran predios y superficies donde se ha realizado el rociado de estos productos, considerados como tóxicos o potencialmente tóxicos, para la producción agrícola, o con fines sanitarios.

**F. Accidentes (Emergencias ambientales):** Se considera no solo el predio donde ocurrió la emergencia ambiental sino también toda el área afectada por el derrame o fuga de materiales o residuos peligrosos (vea norma NOM-052-SEMARNAT-1993. Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente). En este rubro también se inscriben aquellas emergencias ambientales causadas por incendios y catástrofes naturales como lo son inundaciones, naufragios marinos con posterior derrame de hidrocarburos a playas.

**G. Área comercial:** Son predios y áreas donde se manejan almacenan y transportan residuos: residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial, sujetos a planes de manejo y otros susceptibles de causar contaminación. como por ejemplo grasas o lodos de procesos de elaboración de alimentos

**H. Otros tipos:** En este rubro entran todos aquellos predios y sitios donde ocurren cambios desventajosos del suelo por actividades económicas como son por ejemplo: ladrilleras clandestinas, desalojos clandestinos de residuos de la construcción, pozos de extracción de hidrocarburos cerrados.

En algunas situaciones la identificación de la fuente de contaminación es difícil. En esos casos se debe realizar una evaluación del área desde el punto de vista de sus emisiones al medio ambiente.

Cuando en un sitio se tiene la sospecha de contaminación y no se reconoce la fuente y no está disponible información histórica del sitio, se debe clasificar la fuente como **No conocida**.

La fuente de contaminación puede estar relacionada con una actividad que actualmente no se desarrolla en el área o predio, pero que en algún momento del pasado se realizó en él; por ejemplo, en un local donde actualmente funciona un comercio de ropa y que en el pasado funciono una industria química, el tipo de fuente de contaminación debe ser anotado como área industrial y no como área comercial.

En otros casos podrá ocurrir la existencia de dos o más fuentes potenciales de contaminación. En esa situación se deberá optar por la fuente en actividad principal mencionando mas adelante a la fuente secundaria. En el caso de que solo existieran fuentes inactivas en un sitio, la opción deberá recaer sobre aquella con mayor potencial de contaminación.

(\*) Los Residuos de Manejo Especial son:

I. Residuos de las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas.

II. Residuos de servicios de salud, generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos;

III. Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades;

V. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales;

VI. Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en grandes volúmenes;

VII. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general;

VIII. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico, y

IX. Otros que determine la Secretaría de común acuerdo con las entidades federativas y municipios, que así lo convengan para facilitar su gestión integral.

### 1.8 Atributos de la fuente

Se podrá elegir entre las siguientes opciones: Áreas de fuentes múltiples, Área de pequeños generadores (según definición de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, **LGPGIR**), Áreas de altos Niveles de Fondo y Áreas de disposición y/o descarga de aguas residuales

**Áreas de fuentes múltiples:** son aquellas en donde dos o más fuentes de contaminación potencial existen; por ejemplo, una mina activa y una fundidora.

**Área de pequeños generadores (según definición de LGPGIR):** estos son aquellos generadores entre 400 Kilogramos y 10 Toneladas de residuos peligrosos por año, un área o predio se considerara dentro de este rubro cuando en el se ejecuten actividades, en las cuales se generen o manejen Residuos Peligrosos en estas cantidades.

**Áreas de altos Niveles de Fondo:** Son sitios o regiones en las cuales debido a la actividad o características geológicas se presentan altos niveles de concentración de sustancias o elementos considerados como dañinos a la salud. Esto sucede por ejemplo, en regiones donde el agua subterránea presenta de manera natural elementos como el Arsénico, en concentraciones considerables.

**Áreas de disposición y/o descarga de aguas residuales:** Son los sitios donde se depositan los sedimentos de causes de ríos o embalses de aguas superficiales (lagos y lagunas) afectados por actividades industriales que pudieran conducir por sus ciclos naturales de inundación o flujo o reflujos a que superficies o fuentes de abastecimiento de agua, antes "limpias", sean afectadas.



### 1.9 Responsable del sitio

En este rubro debe de ser anotado el nombre del responsable del sitio:

**En el caso de áreas industriales, comerciales, mineras, de servicios:** el dueño del predio y/o el nombre del usufructuario del predio y/o el nombre de la(s) persona(s) que ejerza la posesión o uso del sitio para su beneficio económico.

Se indicara si se trata de persona física o moral, publica o privada.

**En el caso de las emergencias ambientales por accidente:** el responsable de la contaminación identificado en las actas de PROFEPA como tal.

**En caso de emergencias ambientales por causas de fuerza mayor, por ejemplo inundaciones:** el o los propietarios de los predios y el municipio/delegación donde éste o estos se encuentren.

**En el caso de pasivos ambientales abandonados** se indicara primero al municipio, después al estado y/o la federación.

La federación es solo responsable en los casos en los cuales no se halle a un dueño del sitio o a un responsable de la posible contaminación y el predio sea sujeto a una declaratoria de remediación.

### 1.10. Tipo de actividad industrial o comercial

En este campo se deberá incluir la Clave Mexicana de Actividades y Productos (CMAP). Las claves son:

CLAVE	ACTIVIDAD
1300	Pesca
2100	Minería de carbón
2200	Extracción de petróleo y gas natural
2310	Minería de hierro
2320	Minería de metales no ferrosos
2910	Minería de rocas, arenas y arcillas
2920	Explotación de otros minerales no metálicos
3111	Industria de la carne
3112	Elaboración de productos lácteos
3113	Elaboración de conservas alimenticias. incluye concentrados para caldos. excluye las de carne y leche

DGnX Technologies – GTZ

Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados– Diccionario de datos

CLAVE	ACTIVIDAD
3114	Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas
3115	Elaboración de productos de panadería
3116	Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas
3117	Fabricación de aceites y grasas comestibles
3118	Industria azucarera
3119	Fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería
3121	Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano
3122	Elaboración de alimentos preparados para animales
3130	Industria de las bebidas
3140	Industria del tabaco
3211	Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo
3212	Hilado, tejido y acabado de fibras blandas. excluye de punto
3213	Confección con materiales textiles. incluye la fabricación de tapices y alfombras de fibra
3214	Fabricación de tejidos de punto
3220	Confección de prendas de vestir
3230	Industria del cuero, pieles y sus productos. incluye los productos de materiales sucedáneos. excluye calzado
3240	Industria del calzado. excluye de hule y/o plástico
3311	Fabricación de productos de aserradero y carpintería. excluye muebles
3312	Fabricación de envases y otros productos de madera y corcho. excluye muebles
3320	Fabricación y reparación de muebles principalmente de madera. incluye colchones
3410	Manufactura de celulosa, papel y sus productos
3420	Imprentas, editoriales e industrias conexas
3511	Petroquímica básica
3512	Fabricación de sustancias químicas básicas. excluye las petroquímicas básicas
3513	Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas
3521	Industria farmacéutica
3522	Fabricación de otras sustancias y productos químicos
3530	Refinación de petróleo
3540	Industria del coque. incluye otros derivados del carbón mineral y del petróleo
3550	Industria del hule
3560	Elaboración de productos de plástico

DGnX Technologies – GTZ

Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados– Diccionario de datos

CLAVE	ACTIVIDAD
3611	Alfarería y cerámica. excluye materiales de construcción
3612	Fabricación de materiales de arcilla para la construcción
3620	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
3691	Fabricación de cemento, cal, yeso y otros productos a base de minerales no metálicos
3710	Industria básica del hierro y del acero
3720	Industrias básicas de metales no ferrosos. incluye el tratamiento de combustibles nucleares
3811	Fundición y moldeo de piezas metálicas, ferrosas y no ferrosas
3812	Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales, incluso trabajos de herrería
3813	Fabricación y reparación de muebles metálicos
3814	Fabricación de otros productos metálicos. excluye maquinaria y equipo
3821	Fab., rep. y/o ensamble de maq. y equipo para fines específicos, con o sin motor eléctrico integrado.
3822	Fab., rep y/o ensamble de maquinaria y equipo para usos generales, con o sin motor eléctrico integrado.
3823	Fabricación y/o ensamble de máquinas de oficina, cálculo y procesamiento informático
3831	Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos. incluye para la generación de energía
3832	Fabricación y/o ensamble de equipo electrónico de radio, televisión, comunicaciones y de uso médico
3833	Fabricación y/o ensamble de aparatos y accesorios de uso doméstico. excluye los electrónicos
3841	Industria automotriz
3842	Fabricación, reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes. excluye automóviles y camiones
3850	Fab., rep. y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión. incluye instrumental quirúrgico. excluye ele
3900	Otras industrias manufactureras
4100	Generación, transmisión y suministro de energía eléctrica
4200	Captación, tratamiento y suministro de agua
5011	Edificación
5012	Construcción de obras de urbanización

DGnX Technologies – GTZ

Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados– Diccionario de datos

CLAVE	ACTIVIDAD
5013	Construcciones e instalaciones industriales
5014	Otras construcciones
5020	Instalaciones en bienes inmuebles
5030	Trabajos especiales
6110	Compra-venta de material de desecho
6120	Comercio de productos no alimenticios al por mayor. incluye alimentos para animales
6140	Comercio de productos alimenticios, bebidas y tabaco al por mayor
6210	Comercio de productos alimenticios, bebidas y tabaco al por menor, en establecimientos especializados
6220	Comercio de productos alimenticios al por menor en supermercados, tiendas de autoservicio y almacenes
6230	Comercio de productos no alimenticios al por menor, en establecimientos especializados
6240	Comercio de productos no alimenticios al por menor, en tiendas de departamentos y almacenes
6250	Comercio al por menor de automóviles. incluye llantas y refacciones
6260	Estaciones de gasolina (gasolineras)
7111	Transporte ferroviario y eléctrico
7112	Auto transporte de carga
7113	Transporte de pasajeros en vehículos automotores
7120	Transporte por agua
7130	Transporte aéreo
7200	Comunicaciones
8110	Instituciones bancarias y crediticias
8120	Instituciones del mercado bursátil
8130	Seguros y fianzas
8211	Servicios de alquiler de bienes inmuebles
8212	Otros servicios inmobiliarios
8311	Servicios de alquiler de equipo, maquinaria y mobiliario
8312	Otros servicios de alquiler
9100	Administración pública, defensa y saneamiento
9211	Servicios educativos prestados por el sector privado
9212	Servicios educativos prestados por el sector público

DGnX Technologies – GTZ

Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados– Diccionario de datos

CLAVE	ACTIVIDAD
9221	Servicios de investigación científica prestados por el sector privado
9222	Servicios de investigación científica prestados por el sector público
9231	Servicios médicos, odontológicos y veterinarios prestados por el sector privado
9232	Servicios médicos, odontológicos y veterinarios prestados por el sector público
9241	Servicios de asistencia social prestados por el sector privado
9242	Servicios de asistencia social prestados por el sector público
9250	Servicios de asociaciones comerciales, profesionales y laborales
9290	Servicios de organizaciones políticas, civiles y religiosas
9310	Restaurantes, bares y centros nocturnos
9320	Hoteles y otros servicios de alojamiento temporal
9411	Servicios de esparcimiento relacionados con cinematografía, teatro, radio y televisión pública
9412	Servicios de esparcimiento relacionados con la cinematografía, teatro, radio y televisión
9421	Servicios culturales prestados por el sector privado
9422	Servicios culturales prestados por el sector público
9491	Servicios privados en centros recreativos y deportivos y otros servicios de diversión. excluye centros nocturnos
9492	Servicios públicos en centros recreativos, deportivos y otros servicios de diversión
9510	Prestación de servicios profesionales, técnicos y especializados. excluye los agropecuarios
9520	Servicios personales diversos
9530	Servicios de tintorería y lavandería
9540	Servicios domésticos
9611	Servicio de reparación y mantenimiento de maquinaria y equipo. incluye equipo de transporte
9612	Servicios de reparación y mantenimiento automotriz
9613	Otros servicios de reparación, principalmente a los hogares
9710	Servicios para la agricultura y la ganadería. incluye distribución de agua en obras de riego
9720	Servicios relacionados con la construcción
9731	Servicios relacionados con el transporte terrestre
9732	Servicios relacionados con el transporte por agua
9733	Servicios relacionados con el transporte aéreo
9740	Servicios relacionados con las instituciones financieras, de seguros y

CLAVE	ACTIVIDAD
	fianzas
9750	Servicios de intermediarios de comercio
9790	Servicios de agencias de viajes y almacenaje

### 1.11 Registro de descarga de aguas residuales

En el caso de que el predio generador de descargas de aguas residuales cuente con este registro, se anotará.

Este registro se da en áreas urbanas como es el caso del D. F. y es parte de la información de las Secretarías de Medio Ambiente estatal o la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

En algunas entidades se puede recurrir a la oficina de servicios públicos del Municipio, donde se halle el sitio, o en su caso a la oficina local de CNA, cuando se descargue a cuerpos de agua de jurisdicción federal y no al alcantarillado municipal.

### 1.12 Situación actual de la fuente

Anotar si la fuente identificada se encuentra en actividad o no.

Se asumirá que una **fuentes activa** cuando las actividades productivas y económicas que generan emisiones y residuos al medio ambiente se estén realizando actualmente en el predio o sitio.

En predios donde se dejaron de realizar actividades económicas y productivas se asumirá que una **fuentes activa** cuando en el predio se hallen tanques (u otro tipo de contenedor) de almacenamiento en mal estado o viejos con restos de materiales y residuos peligrosos y/o se hallen confinamientos y depósitos no controlados de los mismos o los mismos estén en mal estado.

Tanques de almacenamiento de materiales y residuos peligrosos en mal estado o viejos sin restos de estos se consideraran **fuentes inactivas**.

Contaminaciones de suelos evidentes en predios abandonados en los cuales se desarrollen otras actividades no contaminantes se consideraran **fuentes inactivas** solo cuando la contaminación del suelo no sea afectada por las descargas de aguas residuales de esas actividades.

En caso de observarse que el sitio es afectado por descargas de aguas residuales, por ejemplo manchas evidentes de contaminantes, entonces se considerara al sitio como de **fuentes activas**.

En general, se consideraran como **fuentes inactivas** aquellos predios en los cuales las actividades que generaban emisiones al medio ambiente y en especial al suelo han cesado.

En el caso de que una fuente se encuentre en actividad indicar la fecha de inicio de su funcionamiento.

Para las fuentes inactivas indicar la fecha en que dejo de ser activa.

Si la fuente fue activa en distintos periodos y se dispone de esta información documental, anotar los periodos de actividad.

Los campos dedicados a las fechas se deberán llenar de la siguiente manera: los dos primeros espacios serán para el día, los siguientes para el mes y los dos últimos para el año.

### **1.13. Área total de la fuente y del área afectada**

El área total de la fuente, en el caso de las fuentes en actividad (áreas de disposición de residuos, áreas industriales, comerciales y estaciones de servicio), corresponde a los límites del predio.

El área afectada (sitio contaminado) es demarcada con base en el estudio de caracterización del sitio y está definida como aquella área en la cual las concentraciones de una sustancia o mezcla de ellas están por encima de los límites máximos permisibles (LMP). Los LMP son los establecidos en las normas oficiales mexicanas; o en caso de que no existan, por los Valores Ambientales de Evaluación de Medios (EMEG) obtenidos a partir de las Dosis de Referencia. Por este motivo el área total afectada no se conoce por lo común a través de la visita de verificación, sino hasta que se ha realizado una exploración confirmatoria y la caracterización del sitio. Si esta información existe, debe anotarse.

El área afectada puede ser, en algunos casos, mayor que el área del predio; como en los casos de pasivos ambientales, emergencias ambientales graves o en pasivos ambientales con fuentes activas fijas de emisiones de contaminantes.

En un área de disposición de los residuos (especialmente en basureros clandestinos), cuando no es posible definir el área total de la propiedad, podrá considerarse el área que contiene residuos, reconocible a simple vista o con base en información de los habitantes del sitio.

En el caso de las fuentes inactivas, cuando no se tengan otra información disponible o no se hayan realizado ya estudios de caracterización, el área total afectada corresponderá a los límites del predio donde la actividad generadora se desarrolló.

Podrá tenerse con el dato del área total afectada cuando se cuente con información de estudios de caracterización, o historia del sitio.

En el caso de tratarse de accidentes o emergencias ambientales, esta área puede tenerse en actas de PROFEPA.

De fuentes no conocidas se hará un estimado del área afectada a través de actas existentes, con base en un estimado visual en el momento de la inspección, y/o mediante información proporcionada por los habitantes de la localidad.

#### 1.14 Ocupación del suelo

En este punto se deberá especificar la ocupación del suelo dentro del predio en cuestión y en las zonas adyacentes (lo cual conforma el sitio potencialmente contaminado), entre las siguientes opciones:

Área de disposición de residuos	<i>Áreas Naturales Protegidas, ANP</i>
Residencia con alta densidad de población	<i>Reservas de la biosfera</i>
Residencial con baja densidad de población	<i>Parques naturales</i>
Escuela	<i>Monumentos naturales</i>
Hospital	<i>Áreas de protección de recursos naturales</i>
Parque	<i>Áreas de protección de flora y fauna</i>
Área infantil de juego	<i>Santuarios</i>
Áreas verdes	<i>Parques y reservas estatales</i>
Presa de agua para abastecimiento público	<i>Zonas de preservación ecológica</i>
Agua superficial para abastecimiento público	<i>Suelo de Conservación</i>
Agua superficial sin uso	Terrenos sin uso
Pozo para abastecimiento público domiciliario	Zona ferroviaria
Área de protección al acuífero	Zona vial /carreteras
Área de interés público	Estacionamiento
Área de minería	Aeropuerto
Pozo para abastecimiento industrial	Área militar
Área pecuaria y ganadera	Área comercial y de servicios
Área agrícola	Área industrial



Servicio telefónico, gas, etc.  
Cementerio

Con base en esta información también se identifican implícitamente, los bienes a proteger en el sitio.

La información acerca de la ubicación de áreas naturales protegidas se puede obtener en la SEMARNAT y en las Secretarías de Medio Ambiente Estatales.

### 1.15. Uso del suelo

Especificar el uso del suelo establecido por los programas de desarrollo urbano locales, esta información puede obtenerse de los planes de ordenamiento estatal y municipal, o en la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda en el D. F. Ejemplos de uso de suelo son: residencial-habitacional, industrial, de servicios, comercial, mixto, agrícola, ganadero y uso no específico.

### 1.16. Uso actual del área

El uso actual del área puede ser distinto de uso determinado oficialmente, tanto en el registro público de la propiedad como en los planes de ordenamiento urbano o regional (estatal/municipal). Esto es frecuente y por lo tanto es necesario de anotar el uso actual real del área en estudio, que pueden ser las siguientes opciones:

**Edificación industrial inactiva:** por ejemplo Naves, Bodegas, Almacenes, Instalaciones de producción, etc. que no se encuentren en funcionamiento.

**Edificación industrial con uso residencial** edificaciones industriales inactivas que son actualmente aprovechadas para uso residencial.

**Edificación industrial con uso comercial:** edificaciones industriales inactivas que son actualmente aprovechadas para uso comercial.

**Edificación industrial con uso cultural:** edificaciones industriales inactivas que son actualmente aprovechadas para uso cultural.

**Edificación industrial con otro uso industrial:** edificaciones industriales inactivas que actualmente son aprovechadas para otro uso industrial.

**Edificación comercial:** Son aquellas edificaciones donde actualmente se realiza este tipo de actividad y donde se generan residuos de manejo especial.

**Edificación residencial:** Como por ejemplo: casas habitación unifamiliares, condominios, unidades habitacionales, edificios de apartamentos, etc.

**Edificación cultural:** Teatros, cines, auditorios, etc.

**Edificación industrial:** Naves, Bodegas, Almacenes, Instalaciones de producción, etc. en funcionamiento

**Sin edificaciones:** Predios sin edificaciones funcionales, como lo son bardas y cercas así como edificaciones para servicios como son postes o casetas.

**Otros:** aquí entran sitios o predios con edificaciones en ruinas no funcionales.

### 1.17 Condiciones de impermeabilización general en el área

En este rubro es muy importante en áreas industriales, áreas de extracción y manejo de petróleo y sus derivados, áreas mineras y áreas comerciales. Aquí deben indicarse las condiciones de impermeabilización de la superficie del suelo en el área en estudio. Deberán verificarse áreas de producción, de almacenamiento de sustancias y materiales peligrosos (para la producción), de almacenamiento de residuos y las de tratamiento de residuos.

Las condiciones deben ser consideradas “**buenas**” cuando las superficies del terreno presenten pavimentación, cubierta de concreto u otro tipo equivalente y no hayan sido observadas irregularidades que favorezcan la infiltración de cualquier líquido ya sea agua de lluvia o sustancias derramadas o almacenadas sobre la superficie del terreno.

También se consideraran las condiciones “**buenas**” cuando se hallen en el suelo tanques subterráneos o piscinas de concreto en buen estado, las cuales estén construidas o instaladas según las disposiciones vigentes y sean recientes.

En todos los demás casos se consideraran las condiciones como “**malas**”.

Cuando el sitio en evaluación cuente con tanques de almacenamiento enterrados de más 10 años, o visiblemente deteriorados por oxidación y que no cuenten con aditamentos para evitar fugas al suelo, las condiciones de impermeabilización del área de almacenamiento serán valoradas como “**malas**”.

En caso de que se observen fracturas, grietas o hundimientos en las inmediaciones de tanques, tuberías de conducción o áreas de almacenamiento se considerara como motivo para indicar que la impermeabilización del área es “**mala**”.

Cuando se sospecha, durante la inspección de verificación, que algunas áreas son las principales de manejo de materiales y residuos peligrosos y se observe que las condiciones de impermeabilización son “**malas**”, la prioridad del sitio o predio

## DGnX Technologies – GTZ

Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados– Diccionario de datos

como potencialmente contaminado será mas alta que cuando las condiciones de impermeabilización sean buenas.

Para registrar fallas en el impermeabilizado, un buen método es realizar una verificación de la canalización que parta de estas áreas.

Cuando una o más de las áreas indicadas como opciones de respuesta para este tema no existan dentro del sitio en estudio, dejar en blanco la respuesta.

## 2. Medios físicos afectados

Descripción de la(s) fuente(s) primaria(s) de contaminación

### 2.1. Medios contaminados que pueden representar rutas de exposición

Se indicara cuales medios fueron afectados: suelo, agua superficial, agua subterránea, aire, polvos domésticos, sedimentos, gases del suelo u otros.

En áreas climáticamente secas una afectación del suelo puede conducir a la formación de polvos contaminados. Por este motivo es de atenderse a las características del suelo durante la visita de verificación y a informaciones climáticas a este respecto.

Una afectación de los gases de suelos se da cuando los contaminantes presumidos son altamente volátiles y la textura del suelo permite su migración (por ejemplo una textura de suelo arenosa, arenosa limosa o semejantes en cuanto a su permeabilidad.

Una afectación del aire se da cuando la fuente es aun activa y sus emisiones se descargan por chimeneas o montículos de residuos sólidos susceptibles de formar polvos.

Una afectación de sedimentos se da por descargas de aguas residuales contaminadas a causes, arroyos o canales no impermeabilizados.

### 2.2 Causas de la contaminación

Especificar la causa que provocó la contaminación en el área en cuestión:

Causa	Descripción
Colisión o volcadura de vehículos:	Volcadura de vehículos de transporte de carga (como carros-tanque) de sustancias peligrosas en vías de comunicación (carreteras, calles, líneas ferroviarias y otras).
Corrosión de ductos:	Cuando el derrame de materiales y residuos peligrosos (por ejemplo diesel o petróleo crudo) sucedió en líneas de conducción; y por este motivo, la evidencia de corrosión de estos sea clara.
Explosión:	Cuando por explosión de tanques o líneas de conducción (ductos) de líquidos, gases o vapores se derramen materiales y residuos peligrosos, o cuando debido a robo sea perforadas y dañadas líneas de conducción y esto conduzca al derrame y en su caso

	a una explosión.
Incendio:	Cuando por cualquier motivo (corto-circuito, sobrecalentamiento, fallas mecánicas etc.) suceda un siniestro con incineración de materiales y se hayan aplicado aguas y espumas para controlar y consumir el fuego, y en el sitio se hayan manejado materiales y sustancias peligrosas o que por combustión sean precursoras de estas.
Disposición ilegal de Residuos urbanos	La descomposición del material orgánico contenido en los residuos urbanos generan lixiviados. Estos lixiviados tienen un carácter ácido por ello conducen a la disolución de metales pesados y a la descomposición de ciertos materiales plásticos, la infiltración no controlada conduce inevitablemente a la contaminación del suelo a mayores distancias que la contaminación causada por el material sólido.
Infiltración	Intencional o accidental de sustancias en la superficie del suelo y subsuelo a través de fosas, sumideros, pozos, canalizaciones defectuosas etc. y cuando el suelo no presente una impermeabilización buena.
Desalojo y/o relleno con Residuos de Manejo Especial	Se considera que todos los residuos de manejo especial pueden generar lixiviados contaminantes cuando estos no son manejados y confinados adecuadamente, como por ejemplo el caso de los residuos de la minería (entre otros jales) con contenido de sustancias tóxicas como son por ejemplo Arsénico, Plomo, Cromo, Mercurio.
Emisión de gases y partículas	Esta causa de contaminación se da a partir de fuentes activas fijas principalmente en aquellas que producen partículas y gases con sustancias tóxicas, cancerígenas o potencialmente cancerígenas o que pudieran causar problemas de salud crónicos, como por ejemplo chimeneas de fundidoras, incineradores de residuos, chimeneas de instalaciones metal-mecánicas, chimeneas de instalaciones de producción donde se manejen materiales peligrosos o precursores de estos.
Emisión de aguas contaminadas	Toda actividad económica/productiva en la que se involucren en sus procesos de producción materiales peligrosos y metales pesados y en las cuales se generen aguas de proceso y las descarguen sin tratamiento.
Disposición ilegal y/o no controlada de Materiales y Residuos Peligrosos	Todos los depósitos no controlados de Materiales y Residuos Peligrosos generan contaminación de suelos, tanto por contacto directo como por lixiviación.

Aplicación de Materiales y Residuos Peligrosos	Así mismo la aplicación de Materiales y Residuos Peligrosos puede resultar en contaminación del suelo cuando esta aplicación no es controlada, como por ejemplo el rociado de herbicidas y pesticidas o el rociado de maderas con conservadores (PCB) en una planta de producción.
Otras	En el caso de que las causas probables no estén incluidas en las anteriores, pero sean reconocibles describir la causa bajo este rubro.
No conocida	En el caso de que no sean identificadas las causas, se denominara la causa como desconocida.

### 2.3 Fecha de ocurrencia

Especificar la fecha de ocurrencia o fecha de la contaminación de la misma. Asignar el dato del evento que generó la fuente de contaminación.

### 2.4 Contaminantes presumidos en el área (sustancias presentes en el área)

A partir de la relación de la rama industrial con grupos de sustancias contaminantes o materiales y residuos peligrosos puede inferirse esta información.

Un listado de los posibles residuos, sustancias o contaminantes provenientes de una rama específica de actividad económica se da en el anexo 2.

También puede ser determinada por evidencias físicas en el sitio, por ejemplo tanques de almacenamiento o determinada por documentación existente.

En la ficha se indicara si los contaminantes y/o las sustancias son confirmadas por investigaciones previas o son solo presumidas de estar o que estuvieron presentes en el área en cuestión. Las sustancias pueden estar presentes como: materias primas, producto terminado, productos terminados que contienen sustancias contaminantes o como residuos de producción:

Se distinguen en la ficha los siguientes grupos de contaminantes:

**Productos derivados del petróleo**, como son: Gasolinas, Turbosina y Gas-avión Diesel, Combustoleo, Aceites (nuevos y usados), Bitumenes, Asfalto, Otros

**Solventes orgánicos no halogenados**: alcoholes, acetonas o semejantes.

**Solventes orgánicos halogenados o Hidrocarburos halogenados (clorados) volátiles:** como por ejemplo Diclorometano (DCM) líquidos refrigerantes fluorados.

**Hidrocarburos halogenados (clorados) no volátiles:** como por ejemplo Poli-Clor-Bencenos (PCB), Askareles, conservadores de madera.

**Agroquímicos:** como lo es la extensa gama de plaguicidas y herbicidas

**Ácidos, bases y anhídridos:** principalmente lodos de producción con hidróxidos o ácidos, lodos de la industria metal mecánica con metales pesados, lodos y aguas de la industria química y farmacéutica.

**Metales y compuestos metálicos:** Jales mineros con metales pesados considerados peligrosos por la norma de metales pesados, polvos de chimeneas de fundidoras, escorias de fundidoras, sitios donde se dispongan baterías y acumuladores

**Explosivos:** como por ejemplo TNT

**Otros:** Sustancias no pertenecientes a ninguno de los grupos relacionados arriba, estas deben de ser indicadas según el grupo de sustancias químicas al que pertenecen las sustancias identificadas en el área.

**Desconocida:** No se puede identificar por evidencia visual, por evidencia documental o en base al listado de residuos y sustancias por rama de actividad económica, entonces se indicara a los contaminantes presumidos bajo este rubro.

La presunción de un contaminante corresponde a la clasificación del sitio como "potencialmente contaminado".

La confirmación de la presencia de cualquier sustancia que se incluya en los grupos mencionados arriba, indicara la clasificación del área "contaminada".

## 2.5 Destino de las sustancias / materiales involucrados

Indicar entre las siguientes opciones, cuales son los destinos de las sustancias relacionadas con el evento que condujo a la contaminación y con el área de la fuente presumida.

**Agua superficial:** cuando las sustancias llegan a los cuerpos de agua superficiales debido al escurrimiento superficial o por infiltración a cuerpos de agua subterránea muy cercanos a la superficie con contacto hidráulico directo con un cuerpo de agua superficial. Este es el caso por ejemplo de una infiltración de gasolina en las márgenes de un río o laguna.

**Agua subterránea:** cuando las sustancias entren en contacto con cuerpos de agua subterránea, esto se da solo cuando el nivel freático está muy cercano a la superficie del terreno:

1. Menor a 30 m de profundidad cuando la textura del suelo es arenosa.
2. Menor a 10 m sin importar la textura del suelo
3. Cuando las sustancias se pueden infiltran por grietas y estas alcanzan el nivel freático menor a 30 metros
4. Cuando las características del suelo (textura y estructura) permiten una infiltración rápida y el contaminante tiene una densidad alta. Tanto en este caso como en el anterior se considerara que el contaminante paso del medio primario (suelo) a un medio secundario (agua).

**Infiltración al suelo:** cuando el suelo fue el destino de las sustancias involucradas en la infiltración accidental o intencional y no existe un cuerpo de agua ni superficial ni subterráneo en la proximidad de la mancha de contaminantes o este es muy profundo (en algunos casos a partir de 100 m de profundidad), para este caso se puede consultar a las autoridades municipales de servicios públicos que usualmente tienen esta información.

**Infiltración en pozos:** cuando las sustancias fueron infiltradas en pozos de infiltración o de inyección o por infiltración accidental en pozos y norias de captación de agua para el abastecimiento industrial o cuando por lixiviación y por el cono de extracción de caudal del pozo estas son conducidas hidráulicamente a los pozos.

**Red de drenaje / aguas pluviales:** en el caso de que las aguas residuales sean lanzadas en la red de drenaje o en la red de aguas pluviales y estas lleguen a una planta de tratamiento, una descarga a redes de alcantarillado sin planta de tratamiento deben de considerarse en el rubro infiltración a suelos y considerar el transporte del medio primario suelo/agua al sedimento.

**Polvos:** este es el caso en el cual por disposición de residuos sólidos susceptibles de formar polvos o por dispersión de emisiones gaseosas y partículas contaminantes con diámetros reducido desde chimeneas se depositan en el suelo los contaminantes y que debido a sus características mecánicas y físicas son susceptibles de generar polvos y partículas suspendidas que pueden ser ingeridos y inhalados por seres humanos.

**Gases:** en el caso de que por dispersión de emisiones gaseosas estas entren en contacto con la población por inhalación y el suelo reaccionen con los componentes de este formando compuestos insolubles o solubles.

**Planta de tratamiento:** en el caso de que residuos sólidos o líquidos sean descargados a plantas de tratamiento propias o municipales y se considere que las descargas contienen sustancias peligrosos, tóxicas o cancerígenas.



**Otros:** relacionar otros destinos que no hayan sido contemplados en las respuestas anteriores.

En el caso de que las respuestas asignadas sean agua superficial, infiltración en el suelo e infiltración en pozos de las sustancias involucradas sean consideradas peligrosas el área debe contribuir este criterio a clasificar el área como potencialmente contaminada, una infiltración de sustancias no peligrosas no debe de ser señalada.

## **2.6 Transporte del medio primario a un medio secundario**

En este punto deberá indicarse si hay evidencia visual de que la contaminación ha pasado de un medio a otro por ejemplo:

1. Cuando un contaminante paso de la descarga de aguas residuales a través del drenaje hacia el suelo por rupturas del drenaje,
2. Cuando la contaminación fue transportada del suelo al polvo debido a las características geográficas, climáticas o mecánicas del suelo, esto es relevante para áreas desérticas,
3. Cuando la contaminación fue transferida del suelo al agua subterránea por lixiviación,
4. Cuando hay evidencias claras de que el nivel freático es cercano al nivel del suelo y en el suelo se hallen residuos peligrosos o residuos urbanos en descomposición,
5. Cuando por absorción la contaminación paso a los alimentos.

## **2.7. Posibilidad de influencia directa del sitio sobre las aguas superficiales**

Se deberá evaluar e indicar si existe la posibilidad de afectar directamente la calidad de las aguas superficiales localizadas en el predio o zona adyacente al sitio en cuestión. Esto en dos casos: (a) cuando la fuente de contaminación presente activa este en contacto con cuerpos de agua superficial y (b) cuando una fuente inactiva que existe en el área en cuestión puede igualmente afectar un cuerpo de agua que esta en contacto con el sitio. En el caso de que exista esa posibilidad indicar el uso de esas aguas entre las opciones:

**No–** Se asigna esta respuesta en el caso de que ni por escurrimiento, ni por infiltración puedan ser contaminadas cuerpos de agua superficiales o cuando estos no existan en un radio de influencia alrededor de los límites del área de evaluación de por lo menos 1 Km y aun en este caso cuando no exista la posibilidad de influencia del área sobre la calidad de aquellas.

**Si, utilizada para abastecimiento público** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales puede ser alterada por influencia del área, siendo esta utilizada para abastecimiento público (pero no domiciliario).

**Si, utilizada para abastecimiento doméstico** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales puede ser alterada por influencia del área, siendo estas utilizadas para abastecimiento doméstico, es decir esta agua es la fuente de abastecimiento para plantas de potabilización.

**Si, no utilizada para abastecimiento** – existe la posibilidad de la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por la influencia del área, no siendo estas utilizadas para algún fin que involucre el contacto con la población.

**Si, utilizada para irrigación/pecuaria/psicultura** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por influencia del área siendo estas utilizadas para irrigación de productos agrícolas o pasteo para la alimentación de animales.

**Si, utilizada para la pesca** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por influencia del área siendo estas utilizadas para la pesca en general. Esto se da usualmente en zonas costeras o en lagunas donde ocurre descarga de aguas residuales directamente del área en cuestión.

**Si, utilizada para la recreación** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por influencia del área siendo estas utilizadas para la recreación como natación o deportes acuáticos.

**Sí, utilizada para la industria** – cuando existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por influencia del área siendo estas utilizadas para los proceso de producción (no alimentos).

**Desconocida** – asignada esta respuesta cuando no existen datos disponibles o posibilidad de constatación de la influencia del área sobre la calidad de las aguas superficiales.

### 3. Disposición de residuos y fuentes secundarias

#### 3.1. Tipo de disposición

Deberá ser anotado la forma de disposición de residuos, considerando las siguientes definiciones:

**Relleno sanitario** – Se define como un sitio de disposición construido en base a un proyecto elaborado según las normas oficiales mexicanas (NOM SEMARNAT-083) y que haya sido autorizada su operación por las autoridades competentes y las cuales cuentan con todas las obras necesarias para aislamiento de los residuos dispuestos como es la impermeabilización inferior y superior. Cuenta con instalaciones de control de emisiones como lo son drenaje de gases y/o de lixiviados y cuenta también con instalaciones de manejo y tratamiento de los mismos y de control de aguas de escurrimiento. Presupone también una operación adecuada, considerando el control del material depositado y el empleo de técnicas estándares de recubrimiento.

**Confinamiento no controlado cuyo contenido es desconocido** – se considera como sitio no controlado cuando este no cuente con impermeabilización y se efectuó la disposición de los residuos y la operación del sitio por parte del municipio de manera no adecuada sin atender las disposiciones vigentes o las normas oficiales mexicanas. Se considera por lo tanto que la posibilidad de que el tiradero contiene residuos peligrosos es alta, aun cuando el confinamiento fue operado por el municipio y en la zona hay industrias.

**Tiraderos clandestinos** – es caracterizado por la disposición inadecuada e ilegal de varios tipos de residuos en un área, sin el adecuado conjunto de técnicas apropiadas de construcción y manejo. La disposición es efectuada usualmente por la población sin contar con autorización o por generadores locales de residuos. Dependiendo del tipo de residuos presentes puede hallarse al responsable de la disposición no autorizada, esto es posible cuando se trata de residuos no peligrosos de actividades comerciales o industriales, por ejemplo residuos de agro-industrias. Cuando se trata residuos urbanos en su mayoría se considera a la población local como la fuente de estos residuos.

**Confinamiento de residuos industriales** – concebido para recibir residuos industriales, su proyecto y operación debe considerar la naturaleza de los residuos a ser dispuestos, debiendo poseer los elementos citados en el relleno sanitario.

**Deposito de escorias** – Estos depósitos de materiales vidriados provienen principalmente de actividades mineras, por ejemplo de fundidoras. Escorias surgen también a partir de otras actividades productivas asociadas con la transformación térmica de materiales de suelos molidos por ejemplo vidrio, porcelana o de materiales metálicos.

**Sedimentos** – Son definidos como materiales semejantes a suelos que se depositan por arrastre y transporte hídrico en cuencas o embalses de ríos, lagos y lagunas o en la franja costera. Se considerara este rubro cuando una fuente descargue aguas residuales contaminadas o materiales a estos cuerpos de agua.

**Jales** – La definición de jales se halla en el proyecto de norma publicado en el DOF del 17.09.2003. Residuos sólidos generados en las operaciones primarias de separación y concentración de minerales.

**Deposito no controlado de residuos de manejo especial RME** – Se refiere a depósitos de materiales como lo son residuos de construcción (escombro, cascajo etc.) que hasta este momento se desalojan de manera no controlada en predios no autorizados.

**Otros** – Cualquier otro tipo de depósitos de residuos urbanos mezclados o no con RME o con materiales y residuos peligrosos tanto en la superficie de predios (por ejemplo chatarra) o dentro del suelo.

### **3.2. Existencia de impermeabilización inferior**

Debe ser identificada la existencia de un sistema de impermeabilización inferior y el material empleado en la misma. Esto es solo posible cuando existe documentación acerca del proceso de construcción del confinamiento de residuos.

Este rubro podrá ser respondido a través de observaciones en el sitio, datos del proyecto o información obtenida del operador del sistema.

En las áreas donde la impermeabilización sea parcial, la respuesta debe ser indicada como inexistente.

Si la respuesta asignada fuera inexistente o desconocida conducirán automáticamente a elevar la clasificar el área como potencialmente contaminada,

### **3.3. Destinos de los lixiviados**

Indicar el destino de los líquidos lixiviados provenientes del área de disposición de residuos, entre las siguientes opciones de ocurrencia:

**Infiltración en el suelo** – esta respuesta debe ser asignada para todo los sitios de disposición que no posean sistema de drenaje de líquidos lixiviados e impermeabilización inferior.

**Infiltración en pozos** – cuando los líquidos lixiviados fueron colectados e infiltrados en pozos de absorción.

**Estación de tratamiento municipal** – aplica a las áreas donde los líquidos lixiviados son o fueron descargados en la red de alcantarillado a plantas de tratamiento municipales de aguas residuales o las cuales son transportadas y descargadas a las plantas de tratamiento con vehículos (carros tanque).

**Planta de tratamiento particular** – en el caso de existir una estación de tratamiento de líquidos lixiviados en el sitio.

**Red de aguas pluviales** – en el caso de que los líquidos lixiviados sean colectados y mas adelante descargados a la red de drenaje sin que exista una planta de tratamiento o sean descargados directamente en red de escurrimiento de aguas pluviales como lo son canales o a cuerpos de agua federales.

**Fosas sépticas** – cuando los lixiviados de dejan infiltrar al suelo a través de una fosa séptica.

### 3.4. Existencia de impermeabilización superior

Anotar si existe alguna impermeabilización superior del área de deposito de residuos. En caso de que exista indicar sus características entre las opciones:

**Inexistente** – los residuos depositados se encuentran expuestos sin ningún recubrimiento seguido de compactación.

**Parcial** – solo parte de los residuos se encuentra recubierta.

**Total con fracturas** – los residuos se encuentran totalmente recubiertos, sin embargo el material de recubrimiento / impermeabilización presenta fracturas o fisuras que posibilitan la infiltración del agua. Este es el caso también cuando el material de recubierta sea solo tierra.

**Total** – los residuos se encuentran totalmente recubiertos y en buen estado de conservación.

Si las respuestas asignadas fueron inexistentes, parcial o total con fracturas o local, esto conduce a que el área se considere como potencialmente contaminada.

### 3.5. Material de impermeabilización superior

Debe de ser anotado cual es tipo de material utilizado en la impermeabilización superior en caso de que exista:

**Inexistente** – cuando no existe ningún material sobre la superficie del suelo que pueda proporcionar la impermeabilización necesaria de los residuos contra infiltraciones de agua de lluvia.

**Material arcilloso** - material de construcción cuya composición sea semejante a una arcilla y esta este compactada visiblemente.

**Material arenoso** - material de construcción predominantemente arena.

**Membrana** – material sintético impermeable por ejemplo HDPE.

**Doble membrana** – idéntico al anterior, constituida por dos cámaras de mantas.

**Arcilla y membrana** – cuando el recubrimiento es con membrana sintética y colocada una camada de material arcilloso.

**Pavimentación con asfalto / cemento** – cuando el acabado del área de disposición es a través de pavimentación utilizando asfalto o cemento.

**Piedras y bloques** – bloques, tabiques, ladrillos unidos por cemento o mortero

**Desconocido** – cuando no se conoce la naturaleza del material.

### **3.6. Existencia de impermeabilización superficial del área alrededor del confinamientos de residuos**

Especificar el tipo de material existente sobre la superficie del suelo del predio en general y que pueda proporcionar la impermeabilización del mismo en sus distintas áreas de trabajo:

**Inexistente** – cuando no existe ningún material sobre la superficie del suelo que pueda proporcionar la impermeabilización de la misma.

**Arcilloso** – material de construcción predominantemente arcilloso.

**Arenoso** – material de construcción predominantemente arenoso.

**Membrana** – material sintético impermeable compuesto por borracha y plástico.

**Doble membrana** – idéntico a la anterior, constituida de dos camadas de mantas.

**Arcilla y membrana** – cuando el recubrimiento es con membrana sintética y colocada una camada de material arcilloso.

**Pavimentación con asfalto o cemento** – cuando el acabado del área esta recubierta por pavimento, utilizando asfalto o cemento.

**Piedras y bloques** – bloques, tabiques, ladrillos unidos por cemento o mortero

**Desconocido** – cuando no se conoce la naturaleza del material.

En el caso de que la respuesta asignada sea inexistente, desconocido o arenoso y las sustancias involucradas sean consideradas peligrosas conducirá a una clasificación como sitio potencialmente contaminado mas alta.

### **3.7. Volumen estimado de residuos**

En este campo, debe ser indicado el volumen de residuos dispuestos en el área. Esta información puede ser estimada durante el levantamiento del área de residuos, estimando la altura media del depósito y cuando se trate de áreas controladas, se identifica utilizando los datos existentes, como los registros de entrada de residuos.

### **3.8. Tipo de residuos predominantes**

La identificación de los tipos de residuos puede ser realizada a través de los registros mantenidos por los responsables del área de disposición y las observaciones de campo.

En los rellenos sanitarios e industriales, deben ser observados los registros de control de entradas. Las observaciones en campo son restringidas debido a las practicas y operaciones de recubrimiento de los residuos, por lo tanto las observaciones de campo deben ser confirmadas por documentación o en su caso por informaciones de otras fuentes. De cualquier forma la temperatura del cuerpo de residuos y los olores son buenos indicadores del tipo de materiales presentes.

En tiraderos clandestinos y deposito de residuos a cielo abierto deben ser realizadas observaciones en campo, debido a que en esas áreas los residuos expuestos y los registros conteniendo indicaciones de la naturaleza de los materiales depositados son normalmente inexistentes.

Especificar el tipo de residuos industriales, en el caso de que estos hayan sido identificados en el área y estimar las cantidades dispuestas para cada tipo relacionado.

### **3.9 Detalle de residuos**

Escribir la descripción, cantidad y unidad de los residuos. En este rubro solo se distingue entre los tipos principales de residuo

### **3.10 Formas de almacenamiento**

Seleccionar la forma de almacenamiento de los residuos: tanques a cielo abierto, contenedores u otra.

### **3.11 Fuentes secundarias**

En el caso de que haya existido o exista en el sitio otra fuente potencial de contaminación, indicar su naturaleza indicando siempre que sea posible.

### **3.12 Destino de las aguas residuales**

Indicar el destino de las aguas residuales provenientes del área industrial o comercial entre las siguientes opciones:

**Agua superficial** – cuando las aguas residuales son o fueron descargadas directamente en los cuerpos de las aguas superficiales.

**Infiltración en el suelo** – cuando los efluentes generados son o fueron infiltrados directamente en el suelo a través de diferentes procedimientos, como irrigación sumideros, etc.

**Infiltración en pozos** – cuando las aguas residuales son o fueron colectadas o infiltradas en pozos de absorción.

**Estación de tratamiento de aguas perteneciente al municipio** – cuando las aguas residuales son o fueron enviadas para estaciones de tratamiento municipales, a través de la red o de transporte por vehículos.

**Estación de tratamiento propia** – cuando las aguas residuales son o fueron encaminadas para una estación de tratamiento de efluentes en el propio local.

**Red de aguas fluviales** – cuando las aguas residuales son o fueron lanzadas en la red de drenaje o aguas fluviales.

**Desconocido** – cuando no es conocido el destino de estas.



#### **4 Descripción del sitio y los puntos de exposición**

En este tema, debe ser identificados los datos que caractericen el área adyacente a la fuente de contaminación en lo que respecta a la población y su

##### **4.1 Distancia al área urbana adyacente**

Para mayor facilidad se dan intervalos de distancias en metros. La distancia deberá ser confirmada a partir de la información documental en mapas durante la visita de verificación.

##### **4.2 Población en áreas urbanas adyacentes**

Para mayor facilidad se dan intervalos de cantidad de habitantes. La población actual puede ser identificada a través de los sistemas INEGI estatales.

##### **4.3 Población infantil menor a 14 años**

Para mayor facilidad se dan intervalos de número de habitantes. La población actual puede ser identificada a través de los sistemas INEGI estatales

##### **4.4 Distancia a la edificación más cercana**

En algunas ocasiones la mancha urbana es cercana pero la edificación con habitantes se haya a una distancia distinta, esto es el caso de un área urbana dedicada a la industria (sin muchos habitantes) pero dentro de la cual se localizan algunas edificaciones dedicadas a vivienda.

##### **4.5 Distancia a cuerpos de agua superficial para abastecimiento público**

Para mayor facilidad se dan intervalos de distancias en metros.

##### **4.6 Distancia a pozo para abastecimiento público domiciliario**

Para mayor facilidad se dan intervalos de distancias en metros.

#### 4.7 Distancia a pozo para abastecimiento público industrial

Para mayor facilidad se dan intervalos de distancias en metros.

### 5 Observaciones generales

Este campo es reservado para el registro de información y anotaciones de campo relativas al área de estudio, donde la información importante, mas no registrada en el ficha, pueden ser descritas, como por ejemplo la descripción de procesos industriales e histórico de ocupación de área entre otros.

### 6 Clasificación del sitio

Este tema debe ser aclarado siempre al final de cada etapa de gestión (verificación, caracterización, remediación) de sitios contaminados, cuando es obtenida la información necesaria para ejecutar la clasificación.

Durante el levantamiento de la ficha catastral de sitios contaminados o potencialmente contaminados debe ser dejado para el final, cuando se hayan respondido a los rubros correspondientes a la etapa de gestión específica. Para la primera etapa de verificación (ficha primaria) para la etapa de caracterización (ficha secundaria).

Un área podrá ser señalada en el catastro de sitios contaminados como “**No contaminada**” según los siguientes criterios y bajo las siguientes condiciones:

1. Una remediación del sitio fue concluida, siendo reducidos los contaminantes a niveles por debajo de los Límites Máximos Permisibles y su uso actual no es potencial de contaminación del suelo.
2. No fue constatada cualquier contaminación en el área después de la caracterización del sitio y su uso actual no tiene potencial de contaminación del suelo.

Los sitios incluidos en el catastro que hayan sido verificados o de los que se tenga la suficiente información para inscribirles en el catastro se clasificarán y se priorizarán según los siguientes criterios como sitios potencialmente contaminados:

1. La puntuación obtenida por el sitio a través de la ficha catastral.
2. La presencia de contaminantes por encima de los LMP aun no es confirmada por análisis de laboratorio.

La jerarquía o prioridad de un sitio para que ordene una exploración confirmatoria (estudio de caracterización exploratorio) tiene la siguiente estructura:

## DGnX Technologies – GTZ

Guía de llenado para la ficha del inventario de sitios contaminados– Diccionario de datos

Nivel de puntuación	Clasificación o Prioridad	Medidas a tomar
0 – 250	<b>Muy baja</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ninguna medida de control se deberá tomar.</li> <li>2. Se mantiene el sitio como potencialmente contaminado</li> <li>3. Si el propietario desea cambiar la inscripción deberá de mostrar por un estudio de caracterización o una auditoria ambiental que no existe ninguna contaminación o riesgo de ella</li> </ol>
250 – 500	<b>Baja</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se mantiene el sitio como potencialmente contaminado</li> <li>2. Se coloca el sitio en una lista de espera en el orden de su puntuación.</li> <li>3. Si el propietario desea cambiar la inscripción deberá de mostrar por un estudio de caracterización o una auditoria ambiental que no existe ninguna contaminación o riesgo de ella</li> </ol>
500 – 750	<b>Media</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se mantiene el sitio como potencialmente contaminado</li> <li>2. Se emite recomendación a los dueños en el orden de su magnitud de la puntuación para que confirmen o desechen la sospecha a través de una exploración de orientación</li> </ol>
750 - 1000	<b>Alta</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se mantiene el sitio como potencialmente contaminado hasta que se confirme o se desecha la sospecha de contaminación.</li> <li>2. Se ordena de inmediato en el orden de su magnitud de la puntuación la exploración de orientación.</li> </ol>

Los registros de clasificación del área siempre deberán ser acompañados de la fecha de realización de la misma y del motivo por la que esta haya sido realizada, identificando la etapa de gestión que posibilita tal clasificación.

Es confirmada la contaminación o ya existen documentación probatoria de la misma entonces se procederá a ordenar en el orden de su puntuación los pasivos ambientales para su caracterización (si esta aun no se ha realizado) y para ordenar su remediación.

## 7 Croquis del área perfil del área

En este punto debe ser dibujado un croquis del área, pudiendo ser incluido secciones esquemáticas mostrando las principales fuentes de esta, por ejemplo el posicionamiento de las fuentes potenciales de contaminación y de los bienes a proteger localizados dentro y fuera del área. Este croquis puede ser utilizado para representar el modelo conceptual del área.

El modelo conceptual del área puede ser registrado, siendo indicados en esta sus componentes que son:

Las fuentes primarias de contaminación (ejemplo: tanques subterráneos, área de producción).

1. Las fuentes de contaminación secundarias (ejemplo: suelo contaminado).
2. Los mecanismos primarios de liberación de los contaminantes (ejemplo: basamentos y derrames).
3. Los mecanismos secundarios de liberación (ejemplo: infiltración en el suelo).
4. Las vías de transporte de los contaminantes (ejemplo: suelo, agua subterránea, aire, agua superficial).
5. Los receptores de la contaminación (ejemplo: existentes o que hayan existido en el área).

El modelo conceptual del área inicial será establecido en la etapa de evaluación preliminar (verificación) y deberá ser actualizado dependiendo de la realización de las demás etapas de gestión.

## Ficha de caracterización

### 1. Caracterización de aguas

#### 1.1 Existencia de agua subterránea contaminada por influencia del área

En este tema debe ser verificada la presencia de contaminación de las aguas subterráneas en el área de evaluación. Esa constatación depende de la información relativa de los análisis químicos realizados en las muestras colectadas en pozos de monitoreo o pozos de captación existentes en el área o en zonas adyacentes. Esos resultados deben ser comparados con los patrones de calidad (límites máximos permisibles) en vigor con consideración de las características propias de fondo de la región, concluyéndose la existencia o no de contaminación de las aguas subterráneas. La identificación de la presencia de productos y/o sustancias provenientes del sitio potencialmente contaminado o contaminado en el agua subterránea en pozos servirá igualmente para caracterizar la existencia de contaminación.

La respuesta afirmativa para este tema será utilizada para la clasificación del área como sitio contaminado.

#### 1.2 EXISTENCIA DE AGUA SUPERFICIAL CONTAMINADA POR INFLUENCIA DEL ÁREA

En este tema debe ser verificada la existencia de contaminación de las aguas superficiales provenientes del área de evaluación e identificado el uso dado de las mismas. Esta respuesta puede ser realizada por medio de análisis químicos realizadas en muestras colectadas en puntos distintos del cuerpo de agua. Esos resultados deben ser comparados con los patrones de calidad en vigor (límites máximos permisibles). Concluyéndose la existencia o no de contaminación de las aguas superficiales.

Las opciones de las respuestas son las siguientes:

**No** – la respuesta debe ser asignada en caso de que en las muestras de aguas no se hallen contaminantes provenientes del sitio de evaluación o porque la contaminación presente en el agua no provenga del área en evaluación.

**Si, utilizada para abastecimiento público** – el recurso hídrico evaluado presenta contaminación por influencia del área, siendo las aguas utilizadas para abastecimiento público.

**Si, utilizada para abasteciendo doméstico** – el recurso hídrico evaluado presenta contaminación por influencia del área, siendo las aguas utilizadas para abastecimiento doméstico.

**Si, no utilizada para abastecimiento** – el recurso hídrico evaluado presentase contaminación por influencia del área, no siendo el agua utilizada para cualquier fin.

**Si, utilizada para irrigación/pecuaria/psicultura** – el recurso hídrico evaluado presentase contaminación por influencia del área siendo las aguas utilizadas para irrigación de productos agrícolas o pastero para la alimentación de animales.

**Si, utilizada para la pesca** – el recurso hídrico evaluado presenta contaminación por influencia del área, siendo las aguas utilizadas para la pesca en general.

**Si, utilizada para la recreación** – el recurso hídrico evaluado presenta contaminación por influencia del área, siendo las aguas utilizadas para la recreación como natación o deportes acuáticos.

**Desconocida** – asignada esta respuesta cuando no existen datos disponibles o posibilidad de constatación de la calidad de las aguas superficiales no es posible.

Cuando la contaminación del curso del agua fuera provocada por efecto de la descarga directa de aguas residuales de otras fuentes no se considerara que el área provoca la contaminación.

### **1.3 POSIBILIDAD DE AFECTACIÓN DEL ÁREA POR EL USO DEL AGUA SUPERFICIAL EN LA LOCALIDAD**

Evaluar si existe la posibilidad de ocurrencia de inundación en el área. Si las aguas provenientes de esa inundación, estuvieran probablemente contaminadas después de pasar por ellas, significa esto que el área de evaluación pudo haber influenciado directamente a la calidad de las aguas superficiales localizadas en esa área o zonas adyacentes. En el caso de que exista esta la posibilidad, indicar el uso de esas aguas entre las opciones:

**No** – la repuesta asignada en el caso de no haber posibilidad de inundación en el área.

**Si, utilizada para abastecimiento público** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser afectada por la influencia de las aguas del inundación provenientes del área, siendo estas utilizadas para abastecimiento público.

**Si, utilizada para abastecimiento doméstico** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por la influencia de las aguas del inundación provenientes del área, siendo estas utilizadas para abastecimiento doméstico.

**Si, no utilizada para abastecimiento** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser afectada por la influencia de las aguas de la inundación proveniente del área, no siendo estas utilizadas para cualquier fin.

**Si, utilizada para irrigación/pecuaria/psicultura** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por influencia de las aguas de inundación provenientes del área siendo estas utilizadas para irrigación de productos agrícolas o pasteo para la alimentación de animales.

**Si, utilizada para la pesca** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por influencia de las aguas del inundación provenientes del área siendo estas utilizadas para la pesca en general.

**Si, utilizada para la recreación** – existe la posibilidad de que la calidad de las aguas superficiales pueda ser alterada por influencia de las aguas de inundación provenientes del área siendo estas utilizadas para la recreación como natación o deportes acuáticos.

**Desconocida** – asignada esta respuesta cuando no existen datos disponibles o posibilidad de constatar la posible ocurrencia de inundación proveniente de área pudiendo influenciar la calidad de las aguas superficiales.

#### **1.4 NIVEL REGIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS MÁS ELEVADO**

Indicar el nivel del agua regional

#### **1.5 EXISTENCIA DE AGUA SUBTERRÁNEA CONTAMINADA POR LAS SUSTANCIAS**

En este rubro debe ser verificada la existencia de contaminación de las aguas subterráneas en el área de evaluación e identificado el uso dado de las mismas. Esta respuesta puede ser realizada por medio de análisis químicos realizadas en muestras colectadas en puntos distintos del cuerpo de agua. Esos resultados deben ser comparados con los patrones de calidad en vigor (límites máximos permisibles). Concluyéndose la existencia o no de contaminación de las aguas subterráneas.

## **2 CARACTERIZACIÓN DETALLADA DEL SUELO**

### **2.1 EXISTENCIA DE SUELO CONTAMINADO (CONFIRMADO POR ANÁLISIS)**

Informar de los resultados de análisis de muestras de suelo colectadas en el área de evaluación, realizadas en las profundidades de 0 a 1 metro, en el caso de que hayan sido realizadas. Esos resultados deben ser comparados con los límites máximos permitidos en vigor, concluyendo la existencia o no de contaminación del suelo. Esa conclusión debe ser registrada para cada nivel de profundidad.

### **2.2 IMPERMEABILIZACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL SUELO**

En este rubro deben ser indicadas las condiciones de impermeabilización de la superficie del suelo en el área industrial o comercial de acuerdo a información ya constatadas en un estudio y las cuales fueron verificadas para las áreas de producción, las áreas de almacenamiento de sustancias, las áreas de almacenamiento y las áreas de tratamiento de residuos.

Las condiciones deben ser consideradas buenas cuando las superficies del terreno presenten pavimentación y no fueron observadas irregularidades que favorezcan la infiltración de cualquier líquido derramado o almacenado en la superficie del terreno, como en el caso de piscinas de concreto y la ocurrencia de fracturas, grietas o hundimientos.

Cuando una o más de las áreas indicadas como opciones de respuesta para este tema no existen dentro del área industrial o comercial, dejar en blanco el espacio entre corchetes.

### **2.3. EXISTENCIA DE INFILTRACIONES**

Se incluirá en este rubro solo información que haya sido constatada y verificada. La inexistencia de infiltraciones de productos, materias primas o residuos, indicando la localización donde estas fueron observadas:

**Tanques de almacenamiento** – deben ser considerados los tanques aéreos y subterráneos destinados para el almacenamiento de materias primas, productos, combustibles, efluentes y otros materiales utilizados en el área. En el caso de los tanques enterrados, la identificación del basamento de los mismos puede ser



identificada a través de registros elaborados por el responsable o evidencias observadas en el área como el afloramiento de producto en pozos, galerías, canaletas, depresiones en el terreno, garajes subterráneos, etc.

**Sistema de flujo (tubos)** – debe ser asignada por posibles observaciones de las tuberías, a través de información de presencia de basamentos o a través de constatación de indicios de basamentos como en el caso de afloramiento del producto (pozos, galerías, canaletas, depresiones en el terreno, garajes subterráneos).

**Procesos productivos** – verificar la condición de operación durante el proceso de producción, observando la presencia de basamentos o derrames de materiales en todas las etapas del proceso.

**En estación de tratamiento de efluentes** – esta opción solo debe ser asignada si fueron observados infiltraciones en el área de tratamiento de efluentes, especialmente en virtud de la ausencia de impermeabilización y de la existencia de fracturas en los componentes del sistema.

**Área de tratamiento** – debe ser asignada solamente si fueron observadas infiltraciones en el área de almacenamiento o tratamiento de residuos.

**Inexistente** – debe ser asignada cuando en el sector del área industrial o comercial sea identificada la ocurrencia de infiltraciones.

**Desconocida** – cuando la identificación del basamento o infiltraciones no sea posible como en el caso del área industrial o comercial inactivas.

**Otras** – debe ser asignada cuando sea observada la ocurrencia de basamentos o infiltraciones en áreas o equipos diferentes a aquellas relacionadas arriba. En este caso se debe especificar el local donde fue observada la ocurrencia.

### **3 CARACTERIZACIÓN DEL AIRE**

#### **3.1. EXISTENCIA DE SUSTANCIAS EN EL AIRE DEL SITIO CONFIRMADA POR ANÁLISIS**

En este rubro se indicaran los valores o concentraciones de los compuestos volátiles y gases identificados plenamente.

### **4 CARACTERIZACIÓN Y PERFIL DE LA ACTIVIDAD ECONOMICA**

#### **4.1. TIPO DE ACTIVIDAD INDUSTRIAL O COMERCIAL**

Informar el tipo de actividad industrial o comercial, de acuerdo con la información confirmada.

#### **4.2. MATERIALES UTILIZADOS / PRODUCIDOS / ALMACENADOS / DESECHADOS**

Indicar los materiales o residuos presentes en el área estimando o dando sus valores conocidos de las cantidades involucradas.

#### **4.3. TIPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Indicar el tipo en base a observaciones propias o informes y documentos.

El contenido de las aguas residuales puede darse como uno de los contaminantes referidos en el punto 1 de la ficha secundaria

## 5 EVENTOS EXISTENTES DE RIESGO

En este rubro son indicados los eventos importantes y/o los riesgos que fueron comprobados en el área en cuestión y adyacentes. Estos indican principalmente el potencial y la propagación de contaminantes a partir del área principalmente vía suelo o vía aire.

### 5.1. OCURRENCIA DE ACCIDENTES Y/O EVENTOS IMPORTANTES

Indicar la ocurrencia de eventos importantes que sucedan en el área y adyacentes, entre las opciones:

**Deslizamiento** – ocurrencia de deslizamiento de masa de residuos y de suelo con contaminación probable o confirmada.

**Erosión**- observación de la presencia de procesos erosivos en el área principalmente en el sitio donde son contenidos los residuos y en el suelo con contaminación probable o confirmada.

**Daños a la vegetación** – observación de daños a la vegetación que pudieron haber sido causados por influencia de contaminación en el área.

**Dispersión de polvo conteniendo contaminantes del área** – observación de ocurrencia de procesos de dispersión de polvo provenientes del suelo contaminado.

**Daños a los animales** – observación de daños a la salud de los animales que viven en el área o cercanías que puedan estar relacionados a la contaminación del área.

**Daños a la salud** – observación de daños a la salud de las personas que viven en el área o cercanías que puedan estar relacionadas a el área.

**Daños materiales** – observación de daños materiales relacionados al área.

**Explosión** – ocurrencia de explosiones en el área debido a la presencia de contaminantes; por ejemplo, debido a la acumulación de gases provenientes de áreas de disposición de residuos o en las áreas de almacenamiento de sustancias químicas volátiles.

**Incendio** – ocurrencia de incendio provocado por la presencia de contaminantes de los residuos el área.

Emanación perceptible de gases / vapores - ocurrencia de gases / vapores originados en función de las características de sustancias presentes en el área.

**Proliferación de fauna nociva** – constatación de la presencia de fauna nociva.

**Actividad sísmica** – solo confirmada.

**Fallas / fracturas geológicas** – solo confirmada

**Otros daños a cuerpos de aguas** – solo confirmada

**Otros** – asignar esta respuesta cuando ocurre algún evento relativo al área que no pueda ser encuadrado en las opciones anteriores.

**Desconocida** – cuando no hay posibilidad de evaluar la ocurrencia de eventos importantes.

**Inexistente** – cuando no ocurren eventos importantes.

## 5.2 EXISTENCIA DE RIESGO POR PRESENCIA DE CONTAMINACIÓN EN EL SUELO

Informar la existencia de riesgo a la salud o a la población, animales y plantas en la presencia de contaminación de suelo. La respuesta afirmativa de este tema deberá estar basada en resultados de análisis de suelo que atestigüen la presencia de contaminación, como la posibilidad de correlación entre las concentraciones existentes y las posibles afectaciones observadas y los referidos bienes a proteger.

**No, asegurada por análisis** – la posibilidad de riesgos a la salud de la población, animales y plantas debe ser afectada en función de los resultados de los análisis realizados en las muestras de suelo.

**Si, para la salud de la población** – la concentración de los contaminantes es elevada en el suelo y son observados síntomas en la población expuesta e identificadas las vías de exposición de la población a los contaminantes.

**Si, para animales** – la concentración de contaminantes es elevada en el suelo y son observados síntomas en los animales, son identificadas las vías de exposición de los mismos a los contaminantes.

**Si, para la vegetación** – la concentración de contaminantes es elevada en el suelo y son observados síntomas en la vegetación que pueden ser identificados como la exposición de los mismos.

**Desconocida** – en virtud de la ausencia de resultados de análisis de suelo que atestigüen la contaminación e imposibilita correlacionar los resultados observados y efectos en hombres, plantas y animales.

### 5.3. INDICADORES PERCEPTIBLES EN LA SUPERFICIE DEL SUELO

Informar si existen indicaciones perceptibles de contaminación en la superficie del suelo y área adyacente entre las opciones:

**Presencia de contaminantes** – por medio de la identificación de la presencia física de contaminantes en la superficie del suelo.

**Olor** – constatación de olores provenientes del suelo que pueda inducir la sospecha de presencia de contaminantes.

**Coloración** – observación de anomalías en la superficie del suelo en cuanto a su color normal.

**Inexistente** –

**Desconocida** – cuando no fuera posible la identificación de anomalías, como en situaciones de completo recubrimiento de la superficie del suelo.

**Otros** – relacionando otros indicios observados en la localidad que no se incluyan entre las mencionadas anteriormente.

### 5.4 PRESENCIA DE GASES / VAPORES EN EDIFICACIONES VECINAS

Informar si existe o no la presencia de gases en edificaciones vecinas que puedan ser provenientes del área en evaluación.

## **6 ESTUDIOS DESARROLLADOS EN EL ÁREA**

En este rubro deben ser informadas cuales etapas del proceso de investigación del sitio contaminado fueron ejecutadas en el área y sus cercanías.

### **6.1. EVALUACIÓN PRELIMINAR**

En este rubro debe ser informado si la etapa de evaluación preliminar fue realizada o no.

En caso afirmativo, informar el ejecutante (empresa o persona física) y el periodo de duración de los trabajos realizados. Un resumen de los resultados obtenidos también debe ser incluido, conteniendo las sustancias detectadas y los niveles de concentración observadas para cada medio mostrado. Deben también ser informados los valores, referencias utilizadas para efecto de clasificación del área.

A partir de los resultados obtenidos en esta etapa, una nueva clasificación del área puede ser realizada. La reclasificación podría conducir a definir que el sitio tiene:

una prioridad mas baja que lo que se suponía  
una prioridad mas alta de lo estimado originalmente,  
una reclasificación como no contaminada en el caso de que los resultados no sobrepasen los valores de referencia o los limites máximos permisibles.

Se le reclasificará como contaminada, en el caso de que los resultados sean superiores a los LMP cuando esto no hubiera sido confirmado antes.

El área podrá ser excluida del catastro en el caso de que no sea comprobada la existencia de contaminación y la actividad desarrollada en el área no sea potencialmente contaminante.

### **6.2. CARACTERIZACIÓN**

Informar el ejecutante y el periodo de la ejecución de esa etapa, en caso de que esta haya sido realizada.

### **6.3. EVALUACIÓN DE RIESGO**

Informar el ejecutante y el periodo de ejecución y las conclusiones sobre la existencia o no de riesgo a la salud, en caso de que esa etapa haya sido realizada.

### **6.4. ACCIONES DE REMEDIACIÓN**

Informar los ejecutantes de la remediación del área, y el periodo de ejecución y una descripción de las técnicas empleadas. Al final de esta etapa, en función de los resultados obtenidos del monitoreo y del uso propuesto para el área, esta deberá ser nuevamente clasificada, pudiendo establecer las siguientes clasificaciones.

**AP** – las concentraciones de los contaminantes se encuentran por debajo de los niveles de referencia o LMP establecidos para el uso actual del área, en dado caso que persistiese en el área actividades potencialmente contaminantes.

**AC** – las concentraciones de los contaminantes están por arriba de los valores de referencia o LMP y el área no ha sido remediada.

**AE** – Una área que paso por un proceso de remediación, solo podrá ser excluida del catastro cuando la remediación fue concluida satisfactoriamente y el uso actual del área no es potencial de contaminación del suelo.

# **ANEXO 1b.**



**ANEXO 15 FICHA PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS DEL INVENTARIO DE SITIOS CONTAMINADOS**

(versión final 17/02/04)

No. de registro

Edo	manera	spe	Consecutivo
-----	--------	-----	-------------

**1 DATOS GENERALES**

1.1 Clave Catastral

Región	Manzana	Lote	Num. de identificación
--------	---------	------	------------------------

1.2 Razón social

1.3 Domicilio

Estado

Ciudad

Delegación / Municipio

Colonia nominal

Calle y número

Código Postal

1.4 Fecha del llenado de la ficha

Llenado de fecha: dd/mm/aaaa. Es necesario utilizar los diagonales (/)

Fecha de actualización

**1.5 Inspectores**

**1.6 Información geográfica**

Promedio de precipitación pluvial local anual (de las informaciones disponibles)

mm/a (Exacta)

Intervalo

Promedio de Temperatura anual (de las informaciones disponibles)  °C

Tipo de suelo general

Pendiente del terreno (topografía, de la cota más alta a la más baja)

Cota superior  Cota inferior

Pendiente  grados

Ubicación en coordenadas UTM (Punto Central del Polígono del Área)

Zona  Datum

Esférico

Longitud  Latitud

Puntos del polígono del Área Contaminada

	Longitud	Latitud
P0	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
P1	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="50"/>
P2	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="60"/>
P3	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="20"/>
P4	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P5	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P6	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P7	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P8	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P9	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P10	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P11	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P12	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P13	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P14	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P15	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P16	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P17	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P18	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P19	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P20	<input type="text"/>	<input type="text"/>



**1. OBSERVACIÓN DE LAS FUENTES PRINCIPALES DE CONTAMINACIÓN  
E IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EXPOSICIÓN  
EN LOS ALCANTARILLOS**

1.1 ¿Cuáles contaminantes son los que pueden encontrarse en las aguas residuales? Escriba aquí:

Detergente de agua jabonosa (1)  
 Detergente de agua sulfonada (2)  
 Fibras textiles (3)  
 Aceite (3)  
 Agua (3)  
 Escoria de metal (3)  
 Bacterias (4)

Otro de tipo (1) \_\_\_\_\_  
 Otro de tipo (1) \_\_\_\_\_  
 Otro de tipo (1) \_\_\_\_\_  
 Otro de tipo (1) \_\_\_\_\_  
 Otro de tipo (1) \_\_\_\_\_  
 Otro de tipo (1) \_\_\_\_\_  
 Otro de tipo (1) \_\_\_\_\_

Descripciones de tipo de aguas:  
 El agua es tratada de una vez de acuerdo con valor 3 por otro de valor 1.  
 El agua es tratada de una vez de acuerdo con valor 3 por otro de valor 1.  
 El agua es tratada de una vez de acuerdo con valor 3 por otro de valor 1.  
 El agua es tratada de una vez de acuerdo con valor 3 por otro de valor 1.  
 El agua es tratada de una vez de acuerdo con valor 3 por otro de valor 1.  
 El agua es tratada de una vez de acuerdo con valor 3 por otro de valor 1.

1.2 Origen de la contaminación. Escriba aquí:

Residuos de tipo de agua  
 Residuos de tipo de agua  
 Residuos de tipo de agua  
 Residuos de tipo de agua  
 Residuos de tipo de agua  
 Residuos de tipo de agua  
 Otro \_\_\_\_\_  
 Otro \_\_\_\_\_

Residuos de agua sulfonada  
 Aceite  
 Inodoro  
 Líquido y residuos de residuos con temporales tipo  
 Residuos de agua con tipo  
 Residuos de tipo

1.3 Método de recolección. Escriba aquí:

Manual  
 Automático

1.4 Características principales (señales) presentes en el flujo. Escriba aquí:

Residuos y aceites  
 Contaminantes orgánicos, inorgánicos y volátiles (de tipo agua)  
 Agua  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)

1.5 Descripción de las características / señales (señales) presentes en el flujo. Escriba aquí:

Agua sulfonada  
 Agua sulfonada  
 Otro de tipo (1) \_\_\_\_\_  
 Aceite  
 Líquido y residuos de residuos con temporales tipo  
 Residuos de tipo de agua con tipo  
 Residuos de tipo de agua con tipo  
 Residuos de tipo de agua con tipo  
 Residuos de tipo de agua con tipo

<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite

1.6 Descripción de las características / señales (señales) presentes en el flujo. Escriba aquí:

Residuos y aceites  
 Contaminantes orgánicos, inorgánicos y volátiles (de tipo agua)  
 Agua  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)  
 Residuos de tipo de agua (residuos sólidos, líquidos y volátiles)

<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite
<input type="checkbox"/> Aceite	<input type="checkbox"/> Aceite

1.7 Presencia de contaminantes sólidos (señales) presentes en el flujo. Escriba aquí:

Detergente  
 Detergente

Si sólidos por detergente tipo de agua  
 Si sólidos por detergente tipo de agua  
 Si sólidos por detergente tipo de agua  
 Si sólidos por detergente tipo de agua  
 Si sólidos por detergente tipo de agua  
 Si sólidos por detergente tipo de agua

Residuos  
 Si sólidos por agua  
 Si sólidos por detergente tipo de agua  
 Si sólidos por detergente tipo de agua  
 Si sólidos por detergente tipo de agua

1. DISPOSICIÓN DE PERSONAS Y FUENTES ACCORDADAS

Indicar si las fuentes indicadas en el cuestionario de identificación de fuentes coinciden con la información de otras, tanto fuentes acordadas como no.

5.1 Tipo de Identificación

Indicador acordado

<input type="checkbox"/> Identificación directa	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Identificación de tipo de identificación acordada	<input type="checkbox"/> Sí, pero con algunas excepciones (ver nota)
<input type="checkbox"/> Identificación por medios indirectos de la información	<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Identificación de acuerdo con la información	<input type="checkbox"/> Identificación por terceros o por la empresa
<input type="checkbox"/> Identificación de otros medios de información	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Identificación en virtud de la ley	<input type="checkbox"/> Fuente: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Identificación en virtud de información suministrada	<input type="checkbox"/> Identificación
<input type="checkbox"/> Identificación indirecta	

5.2 Identificación de información acordada (Indicador)

<input checked="" type="radio"/> Identificación	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Identificación	<input type="radio"/> No, pero con algunas excepciones
<input type="radio"/> Identificación de acuerdo con la información	<input type="radio"/> Identificación por terceros o por la empresa
<input type="radio"/> Identificación de otros medios de información	<input type="radio"/> Sí

5.3 Descripción de la Identificación

<input checked="" type="radio"/> Identificación de tipo de identificación acordada	<input type="radio"/> Identificación de acuerdo con la información
<input type="radio"/> Identificación de acuerdo con la información	<input type="radio"/> Identificación por terceros o por la empresa
<input type="radio"/> Identificación de otros medios de información	<input type="radio"/> Sí
<input type="radio"/> Identificación en virtud de la ley	<input type="checkbox"/> Fuente: <input type="text"/>
<input type="radio"/> Identificación en virtud de información suministrada	<input type="checkbox"/> Identificación

5.4 Identificación de información acordada (Indicador)

<input checked="" type="radio"/> Identificación	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Identificación	<input type="radio"/> No, pero con algunas excepciones

5.5 Descripción de la Identificación (Indicador)

<input checked="" type="radio"/> Identificación	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Identificación	<input type="radio"/> No, pero con algunas excepciones
<input type="radio"/> Identificación de acuerdo con la información	<input type="radio"/> Identificación por terceros o por la empresa
<input type="radio"/> Identificación de otros medios de información	<input type="radio"/> Sí
<input type="radio"/> Identificación en virtud de la ley	<input type="checkbox"/> Fuente: <input type="text"/>
<input type="radio"/> Identificación en virtud de información suministrada	<input type="checkbox"/> Identificación

5.6 Tipo de identificación de información acordada en base a la descripción del procedimiento de identificación

<input checked="" type="radio"/> Identificación	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Identificación	<input type="radio"/> No, pero con algunas excepciones
<input type="radio"/> Identificación de acuerdo con la información	<input type="radio"/> Identificación por terceros o por la empresa
<input type="radio"/> Identificación de otros medios de información	<input type="radio"/> Sí
<input type="radio"/> Identificación en virtud de la ley	<input type="checkbox"/> Fuente: <input type="text"/>
<input type="radio"/> Identificación en virtud de información suministrada	<input type="checkbox"/> Identificación

5.7 Fuente acordada

Indicador

5.8 Tipo de identificación acordada

Indicador acordado

<input type="checkbox"/> Identificación y descripción por medios indirectos de la información	<input type="checkbox"/> Identificación de acuerdo con la información
<input type="checkbox"/> Identificación de acuerdo con la información	<input type="checkbox"/> Identificación por terceros o por la empresa
<input type="checkbox"/> Identificación de otros medios de información	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Identificación en virtud de la ley	<input type="checkbox"/> Fuente: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Identificación en virtud de información suministrada	<input type="checkbox"/> Identificación

5.5. Spisak tvoraca

Članak

Broj autora	Prezime	Ime

Članak


5.6. Imena državljanstva tvoraca

--

5.7. Brojevi izdavanja

--

<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi	<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja
<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja	<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja
<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja	<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja
<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja	<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja
<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja	<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja
<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja	<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja
<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja	<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja
<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja	<input type="checkbox"/> Izdati u Moskvi u okviru izdavanja

5.8. Brojevi državnih izdavanja

--



**A DESCRIPCIÓN DEL ANEJO ADICIONADO**

Descripción del área adiccionada al proyecto dentro de la fuente

a) entidad adiccionada perteneciente a nivel de estado  
 o entidad adiccionada perteneciente al nivel municipal de otro si está fuera del radio de influencia de este  
 A) = Radio de 500 metros en cualquier caso cuando el radio sea mayor a 1000 metros con respecto de zona circunscrita

- 4.1 Estado de área urbana adiccionada  m. (Ejemplo)  m.  
 Ejemplo: 100 - 200 m.
- 4.2 Potencia total por zona urbana adiccionada  kW. (Ejemplo)  kW.  
 Ejemplo: 1 - 10 kW.
- 4.3 Potencia instalada menor a 10 años  kW. (Ejemplo)  kW.  
 Ejemplo: 11 - 10 % potencia.
- 4.4 Instalación de infraestructura más reciente  m. (Ejemplo)  m.  
 Ejemplo: 200 - 250 m.
- 4.5 Instalación o sistema de agua superficial para abastecimiento público e industrial  m. (Ejemplo)  m.  
 Ejemplo: 100 - 200 m.
- 4.6 Instalación o zona para abastecimiento público doméstico  m. (Ejemplo)  m.  
 Ejemplo: 100 - 200 m.
- 4.7 Instalación o zona para abastecimiento industrial  m. (Ejemplo)  m.  
 Ejemplo: 1 - 200 m.

**B OBSERVACIONES OBSERVABLES** Para leer de arriba a abajo las columnas "M" y "N" adjuntadas

--	--

**C CLASIFICACIÓN DEL ÁREA**

<input type="checkbox"/> Área industrial especializada <input type="checkbox"/> Área comercial	
<input type="checkbox"/> Área residencial <input type="checkbox"/> Área de recreación	

# **ANEXO 2**



## **ANEXO 2**

# **DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN INTEGRADA DE RIESGOS AMBIENTALES EN SITIOS PELIGROSOS DE MÉXICO**

Propuesta Elaborada por:

**Arturo Torres, Guillermo Espinosa-Reyes, César  
Ilizaliturri, Donaji J. González, Israel Razo, Jesús  
Mejía y Fernando Díaz-Barriga \***

Comité Editorial:

-----

\* Departamento de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina,  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Avenida Venustiano  
Carranza 2405, 78210, San Luis Potosí, S.L.P. México. Teléfono y Fax:  
(444) 826-2354. Correo Electrónico: [fdia@uaslp.mx](mailto:fdia@uaslp.mx)

INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 1.-EVALUACIÓN DEL SITIO ESCENARIO DE RIESGO	9
1. ANTECEDENTES GENERALES DEL SITIO	10
1.1 DESCRIPCION DEL SITIO	10
1.2. HISTORIA DEL SITIO	11
1.3. INFORMACION GEOGRAFICA	12
2. ESCENARIO HUMANO	14
2.1. INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA	14
2.2. VIVIENDA	14
2.3. ÁREAS DE RECREACIÓN	15
2.4. ESPACIOS EDUCATIVOS	15
2.5. VULNERABILIDAD DE LA COMUNIDAD	15
2.6. FUENTES DE ALIMENTOS	16
2.7. ASPECTOS MIGRATORIOS	16
2.8. PREOCUPACIONES DE LA COMUNIDAD	16
3. ESCENARIO ECOLÓGICO	17
3.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO DE ESTUDIO	17
3.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ESPECIES PARA BIOMONITOREO	20
3.3. ANTECEDENTES DE EFECTOS EN ESPECIES SELECCIONADAS	21
3.4. DISTURBIO ANTROPÓGENO	22
4. PRIMERA INTEGRACIÓN DEL CONOCIMIENTO	22
4.1. ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LA INFORMACIÓN	22
4.2. VISITA AL SITIO	22
4.3. MODELO PRELIMINAR DEL SITIO	23
CAPÍTULO 2.-ESTIMACIÓN DEL RIESGO	24
1. MONITOREO AMBIENTAL EN RUTAS DE EXPOSICIÓN	25
1.1. RUTAS DE EXPOSICIÓN	25
1.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS RUTAS DE EXPOSICIÓN	25
1.3. ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	27
1.4. SELECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS	29

2. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN EN EL ESCENARIO HUMANO	30
2.1. IDENTIFICACIÓN DEL CONTAMINANTE	30
2.2. ANÁLISIS DOSIS-RESPUESTA	31
2.3. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	32
2.4. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO	39
2.5. FACTORES ASOCIADOS AL RIESGO	43
2.6. ANÁLISIS FINAL	43
3. MODELOS TOXICOLÓGICOS EXPERIMENTALES	45
3.1. ESPECIES SILVESTRES	45
3.2. BIOENSAYOS	46
4. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN EN EL ESCENARIO ECOLÓGICO	46
4.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA EN EL ESCENARIO ECOLÓGICO	46
4.2. ETAPA DE ANÁLISIS	47
4.3. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO	48
5. SEGUNDA INTEGRACIÓN DEL CONOCIMIENTO	51
5.1. TOXICIDAD POR MEZCLAS QUÍMICAS	51
5.2. ESTIMACIÓN DEL RIESGO INTEGRADO	51
5.3. MODIFICACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL DEL SITIO	52
CAPÍTULO 3.-EVALUACIÓN DE EFECTOS	53
1. IDENTIFICACIÓN DE POBLACIONES EN RIESGO	54
2. BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN Y EFECTO EN HUMANOS	54
2.1. BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN	55
2.2. BIOMARCADORES DE EFECTO	59
3. BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN Y EFECTO EN BIOTA	59
3.1. BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN EN BIOTA	59
3.2. BIOMARCADORES DE EFECTO EN BIOTA	60
3.3. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE BIOMARCADORES	61
3.4. ÍNDICES BIÓTICOS	64
CAPÍTULO 4.-CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	74
1. ESCENARIO AMBIENTAL	75
2. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO ESCENARIO HUMANO	75

3. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO ESCENARIO ECOLÓGICO	76
4. CARACTERIZACIÓN INTEGRADA DEL RIESGO	76
CAPÍTULO 5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
1. CONCLUSIONES	79
2. RECOMENDACIONES	80
3. ACCIONES DE SALUD PÚBLICA	82
4. ACCIONES DE PRESERVACIÓN ECOLÓGICA	82
5. COMUNICACION DEL RIESGO	82
REFERENCIAS	83
ANEXO 1	90
ANEXO 2	91
ANEXO 3	92
ANEXO 3	104
ANEXO 5	106

## INTRODUCCIÓN

La evaluación del riesgo es un proceso que tiene como objetivo asignar magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de la contaminación. En consecuencia, éste proceso resulta ser un instrumento que puede utilizarse para definir si un sitio contaminado merece o no ser intervenido. Con ello puede establecerse si el grado de contaminación presente en un sitio genera efectos nocivos; entre mayor sea el riesgo de que la contaminación afecte a los seres vivos, mayor será la necesidad de instrumentar programas de restauración.

Por razones prácticas, las metodologías de evaluación de riesgo para salud humana y para biota (riesgo ecológico) se han desarrollado de manera independiente; sin embargo, paulatinamente se reconoce cada vez la exigencia de establecer de mejores niveles de protección tanto al ser humano como a los otros componentes del ambiente, por ello surge la necesidad de diseñar una a una metodología de evaluación de riesgo integrada que contemple a tanto a la población humana como a los otros receptores ecológicos en un solo proceso.

En materia ambiental las decisiones no pueden ser completamente adecuadas si sólo se considera de forma parcial la protección a los humanos o sólo a las otras especies biológicas, poblaciones ó ecosistemas. En muchos casos la contaminación ambiental afecta más a los receptores no humanos (mayor exposición) o incluso éstos individuos resultan ser los más sensibles a los efectos negativos (Suter 1993, Aylward Lesa L., *et al* 1996; Ramondetta and Repossi, 1998), éstas características frecuentemente conducen que tanto los evaluadores de riesgo humano como ecológico, generen evidencias que podrían parecer contradictorias acerca de la naturaleza de los riesgos asociados a un sitio contaminado.

Debido a lo anterior, resulta clara la necesidad de establecer una metodología integrada de evaluación de riesgo, enfocada a los escenarios reales que se presentan en un sitio contaminado, tales como: la presencia de mezclas de contaminantes, diferentes compartimientos ambientales, varias rutas de exposición y, principalmente el impacto simultáneo sobre los diversos receptores tanto ecológicos como humanos. Por tanto, las razones fundamentales para realizar una evaluación integrada del riesgo son: 1) Mejorar la

calidad y la eficiencia del proceso de evaluación por medio del intercambio de información entre la salud humana y los estudios ecotoxicológicos; y 2) Proveer de mejores argumentos para el proceso de toma de decisiones ambientales.

El esquema que se propone este documento no pretende conjuntar las metodologías ya descritas de la "Evaluación del Riesgo en Salud" (OPS, 1999) y de la "Evaluación del Riesgo Ecológico" (EPA, 1993a; 1993b; 1994a; 1994b; 1998; 1999, Sutter, 1993) debido a que, de seguir ese camino, se tendría una metodología larga, complicada y costosa. Por el contrario, para el diseño del método integral solamente se han tomado -como se verá más adelante- los puntos clave de ambas. Es decir, este esfuerzo integrado debe ser considerado como una propuesta diferente y no, como un sustituto de las metodologías ya descritas; debido a que bajo los escenarios imperantes en los países en desarrollo, resultaría sumamente complicado desarrollar las metodologías mencionadas anteriormente. Este nuevo diseño se ha desarrollado tomando en cuenta las limitaciones principalmente económicas, de información y de personal capacitado, que prevalecen en este tipo de países, por lo que al mismo tiempo, ésta propuesta busca asegurar que los resultados generados sean suficientemente sólidos para justificar las acciones o los criterios de intervención en un sitio contaminado.

El presente trabajo se dividió en 5 capítulos en el que se explican detalladamente las etapas del proceso de evaluación de riesgo integrado; sin embargo, actualmente está en desarrollo y validación un apartado adicional en donde se indican los pasos propuestos para la Identificación de Sitios Peligrosos; en ellos, el evaluador de riesgo deberá establecer: 1) Un grupo organizador considerando diversos elementos de la sociedad con el que se generará; 2) Un listado preliminar de sitios potencialmente contaminados; 3) La priorización de la lista de sitios potencialmente peligrosos; y 4) La organización de la siguiente etapa.

Dicho apartado busca presentar un sistema para obtener un listado priorizado de sitios peligrosos con un método se diseñado para aquellas regiones que carecen de dicha lista y donde se presume que la información ambiental es incompleta. La carencia de información es la principal limitante y con ello aumenta el grado de incertidumbre. Dichas incertidumbres serán superadas en la medida en que se van completando los estudios

ambientales que se proponen efectuar en las siguientes fases de la metodología. En consecuencia, la falta de información será barrera para obtener un listado.

En América, existen diversos instrumentos utilizados para priorizar los sitios potencialmente contaminados (OPS, Brasil, etc.); sin embargo, de acuerdo con el esquema de trabajo de la presente metodología, lo mejor será contar con un sistema que integre tanto criterios de riesgo ecológicos como de riesgo para la salud humana, dicho procedimiento aún se encuentra en proceso de validación por parte del INE.

En la presente metodología, el Capítulo 1 describe las bases para establecer la Primera Integración del Conocimiento del área, con la que se describirá de forma inicial el Escenario de Riesgo; Las primeras tres partes de este capítulo implican una revisión documental del sitio, para que junto con la última etapa podamos establecer una metodología en un Modelo Preliminar del Sitio, en la que se incluyen los principales elementos obtenidos por los Antecedentes Generales del sitio; así como la información más relevante acerca de los aspectos demográficos y ecológicos del sitio de estudio.

En el Capítulo 2 se detallan los pasos requeridos para realizar la Estimación del Riesgo en la que se incluye todo un proceso que permitirá la valoración del riesgo tanto para humanos como para los receptores ecológicos derivados de la exposición a los contaminantes presentes en un sitio peligroso, este proceso está basado en un Monitoreo Ambiental de las Rutas de Exposición y La Estimación de la Exposición Humana. Una de las principales limitaciones en estudios de riesgo ecológico es la carencia de información acerca del daño provocado por los contaminantes en la vida silvestre de un sitio, este capítulo provee una guía para realizar estudios en receptores silvestres y propone la utilización de ensayos por medio de Modelos Toxicológicos Experimentales con la finalidad de generar información sobre los efectos adversos, derivados de la exposición a un compuesto tóxico. La generación de información acerca de las dosis a las que se presentan efectos negativos es muy importante porque permite realizar, La Estimación de la Exposición en el Escenario Ecológico y la Estimación del Riesgo; finalmente con toda la información se propone una segunda Integración del Conocimiento, por medio de un segundo modelo conceptual del sitio basado en la primera aproximación al problema.

En el Capítulo 3 se describe el procedimiento para realizar la Evaluación de los Efectos en las Poblaciones en Riesgo, esta sección indica la utilización de los Biomarcadores de Exposición y de Efecto para los escenarios humano y ecológico, así como una guía para realizar una valoración de los componentes bióticos de la zona de estudio y su asociación con el impacto ambiental que provoca la contaminación del área.

El Capítulo 4 se centra en la Caracterización del Riesgo en tres Escenarios que son, Ambiental, Humano y Receptores Ecológicos. Es en esta sección donde se propone la Caracterización Integrada del Riesgo que permitirá la asignación conjunta de las magnitudes de los efectos adversos en estos tres escenarios.

Finalmente en el Capítulo 5 se plantean Conclusiones y Recomendaciones a las que se llegan después de haber implementado la metodología. Se ejemplifican Acciones correctivas para salud pública y ecológica, como estrategias de remediación y/o restauración del sitio, implementación de programas de comunicación de riesgo, así como algunas estrategias de conservación ecológica.



# **CAPÍTULO 1.- EVALUACIÓN DEL SITIO ESCENARIO DE RIESGO**

## 1. ANTECEDENTES GENERALES DEL SITIO

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO

La información debe buscarse en diversas fuentes, incluyendo las oficiales, las universitarias, las de consultorías privadas, etc. Durante la visita al sitio (ver más adelante), podrá corroborarse o completarse la información obtenida.

**1.1.1. Nombre del sitio.** Deben incluirse el nombre oficial y la denominación popular.

**1.1.2. Ubicación del sitio.** La información de este punto deberá complementarse anexando un mapa donde claramente se señale la localización y el área de influencia del sitio. Además de las coordenadas (georreferencia en unidades UTM y geográficas), siempre es importante referir la ubicación a un punto geográfico conocido, como una ciudad, un río, etc.

**1.1.3. Tipo de sitio.** Exponer la descripción que mejor se acerque a la realidad del sitio. Por ejemplo: campo agrícola; zona minera; área industrial; microindustria (especificando el tipo); depósito no controlado (de residuos sólidos o líquidos, de residuos industriales, urbanos, hospitalarios, etc.); área impactada por contaminación natural (especificando); etc.

**1.1.4. Información oficial sobre los tóxicos presentes en el sitio.** Para la mayoría de los sitios, es poco probable que exista este tipo de información; sin embargo, en caso de que la hubiere, es de suma importancia que incluya datos que permitan establecer la calidad y por ende, la confiabilidad de la misma. En caso de no contarse con esta información, el evaluador deberá anotarlo en su reporte.

**1.1.5. Descripción del proceso contaminante ó del origen de la contaminación.** En muchos casos será factible la identificación de la fuente contaminante y por ende, podrá establecer el proceso que da lugar al problema ambiental; sin embargo, es importante considerar que en algunos casos el origen de la contaminación se encuentra alejada del

sitio. Por ejemplo, el origen de la contaminación de un lago puede estar gradiente arriba de algún río afluente de él.

**1.1.6. Actividades que se desempeñan en el sitio.** Deberán incluirse todas las actividades que pudieren afectar de alguna manera el escenario de exposición, así por ejemplo, dentro de las económicas, habría que apuntar las actividades industriales, comerciales, agropecuarias, etc. Entre las actividades recreativas se pueden incluir natación en ríos, cacería, presencia de campos deportivos, etc. Para la evaluación de la exposición se requiere que las actividades incluyan temporalidad (por ejemplo, en épocas de vacaciones, sólo los fines de semana, ocho horas diarias, etc.). A fin de estimar el riesgo de la exposición, es necesario describir los usos del suelo pasados, presentes y futuros (zona industrial, residencial, comercial, recreativa, agrícola, etc.).

**1.1.7. Descripción de barreras que impidan el acceso al sitio.** El libre acceso al área contaminada permite la exposición de la población a las sustancias químicas. Por ejemplo, en un lugar donde hubiese residuos industriales almacenados en tambos, los pobladores podrían entrar en contacto con los residuos al utilizar dichos tambos para almacenar agua potable.

## 1.2. HISTORIA DEL SITIO

Esta sección tiene como objetivo la recopilación de información para contestar cuatro preguntas:

- ¿Cuál es el origen de la contaminación ?
- ¿ Desde cuándo existe la contaminación en el sitio ?
- ¿ La contaminación ha sido siempre la misma ?
- ¿ Desde cuándo ha ocurrido la exposición humana a los contaminantes ?

**1.2.1. Inicio de operaciones de la fuente contaminante o de la contaminación.** Probablemente en algunas ocasiones, la fecha de los eventos deberá obtenerse de entrevistas efectuadas con pobladores del lugar; en caso de que así ocurra, deberá verificarse la fecha mediante entrevistas con dos o más personas independientes.

**1.2.2. Eventos desde el inicio de operación (y de la contaminación).** Deberán registrarse todos los acontecimientos significativos que hayan determinado el tipo de contaminación a través del tiempo. Por ejemplo: ¿La contaminación ha sido siempre del mismo tipo? ¿Han existido otras fuentes contaminantes, ahora clausuradas o abatidas? ¿El sitio ha tenido siempre el mismo uso de suelo? ¿Dónde almacenaban los residuos décadas atrás? ¿Han existido fugas del contaminante?

**1.2.3. Historia de actividades humanas relacionadas con el área contaminada.** Deberán registrarse todos los acontecimientos que determinen el tipo de exposición humana a los contaminantes del sitio. Por ejemplo: ¿Existían áreas de recreación en las zonas contaminadas? ¿Había campos agrícolas en las áreas ahora urbanizadas?

**1.2.4. Acciones realizadas para remediar el problema de contaminación.** En algunos sitios podrían haberse llevado a cabo acciones de restauración parcial o total que fueren importantes para definir el actual riesgo del sitio. Por ejemplo, pavimentación de zonas sobre suelo contaminado, confinamiento de tambos con material peligroso, etc. Las acciones de restauración deben tomarse en cuenta ya que pudieron haberse dado en situaciones de emergencia y por lo tanto, podrían no ser las más adecuadas. En uno de los anteriores ejemplos, el almacenamiento de los tambos en las celdas podría haberse dado en condiciones no controladas ó pudiera ocurrir que las celdas estuviesen construidas con material permeable que en el futuro facilitara la lixiviación de los residuos.

### **1.3. INFORMACION GEOGRAFICA**

Para esta sección es de suma utilidad la información que pueda obtenerse de las Instituciones Oficiales (por ejemplo, en México sería el caso del Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática).

**1.3.1. Terreno.** Deberá recopilarse información topográfica del sitio e información relevante para el transporte y destino de los contaminantes. Por ejemplo: presencia de fracturas geológicas que pudiesen conectar a la superficie con cuerpos de agua profunda; cavernas o deformaciones del terreno donde pudiese haber almacenamiento clandestino de

residuos peligrosos o basura municipal; características del terreno que posibilitaran la generación de corrientes de agua en épocas de lluvia, etc.

**1.3.2. Suelo.** Este punto deberá centrar la información en el tipo de suelo y en datos sobre la cubierta vegetal. Atención con la historia sobre aplicación de plaguicidas.

**1.3.3. Agua Superficial.** Se requiere su clasificación (arroyo intermitente, río, lago, etc.). Información sobre sus usos (consumo humano, agrícola, abrevadero, pesca, recreación, lavado de ropa, etc.). Datos sobre descargas industriales, agrícolas, urbanas, etc. Antecedentes sobre inundaciones en los últimos años. En caso de que las inundaciones sean frecuentes: ¿El sedimento ha contaminado el suelo?

**1.3.4. Agua Subterránea.** Clasificación (acuífero no confinado, semiconfinado ó confinado). Dirección de la corriente subterránea. Antigüedad, localización, profundidad y usos de los pozos ubicados en la región. ¿Puede contaminarse el acuífero por el material presente en la superficie? ¿Existen datos de sobreexplotación del acuífero? ¿El acuífero superficial podría estar en contacto con el acuífero profundo a través de los pozos? En caso de que no hubiere antecedentes en la zona del sitio, habrá que examinar la información oficial que hubiere sobre la región. La dirección de la corriente subterránea puede estimarse con base al nivel del agua en los pozos profundos del área.

**1.3.5. Recursos Naturales (Flora, Fauna, etc).** ¿Puede existir contaminación de la flora y fauna? ¿Pueden llegar los contaminantes a través de la cadena alimentaria hacia el hombre? ¿El recurso contaminado es fuente de alimento de la comunidad? ¿El recurso contaminado se emplea como cocción para las actividades del hogar (cocción de alimentos, baño diario, etc.)?

**1.3.6. Datos meteorológicos relevantes.** Promedio anual de precipitación pluvial, época de máxima precipitación y época de estiaje (secas). Temperatura promedio anual, época de frío y época de calor. Dirección de vientos predominantes (rosa de vientos). Cambios de vientos según las épocas del año. Otros datos relevantes del sitio.

## 2. ESCENARIO HUMANO

### 2.1. INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA

La información de esta sección debe obtenerse a partir de los datos censales. Sin embargo, siempre que sea posible, durante la visita al sitio habrá que verificar la información obtenida. Los objetivos de la información demográfica son: (1) definir la magnitud de la población mayormente expuesta; y (2) establecer con detalle la distribución por edades, sexo y grupos étnicos. En el Censo Mexicano la información demográfica está vertida en áreas denominadas AGEBs (Áreas Geoestadísticas Básicas), por lo tanto, es factible establecer la cantidad de individuos que viven a diferentes distancias de la fuente contaminante.

Un hecho particularmente importante es el conocimiento de los grupos étnicos y de los grupos etéreos. Diversos factores toxicológicos afectan más a unos grupos que a otros (por ejemplo, el efecto endocrino del plomo se presenta más en mujeres afroamericanas Selevan et al., 2003), en tanto, la excreción de creatinina por orina, un factor muy empleado para ajustar las concentraciones urinarias de tóxicos, es diferente entre grupos de edad, géneros y etnicidad (Canfield et al., 2003). Basten estos dos ejemplos para puntualizar la importancia de este tipo de conocimiento.

### 2.2. VIVIENDA

Debe obtenerse conocimiento sobre: i) tipo de vivienda (material de construcción, tipo de piso, contar con patio doméstico de tierra, etc.); ii) localización del área residencial con respecto a la fuente (distancia, localización con respecto a la dirección de vientos predominantes, etc.); iii) antigüedad del área residencial; iv) presencia de contaminantes interiores (fumigación de insecticidas en zonas palúdicas, empleo de leña para la cocción de alimentos, etc.); v) proyectos de crecimiento del área residencial; vi) localización del dormitorio y del área de preparación de alimentos; vii) industria familiar localizada en la misma dirección de la vivienda (carpinterías, ladrilleras, invernaderos, etc.), viii) tiempo que pasa la mujer cocinando, el niño en interiores (cualquier información útil para establecer patrones de comportamiento en el interior de la vivienda) ; ix) otros.

### **2.3. ÁREAS DE RECREACIÓN**

Sobre las áreas donde juegan los niños es importante conocer: i) el material con el cual están contruidos los juegos (en algunos casos de juegos de madera, la madera está tratada con insecticidas organoclorados o en base a la mezcla cromo-cobre-arsénico); ii) el tipo de piso del área de recreación (pasto, tierra, material sintético, trozos de llanta, etc.); iii) localización del área con respecto a la fuente (distancia, localización con respecto a la dirección de vientos predominantes, etc.); iv) antigüedad del área; v) eventos de restauración en el área (por ejemplo, cambio de suelo, plantar pasto, poner cemento, etc.); vi) frecuencia de juego (importantísimo para el momento de estimar el riesgo); vii) otros. Es muy importante establecer si los niños juegan donde existen tóxicos (residuos mineros, áreas agrícolas con plaguicidas, ríos contaminados, etc.).

### **2.4. ESPACIOS EDUCATIVOS**

Debe obtenerse una información similar a la que se recopile para la vivienda, enfatizando tiempo de recreo y características del área de recreación. ¿Los niños tienen que caminar para llegar a la escuela, por dónde, a qué hora?

### **2.5. VULNERABILIDAD DE LA COMUNIDAD**

Puede consultarse el índice de marginación de la CONAPO (Consejo Nacional de Población) que incluye entre otros a factores como el nivel socioeconómico, los tipos de vivienda, el nivel académico, el acceso a drenaje y agua potable, etc. Además, el evaluador podrá advertir otros factores como acceso a servicios médicos, disposición y manejo de basura doméstica (el quemar basura puede ser fuente de dioxinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, etc.), hacinamiento, consanguinidad, etc. Es decir, cualquier factor que pudiera incrementar la exposición a las sustancias químicas o que pudiere aumentar el número de tóxicos a los cuales pudieran estar expuestos los individuos de la comunidad.

## 2.6. FUENTES DE ALIMENTOS

¿Los alimentos pudieran estar contaminados con los plaguicidas que se emplean en la zona (áreas agrícolas), o con polvo rico en metales (zonas mineras o metalúrgicas), etc.? ¿Los alimentos lácteos podrían estar contaminados con compuestos organoclorados, bromados, etc? ¿Preparan sopas, bebidas, alimento de bebé, etc., con el agua contaminada (áreas con fuentes de agua contaminada)? ¿Emplean barro vidriado (plomo)? ¿El pescado podría traer metales, contaminantes orgánicos persistentes u otros tóxicos? En fin, hay que obtener información sobre los alimentos, la procedencia, la variedad, la cantidad y la frecuencia de consumo.

## 2.7. ASPECTOS MIGRATORIOS

En México, en zonas marginadas es común que se presenten altos índices de migración, bien dentro del país para ir a trabajar a zonas urbanas o a campos agrícolas, bien fuera del país. Es importante considerar la migración porque abre opciones a cambiar patrones de exposición, pero además, puede incrementar la cantidad de basura compleja (empaques de material eléctrico, computadoras obsoletas, piezas de coches antiguos, etc.). En otro sentido, los materiales (bienes) que los trabajadores migrantes llevan a sus comunidades podrían ser materiales tratados con sustancias químicas producidas en el mundo desarrollado (por ejemplo, los retardantes de flama).

## 2.8. PREOCUPACIONES DE LA COMUNIDAD

La interacción con la comunidad es clave para el buen desarrollo del estudio. Los miembros de la comunidad afectada deben estar enterados de los trabajos que se realizarán en el sitio. Para ello, deberán buscarse las mejores estrategias de comunicación de riesgo; incluyendo desde luego, la honestidad y el uso de un lenguaje claro y franco. El evaluador debe establecer un listado de las preocupaciones comunitarias relacionadas con el sitio, en materia de contaminación, salud y estrategias de limpieza. Se recomienda la recopilación de la información publicada en los medios locales de comunicación (editando el amarillismo y las noticias sin sustento). Asimismo, deben efectuarse entrevistas con miembros de la comunidad, autoridades locales y personal médico de la región (poner atención en las



clínicas rurales de salud). Si el evaluador realizó una buena labor en este punto, al final deberá contar con un listado de las preocupaciones de la comunidad en lo referente a los riesgos en salud asociados al sitio contaminado y con una visión clara del sentir comunitario sobre cómo debe manejarse la problemática del área en estudio.

### **3. ESCENARIO ECOLÓGICO**

#### **3.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO DE ESTUDIO**

**3.1.1 Fisiografía.** Se deberá hacer una descripción de las principales unidades fisiográficas y geomorfológicas. Las unidades deben de describir el tipo de geoforma (cerros, depresiones, laderas, etc.); ubicación, extensión, altitud, pendiente, factores erosivos predominantes, etc.

El evaluador deberá realizar cartografía con la finalidad de sintetizar y contextualizar la información que ayudará a la realización del modelo conceptual.

**3.1.2 Geología.** De forma general debe realizarse una descripción geológica del área, en la cual se deberán tomar en cuenta aspectos de geología: a) histórica –origen, desarrollo y procesos a través del tiempo que dieron forma a la geología local-, b) estratigráfica (composición, edad, profundidad, dureza y permeabilidad de los estratos, presencia de fallas y fracturamientos, etc.) y c) estructural (descripción litológica, composición mineralógica, etc.)

Otro aspecto que debe presentarse en esta parte es la susceptibilidad de la zona a: sismos, deslizamientos, derrumbes u otros movimientos de suelo o roca y posible actividad volcánica.

El evaluador deberá realizar cartografía con la finalidad de sintetizar y contextualizar la información que ayudará a la realización del modelo conceptual

**3.1.3 Clima.** Se deberán describir los principales tipos de clima según la clasificación de Köppen (o de acuerdo a su clasificación local). Así como los principales datos meteorológicos del sitio como: precipitación-temperatura mensual, anual y extremas, humedad relativa y absoluta, balance hídrico (evaporación-evotranspiración), radiación e incidencia solar, vientos predominantes (dirección y velocidad) mensual y anual, época de

estiaje, lluvia etc. El evaluador deberá realizar cartografía, diagramas ombrotérmicos y rosas de vientos, con la finalidad de resumir y contextualizar la información que ayudará a la realización del modelo conceptual. Mientras más información histórica se recabe del área, se tendrá una mayor comprensión de los ciclos climáticos de la zona de estudio.

Es importante describir fenómenos meteorológicos extremos como huracanes, nortes, tormentas tropicales, inundaciones, heladas, nevadas, etc.

**3.1.4 Suelo.** Se deberán describir los tipos de suelo de acuerdo con la clasificación de FAO-UNESCO, así como sus principales características físico químicas como: la estructura, textura, materia orgánica, profundidad, fases, pH, bases intercambiables, porosidad, conductividad térmica e hidráulica, salinización, capacidad de saturación, etc. Se deberá describir su susceptibilidad a la: erosión, acidificación, compactación, etc. Así como la estabilidad edáfica.

El evaluador deberá realizar cartografía con la finalidad de sintetizar y contextualizar la información que ayudará a la realización del modelo conceptual.

**3.1.5 Hidrología.** Se deben describir los aspectos geohidrológicos e hidrológicos de la(s) cuenca(s) en la(s) que se encuentra localizado el sitio. Se deben incluir aspectos de recarga de acuíferos, transporte y aprovechamiento de aguas subterráneas así como datos relativos a: profundidad de acuíferos, nivel freático, porosidad, tasas de infiltración, de calidad de agua subterráneas, presencia de fallas y fracturas, localización de pozos y norias.

En cuanto a la hidrología superficial se deben señalar los cuerpos de aguas superficiales que puedan ser afectados por los contaminantes. Señalar además la calidad del agua de acuerdo a parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, sólidos suspendidos totales, DQO, y coliformes totales, etc.) y metales como Pb, Cd, Cu, Zn, etc. Se deben de tomar en cuenta para esta descripción: la capacidad de transporte, migración y acumulación de los contaminantes hacia otras áreas, superficies o ecosistemas. Para la hidrología subterránea se deben describir aspectos como profundidad y dirección de acuíferos, principales usos y calidad del agua.

En el caso de que el sitio se localice en una zona marina se deben de tomar en cuenta para la descripción: tipo de costa, ambientes, fisiografía, batimetría, etc. Se debe hacer además la caracterización física de las masas de agua (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, características generales del ambiente abiótico). Si el sitio se localiza en

una zona costera se deben de tomar en cuenta los márgenes del sistema lagunar, batimetría, calidad del agua (salinidad, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, fosfatos y amonio) Para ambos casos se deben considerar las condiciones generales y las variaciones estacionales.

El evaluador deberá realizar cartografía con la finalidad de sintetizar y contextualizar la información que ayudará a la realización del modelo conceptual.

**3.1.6 Vegetación.** Describir los tipos de vegetación terrestre y/o acuática y su distribución geográfica, de acuerdo con el sistema de clasificación INEGI (o a su sistema de clasificación) así como su estado de conservación. Se deberá de elaborar un listado de las especies presentes en el área de estudio así como resaltar las que estén bajo algún estatus de protección (de acuerdo a la normatividad nacional e internacional), así como aquellas que se puedan considerar de relevancia ecológica, cultural, científico o comercial.

Es de principal relevancia describir en este punto el uso de suelo y vegetación que represente las principales actividades productivas como ganadera, agricultura, minería, etc.

El evaluador deberá realizar cartografía con la finalidad de sintetizar y contextualizar la información que ayudará a la realización del modelo conceptual.

**3.1.7 Fauna.** Se deberá realizar un inventario de las especies o comunidades faunísticas terrestres, acuáticas y de humedal reportadas o avistadas en el sitio; se deberá indicar su distribución espacial, abundancia, así como aspectos fenológicos. Se identificarán aquellas especies que estén bajo algún estatus de protección (de acuerdo a la normativa nacional e internacional), así como aquellas que se puedan considerar de relevancia ecológica, cultural, científico o comercial.

Se deberán identificar los radios de actividad para aquellos grupos considerados como vulnerables, así como de las áreas sensibles como corredores, zonas de anidación, de refugio, de alimentación, de crianza, etc. También es relevante identificar y mencionar sucesos biológicos únicos como migraciones en masa, zonas de presencia de juveniles, etc.

El evaluador requiere realizar cartografía con la finalidad de sintetizar y contextualizar la información que ayudará a la realización del modelo conceptual.

### 3.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ESPECIES PARA BIOMONITOREO AMBIENTAL

A fin de establecer un esquema inicial de trabajo, se recomienda la selección de especies **críticas**, es decir, aquellas especies animales o vegetales, que tienen un papel importante en la dinámica del ecosistema y/o importancia (económica, cultural, científica, etc.) para el hombre y que podrían tener mayor vulnerabilidad por la contaminación del sitio en estudio; en esta metodología se asume que al proteger a las especies críticas se estará protegiendo a las demás. A continuación se proponen varios criterios para determinar cuál o cuales serán las especies a evaluar tales como:

- Los **contaminantes** presentes en el sitio. No es imperativo realizar un monitoreo ambiental en las diferentes matrices (suelo, agua, aire) para identificar los contaminantes, ya que es posible obtener esta información consultando literatura especializada, sin embargo, en caso de no existir antecedentes, será necesario generar información al respecto.
- Las probables **rutas de exposición** (ingesta, inhalación y dérmica) que dependerán del comportamiento ambiental de los contaminantes. Una vez determinados los contaminantes y las probables rutas de exposición, es posible determinar qué especies son las más expuestas.
- Seleccionar las especies de **biología bien conocida** (dieta, nicho ecológico, amplitud de hábitat, época reproductiva, hábitos de conducta, etc.), esto se puede determinar con base en literatura. Se recomienda realizar un muestreo poblacional preliminar para establecer si las especies propuestas son abundantes, de lo contrario será necesario seleccionar otras especies.
- Las especies seleccionadas deben ser relativamente de **fácil captura y manejo** (insectos, peces, roedores).
- Realizar un análisis documental básico de los componentes de la red trófica que existen en el sitio de estudio, con la finalidad de seleccionar especies preferentemente ubicadas en **diferentes niveles de la red trófica**, para lograr una

mejor caracterización de la magnitud del impacto ecológico y su posible afectación a la población humana.

Con la finalidad de contar con la mayor información posible se sugiere seleccionar por lo menos tres especies por ecosistema, buscando de esta manera tener la mejor representación de los niveles tróficos. Preferentemente, las especies seleccionadas deben pertenecer a diferentes sistemas biológicos, por ejemplo; en el caso hipotético que en un sitio de estudio existan los siguientes tres sistemas la selección se podría realizar de esta forma: terrestre: lombrices, roedores y serpientes; humedal: ranas, culebras y cocodrilos; acuático: crustáceos, moluscos y peces.

Las especies vegetales también pueden ser estudiadas sin embargo, esta metodología tiene como objetivo realizar una integración entre dos escenarios (el humano y fauna silvestre), por lo que se ha elegido trabajar con animales, que biológicamente están más emparentados con el humano a diferencia de las plantas.

Finalmente, el evaluador deberá asesorarse con biólogos y con los pobladores de la región a fin de contar con la mejor selección de especies críticas.

### **3.3. ANTECEDENTES DE EFECTOS EN ESPECIES SELECCIONADAS**

Los antecedentes que se buscan conocer son todos aquellos que permitan establecer las rutas de exposición a los contaminantes presentes en el sitio (ver Cap. 2). Así, es importante definir el hábitat y las cadenas tróficas en las cuales participa. Además, es imperativo definir si son especies migratorias, ya que es complicado trabajar con este tipo de especies. Con los datos anteriores se pueden fijar las rutas de exposición por alimento y en los ambientes de su hábitat (suelo, agua, sedimentos, etc.).

Se persigue establecer los antecedentes existentes en las especies críticas que pudieran tener alguna asociación con los contaminantes del sitio, por ejemplo, aparición de tumores, menor producción de leche, huevos con cascarón delgado, cambio de color en hojas, aparición de organismos muertos, malformaciones y parasitosis. Habrá que registrar

la fuente de información, la época del evento descrito, la antigüedad (primera vez que se describió el evento), la frecuencia, etc.

### **3.4. DISTURBIO ANTROPÓGENO**

Al evaluar el riesgo ecológico siempre se deberá establecer la vulnerabilidad de las especies críticas a fenómenos ajenos a la contaminación del sitio; por ejemplo, tala inmoderada, erosión del suelo, presencia de descargas municipales, ganadería, agricultura, caza o pesca, introducción de especies exóticas, etc. La interacción con la comunidad es vital para establecer aquellos fenómenos que estén afectando a las especies críticas (Martorell y Peters, 2005).

## **4. PRIMERA INTEGRACIÓN DEL CONOCIMIENTO**

### **4.1. ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LA INFORMACIÓN**

Habrà de construirse un sistema de información geográfica del sitio, para lo cual podría utilizarse información obtenida de bases de información geográfica. En dicho sistema habrá de localizarse al sitio en conjunto con las poblaciones más cercanas y el hábitat de las especies de alto riesgo. Con esta herramienta, el evaluador podrá definir con mayor precisión un esquema preliminar del riesgo integrado en la zona contaminada.

### **4.2. VISITA AL SITIO**

Además de corroborar y/o complementar la información sobre los puntos anteriores, la visita al sitio tiene dos objetivos más: obtener información sobre las preocupaciones de la comunidad con respecto a la situación ambiental de su entorno y determinar de una manera preliminar, las rutas de exposición de mayor importancia. La interacción con la comunidad es clave para el buen desarrollo del estudio. Los miembros de la comunidad afectada deben estar enterados de los trabajos que se realizarán en el sitio. Para ello, deberán buscarse las mejores estrategias de comunicación de riesgo; incluyendo desde luego, la honestidad y el uso de un lenguaje claro y franco. El evaluador debe establecer un listado de las preocupaciones comunitarias relacionadas con el sitio, en materia de contaminación, salud y

estrategias de limpieza (al respecto es importante listar todas aquellas acciones que se hubieren instrumentado con el objetivo de reducir los riesgos, tanto de la población humana como de los organismos de la biota, como por ejemplo, acciones preliminares de restauración, atención o rescate de las especies críticas y programas preventivos de salud).

Análisis Preliminar de las Rutas de Exposición .. Más adelante, en este mismo capítulo, se definen con precisión los componentes de una ruta de exposición. El evaluador deberá comprender a la perfección el significado de cada uno de estos componentes, a fin de poder establecer durante la visita al sitio, el número de rutas de exposición posibles. Tendrá que verificar las fuentes contaminantes (dentro y fuera del sitio), los medios ambientales que pudieran estar contaminados (durante la visita podría apreciar derrames, olores, etc.), los puntos de exposición de mayor riesgo (áreas recreativas en centros escolares, pozos, etc.), las vías de exposición más probables y la población de alto riesgo. Si el evaluador logra determinar las rutas de exposición durante la visita, el análisis de contaminación tendrá mayor éxito y por ende, el estudio adquirirá la calidad requerida para definir el riesgo.

#### **4.3. MODELO PRELIMINAR DEL SITIO**

Con toda la información recopilada y después de su análisis, el investigador tendrá que establecer un modelo conceptual del sitio. El modelo deberá incluir la descripción de las rutas de exposición de mayor importancia, identificando para cada una, a la población receptora, tanto humana como biótica. Además, deberá señalarse la posibilidad de que los contaminantes hayan migrado de un ambiente a otro y fuera de los límites acordados para el estudio. En este momento puede darse una primera aproximación de los biomarcadores y otras respuestas biológicas, que pudieran emplearse para valorar el riesgo ecológico y de las poblaciones humanas. Podrán discutirse algunas incertidumbres, pero siempre serán sesgadas a sobreestimar el riesgo, a fin de evitar el que una interpretación errónea impida la continuación del estudio. La descripción del modelo conceptual deberá acompañarse de una figura que ilustre la problemática identificada durante la visita al sitio.

# **CAPÍTULO 2.- ESTIMACIÓN DEL RIESGO**



## 1. MONITOREO AMBIENTAL EN RUTAS DE EXPOSICIÓN

### 1.1. RUTAS DE EXPOSICIÓN

El concepto de ruta de exposición se refiere al camino que sigue el contaminante desde su fuente hasta la población. Toda ruta se constituye entonces de cinco componentes:

- 1. Fuente de contaminación.** Fuente que emite contaminantes al ambiente.
- 2. Medio ambiental.** Medio responsable de transportar los contaminantes desde la fuente hasta el punto de exposición: aire, agua, suelo, polvo, alimento, etc.
- 3. Punto de exposición.** Lugar donde la población (humana o biota) entra en contacto con los contaminantes (pozos profundos, área de recreación infantil, grifos caseros, cuerpos de agua, madrigueras, etc.).
- 4. Vía de exposición.** Inhalación (aire, partículas finas), ingesta (agua, suelo, alimento, polvo), absorción dérmica, etc.
- 5. Población receptora.** Poblaciones (humanas o biota) que están expuestas a los contaminantes, la población receptora es entonces la población expuesta.

### 1.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS RUTAS DE EXPOSICIÓN

La identificación de las rutas de exposición es un punto medular del método ya que, la ruta es el camino que utiliza el contaminante para llegar al receptor; por consiguiente, cualquier programa de restauración deberá centrarse en el abatimiento de las rutas más importantes. Identificando a los componentes de las rutas de exposición, pueden diseñarse barreras que impidan la exposición a los contaminantes críticos.

El evaluador deberá identificar a las rutas por un nombre que claramente las distinga. En algunos casos, el nombre puede ser el medio del ambiente involucrado en la ruta, pero esto no es siempre aconsejable, ya que como se verá en el siguiente párrafo, dos rutas

podrían compartir el mismo medio (por ejemplo: suelo superficial en una ruta dentro de un centro escolar y suelo superficial en una ruta en un patio casero).

Dos ó más rutas pueden compartir elementos. Por ejemplo, es común que diferentes rutas compartan la misma fuente de contaminación. Pero de mayor importancia son las rutas que comparten idéntica población receptora. Un individuo podría estar expuesto a un mismo contaminante a través de diversas rutas. En este caso, la dosis total de exposición sería la sumatoria de la exposición a todas las rutas y dicha sumatoria podría llegar a superar el nivel tóxico del contaminante, lo cual entonces representaría un riesgo en salud para dicho individuo.

Aunado a lo anterior, debe considerarse la posibilidad de que en algunos casos los elementos de una ruta pudiesen no estar bien definidos. Cuando a una ruta le falte alguno de sus elementos se le denominará ruta potencial y quedará a criterio del evaluador si debe considerarse como una ruta importante. Por ejemplo, el suelo contaminado en una zona sin población expuesta al momento del estudio es una ruta potencial. La importancia de su identificación es que esta zona contaminada no debiera tener vocación residencial (hecho que en un ejercicio real debería mencionarse en la sección de recomendaciones).

Una vez seleccionados los contaminantes críticos en cada uno de los medios ambientales, el evaluador deberá señalar todas las rutas de exposición completas o potenciales con importancia, que pudieran existir en el sitio o fuera de él.

Para facilitar la fase de evaluación de rutas de exposición, el evaluador puede utilizar los siguientes dos formatos:

**FORMATO 1 (ejemplo).**

NOMBRE DE LA RUTA	FUENTE	MEDIO DEL AMBIENTE	PUNTO DE EXPOSICION	POBLACION RECEPTORA	PASADA, PRESENTE o FUTURA	COMPLETA O POTENCIAL
TAMBOS	basurero	suelo	el basurero	niños, biota	presente	completa
AIRE	basurero	aire	comunidad	todos los miembros	presente	completa

**FORMATO 2 (ejemplo).**

NOMBRE DE LA RUTA	CONTAMINANTES CRITICOS	NUMERO NIÑOS EXPUESTOS	NUMERO JOVENES EXPUESTOS	NUMERO MUJERES EN EDAD FERTIL	NUMERO ADULTOS EXPUESTOS	NUMERO ANCIANOS EXPUESTOS
TAMBOS	ARSENICO BENCENO	100	---	---	---	---
AIRE	BENCENO HEXANO	1200	600	535	1790	329

Se podría adaptar un formato similar para los organismos de la biota.

**1.3. ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

**1.3.1. Plan de muestreo**

El plan del muestreo ambiental debe contestar las siguientes preguntas: ¿Qué matriz se va a analizar? ¿En qué sitio se va a efectuar el muestreo?, ¿Tipo de muestra que se va a coleccionar?, ¿Cuándo se realizará la colecta?, ¿Frecuencia del muestreo?, ¿Cómo se tomarán las muestras?, ¿Cuidados de Transporte?, ¿Qué programa de control de calidad se aplicará?

Las matrices pueden ser agua, suelo, sedimento, polvo, alimentos, aire, partículas suspendidas, hojas, etc. Serán seleccionadas aquellas matrices que más interesen de acuerdo al contaminante en cuestión. Por ejemplo, en una zona palúdica, el contaminante de interés sería el DDT y considerando sus características fisicoquímicas, el suelo, el sedimento y las hojas del follaje (que fijarían el DDT volatilizado), podrían ser las matrices de mayor interés. Para aquellos lugares donde ya se aplica deltametrina, quizá el polvo doméstico y el suelo serían las matrices más importantes. Conclusión, las características del contaminante definirán las matrices. Adicionalmente, es fundamental el considerar las rutas de exposición. Por ejemplo, podría darse el caso de que una matriz seleccionada por las características fisicoquímicas del contaminante, no fuese parte de una ruta de exposición, por lo cual, dicha matriz podría ser descartada para el muestreo. Debe advertirse que en esta metodología integrada, los organismos de la biota (como serían los peces), se consideran organismos receptores y no, solamente parte de la cadena alimenticia del hombre.

Los sitios de muestreo de mayor importancia son los puntos de exposición de las rutas previamente identificadas. Además, hay que muestrear áreas no contaminadas a fin de obtener los valores basales. Algún estudio podría tener como objetivo el conocer la extensión de la mancha contaminante, en tal caso, el diseño del muestreo debe considerar un modelaje estadístico, donde el número de muestras y el punto de muestreo estarán dictados por la precisión definida por el propio investigador

El tipo de muestra, por ejemplo suelo superficial vs suelo profundo, será determinado de acuerdo a los objetivos del trabajo. Para un organismo silvestre en especial, quizá las muestras de suelo profundo sean tan o más importantes que las muestras de suelo superficial. Para los niños en cambio, son de mayor importancia las muestras superficiales. En consecuencia, para definir el tipo de muestra debe analizarse con cuidado y siguiendo el modelo conceptual del sitio que se haya planteado.

El momento del muestreo será determinado inicialmente por el tipo de matriz; por ejemplo, un acuífero requiere ser monitoreado cuando menos de tres a cuatro veces por año. En otras ocasiones, la frecuencia y el momento preciso del muestreo estarían dictados por otro tipo de actividades. Así, en las zonas palúdicas, el muestreo podría estar definido por la época de aplicación de los insecticidas y la frecuencia debería basarse en los parámetros de degradación del insecticida aplicado. En cualquier caso, el diseño considerará la época de máxima exposición; es decir, el momento en el tiempo donde sea más probable el contacto del contaminante con los seres vivos.

El muestreo deberá realizarse en condiciones adecuadas. El investigador debe conocer el material requerido para la toma y el almacén de las muestras, según la matriz a muestrear y de acuerdo al contaminante. En consecuencia, se tendrán que consultar los textos en materia de química analítica ambiental. Atención especial merece la limpieza de los contenedores empleados en los muestreos, a fin de evitar falsos positivos. El transporte de las muestras del sitio al laboratorio debe realizarse de acuerdo a los estándares de seguridad más indicados. Deben evitarse pérdidas por volatilidad o degradación. En algunos casos se aconseja el empleo de fijadores, de antimicrobianos y la baja temperatura. Cada tipo de contaminante requiere un trato particular. El control de calidad inicia al momento del

muestreo. El investigador deberá analizar la pertinencia de obtener, al momento de la colecta, blancos de campo y/ ó muestras fortificadas. Por otro lado, es una costumbre recomendable que todo el proceso del plan de muestreo sea valorado de manera previa por un comité evaluador externo, constituido por entendidos en la materia.

### **1.3.2. Programas analíticos**

Los laboratorios cuentan en la actualidad con un gran número de técnicas analíticas, tanto para la detección de contaminantes inorgánicos como orgánicos. El investigador debe contemplar realizar los análisis con los métodos que mejor respondan en cuanto a límites de detección, precisión y reproducibilidad. A fin de garantizar los datos que se generen, habrá que aplicar los programas de control de calidad más adecuados. Incluyendo el análisis de matrices certificadas cuando ello fuese factible. Los resultados deberán expresarse en tablas con valores promedio, rangos y frecuencia de muestras con niveles por arriba de los valores de referencia que hubieren sido seleccionados.

### **1.4. SELECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS**

Con la lista de los contaminantes identificados, habrá de establecerse una priorización de ellos, a fin de valorar solamente a los contaminantes que realmente representan un riesgo para el sitio en estudio. Entre los factores que deben ser tomados en cuenta para dicha clasificación están: (A) la comparación ente las concentraciones ambientales y los valores de referencia que hubieren sido elegidos para tal fin (normas, guías ambientales como los EMEGs (Environmental Media Evaluation Guide) de ATSDR, valores basales, incluyendo valores ecotoxicológicos, etc.); (B) frecuencia de localización en los puntos de exposición; (C) preocupación de la comunidad por el contaminante; (D) factor de bioconcentración; (E) capacidad de biomagnificación; (F) persistencia ambiental; (G) características toxicológicas; (H) presencia del contaminante en todos los medios; (I) otras que el investigador considere importantes.

## 2. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN EN EL ESCENARIO HUMANO

El método para la estimación del riesgo que se expone a continuación se basa en la metodología desarrollada en los Estados Unidos. En su planteamiento original la metodología consiste en cuatro fases iniciales, a las cuales, se le ha adicionado una quinta para enfatizar aspectos que podrían modificar el riesgo en salud.

1. Identificación del Contaminante.
2. Análisis Dosis-Respuesta.
3. Estimación de la Exposición.
4. Caracterización del Riesgo.
5. Factores asociados al riesgo (incluidos factores microbiológicos).

### 2.1. IDENTIFICACIÓN DEL CONTAMINANTE

En esta sección se resume la información sobre los contaminantes presentes en el sitio. Deberán contestarse interrogantes como las siguientes:

- ¿Cuál es la ruta de exposición más importante en el sitio ?
- ¿Cuáles son los contaminantes críticos que se han detectado en dicha ruta ?
- ¿ Existe la posibilidad de que los contaminantes se transporten de un medio a otro ?
- ¿ Cómo se da la exposición a los contaminantes (frecuencia, duración, etc.) ?
- ¿Cuál es la población en riesgo (niños, mujeres embarazadas, etc.)?
- ¿Cuáles son los efectos tóxicos de los contaminantes críticos ?

Además de las respuestas a las anteriores interrogantes, debe incluirse una clasificación de los contaminantes identificados, según su grado de Toxicidad y de Persistencia en el ambiente. Según su toxicidad las sustancias químicas pueden clasificarse

como sustancias no tóxicas, y sustancias con toxicidad ligera, moderada ó severa. Según su persistencia las sustancias pueden clasificarse como no persistentes, persistentes, algo persistentes y altamente persistentes (ver cuadros de toxicidad y persistencia en los Anexos 1 y 2).

## **2.2. ANÁLISIS DOSIS-RESPUESTA**

A través de diferentes investigaciones, la EPA ha definido una serie de dosis de referencia (RfD) para diferentes sustancias químicas. De la misma manera, la ATSDR ha definido las dosis de riesgo mínimo (MRL). La RfD y la MRL son dosis teóricas que han sido generadas a través de curvas dosis-respuestas (EPA, 2000); ambas, son resultado de la estimación del nivel de exposición diaria para humanos, incluyendo poblaciones sensibles, a las que no se observan efectos adversos.

Tanto la RfD como la MRL se han obtenido a partir de considerar el efecto adverso que se presenta a la menor dosis de exposición. Si una sustancia causa varios efectos, sólo el que se presenta a la menor dosis es considerado para el cálculo de la RfD o del MRL. Si el lector está interesado en saber más acerca del proceso de la obtención de las dosis de referencia puede consultar el reporte técnico final de la EPA sobre el procedimiento para la obtención de estos valores (EPA 2002a).

Es importante recordar que por lo limitado de los estudios científicos, para algunas sustancias no se han calculado las RfD ó MRL. El evaluador deberá obtener información de la RfD a partir del banco de datos IRIS (banco de información de la EPA IRIS 2005) y deberá obtener información del MRL a partir del banco de datos de la ATSDR (ATSDR 2005). La información numérica generalmente se acompaña de los estudios que originaron la dosis de referencia o la dosis de riesgo mínimo. Es decir, junto al valor de la dosis se puede obtener información sobre el efecto seleccionado para su cálculo.

Una vez con estos datos, el evaluador deberá hacer esfuerzos para obtener la NOAEL (dosis experimental a la cual no se ha observado efecto adverso alguno para el padecimiento seleccionado) y la LOAEL (mínima dosis experimental a la cual ya se observó algún efecto). La NOAEL y la LOAEL pueden obtenerse revisando la literatura científica (los

“Perfiles Toxicológicos” de la ATSDR son excelentes para este fin y los documentos del banco de datos IRIS que justifican el cálculo de las RfD también contienen información útil). Al final, el evaluador tendrá tres dosis en mg/kg/día, las cuales en condiciones óptimas deberían ser para la misma vía (oral, dérmica o inhalatoria) y para el mismo efecto o padecimiento:

La RfD y/o MRL,	dosis de seguridad a la cual no debe haber efecto alguno.
La NOAEL,	dosis a la cual no se ha observado efecto alguno.
La LOAEL,	dosis mínima a la cual ya se observó algún tipo de efecto.

## 2.3. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

### 2.3.1 Método determinístico

Como el título lo indica, en esta sección se busca conocer de forma aproximada la dosis de contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto (EPA 1992). Para estimar la exposición se siguen algunas reglas simples:

Considerar sólo a los medios ambientales para los cuales existan datos analíticos confiables.

Anotar las concentraciones mínima, máxima y promedio del contaminante crítico para el medio ambiental seleccionado.

Analizar cual es la vía de exposición para las rutas críticas (ingesta para suelo, polvo, alimento y agua; inhalación para aire; dérmica para orgánicos; etc.).

Definir cual es el grupo poblacional de mayor riesgo en el sitio.

Es importante establecer tres dosis, la dosis mínima empleando el valor mínimo de concentración ambiental del contaminante en el medio seleccionado; la dosis máxima, empleando el nivel máximo y la dosis promedio, utilizando medidas como la media aritmética de la concentración del contaminante en el medio ambiental.



En las hojas siguientes se presentan algunos ejemplos tomados del MANUAL DE RIESGOS EN SALUD POR LA EXPOSICION A RESIDUOS PELIGROSOS, de la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (traducción en español).

## PARAMETROS PARA LA ESTIMACION DE LA EXPOSICION

$$\text{Dosis (mg / kg - día)} = \frac{\text{Conc} \times \text{TI}}{\text{PC}}$$

**Dosis** es la dosis de exposición que esta estimándose.

**Conc.** es la concentración del contaminante en el medio ambiental seleccionado

**TI** tasa de ingestión diaria de agua = 1 litro niño 2 litros adulto

tasa de ingestión diaria de suelo = 200 mg niño 50 mg adulto

tasa ingestión diaria de polvo = 20 mg niño 5 mg adulto

tasa de inhalación diaria de aire = 3.8 m<sup>3</sup> infante 15 m<sup>3</sup> niño

21 m<sup>3</sup> mujer 23 m<sup>3</sup> hombre

[para el caso de suelo y polvo la TI deberá multiplicarse por  $1 \times 10^{-6}$  kg/mg para ordenar las unidades]

en el caso de los alimentos, mediante cuestionario a levantarse entre la población expuesta, se obtendrá información sobre el tipo de alimento, frecuencia de ingesta, cantidad consumida y método de preparación culinaria; no existen valores estándares ya que las costumbres pueden variar de manera importante de región a región.

**PC** peso corporal = 10 kg infante, 14 kg niño (3-6 años) ó 70 kg adulto.

**FE** factor de exposición; incluye datos de biodisponibilidad, absorción y/o temporalidad. Los datos pueden provenir de la literatura científica y del estudio efectuado en el sitio.

## ESTIMACION DE DOSIS DE EXPOSICION

---

Ejemplo 1 Agua:

Considere la exposición humana a una fuente primaria de abastecimiento de agua que está contaminada con 350 mg/L de cloruro de metilo. Para calcular la dosis de exposición en adultos, asuma un peso corporal de 70 kg.

$$ID_{\text{Dag}} = \frac{C \times TI \times FE}{PC} = \frac{350 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/día} \times 1}{70 \text{ kg}} = 10 \text{ mg/kg-día}$$

Para niños asuma un peso corporal de 10 kg.

$$ID_{\text{Dag}} = \frac{C \times TI \times FE}{PC} = \frac{350 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L/día} \times 1}{10 \text{ kg}} = 35 \text{ mg/kg-día}$$


---

Ejemplo 2 Suelo:

Considere el escenario de exposición a un suelo contaminado con una concentración de 100 mg/kg de algún químico. El índice de ingesta en adultos es de 50 mg/día. Asuma que los individuos se encuentran expuestos durante 5 días a la semana, durante 50 semanas al año por un espacio de 30 años.

Primero calcule el factor de exposición:

$$FE = \frac{\text{(frecuencia de exposición)}}{\text{(tiempo de exposición)}}$$

$$FE = \frac{(5 \text{ d/semana})}{(7 \text{ d/semana})} \times \frac{50 \text{ semanas/año}}{52 \text{ semanas/año}} \times \frac{30 \text{ años}}{70 \text{ años}} = \frac{7500}{25488} = 0.29$$

$$ID_{\text{S}} = \frac{C \times TI \times FE \times 10^6}{PC} = \frac{100 \text{ mg/kg} \times 50 \text{ mg/día} \times 0.29 \times 10^6 \text{ kg/mg}}{70 \text{ kg}} = 2 \times 10^{-5} \text{ mg/kg-día}$$

Nota: Para la evaluación de riesgo en salud, en algunos casos deberá incluirse un factor que considere la biodisponibilidad de la sustancia. Advierta el uso del factor de  $1 \times 10^{-6}$  kg/mg para ordenar las unidades

---

Nota sobre biodisponibilidad: Los datos en la literatura sobre biodisponibilidad son mínimos, en consecuencia, ante la ausencia de información deberá tomarse el valor de 1 (asumiendo 100% de biodisponibilidad). En el Anexo 3 se presenta una discusión sobre bioaccesibilidad de metales pesados y se incorpora una nueva metodología para la definición de este parámetro.

### **2.3.2. Método probabilístico**

A diferencia de la estimación de la dosis por el método determinístico -también llamado método de estimación puntual- donde se utiliza un sólo valor numérico en cada parámetro de la fórmula; en la estimación de la exposición por el método probabilístico, cada elemento de la fórmula general de la dosis de exposición está definido por una serie de valores.

La estimación probabilística de la exposición es en términos generales, un procedimiento que utiliza modelos matemáticos para representar la probabilidad de encontrar las diferentes dosis de exposición en una población con características específicas.

La principal ventaja del método probabilístico es que provee una descripción cuantitativa del grado de variabilidad para los estimados de la dosis. El análisis cuantitativo de la variabilidad y la incertidumbre, proporciona más información de la exposición que cuando se realiza por medio de una estimación puntual (EPA 2001).

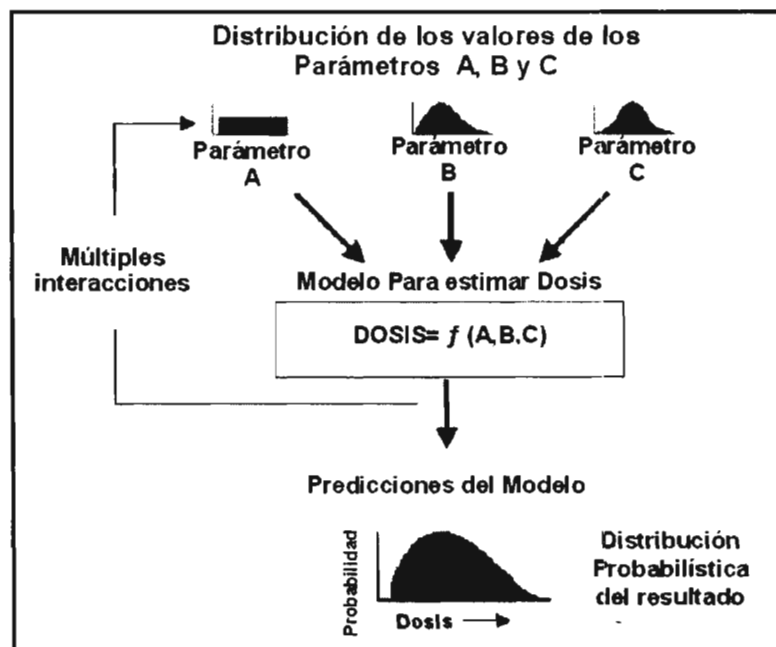
La estimación probabilística se realiza por medio de la técnica numérica de la simulación Monte Carlo (MC). La simulación MC es una técnica cuantitativa que hace uso de la probabilidad para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de fenómenos (procesos o eventos) reales. La clave consiste en crear un modelo global del proceso que se quiere analizar, identificando aquellas variables (parámetros) cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento del fenómeno. Una vez identificados dichos parámetros o variables aleatorias, se lleva a cabo un ensayo que consiste en (1) generar (con ayuda de la computadora) muestras aleatorias (valores) para cada uno de los parámetros; y (2) analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras

repetir n veces el experimento, se dispone de n observaciones sobre el comportamiento del modelo, que serán de utilidad para entender el funcionamiento del mismo. El análisis será más preciso cuanto mayor sea el número de n experimentos que se lleven a cabo, hay que mencionar que los programas computacionales permiten desarrollar un gran número de repeticiones (del orden de los miles de operaciones) lo que simplifica este proceso.

La ecuación general para calcular dosis de exposición es la siguiente.

$$\text{Dosis (mg / kg - día)} = \frac{\text{Conc} \times \text{TI}}{\text{PC}} \times \text{FE}$$

Usando el método probabilístico, cada parámetro de la ecuación está definido como variables aleatorias con una distribución probabilística. La figura 1 esquematiza el cálculo de la dosis de exposición utilizando Monte Carlo.



**Figura 1.** Estimación Probabilística de la Dosis de Exposición.

La etapa fundamental en este método es identificar las distribuciones probabilísticas que definen cada variable en las ecuaciones (parámetros como la concentración del contaminante, ingesta, peso corporal, etc.).

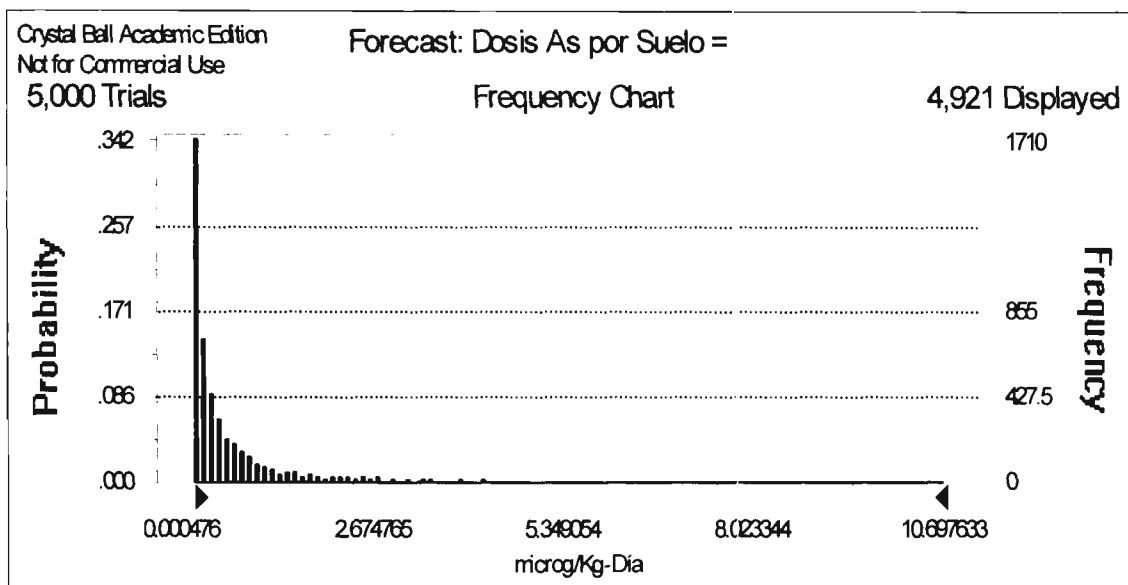
Al llegar a este punto de la metodología ya se realizaron los análisis ambientales; por lo que se cuentan con algunos datos sobre la concentración de los contaminantes del sitio estudiado; y posiblemente en este momento también se genere información adicional acerca de la biodisponibilidad. Utilizando los datos obtenidos, se busca la distribución probabilística que mejor los ajuste (Log-Normal, Exponencial, Normal, etc.).

Como ya se señaló, la simulación Monte Carlo se realiza por medio de programas computacionales, actualmente existen diversos paquetes comerciales que facilitan el proceso (Crystal Ball, @RISK, DLP, Risk Software). Cualquiera que se utilice deberá contar con un procedimiento para ajustar los valores a las diferentes distribuciones probabilísticas, en caso de que el software no cuente con esta opción, se puede auxiliar con distintos programas estadísticos para esta finalidad.

En cuanto a las tasas de ingesta, el peso corporal de los individuos y las otras consideraciones de la exposición, deben medirse directamente en la población de estudio; o bien, se puede hacer uso de los valores citados en la literatura científica o en diversos manuales, ejemplo: el Manual de Factores de Exposición de la EPA (EPA 2002b, EPA 1997). Este manual, resume la información sobre el comportamiento humano y las características que afectan su exposición a los contaminantes ambientales indicando intervalos de valores que se pueden considerar para estimar la dosis de exposición.

Una vez que se han definido todos los parámetros de las ecuaciones, se procede a realizar la primera iteración del modelo. Una iteración representa una combinación específica de valores de cada parámetro, realizar n veces la iteración se denomina modelar o dicho en otras palabras, construir la simulación por Monte Carlo.

El método Probabilístico genera un intervalo de valores expresado como una Distribución de Probabilidad (en este caso de la dosis de exposición) como se muestra en la Figura 2. En el gráfico, el eje y representa la probabilidad y la frecuencia de ocurrencia de una dosis de exposición específica (en  $\mu\text{g}/\text{kg}\text{-día}$ ) para una población de características definidas; mientras que en el eje X se muestra el intervalo de los valores de la dosis de exposición; el gráfico se tomó directamente del resultado expresado por el programa Crystal Ball V 5.0.



**Figura 2.** Resultado Hipotético que muestra la Distribución Probabilística para estimar la dosis de exposición humana a Arsénico en un sitio contaminado;

Como se puede observar en la figura 2, las dosis estimadas de la exposición humana a Arsénico proveniente del suelo para este ejemplo hipotético está entre 0.00047 – 10.69  $\mu\text{g}/\text{kg-día}$ .

Nota: Debido a la escala en la que están trazados los valores, la figura 2 parece indicar que no hay una probabilidad de alcanzar la máxima exposición; sin embargo, el programa expresa sólo aquellos valores resultantes para los que existe una probabilidad asociada aunque ésta sea pequeña.

No todas las evaluaciones requieren la caracterización cuantitativa de la variabilidad e incertidumbre utilizando Monte Carlo, por ejemplo, esto puede no ser necesario cuando los valores de un contaminante muestran claramente que la exposición o el riesgo está debajo de los niveles no aceptables. En otro ejemplo, el análisis probabilístico resultaría de poca utilidad cuando los costos de remediación resultan relativamente bajos.

## 2.4. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO

La caracterización preliminar del riesgo se denomina de ésta forma debido a que en éste punto sólo se hace referencia a las consecuencias directas de exposición a los contaminantes, sin tomar en cuenta otros factores de riesgo (mezclas químicas, vulnerabilidad genética, desnutrición, etc). La caracterización preliminar de riesgo puede calcularse para efectos cancerígenos y para efectos no cancerígenos. En ambos casos, primero se calcula el riesgo individual y después se procede a estimar el riesgo poblacional.

### 2.4.1. Caracterización del Riesgo Cancerígeno (método determinístico):

Se utiliza un factor denominado: Factor Potencial de Cáncer (CPF) u otro factor denominado Unidad de Riesgo (UR). El CPF es una dosis (mg/kg/día)<sup>-1</sup> y la UR es una concentración (mg/kg o mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>.

Para calcular el riesgo de cáncer asumiendo dosis:

1. Se estima la dosis de exposición para adulto y se obtiene un valor en mg/kg/día.

2. La dosis se multiplica por el CPF y así se obtiene el riesgo individual (considerar los factores de exposición; por ejemplo si un trabajador solamente estuvo expuesto por dos años al cancerígeno, el producto de la multiplicación dosis x CPF se multiplica luego por 2/70).

3. El riesgo individual se multiplica por el total de la población (incidencia de cáncer).

Por ejemplo:

1. Suponga que para el contaminante H2 se calculó una dosis de  $3 \times 10^{-3}$  mg/kg/día y la literatura indica que el CPF para el H2 es de  $2 \times 10^{-2}$  mg/kg/día<sup>-1</sup>.

2. Multiplicando dosis por CPF se obtendría un riesgo individual de  $6 \times 10^{-5}$ , lo cual indica una probabilidad individual de 6 casos de cáncer en 100,000 individuos.

3. Si ahora se multiplica el  $6 \times 10^{-5}$  por una población que hipotéticamente tenga 5 millones de habitantes,  $[(6 \times 10^{-5}) (5 \times 10^6)]$ , se tendría un riesgo de 300 nuevos casos de cáncer en dicha población por la presencia del contaminante H2.

Para caracterizar el riesgo cancerígeno utilizando la UR se procede de la misma forma sólo que en lugar de utilizar la dosis, se empleará la concentración ambiental del contaminante. Por supuesto que debe utilizarse la UR indicada para el medio ambiental que se desea evaluar. El valor que se obtenga de la multiplicación (concentración ambiental x UR) deberá multiplicarse por el total de la población para obtener el riesgo poblacional.

Los factores CPF y UR han sido estimados para unas cuantas sustancias y pueden obtenerse del banco de datos IRIS o de la información bibliográfica distribuida por la ATSDR.

#### **2.4.2. Caracterización Probabilística del Riesgo Cancerígeno:**

La evaluación probabilística del riesgo cancerígeno se realiza por medio de la simulación Monte Carlo. Se utilizan las mismas fórmulas de la estimación del riesgo que se usan por el método determinístico:

$$1. \text{ Dosis (mg/kg - día)} = \frac{\text{Conc} \times \text{TI}}{\text{PC}} \times \text{FE}$$

$$2. \text{ Riesgo Individual} = \text{Dosis de Exposición} \times \text{CSF}$$

Después de haber estimado la exposición se obtiene un intervalo de las dosis para las características especificadas en la población seleccionada. La dosis se multiplica por el factor pendiente de cáncer (CSF, por sus siglas en inglés) y así se obtiene un intervalo del riesgo individual.

Como es de esperarse, la cuantificación del riesgo cancerígeno por el método probabilístico generará un intervalo de valores expresado como una Distribución Probabilística que indicará para un valor específico de riesgo una frecuencia y una probabilidad estimada asociada a dicho valor.



### 2.4.3. Caracterización preliminar del Riesgo NO Cancerígeno (método determinístico):

En la práctica no todos los contaminantes son cancerígenos. Por lo tanto, para este tipo de contaminantes la caracterización del riesgo consiste en tres elementos.

1. Severidad del efecto en salud.
2. Relación dosis estimada/RfD (ó MRL) = Riesgo individual
3. Población expuesta.

La **severidad del efecto** puede clasificarse como: catastrófico, serio ó adverso. El *efecto catastrófico* es aquél que pone en riesgo la vida (por ejemplo, efecto letal, daño cardiaco, invalidez, retardo mental, desorden hereditario, osificación anormal). El *efecto serio* es aquél que sin poner en riesgo la vida sí causa un problema de salud (por ejemplo, función alterada de órganos, daño neurológico, efecto en el comportamiento, aborto, infertilidad, etc.). El *efecto adverso* es aquél que no puede definirse directamente como una enfermedad pero sí como una alteración (por ejemplo, bajo peso al nacer, actividad enzimática disminuida, hiperplasia o hipertrofia de tejidos, irritación de ojos ó piel, alteración reversible del funcionamiento orgánico, etc.).

La **relación dosis/ RfD** (ó MRL) es un factor que resulta de dividir la dosis estimada entre la dosis de referencia (EPA) o la dosis de riesgo mínimo (ATSDR). Significaría que entre más alto sea este factor habrá mayor riesgo individual de contraer un padecimiento determinado (EPA 1989). Aunado a esto, la dosis estimada puede ser también comparada contra la NOAEL o la LOAEL.

A diferencia de la caracterización del riesgo cancerígeno, en ésta, el riesgo individual no se multiplica por el tamaño de la población expuesta ya que la relación dosis-respuesta no es lineal para todas las sustancias. Por lo tanto, en la caracterización de riesgo no cancerígeno el **tamaño de la población** sólo se apunta como un factor a considerar en la evaluación final.

### 2.4.4. Caracterización Probabilística del Riesgo NO Cancerígeno:

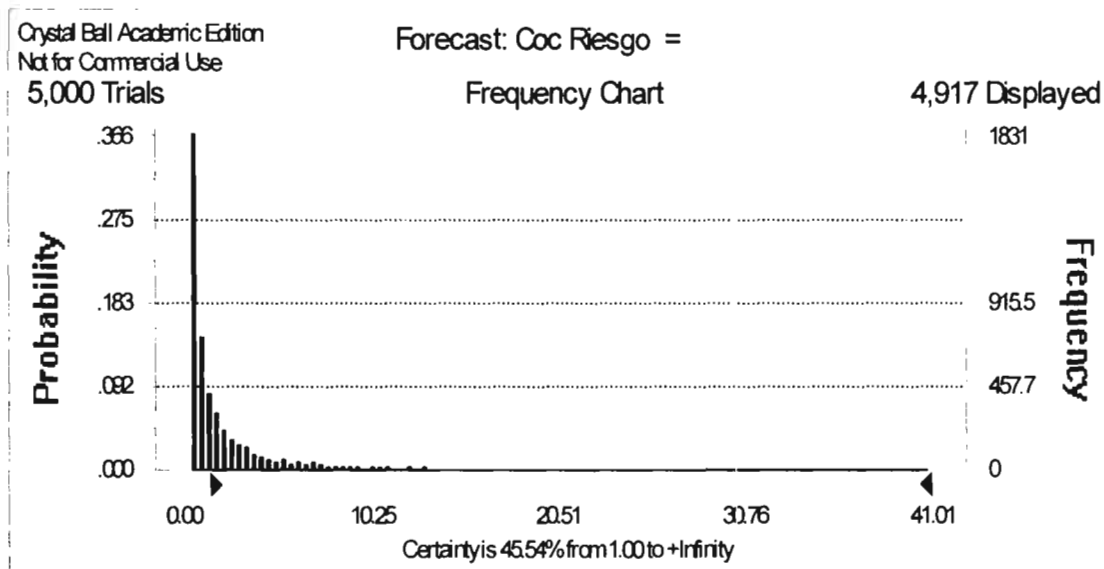
De nueva cuenta, la evaluación probabilística, en este caso, del riesgo No cancerígeno se realiza por medio de la simulación Monte Carlo. Se utilizarán las mismas fórmulas de la estimación del riesgo que se usaron por el método puntual (determinístico):

$$1. \text{ Dosis(mg/kg - día)} = \frac{\text{Conc} \times \text{TI}}{\text{PC}} \times \text{FE}$$

$$2. \text{ Cociente de Riesgo} = \frac{\text{Dosis Absorbida}}{\text{Dosis de Referencia}}$$

Después de haber estimado la exposición se obtendrá un intervalo de las dosis en la población indicada. El paso siguiente es dividir la dosis estimada entre la dosis de referencia o la dosis de riesgo mínimo.

La cuantificación del riesgo por el método probabilístico generará un intervalo de valores expresado como una Distribución de Probabilidad como se muestra en la Figura 3. El gráfico muestra el resultado de 5,000 iteraciones en el cálculo del cociente de riesgo; el eje Y representa la probabilidad y la frecuencia asociada a un valor de riesgo específico, el eje X es el intervalo de los valores del cociente de riesgo que se estimaron.



**Figura 3.** Resultado Hipotético que muestra la distribución probabilística para el cociente de riesgo No cancerígeno por exposición a Arsénico.

En la Figura 3, el rango estimado del cociente de riesgo esta entre 0.0 – 41.1; es decir, que un porcentaje específico de la población considerada en este ejemplo superaría hasta 41.1 veces la RfD establecida para Arsénico.

Las barras en color rojo muestran el porcentaje de la población cuya Dosis Estimada de Exposición no supera la RfD. En color azul se muestra el porcentaje de la población con cocientes de riesgo mayores de 1 (45.54%).

## **2.5. FACTORES ASOCIADOS AL RIESGO**

En todos los sitios existen factores poblacionales, geográficos, climáticos, etc. que pueden alterar la exposición al contaminante o la toxicidad de éste. Tales factores deben anotarse en esta sección con una discusión de su significado. Para el caso de naciones en vías de desarrollo existe un factor que deberá considerarse en todas las situaciones: este es el factor nutricional. La desnutrición debilita las defensas naturales. Además se ha descrito mayor absorción de algunos metales en individuos con dietas pobres en fierro, calcio o proteínas (ATSDR, 2005).

## **2.6. ANÁLISIS FINAL**

Al final, el evaluador deberá contar con información de tres fuentes (A) la obtenida a partir de la caracterización del riesgo; (B) la obtenida al evaluar los factores asociados al riesgo; y (C) los antecedentes bibliográficos sobre toxicidad y comportamiento de los contaminantes. Con toda esta información deberá procederse a generar un esquema del riesgo. Es muy importante que en uno o dos párrafos el evaluador pueda presentar una panorámica global del problema. Para ello son relevantes los números, pero igual de importantes son los datos cualitativos. Debe generarse una evidencia del riesgo, cuyo sustento, lo va a dar el peso de la información en su conjunto. Por ejemplo, los datos experimentales sobre toxicidad, que todavía no han sido corroborados en humanos, podrían ser útiles a partir del uso del principio precautorio. Se reitera: el evaluador deberá tomar en cuenta toda la información en su conjunto y no deberá basarse solamente en una línea de investigación.



### 3. MODELOS TOXICOLÓGICOS EXPERIMENTALES

Cuando no sea posible encontrar los Valores de Referencia Tóxica para un organismo específico, se puede recurrir a la literatura científica y utilizar los distintos valores de NOAEL, LOAEL ó CE50 que más se acercan al escenario que se desea estudiar.

En caso de carecer totalmente de la información requerida para la estimación del riesgo, se propone generar la información por medio de Modelos Toxicológicos Experimentales, a continuación se presentan algunas alternativas para este fin.

#### 3.1. ESPECIES SILVESTRES

Dentro de un contexto ecológico, la evaluación de riesgo debe considerar las expresiones actuales y futuras de efectos ecológicos adversos en condiciones de campo. En este contexto, los organismos de vida silvestre pueden ser utilizados como sistemas de prueba en los cuales los datos sobre exposición y efecto en un ambiente contaminado, pueden ser regulados y sistemáticamente colectados y analizados para identificar peligros potenciales a otros organismos. Los animales de vida silvestre pueden ser utilizados para revelar la presencia de contaminación ambiental. En ellos se puede evaluar la biodisponibilidad del o los contaminantes presentes en un determinado sitio o en un determinado compartimiento ambiental. Los organismos silvestres pueden reflejar la exposición a diferentes rutas, incluyendo la transferencia a través de la cadena trófica, sobre todo cuando se encuentran crónicamente expuestos. Así también, los efectos observados pueden ser el reflejo de la exposición a mezclas de contaminantes y característicos de un sitio específico. En suma, los organismos de vida silvestre representan un buen modelo para realizar estudios de exposición y efecto a diferentes contaminantes ambientales o a mezclas de contaminantes, por lo que nos pueden dar una idea real del riesgo en que se pueden encontrar las poblaciones de organismos en su hábitat natural o en sitios potencialmente contaminados.

En caso de no tener la experiencia y/o conocimientos básicos necesarios para llevar a cabo la captura, manejo y traslado de animales silvestres (roedores, reptiles, peces, etc.), será necesario contar con la asesoría de biólogos.

### **3.2. BIOENSAYOS**

Dentro de un proceso de evaluación de riesgo ecológico, el uso de pruebas estandarizadas para evaluar toxicidad de diferentes tipos de contaminantes (bioensayos) es importante, pues con ellas puede establecerse una relación causa-efecto, la cual no siempre puede obtenerse de un estudio realizado en campo. Los bioensayos son útiles para obtener resultados de toxicidad relativamente rápidos y a bajo costo. También, pueden ser utilizados para estudiar diferentes efectos tóxicos. En la literatura existen múltiples ejemplos de bioensayos en invertebrados, vertebrados, plantas, algas, etc. Asimismo, se cuenta con organismos para realizar estudios en diferentes compartimientos ambientales, en los cuales pueden evaluarse los fenómenos de biodisponibilidad, bioacumulación y biomagnificación, además de estudiar los mecanismos de toxicidad de diferentes tóxicos o mezclas de ellos.

## **4. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN EN EL ESCENARIO ECOLÓGICO**

El proceso del riesgo ecológico es en general un proceso complejo que está conformado por tres partes principales: a) la formulación del problema, b) la etapa de análisis, y c) la caracterización del riesgo.

### **4.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA EN EL ESCENARIO ECOLÓGICO**

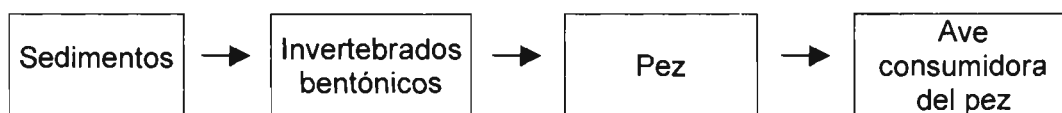
La formulación del problema implica el desarrollo de un modelo conceptual; esto es, la descripción escrita y/o la representación visual de las relaciones entre las entidades ecológicas y el agente estresante al que están expuestos. En esta etapa se debe establecer la hipótesis de riesgo; es decir, las suposiciones consideradas para evaluar las consecuencias y el alcance de la evaluación ecotoxicológica.

La fase de análisis es la etapa siguiente de la formulación del problema; durante esta etapa, se realizan los análisis químicos necesarios para estimar la exposición a un

contaminante, así la hipótesis de riesgo es juzgada para determinar cómo será valorada utilizando información nueva o información ya disponible.

Finalmente la caracterización del riesgo; éste es el proceso donde se le asignarán valoraciones a la posibilidad de encontrar el efecto adverso en la población estudiada (ver Cap. 5).

Supongamos que se quiere evaluar el riesgo del adelgazamiento del cascarón del huevo de la Gran Garza Azul (*Ardea herodias*), debido a la exposición a DDT proveniente del consumo de peces contaminados. La Figura 4 ejemplifica el proceso de la formulación del problema en la evaluación del riesgo ecológico. El Primer paso es el establecimiento del modelo conceptual:



**Figura 4.-** Modelo Conceptual del riesgo de exposición de un ave a DDT.

Hipótesis: El consumo de peces contaminados con DDT producirán un efecto adverso en la reproducción de la Gran Garza Azul (*Ardea herodias*) por adelgazamiento del cascarón del huevo.

#### 4.2. ETAPA DE ANÁLISIS

La siguiente etapa es el análisis; en esta fase se realizan a) los análisis químicos necesarios y b) se estima la exposición a un contaminante, así c) la hipótesis de riesgo podrá ser sometida a un juicio y si la magnitud del riesgo lo amerita, se procede a la caracterización preliminar del mismo.

Continuando con el ejemplo, se mide la concentración de DDT en el tejido del pez. Suponga que se midieron 14 mg DDT/ kg de pez.

Del Manual de los Factores de Exposición para Especies de Vida Silvestre (EPA 1993a, EPA 1993b), se estima que la Gran Garza Azul tiene un consumo de 0.181 kg de alimento/ día; y que los peces constituyen un 94% de su dieta diaria. Se procede a calcular entonces la dosis de exposición a DDT para la garza.

### 4.3. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO

#### 4.3.1. Estimación de la dosis de exposición (método determinístico).

La siguiente, es la ecuación general utilizada por EPA (EPA 1994a, 1998) para calcular la dosis de un contaminante a la que está expuesto un miembro particular de una población en contacto con un medio específico (ejemplo: agua, suelo, aire, dieta, etc.):

$$DI_{ij} = \frac{C_i \times TI_{ij}}{PC_j}$$

Donde:

- DI<sub>ij</sub> = Dosis diaria promedio del contaminante estimada para el miembro "j" de una población expuesta por el contacto con el medio "i" (mg/ kg-día).
- C<sub>i</sub> = Concentración del contaminante en el medio "i" (mg/ unidad de medio)
- TI<sub>ij</sub> = Tasa de ingesta del medio "i" (unidades de medio por día).
- PC<sub>j</sub> = Peso corporal del individuo (kg).

Se tiene entonces para este caso particular:

$$DI_{ij} = \frac{14 \text{ mg DDT / kg} \times 0.181 \text{ kg pez / día}}{2.5 \text{ kg Peso Corporal}}$$

El valor estimado para la dosis de exposición a DDT para la garza es de 0.9 mg DDT/ kg -día



#### 4.3.2. Dosis de referencia

Para el riesgo ecológico se usan los Valores de Referencia Tóxica (TRV por sus siglas en inglés). Los TRV's se obtienen de diversos estudios previos (EPA 1999) y pueden ser derivadas de las NOAEL, LOAEL, CE50, etc. El evaluador debe tomar en cuenta diversas consideraciones como el tipo de compuesto, la variabilidad de las respuestas entre especies animales, los periodos de exposición, etc.

Continuando con este ejemplo particular; en la literatura se describen los niveles a los que se produce un efecto adverso y se define una NOAEL de 0.3 mg DDT/ kg-día para el adelgazamiento del cascarón del huevo de esta especie (IPCS, 1989).

#### 4.3.3. Estimación del Riesgo Ecológico (método determinístico):

De forma similar a lo realizado en la caracterización del riesgo no cancerígeno en humanos, una de las formas para realizar la estimación del riesgo ecológico es a través de la estimación de la dosis del contaminante a la que se expone una especie biótica y la comparación con aquellas dosis a las que se ha medido un efecto.

Para realizar la estimación del riesgo ecológico se compara la dosis de exposición contra un Valor de Referencia Tóxica (TRV por sus siglas en inglés) y se obtiene un Cociente de Riesgo Ecológico.

$$\text{Cociente de Riesgo Ecológico} = D_{ij} / \text{TRV}$$

En general, un valor para el cociente de riesgo ecológico menor a 1 se interpretaría como un riesgo aceptable, mientras que un valor mayor a 1 se tomaría como indicador del potencial desarrollo de efectos adversos en la población estudiada.

Continuando con el ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{Cociente de Riesgo Ecológico} &= 0.9 \text{ mg DDT/ kg-día} / 0.3 \text{ mg DDT/ kg-día} \\ \text{Cociente de Riesgo Ecológico} &= 3 \end{aligned}$$

Lo que indica que la dosis a la que está expuesta esta especie es 3 veces mayor a la NOAEL en la evaluación del adelgazamiento del cascarón de huevo.

#### **4.3.4. Factores de exposición.**

Los factores de exposición que deben de ser considerados en animales silvestres son: 1) Factores alométricos y metabólicos como el peso, la tasa metabólica y de crecimiento en diversas etapas de la historia de vida del organismo. 2) Tasas de contacto; la exposición por la ruta oral debe considerar: la tasa de ingestión, la composición de la dieta, tasas de ingestión de agua, toma incidental de sedimento y suelo. Por la vía inhalatoria se considera: el tamaño, la estacionalidad, la actividad del organismo así como la temperatura. Para la vía dérmica se debe considerar la superficie del organismo. 3) Dinámica poblacional, como la distribución de etapa de vida y temporada, así como las tasas de nacimiento, maduración y muertes. 4) Actividades estacionales, como la crianza, dispersión, migración, e hibernación/ estivación. Par mayor información sobre el cálculo de los factores de exposición antes descritos -ver Wildlife Exposure Factors Handbook- (EPA 1993a, 1993b).

#### **4.3.5. Estimación Probabilística del Riesgo Ecológico:**

La Evaluación Probabilística del Riesgo Ecológico se realiza modelando la dosis de exposición por Monte Carlo, un intervalo de dosis generará también un grupo de valores para el Cociente de Riesgo Ecológico que se expresa como la Distribución Probabilística del Cociente de Riesgo (EPA 1998, EPA 2001).

## **5. SEGUNDA INTEGRACIÓN DEL CONOCIMIENTO**

### **5.1. TOXICIDAD POR MEZCLAS QUÍMICAS**

La estimación del riesgo normalmente se da sustancia por sustancia ya que los métodos para estimar el riesgo de mezclas químicas son limitados (ver por ejemplo el método propuesto por la EPA (EPA 2000b)). La principal limitación radica en la poca información existente en la literatura científica dada la enorme variación de los tipos de mezclas simples (dos componentes) o complejas (tres o más componentes), tanto en sus componentes como en las concentraciones de éstos. ATSDR ha publicado diversos documentos de interacción química y aunque es un gran esfuerzo, la información todavía no es suficiente (ver perfiles toxicológicos de interacción en el portal de ATSDR). Por todo lo anterior, en esta metodología se recomienda que al enfrentarse a una mezcla, el evaluador estime el riesgo cuando menos de los tres contaminantes más importantes en el sitio y al final, en la caracterización del riesgo, empleando conocimientos toxicológicos (incluyendo información toxicocinética y toxicodinámica) busque interpretar los resultados mediante una conclusión que alerte sobre una posible adición o potenciación de la toxicidad por la presencia de la mezcla. Los contaminantes más importantes serían aquellos que el evaluador considere tomando en cuenta la concentración de cada uno de los químicos en las diferentes rutas, así como su toxicidad y persistencia.

### **5.2. ESTIMACIÓN DEL RIESGO INTEGRADO**

En este momento de la metodología el evaluador contará con una estimación del riesgo para la población humana y otra para receptores ecológicos seleccionados. Asimismo, se tendría ya una primera visión del riesgo por mezclas químicas. El reto ahora es que el evaluador conjunte toda la información para definir la magnitud del riesgo integrado. No se busca una caracterización completa del riesgo (ésta se hará más adelante), simplemente se busca una nueva integración del conocimiento y solamente de la información generada mediante el cálculo de los cocientes de riesgo.

### 5.3. MODIFICACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL DEL SITIO

La información del punto anterior tiene su utilidad inmediata en el modelo conceptual del sitio que el evaluador estuvo conformando a lo largo del proceso. La modificación del modelo conceptual del sitio con la información del riesgo es en extremo importante ya que éste será el modelo que el investigador utilice para planificar la etapa de la evaluación de riesgo que se explica en el próximo capítulo. Para desarrollar el modelo conceptual del sitio, el evaluador deberá contemplar al menos, los siguientes puntos: organismos afectados, toxicidad de mezclas, comportamiento de químicos contaminantes y rutas de exposición más importantes.

# **CAPÍTULO 3.- EVALUACIÓN DE EFECTOS**

## 1. IDENTIFICACIÓN DE POBLACIONES EN RIESGO

Empleando el modelo conceptual del sitio, el evaluador podrá identificar con claridad las rutas de exposición de mayor riesgo y por ende, tendrá la capacidad de señalar a las poblaciones humanas o a los componentes de la biota que pudieren estar en mayor contacto con los contaminantes. Es importante advertir que los efectos biológicos se presentarán solamente si el contaminante es absorbido por el organismo (biodisponibilidad), pero después de absorbido, otros factores relacionados con la distribución por los tejidos del organismo, el metabolismo, los mecanismos de detoxificación celulares y la excreción, habrán de influir en la toxicidad del contaminante y por lo tanto en la aparición de efectos biológicos.

A continuación se presentan algunos ejemplos tomando en cuenta los componentes del ambiente:

MEDIO	HUMANOS	BIOTA
Suelo	niños	roedores, reptiles, plantas
Partículas Suspensas	niños, mujeres jóvenes	partículas depositadas en la superficie de plantas con utilidad de alimento
Sedimento	niños	invertebrados, algunas especies de peces
Agua	toda la población	aves, peces, plantas acuáticas, etc.
Aire	toda la población	toda la población aeróbica

## 2. BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN Y EFECTO EN HUMANOS

Shugart et al., (1992) define a los biomarcadores como "una alteración inducida por un xenobiótico en componentes o procesos, estructuras o funciones celulares o bioquímicas, que es susceptible de medición en un sistema o muestra biológica". Los biomarcadores son mediciones bioquímicas, fisiológicas o histológicas discretas que son sensibles a la exposición del tóxico.

Un biomarcador o marcador biológico se define como un agente biótico extraño que induce una alteración en los componentes o procesos celulares y bioquímicos, estructura o función que se puede medir en un sistema biológico (Lam y Wu, 2003).

En toxicología existen tres diferentes tipos de biomarcadores:

1. Exposición.- se usan para predecir la dosis recibida por un individuo, el cual puede estar relacionado a cambios como resultado de una enfermedad.
2. Efecto.- son medidas bioquímicas, fisiológicas, etológicas, o alteraciones en el organismo, que dependiendo de su magnitud pueden ser reconocidas como deterioro de la salud o una enfermedad.
3. Susceptibilidad.- indican el deterioro del estado fisiológico o bioquímico que puede predisponer al individuo a impactos de agentes químicos, físicos o infecciosos.

Esta metodología contempla que para la evaluación de los efectos sólo es necesario la utilización de los dos primeros.

La exposición puede estimarse y puede evaluarse. La estimación se fundamenta en la obtención de datos ambientales que se utilizan para alimentar fórmulas matemáticas con el fin de calcular una dosis aproximada de exposición. Este camino asume un comportamiento estandarizado para toda la población y las incertidumbres en cuanto a toxicidad, biodisponibilidad y otros factores, se resuelven asumiendo el máximo riesgo. Por el contrario, la evaluación de la exposición implica la cuantificación de biomarcadores químicos con el objeto de certificar la absorción de los contaminantes en la población expuesta.

## **2.1. BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN**

Un biomarcador de exposición por lo general es el propio contaminante o alguno de sus metabolitos, capaz de ser cuantificado en tejidos (adiposo, pelo, placenta, etc.) y/o fluidos biológicos (sangre, semen, orina, etc.). Los biomarcadores indican exposición y absorción, pero además, algunos también pueden señalar efecto (ej. plomo en sangre) o carga corporal del metal (ej. cadmio en orina). Por lo anterior, en esta fase de la metodología

se recomienda la evaluación de la exposición a través del análisis de biomarcadores de exposición.

Para esta sección deben considerarse factores propios del individuo y factores propios del contaminante a fin de definir cual de los biomarcadores o cuales de los tejidos o fluidos están más relacionados con la exposición. Aunado a ello, siempre hay que tomar en cuenta factores toxicocinéticos del biomarcador (ej. cadmio en sangre es biomarcador de exposición reciente y cadmio en orina es biomarcador de exposición crónica). Resulta claro entonces que a la selección del biomarcador le debe preceder un ejercicio de análisis de la literatura a fin de seleccionar al indicador biológico más adecuado a los objetivos del estudio.

Para definir qué biomarcador debe ser analizado entre la población expuesta en un sitio peligroso, debe anticiparse que por lo general estos sitios se encuentran contaminados por una mezcla de sustancias químicas. Esto es, ante la imposibilidad técnica y económica de evaluar la exposición para todas las sustancias presentes en un sitio, debe generarse un sistema que permita la categorización de las sustancias contaminantes de tal forma que se evalúe la exposición sólo para aquellas que representen mayor riesgo.

A continuación se propone un esquema basado en cuatro parámetros:

1. Que sea un contaminante crítico.
2. Magnitud del riesgo cancerígeno; o, en caso de que los contaminantes no sean cancerígenos: Relación-Dosis Total de Exposición / RfD (ó MRL).
3. Número de personas afectadas por el contaminante.
4. Preocupación social por el contaminante.

Con estos criterios el evaluador podrá categorizar a sus contaminantes críticos y tendrá fundamentos para seleccionar a los de mayor riesgo. Una vez que los contaminantes críticos de mayor riesgo hubieren sido seleccionados, debe revisarse la literatura científica para definir a los biomarcadores más adecuados para su estudio. Para este fin, los Perfiles Toxicológicos de la ATSDR resultan por demás adecuados. Otra fuente relevante de datos es la información distribuida por la Organización Mundial de la Salud. Independientemente de la fuente, debe quedar claro que antes de iniciar los estudios, el evaluador deberá tener la seguridad de que el biomarcador a usar será el adecuado.



El análisis de biomarcadores en el laboratorio debe seguir la rigurosidad de calidad exigida a las muestras ambientales. Aun más, ante la alta probabilidad de no poder contar con matrices certificadas para muchos biomarcadores; la certificación de la calidad del análisis a través del control externo es de sumo aconsejable.

Es importante recordar que para los estudios de biomarcadores, deben colectarse muestras humanas. Por lo tanto, es requisito contar con la aprobación de un Comité de Bioética que revise los procedimientos que se planean seguir durante la colecta. Asimismo, en todos los casos, deberá solicitarse por escrito el consentimiento del donador (cuando sea un adulto) o del padre o tutor del donador (cuando la colecta se realice entre población infantil). En dicho consentimiento, quien autorice deberá tener conocimiento de los objetivos y alcances del estudio. Además, por ética, los estudios deberán ser voluntarios, anónimos y gratuitos, con el compromiso adicional de que tan pronto se obtengan los resultados en el laboratorio, los donadores conocerán los resultados de sus análisis y lo que significan para la salud del individuo.

Un punto que no puede escapar a la preparación de un estudio con biomarcadores es el tipo de población que será sujeta al estudio. ¿Cuántas muestras? ¿Cuáles son las condiciones de inclusión o exclusión que regulan la selección de individuos para un estudio? ¿Cuáles serán los criterios de representatividad? La contestación de éstas y otras preguntas deberán basarse en un análisis estadístico previo que permita el diseño epidemiológico del estudio.

Al respecto del diseño epidemiológico, debido al tiempo tan limitado para obtener información, deberá escogerse un diseño de corta duración. Entre los estudios descriptivos destaca el de prevalencia de exposición (proporción de personas expuestas que poseen un biomarcador alterado en relación al total de individuos estudiados). Sin embargo puede optarse por métodos de estudio que involucren a una población control; de ser este el caso, los métodos más populares serían: los transversales (comparación de un grupo control con grupos expuestos a diferentes dosis del contaminante) y los casos y controles (comparación de exposición pasada entre dos grupos; los criterios para definir a un caso y a un control dependerá del contaminante que se desee examinar y el efecto que se busque analizar).

En cuanto al tamaño de la población a estudiar, el número de individuos dependerá de dos factores: de los recursos económicos y del tamaño total de la población afectada. Si ésta es pequeña y además se cuenta con buen apoyo económico, podría darse el caso de poder estudiar a toda la población. Pero si la población es grande y los recursos limitados, habrá que seleccionar una muestra representativa. Para la selección ya existen métodos estadísticos computarizados que facilitan el cálculo del tamaño de muestra. Dependiendo de las características del estudio, existen varias técnicas para asegurar que el muestreo sea representativo, entre ellas: la selección aleatoria simple, la estratificada, la sistemática, por conglomerados, etc.

En el reporte final, los datos sobre biomarcadores deben presentarse como una prueba de la exposición a los contaminantes. Por consiguiente, el evaluador buscará obtener una correlación entre ellos y el nivel de contaminación en el sitio, tomando en cuenta la antigüedad de la contaminación, el tiempo de residencia de los individuos en el sitio, su tiempo de exposición al sitio peligroso, frecuencia y duración de la exposición, hábitos alimenticios (en el caso de que la ruta de exposición incluya alimentos), etc. Toda esta información y más, deberá ser recolectada a través de un cuestionario diseñado de manera específica para la comunidad a estudiar (edad, sexo, ocupación, tipo de vivienda, antecedentes de exposición, etc.).

Otro cuestionario que es muy importante incluir es el de posibles efectos adversos a la salud. A través de un interrogatorio sobre síntomas referidos en la bibliografía, se podrían obtener datos muy importantes sobre las condiciones generales de salud de los individuos expuestos. Asimismo, de contarse con el apoyo económico suficiente, podrían realizarse un examen clínico y pruebas elementales de laboratorio (examen general de orina y de sangre, niveles de enzimas hepáticas, etc.).

Aunado a lo anterior, deberán realizarse todos los esfuerzos para entrevistar a los profesionistas de la salud (médicos, enfermeras, etc.) más relacionados con el sitio. A través de este ejercicio, el evaluador deberá recabar información precisa sobre los principales padecimientos de la zona. Entre las preguntas que se le harían al profesionista en salud estarían: tiempo de residencia en el sitio del médico o enfermera, nivel educacional,

problemas de salud más frecuentes en el sitio, principales quejas en relación a problemas de salud, principales áreas de recreación utilizadas en el área por niños y adultos, conocimiento de algún individuo que hubiere tenido algún problema de salud relacionado con la exposición a alguno de los contaminantes críticos del sitio, conducta de los entrevistados o de la comunidad frente a los problemas de contaminación.

## **2.2. BIOMARCADORES DE EFECTO**

El análisis de efectos biológicos es útil para definir la capacidad tóxica de los contaminantes; por ejemplo, sirven para determinar que la concentración interna del contaminante o de sus metabolitos ha superado el umbral de toxicidad. En consecuencia, los efectos biológicos seleccionados para el estudio, deberán ser los indicados para los contaminantes críticos.

Es sumamente importante en este punto aclarar que la gran mayoría de los efectos biológicos no son específicos y por lo tanto, el análisis de confusores es útil para reducir la incertidumbre de la inespecificidad. Los efectos biológicos que pueden ser evaluados potencialmente son muchos (actividades enzimáticas alteradas, daño al ADN, expresión de alguna proteína, enzimas que reflejen daños tisulares, etc.). Por lo tanto, aquellos efectos que sean seleccionados para el estudio, deberán contar con antecedentes científicos de estar asociados con la exposición al contaminante presente en el sitio. Es muy importante que el trabajo incluya el análisis de una población control, apareada con la población del sitio contaminado en cuanto a los confusores, pero sin la exposición al contaminante.

## **3. BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN Y EFECTO EN BIOTA**

### **3.1. BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN EN BIOTA**

Los biomarcadores de exposición permiten establecer que una sustancia xenobiótica ha cruzado las barreras fisiológicas del organismo y está dentro de él; por lo tanto, puede decirse que dicha sustancia está biodisponible. La biodisponibilidad va a estar influenciada por diferentes parámetros como, las rutas de exposición, las características fisiológicas del receptor y las características químicas del xenobiótico (Decapio, 1997). Sin embargo, la

variación en el biomarcador podría no estar directamente relacionada con la acción del mecanismo específico del tóxico y a su vez no ser completamente predictivo del grado del efecto adverso en el organismo (Chambers et al., 2002), por lo que se debe tomar en consideración la presencia de otros agentes estresantes además del tóxico y la comparación con sitios no contaminados o con diferentes grados de contaminación. Esta sustancia xenobiótica o sus metabolitos puede ser medida dentro de un compartimiento u organismo (Klaassen, 2001; McCarty, et al, 2002).

### **3.2. BIOMARCADORES DE EFECTO EN BIOTA**

En general los biomarcadores de efecto pueden ser considerados como medidas funcionales de exposición a un agente estresante, las cuales usualmente se expresan a nivel de organización molecular, celular y de organismo. Adams et al., (2001) sugiere que en general lo usos de los biomarcadores son: A) caracterizar los mecanismos de toxicidad implicados en las repuestas biológicas a altos niveles de organización, B) ayudar a establecer relaciones entre causa (agente estresante) y efecto (respuesta), C) indicar la presencia o ausencia de grupos específicos de contaminantes, D) establecer la ausencia de efectos biológicos o ecológicos significativos en las poblaciones, comunidades y ecosistemas, E) predecir respuestas de alto nivel (para biomarcadores que han sido relacionados semi-cuantitativamente con altos niveles de organización), F) como una señal para monitorear si se han excedido los umbrales fisiológicos o los límites de tolerancia, G) proporcionar un intervalo y diversidad de respuestas biológicas que pudieran ser la evidencia de peso para el proceso de evaluación de riesgo, H) para monitorear la salud del ambiente y darle seguimiento a las mejoras resultantes de la evaluación de riesgo o mitigación.

Los biomarcadores varían de los generales a los específicos, de los de relativamente poca sensibilidad a los de alta sensibilidad y desde los de nivel de organización molecular a los de nivel individual. Pueden ser clasificados de forma general en: A) biomarcadores moleculares, que miden las respuestas en los ácidos nucleicos como daños o alteraciones en el DNA, RNA, así como cambios en la expresión de los genes, B) biomarcadores bioquímicos, que miden la afectación de la estructura o función de las proteínas a través de la variación específica de la actividad enzimática, de los niveles de proteínas específicas y por la presencia de proteínas de estrés, C) biomarcadores histocitopatológicos, que miden

los cambios gruesos en la estructura y desarrollo de las células, tejidos, órganos y de organismos de fácil medición, D) biomarcadores fisiológicos, que miden las funciones fisiológicas básicas tales como la respiración, el crecimiento, la alimentación y la excreción, E) biomarcadores etológicos, que miden el cambio de comportamiento en los organismos, bajo el supuesto de que el organismo representa el resultado integral final de los procesos bioquímicos y fisiológicos.

De acuerdo con su estado de validación, los biomarcadores más usados son: las proteínas de "shock" calórico o de estrés (HSP, por sus siglas en inglés), actividades enzimáticas como la oxigenasa de función mixta (MFO) o el citocromo P450, niveles de metalotioneínas o fitoquelatinas, metabolitos de la bilis, etc. También se analizan biomarcadores de genotoxicidad (aducciones de ADN, aberraciones cromosómicas, fragmentación de ADN, etc.), análisis de diversidad genética, respuestas inmunotóxicas, medidas reproductivas como vitelogenina y hormonas esteroideas en plasma. Finalmente, son útiles las respuestas electrofisiológicas, los marcadores de expresión de ciertos genes, la integridad de la membrana lisosomal y el desarrollo de biosensores. En general todos estos biomarcadores están específicamente asociados con el mecanismo de acción del tóxico y buscan relacionar el grado de modificación del biomarcador con el grado del efecto adverso (Chambers *et al.*, 2002).

### **3.3. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE BIOMARCADORES**

**3.3.1. Elección de sitios de muestreo.**- Además del muestrear el área contaminada de interés, en algunas ocasiones será necesaria la evaluación de sitios de referencia o a lo largo de un gradiente de disturbio, la información permitirá la comparación apropiada de resultados y la eliminación de factores confusores.

**3.3.2. Selección de la especie.**- El organismo deberá de ser nativo y representativo (que no sea una especie rara) del área de estudio, además que la mayor parte, o toda su historia de vida la haya pasado en el sitio de interés. En el caso de elegir especies migratorias se debe de conocer muy bien sus patrones migratorios y su biología. El organismo debe de ser receptor de las principales rutas de exposición para ser considerado. Deben tomarse en cuenta las características de la historia de vida del organismo, como el sexo, edad, estado reproductivo, estrategia reproductiva; factores como estos pueden

afectar la medida del biomarcador y complicar la interpretación de resultados (Ej. los organismos con tiempos generacionales cortos y altas tasas reproductivas son útiles para muestras grandes mientras que los de tiempos generacionales largos y tasas reproductivas cortas pueden ser utilizados para estudios de exposición crónica). Finalmente es mejor seleccionar una especie para la cual exista información sobre los efectos de los contaminantes que deseen evaluarse (absorción distribución, metabolismo, toxicidad y eliminación) (ver también Cap. 2).

**3.3.3. Selección del biomarcador.**- Además de los criterios descritos a continuación, se sugiere elegir un set jerárquico de biomarcadores, los primeros de fácil medición, rentables y generales para probar una gran cantidad de sitios; posteriormente en las siguientes etapas utilizar biomarcadores más específicos para profundizar en los sitios con resultados significativos en la etapa anterior.

Huggett et al., (1992) ha identificado 13 criterios de utilidad para el uso y selección de biomarcadores en la evaluación de riesgo, así como algunas de las incertidumbres inherentes que poseen. Se invita al lector a revisar dicho documento.

**3.3.4. Indicadores generales.**- Algunos biomarcadores son indicadores en general y sólo sugieren el estrés en la población, pueden emplearse para identificar a los individuos o poblaciones afectadas por el agente estresante. Tales biomarcadores son de utilidad limitada para su uso en la evaluación de riesgo, ya que no identifican el grado de tensión que podría atribuirse a los tóxicos bajo los procedimientos de la evaluación de riesgo.

**3.3.5. Sensibilidad relativa.**- Un biomarcador altamente sensible podría ser útil en identificar rápidamente los cambios en la exposición.

**3.3.6. Especificidad biológica.**- La especificidad y por lo tanto la utilidad de un biomarcador puede existir solamente en ciertas especies o tejidos, porque las características fisiológicas o bioquímicas de esa especie o tejido son únicas.

**3.3.7. Especificidad química.**- Los biomarcadores que son específicos a un químico, a una clase de químicos, o por lo menos están muy limitados a cierto número de clases pueden ser de gran valor.

**3.3.8. Claridad en la interpretación.**- Los biomarcadores que respondan solamente a los tóxicos de interés y no a otros cambios en la fisiología o en el ambiente son de gran valor para la evaluación de riesgos.

**3.3.9. Tiempo de la manifestación del efecto.**- Un tiempo relativamente corto de respuesta de la exposición al cambio en el biomarcador será el más útil, aunque la evaluación de riesgo puede necesitar tratar efectos crónicos, tales como desarrollo del cáncer, o déficit del comportamiento a largo plazo.

**3.3.10. Permanencia de la respuesta.**- Si la respuesta del biomarcador es transitoria, ésta puede limitar su utilidad en la evaluación de riesgo; sin embargo, con biomarcadores persistentes el curso de tiempo de cambio y recuperación del biomarcador tendrá que ser bien entendida.

**3.3.11. Variabilidad inherente (confiabilidad).**- La variabilidad puede resultar del grado inherente de respuesta del organismo o de los factores externos al organismo que influyen en su grado de respuesta. Si el biomarcador es demasiado susceptible a la variabilidad interna o externa, puede ser de poca utilidad para la evaluación de riesgo.

**3.3.12. Acoplamiento a efectos de un nivel más alto.**- Un biomarcador ideal correlacionaría cambios directamente en una manera cuantitativa al efecto nocivo (ej. cambios del comportamiento, aberraciones cromosómicas, alteraciones reproductivas, patologías, etc.). Si el acoplamiento no puede ser hecho, el biomarcador sólo tendrá valor como índice de exposición y no de los efectos.

**3.3.13. Aplicabilidad a las condiciones de campo.**- Si el biomarcador no puede ser monitoreado en poblaciones verdaderas no es útil para la evaluación de riesgo.

**3.3.14. Validación en el campo.-** Se entiende como el establecimiento del mecanismo o relación causal entre la exposición al agente estresante y el cambio biológico o ecológico. Obviamente se requiere la validación antes de que el biomarcador pueda ser usado de manera oficial.

**3.3.15. Consideraciones metodológicas.-** La facilidad en la medición, la reproducibilidad de las medidas y el costo deben de ser considerados, a fin de establecer la utilidad del biomarcador en varios sitios.

**3.3.16. Estado de la utilidad del método.-** El biomarcador debe ser establecido y documentado lo suficiente para generar una base de datos amplia que indique consistencia y confiabilidad; esto inspirará confianza sobre la significación de los resultados al usarlo.

**3.3.17. Metodología de muestreo y análisis.-** El diseño del muestreo dependerá de las características fisicoquímicas y biológicas del contaminante, así como de la biología de la especie de prueba, de la sensibilidad y persistencia de respuesta del biomarcador. También, deben considerarse factores abióticos que pudieran interferir con la respuesta del biomarcador (Ej. salinidad, estacionalidad, pH, etc.). El muestreo, la recolección, el almacenaje y el análisis pueden afectar la validez del resultado, por lo tanto deben seguirse las consideraciones y procedimientos analíticos para cada biomarcador, los aspectos importantes varían por tipo de prueba, por lo que tal vez sea necesario recoger muestras diferentes para cada biomarcador y también puede ser posible medir el biomarcador por diferentes métodos.

### **3.4. ÍNDICES BIÓTICOS**

Además de los efectos a nivel organismo o suborganismo evaluados mediante los biomarcadores, es importante valorar indicadores de mayor relevancia ecológica a través de efectos en niveles superiores de organización biológica, para lo cual, una de las herramientas más poderosas es el estudio de diversos índices bióticos. A continuación se muestran algunas consideraciones previas para la determinación de una relación causal derivada de la contaminación.

#### **3.4.1. Sitios de Referencia**



Los sitios de referencia son localidades que tienen características físicas, climáticas, químicas y biológicas semejantes al sitio impactado (EPA, 1994b).

Comúnmente los sitios perturbados son comparados con sitios de referencia los cuales representan las condiciones pre-disturbio. Generalmente éstos son utilizados cuando no se tienen datos del sitio impactado antes de los disturbios (Clements y Newman, 2002).

Para hacer la selección de los sitios de referencia deben seguirse ciertos criterios para asegurar que los cambios o diferencias entre las zonas comparadas, se deben realmente a la contaminación o a otro tipo de disturbio. Estos criterios se presentan en el siguiente Cuadro:

<b>Criterios de selección para los sitios de referencia</b>		
Físicas	Agua	Temperatura, química, profundidad, flujo.
	Sedimentos	Carbono orgánico total, porcentaje de arena, limo, arcillas y agua, pH.
	Suelo	Distribución del tamaño de partícula, contenido de materia orgánica, régimen hidrológico, química.
	Estructura del hábitat	Estratificación vertical, variación horizontal, porcentaje de cobertura.
Climáticas	Regional	Latitud, proximidad a cadenas montañosas y cuerpos de agua.
	Local	Topografía (valle, ladera, cumbres), altitud, exposición, inclinación, radiación solar.
Biológicas	Características de la comunidad	Región biogeográfica, tipo de vegetación, formas de vida

Modificado de EPA 1994b

Cuando no es posible contar con un sitio de referencia y se cuenta con un gradiente de menor a mayor contaminación o impacto, lo que se recomienda es tomar la zona con menor contaminación o impacto como un "sitio de referencia" y con ella hacer comparaciones con la zona con mayor contaminación o impacto (EPA, 1994a).

Otra información que se puede utilizar son datos adquiridos de la zona contaminada que se hayan generado antes de la contaminación o bien datos de otra zona que puedan ser

aplicados a las condiciones del sitio. Esta información muchas veces puede ser encontrada en trabajos científicos, en bases de datos, reportes gubernamentales o con organizaciones de conservación (EPA, 1994b).

### 3.4.2. Selección de Respuestas Bióticas

La identificación y medición de las propiedades ecológicas afectadas por los contaminantes en las poblaciones y comunidades son de especial interés en este punto. Los atributos que se proponen evaluar en esta metodología son: riqueza de especies, densidad, abundancia relativa, valor de importancia, diversidad, similitud e índice de integridad biótica. A continuación se describen algunos de estos parámetros.

**Riqueza de especies.**- Es el número de especies presentes en una comunidad. Se ha utilizado como un indicador de la integridad ecológica y es una de las medidas más usadas para evaluar efectos de los contaminantes en las comunidades pues la reducción de especies es la respuesta más constante ante los disturbios (Clements y Newman, 2002). Su estimación puede hacerse a través de diferentes ecuaciones (1 y 2).

La ecuación (1) en donde  $R$  = riqueza,  $S$  = número de especies de la muestra y  $N$  = número total de individuos en la muestra, se utiliza cuando se tiene el mismo número de especies en las muestras que se quieren comparar (Clements y Newman, 2002).

$$R_{Margaléf} = \frac{S-1}{\ln N} \quad (1)$$

Cuando no se tiene el mismo número de especies se utiliza la ecuación (2) que estima la riqueza por la rareza.

$$\hat{S}_n = \sum_{i=1}^S 1 - \frac{\binom{N - N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \quad (2)$$

donde  $N$  = número de individuos en la muestra,  $N_i$  = número de individuos de la especie  $i$  en la muestra,  $S$  = número de especies en la muestra y  $n$  = tamaño de muestra (número de individuos) (Clements y Newman, 2002).

**Índice de diversidad.**- La diversidad de especies se puede definir como el número de especies en una unidad de área. Tiene dos componentes principales la riqueza (no. de especies) y la equidad (no. de individuos de una sola especie) (Smith y Smith, 2001). Generalmente en las evaluaciones biológicas se usan índices de diversidad que responden a la riqueza de especies y a la distribución de los individuos entre las especies (Clements y Newman, 2002).

La estimación se realiza a través de diferentes índices, los más usados son el de Shannon-Wiener, ecuación (3) y el de Simpson, ecuación (4).

El índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) toma en cuenta el número de especies y la equidad o uniformidad de la distribución del número de individuos en cada especie (Franco et al. 1989); es más sensible para especies raras y estima la diversidad de la comunidad en que fue tomada la muestra (Clements y Newman, 2002).

$$H' = -\sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \ln\left(\frac{N_i}{N}\right) \quad (3)$$

donde  $H'$  = diversidad,  $N$  = número de individuos en la muestra,  $N_i$  = número de individuos de la especie  $i$  en la muestra (Franco et al. 1989).

El índice de Simpson ( $\hat{\lambda}$ ) es relativamente insensible para especies raras pero altamente sensible para especies dominantes. Se puede calcular con la ecuación (4) (Clements y Newman, 2002).

$$\hat{\lambda} = \sum_{i=1}^s \frac{1}{p_i^2} \quad (4)$$

donde  $\lambda$  = medida de diversidad y  $p_i$  = es la proporción de la especie  $i$  en la muestra. El rango del valor de  $\lambda$  es de 1 a  $S$  (donde  $S$  = riqueza de especies) (Clements y Newman, 2002).

**Índice de equidad.**- La equidad ( $E$ ) se refiere a qué tan uniformemente están distribuidos los individuos entre las especies. (Newman, 2003). Esto es, refleja la distribución de individuos entre especies (Clements y Newman, 2002). Se puede medir comparando la

diversidad observada en una comunidad contra la diversidad máxima posible de una comunidad hipotética con el mismo número de especies. Puede demostrarse que cuando  $p_i = 1/S$  para toda  $p_i$ , se alcanza la uniformidad máxima (ecuación (5)), siendo  $p_i$  la proporción del número de individuos de la especie  $i$  con respecto al total ( $n_i/Nt$ ). (Franco et al., 1989)

$$H'_{m\acute{a}x} = \log_2 S \quad (5)$$

en donde  $H'_{m\acute{a}x}$  = diversidad bajo condiciones de máxima equidad y  $S$  = número de especies.

A través de la ecuación (6) se puede estimar la equidad en la muestra ( $E$ ) y para estimar la equidad de la comunidad ( $E'$ ) se utiliza la ecuación (7). (Newman, 2003)

$$E = \frac{H'}{H'_{m\acute{a}x}} \quad (6)$$

$$E' = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (7)$$

**Índice de Similitud.**- Se usan para cuantificar la correspondencia entre dos comunidades, están basados en la presencia o ausencia de especies y/o en datos de abundancia, son útiles para comparar sitios de referencia con sitios impactados o contaminados. La medición de la similitud puede hacerse desde dos puntos de vista el cualitativo o el cuantitativo, en el primero sólo se considera el número de especies (riqueza), la ausencia o presencia de especies en cada uno de los sitios y en el segundo no sólo se consideran estos puntos, sino que se integra la abundancia o número de individuos de cada una de las especies de los dos sitios a comparar (Franco et al., 1989).

En el caso de los índices cualitativos el más usado es el de Jaccard ( $J$ ) ecuación (8), basado en la presencia o ausencia de especies. Una de las desventajas de utilizar este índice es que no responde a diferencias de abundancia entre los sitios, además de que se da el mismo peso a las especies raras y a la abundancia (Clements y Newman, 2002).

$$J = \frac{j}{(a + b - j)} \quad (8)$$

donde  $J$  = similitud  $a$  = número de especies en el sitio o muestra  $a$ ,  $b$  = número de especies en sitio o muestra  $b$ , y  $j$  = el número de especies comunes entre ambos sitios o muestras.

De los índices cuantitativos el más utilizado es el índice de Morisita-Horn, ecuación (9), en el que se comparan la abundancia relativa entre los taxa de dos comunidades. Una de las ventajas que tiene este índice es que es relativamente insensible al tamaño de muestra y la riqueza de especies (Clements y Newman, 2002).

$$MH = \frac{2 \sum (an_i * bn_i)}{(da + db)aN * bN} \quad (9)$$

donde  $an_i$  = número de individuos de la especie  $i$  en el sitio o muestra  $a$ ,  $bn_i$  = número de individuos de la especie  $i$  en el sitio o muestra  $b$ ,  $aN$  = número total de individuos en el sitio  $a$ ,  $bN$  = número total de individuos en el sitio  $b$ .

Los términos  $da$  y  $db$  en la ecuación (9) se calculan como sigue:

$$da = \frac{\sum an_i^2}{aN^2} \quad db = \frac{\sum bn_i^2}{bN^2}$$

**Índices de Integridad biótica (IBI).**- La estructura, composición y salud de las comunidades biológicas brindan una referencia integral sobre la calidad ambiental y el estado de conservación de un hábitat; dichos componentes pueden agruparse dentro de un índice (multimétrico) que permita evaluar comparativamente diversos sitios dentro de la misma área en torno a su calidad ambiental. Los índices de integridad biótica fueron propuestos como herramientas para evaluar la calidad ambiental en un sitio determinado y ayudan en el planteamiento de estrategias que permitan su conservación o recuperación (Mercado y Lyons, 2001).

Existen numerosos índices bióticos y todos tienen características similares. Estos índices están basados en el concepto de especies indicadoras, para construirlos toman medidas de presencia/ausencia y abundancia de los taxa (cualquier grupo sistemático, independientemente de su nivel jerárquico, ej. Clase, Orden, Familia, Género y Especie) y parámetros que reflejen la composición estructural y funcional de la comunidad. Los índices

de integridad biótica (IBI, por sus siglas en inglés), incorporan en ellos parámetros como la riqueza de especies, la composición de especies, la presencia de especies indicadoras, la función trófica, el estado de salud, etc.

Estos parámetros deben tener criterios de evaluación que reflejen la integridad biótica para ese parámetro en alta, media y baja. Por ejemplo si se elige “el porcentaje de individuos con enfermedades, tumores, daño, o deformaciones esqueléticas” debe determinarse la proporción o el número que corresponden a las categorías antes establecidas. Estos criterios deberán establecerse de antemano con base a las colectas realizadas en cada uno de los sitios. A cada criterio de evaluación se le adjudica un valor, que depende de la escala que se use, generalmente es de 0 a 100 y para cada parámetro se dan valores 10 /5 para un puntaje alto, 5/3 para un valor medio y 0/1 para un valor bajo. El valor obtenido para ese parámetro es sumado con los otros parámetros y se obtendrá una calificación final, que refleja el valor de integridad biótica para el sitio de estudio (Mercado y Lyons, 2001). El valor integridad biótica puede compararse con una escala de calidad específica para ese índice (ver Karr, 1991).

### Índice de Integridad biótica (IBI)

Parámetros	Criterios y valores de evaluación			Sitio			
	0	5	10	1	2	3	4
Número total de taxa de invertebrados	<13	13-25	>25	10	5	0	0
Número de especies nativas	>6	4-6	<4	10	10	5	0
Número de especies sensitivas	>5	3-5	<3	10	5	5	0
Porcentaje de individuos omnívoros	>45	20-45	<20	5	0	0	5
Porcentaje de individuos con enfermedades, tumores, daño, o deformaciones esqueléticas	>5	2-5	<2	10	5	5	5
<b>IBI</b>				<b>45</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>10</b>

Los pasos metodológicos generales para crear un índice de integridad biótica son los siguientes:

**A) Monitoreo ambiental.-** El diseño inicial requiere datos de calidad ambiental para cada sitio de muestreo. Los datos de calidad ambiental deben de reflejar las rutas de exposición prioritarias (Ej. contenido de metales en suelo) así como de datos que indiquen otro tipo de disturbios antropógenos (Ej. intensidad de pastoreo, deforestación, urbanización, cultivos). Los sitios de muestreo deben de ser lo más afines en cuanto a aspectos biológicos, fisiográficos y de uso (ver criterios de selección de sitios de referencia). Posteriormente los sitios deberán ser ordenados por métodos estadísticos dentro de un gradiente de influencia humana y calidad ambiental.

**B) Seleccionar el ensamblaje biótico.-** Es necesario el estudio y la descripción de la composición, estructura y dinámica de las poblaciones dentro de los sitios de muestreo para definir desde el punto de vista biológico, la especie o la combinación de ellas que pudieran indicar directamente cambios en la integridad biótica, esto dependerá de los roles ecológicos de las especies, del tipo de ecosistema que se trate y de las principales rutas de exposición. Los grupos taxonómicos más comúnmente usados son plantas vasculares, anfibios, aves, peces y macroinvertebrados.

**C) Elección de parámetros y criterios de valoración.-** Se debe de recopilar la información necesaria para cada una de las especies incorporadas dentro del índice (por ejemplo tolerancia-susceptibilidad a los tóxicos, hábitos alimenticios, forma de vida, etc.), además de esclarecer su importancia en el funcionamiento del ecosistema con la finalidad de identificar parámetros que reflejen la composición estructural y funcional de la comunidad. Un ejemplo de parámetros utilizados son: el número de taxa de invertebrados, porcentaje de depredadores, número de taxa tolerantes, etc. Ya seleccionados los parámetros, se eligen criterios de evaluación para cada parámetro, y a cada criterio de evaluación se le adjunta un puntaje 1 para una condición pobre, 3 para una condición moderada y 5 para una condición de impacto mínimo.

**D) Probar y validar el IBI.-** El valor otorgado por el índice al sitio le ubicará dentro de una posición dentro de él y podrá ser útil para compararlo con otros sitios o demostrar una relación causal en el gradiente de influencia humana. Para probar el índice se puede partir aleatoriamente la totalidad de los datos en dos mitades y posteriormente se desarrolla el IBI

para cada una de las mitades y se compara; los resultados deberían ser similares. El IBI también debe de probarse en diferentes gradientes de disturbio y espacios de tiempo.

### 3.4.3. Diseño de Muestreo

En el diseño de muestreo se debe considerar el número de puntos de muestreo, el número de réplicas por punto de muestreo, el método para determinar los sitios de muestreo (aleatorio o no aleatorio), tiempo de permanencia de las muestras, la preparación de las muestras para análisis de laboratorio así como los objetivos del estudio, el nivel de esfuerzo, el tipo de respuesta a medir, el método estadístico para analizar los datos y los recursos disponibles. Las técnicas de muestreo más adecuadas, dependerán del tipo de organismo, del personal y del presupuesto. Algunos de los ejemplos de las técnicas más comunes de muestreo son los siguientes:

#### **Ejemplos de técnicas de muestreo comúnmente utilizadas en estudios ecológicos:**

Plancton	Succión y sustratos artificiales.
Macroinvertebrados bénticos	Red de corriente, red de barrido y sustrato artificial
Peces	Pesca con jabega, red de barrido, red pasiva y electropesca
Vegetación terrestre	Sensores remotos, métodos de distancia y de área
Fauna del suelo	Tamizado, separación por densidad, uso de estímulos fisicoquímicos.
Insectos terrestres y voladores	Captura por atrayentes químicos, lumínicos, sonoros, etc. y señales.
Anfibios, reptiles, mamíferos y aves	Observación directa, trampeo y señales.

### 3.4.4. Análisis de Resultados

El análisis de datos implica el contraste entre modelos de abundancia-diversidad, comparación de multimétricos e índices bióticos entre el sitio impactado y el de referencia o a lo largo de un gradiente de contaminación. Se recomienda el uso de técnicas estadísticas inferenciales y multivariadas (regresión lineal, ordenación y clasificación) con la finalidad de



encontrar una relación causal. Así la presencia de una relación entre un tóxico y la estructura de la comunidad (la eliminación de especies sensibles o el cambio en la proporción de especies tolerantes/sensibles), así como la demostración de un gradiente de respuestas, que separe los efectos del contaminante de otras fuentes de variación a lo largo del gradiente, son sólo algunos de los componentes de peso más importantes para la formación de una relación causal.

Para poder deslindar cualquier efecto en la biota ocasionado por el ser humano, se recomienda realizar un índice de disturbio antropógeno. En esta metodología se propone utilizar el método establecido por Martorell y Peters (2005). Se incluye la guía (Anexo 4) y el formato para estimar disturbio antropógeno (Anexo 5). De este modo el análisis de datos y discusión se realizarán más fácilmente, ya que al conocer el índice de disturbio de un sitio, los efectos que se encuentren en la biota se atribuyen más fácilmente a los contaminantes.

# **CAPÍTULO 4.- CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO**

## 1. ESCENARIO AMBIENTAL

La caracterización del riesgo en el método propuesto, no seguiría completamente el diseño tradicional de la EPA, la cuantificación del riesgo no solo implica la estimación de la dosis de exposición y su posterior comparación contra alguna dosis de referencia. Se considera que en este método, la información recopilada en las diferentes secciones es suficiente para obtener una visión clara de la problemática.

El objetivo de ésta sección para establecer la completa caracterización del riesgo es obtener una respuesta a la pregunta: ¿Existe un riesgo (ecológico y/o humano)?. Por lo que, para el caso de que el riesgo exista, se deberá establecer un modelo definitivo del sitio a fin de establecer las rutas de exposición que deben ser controladas para reducir el riesgo que haya sido identificado.

Para la caracterización del riesgo, se propone que cada sección debe ser discutida primero por separado y luego de manera integrada con la finalidad de facilitar el proceso. En cada punto se discutirán las limitantes, las incertidumbres y los factores confusores. Además, el análisis de la información se realizará con criterios rigurosos y consultando siempre antecedentes científicos que hubieren sido reportados. Se compararán los datos (concentraciones ambientales, efectos ecológicos adversos asociados a dichas concentraciones, etc.) del sitio contaminado contra los obtenidos en algún sitio control y contra valores de referencia obtenidos de la literatura científica o que hayan sido reportados en alguna normativa nacional o internacional. Habrán de exponerse análisis cualitativos y cuantitativos.

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO ESCENARIO HUMANO

¿Se identificó un riesgo para la población humana? ¿Los contaminantes están biodisponibles? ¿Existe alguna evidencia de toxicidad? ¿Hay en el sitio poblaciones de alto riesgo? ¿Se detectaron factores que aumentan la exposición de la población a los contaminantes? ¿Existen factores que pudieran incrementar la toxicidad de los químicos presentes en el sitio (por ejemplo, desnutrición)? ¿Los análisis de laboratorio son

confiables?. Deben discutirse las incertidumbres sobre marcadores de exposición (por ejemplo que reflejen exposición aguda, cuando lo que se buscan son efectos crónicos), y sobre los marcadores de daño biológico (sobre su inespecificidad o la falta de control de algunos confusores). ¿En la literatura existen antecedentes como los encontrados en el sitio estudiado? ¿El daño es reversible? ¿El riesgo puede incrementarse en caso de que no se instrumente algún programa correctivo?

### **3. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO ESCENARIO ECOLÓGICO**

¿Existe riesgo ecológico? ¿Los contaminantes están biodisponibles? ¿Existen evidencias de ecotoxicidad? ¿Cuáles son los puntos que presentaron mayor ecotoxicidad? ¿Se identificó algún componente de la biota que estuviere particularmente en mayor riesgo? ¿Se demostró la presencia de otros agentes estresantes en el sitio? La discusión debe darse en término de organismos, poblaciones, comunidades y ecosistema. Habrá que considerar la severidad del efecto tomando en cuenta la concentración de contaminantes, la frecuencia de la exposición y la ecotoxicidad. Se tienen que discutir las incertidumbres (entre los bioensayos seleccionados y aquellas que surjan al comparar los datos de los bioensayos con los obtenidos en especies nativas), la duración de la exposición vs la duración de los efectos (atención a la inducción de resistencia, recuperación y adaptación al medio contaminado) y la dimensión de los efectos que hayan sido identificados. Finalmente, habrá que comentar sobre la reversibilidad del daño ecológico y/o sobre su potencial agravamiento en caso de no introducir acciones correctivas.

### **4. CARACTERIZACIÓN INTEGRADA DEL RIESGO**

En este punto se conjuntaran todos los datos a fin de responder a la pregunta: ¿El sitio representa un riesgo para la biota y/o para la población humana? La respuesta no solamente debe darse con la información del estudio, sino también añadiendo toda la evidencia que pueda obtenerse de la literatura científica. Es el peso de la evidencia, lo que precisamente le dará fortaleza a la respuesta de la interrogante.

En caso afirmativo de que exista un riesgo en el sitio, entonces los investigadores deberán contestar las siguientes preguntas: ¿Cuál es la magnitud del riesgo encontrado? ¿El sitio debe ser restaurado a fin de reducir el riesgo? ¿En caso de que no se restaure el sitio, el riesgo puede incrementar y/o puede extenderse a otras localidades? ¿Existe alguna acción que la comunidad pueda tomar para disminuir el riesgo? ¿En la comunidad existen profesionistas que pueden atender la problemática identificada?

El investigador deberá identificar las acciones ecológicas, de salud o educativas que pudieran ser útiles para disminuir el riesgo. El documento debe concluir con un segmento del tipo de estudios que sería adecuado iniciar a fin de obtener mejores evidencias del sitio.

Con la información, el investigador finalmente expondrá un modelo definitivo del sitio e identificará las rutas de exposición de mayor riesgo. Es muy importante exponer una correspondencia entre las rutas más contaminadas y las rutas que hayan representado un mayor riesgo para los seres vivos. El evaluador presentará además un listado de los tóxicos críticos presentes en el sitio, comentará sobre la posible toxicidad asociada a la mezcla química identificada y detallará el factible comportamiento de los químicos contaminantes en su argumentación sobre el futuro del sitio.

Por último, es muy importante discutir las preocupaciones de la sociedad que hubieren sido colectadas durante la visita. El reporte final deberá ser entregado a la población y en consecuencia, deberá contener respuestas claras a las interrogantes.

# **CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 1. CONCLUSIONES

La primera conclusión será una declaración sobre el nivel de riesgo encontrado en la zona de estudio. Para lo cual el investigador asignará a la zona una de las siguientes cuatro categorías:

- \* riesgo de salud pública urgente, requiere acción correctiva inmediata
- \* riesgo de salud pública, requiere acción correctiva mediata
- \* riesgo de salud pública no definido, requiere vigilancia ambiental y epidemiológica
- \* riesgo de salud pública mínimo.

Para las primeras dos categorías, el investigador tendrá que identificar en el texto: el o los contaminantes críticos, las rutas de exposición completas prioritarias de ser atendidas, los efectos en salud y la población expuesta. Deberá resumirse el motivo por el cual estas categorías fueron seleccionadas. En esta sección no se discute nueva información.

El texto también resumirá conclusiones sobre cada fase del proceso con énfasis en los siguientes puntos:

- \* posibles efectos en salud por la exposición a los contaminantes identificados,
- \* respuestas a las preocupaciones comunitarias en materia de salud,
- \* resultados de la evaluación a las estadísticas de salud, y
- \* los efectos que sobre el análisis o sobre las conclusiones del estudio podría tener la falta o la insuficiente información.

Cada conclusión del estudio deberá tener una recomendación asociada a ella.

De forma similar a las conclusiones obtenidas para los escenarios humanos, el evaluador debería establecer la valoración del riesgo que un sitio contaminado representa para las especies presentes; sin embargo, la presente propuesta establece la integración del riesgo en un escenario en común, por lo que se propone seguir una o más de las estrategias de integración que a continuación se ejemplifican.

La primera estrategia propone la asociación de los niveles de los contaminantes presentes en un sitio impactado con un mismo efecto adverso encontrado en tres especies pertenecientes a un mismo sistema biológico (tres especies terrestres, tres especies acuáticas o tres especies anfibias).

La siguiente estrategia de Integración del Riesgo que se propone aquí establece la asociación de un mismo efecto adverso en tres sistemas biológicos, agua, suelo y humanos, ligado a la estimación probabilística de la exposición a un compuesto tóxico presente en un sitio, representado en una curva dosis-respuesta.

La última estrategia resulta muy similar a la anterior; sin embargo, aquí se propone la asociación de diversos efectos biológicos (distintos biomarcadores de efecto) a la estimación de la dosis de exposición en una curva dosis - diversas respuestas y definir de acuerdo a los efectos evaluados el nivel de protección más conveniente.

El escenario más crítico será aquel que implica un elevado riesgo, tanto para humanos como para la biota del sitio. Por otra parte un área que posea un riesgo relativamente bajo para humanos y la biota, será considerado como de baja prioridad. Los sitios ubicados en medio de estos escenarios requerirán un cuidadoso análisis de las recomendaciones para la disminución del riesgo y de las estrategias de preservación ecológica sugeridas.

## **2. RECOMENDACIONES**

El investigador hará recomendaciones para:

- \* finalizar o reducir la exposición (incluyendo la posible restauración ambiental),
- \* caracterizar la zona de estudio, ó
- \* sugerir actividades para dar seguimiento a los problemas de salud identificados.



Todas las recomendaciones deberán ser numeradas y tendrán que ser iniciadas con un verbo de acción (realizar, deber, actuar, etc.) a plazos (inmediatamente, mediano a corto plazo, etc.). Cada recomendación tiene que estar correlacionada con una de las conclusiones de la sección anterior.

Las recomendaciones hechas debido a que fueron identificados efectos en salud, deberán ser seguidas de la propuesta de acciones que lleven a prevenir o a reducir la exposición.

Las recomendaciones específicas deben ser eliminadas: en su lugar deben darse recomendaciones donde las opciones no sean identificadas y de esta manera no se prejuzgan las medidas a tomar.

Cuando los datos ambientales o de otro tipo sean insuficientes para evaluar los riesgos en salud, deberá recomendarse la obtención de la información faltante. El investigador deberá identificar el tipo de información que sea requerida, dónde debe ser obtenida (en caso de que se requieran muestreos, tendrá que establecerse el lugar preciso que debe ser muestreado) y quién tiene que recibir la información que se obtendrá. Cada una de las recomendaciones será temporalizada, cuando se necesite una acción urgente, ésta se estipulará de manera directa (ej. se requiere el suministro inmediato de agua potable de fuentes alternas). Las recomendaciones que no se temporalizan pueden ser consideradas como de baja prioridad.

La recomendación final en todo reporte debe tratar sobre las acciones de seguimientos que se hayan considerado pertinentes en tres áreas: educación ambiental; estudios de salud; e investigación científica dirigida a llenar algún vacío de información descubierto durante la realización del estudio. Asimismo, se analizará la posibilidad de incluir una recomendación para que los individuos sean dirigidos a tratamiento médico o a una vigilancia permanente.

### **3. ACCIONES DE SALUD PÚBLICA**

Basándose en las recomendaciones presentadas en el estudio, el investigador necesita identificar acciones que se estén llevando a cabo o que hayan sido planeadas. Además, para identificar dichas acciones, el investigador tiene que identificar las agencias (departamentos o direcciones) gubernamentales que sean responsables de ellas. El propósito de esta estrategia es la de organizar la agenda de salud relacionada con la zona de estudio, que se establecerá con el fin de disminuir o de abatir la exposición a las sustancias tóxicas. De las acciones que se estén llevando a cabo o de las que han sido planeadas, el investigador debe anotar la siguiente información: (1) la acción; (2) la agencia o el grupo responsable de dicha acción; (3) el propósito de la acción; y, (4) la fecha en que la acción ha ocurrido u ocurrirá.

### **4. ACCIONES DE PRESERVACIÓN ECOLÓGICA**

Para proteger a la biota cuando se demuestre que existe riesgo ecológico en un sitio determinado, se recomienda establecer:

- Unidades para la Conservación Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA's)
- Zonas de amortiguamiento.
- Realizar corredores biológicos.
- Establecer épocas de veda, principalmente para especies comercialmente importantes.
- Reubicación de especies
- Reintroducción de especies
- Compensación monetaria en áreas naturales protegidas

### **5. COMUNICACION DEL RIESGO**

Al final los investigadores deberán asesorarse para determinar la mejor manera de informar los resultados del estudio al público y a las autoridades. Para este fin, deberán analizarse las condiciones propias del sitio y en todos los casos se recomienda buscar el apoyo de expertos en la materia.

## REFERENCIAS

- Adams M.; J. Giesy; L. Tremblay and C. Eason. 2001. The use of biomarkers in ecological risk assessment: recommendations from the Christchurch conference on Biomarkers in Ecotoxicology. *Biomarkers*. 6:1-6
- Aylward Lesa L., Hays Sean M, Karch Nathan J, and Paustenbach Dennis J. 1996. Relative Susceptibility of Animals and Humans to the Cancer Hazard Posed by 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-pdioxin Using Internal Measures of Dose. *Environ. Sci. Technol.*, 30, 3534-3543
- Aragón, P.A.; V.G. Torres; M.F. Monroy; K.A. Luszczewski y R.R. Leyva. 2000. Scanning electron microscope and statistical analysis of suspended heavy metal particles in San Luis Potosi, Mexico. *Atmospheric. Environment*, 34:4103-4112
- Aragón, P.A.; V.G. Torres; P.J. Santiago y F.M. Monroy. 2002. Scanning and transmission electron microscope of suspended lead-rich particles in the air of San Luis Potosi, Mexico. *Atmospheric. Environment*, 36:5235-5243
- ATSDR. 2005. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances. <http://www.atsdr.cdc.gov/mrls.html>. (Última visita marzo de 2005)
- ATSDR. 2005. Draft toxicological profile for lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service. 20p.
- Ball, J.W y D.K. Nordstrom. 2001. User's manual for wate, with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of major, trace, and redox elements in natural waters, USGS (United States Geological Survey). Open-File Report 91-183. Menlo Park, California

- Barcan, V. y E. Kovnatsky. 1998. Soil surface geochemical anomaly around the copper-nickel metallurgical smelter. *Water, Air and Soil Pollution*, 103:197-218
- Basta, N y R. Gradwohl. 2000. Estimation of Cd, Pb and Zn bioavailability in smelter-contaminated soils by a sequential extraction procedure. *Journal of Soil Contamination*, 9:149-164
- Canfield, R.L.; C.R. Henderson; D.A. Cory-Slechta; C. Cox; T.A. Jusko; B.P. Lanphear. 2003. Blood Intellectual Impairment in Children with Blood Lead Concentrations below 10 ug per Deciliter. *N. Engl. J. Med.* 348:1517-1526
- Casteel, S.; T. Evans; J. Turk; N. Basta; C. Weis; G. Henningsen y E. Hoffman. 2001. Refining the risk assessment of metal-contaminated soils. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 203:473-474
- Chambers, J.E., J. S. Boone, R.L Carr., H.W. Chambers and D.L. Straus. 2002. Biomarkers as Predictors in Health and Ecological Risk Assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 8:165-176
- Clements, W.H. y M.C. Newman. 2002. *Community Ecotoxicology*. John Wiley & Sons. Chichester, U.K. 336 pp.
- Cristal Ball Software. [www.decisioneering.com/](http://www.decisioneering.com/). Accesado Marzo 2005
- Decapio, A.P. 1997. Biomarkers: Coming of Age for Environmental Health and Risk Assessment. *Environmental Science and Technology*, 31:1837-1848
- Díaz-Barriga, F., M.A. Santos; J.J. Mejía; L. Batres; L. Yáñez; L. Carrizales; E. Vera; L.M. Del Razo y M.E. Cebrián. 1993. Arsenic and cadmiun exposure in children living near a smelter complex in San Luis Potosí, Mexico, *Environmental Research*, 62:242-250
- DLP Software: [www.syncopationsoftware.com](http://www.syncopationsoftware.com). Accesado Marzo 2005

- EPA 1989. Risk Assessment Guidance For Superfund Volume I. Human Health Evaluation (Part A). U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, D.C. EPA/540/1-89/002. December.
- EPA 1992. Guidelines For Exposure Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, Dc, 600z-92/001.
- EPA1993a. Wildlife Exposure Factors Handbook Volume I of II. U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC. EPA/600/R-93/187. December.
- EPA1993b. Wildlife Exposure Factors Handbook Volume II of II. U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC. EPA/600/R-93/187. December.
- EPA-ECO Update. 1994a. Field Studies for Ecological Risk Assessment. ECO Update 2(3):1-13. U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA-ECO Update. 1994b. Selecting and using Reference Information in Superfund Ecological Risk Assessments. ECO Update 2(4):1-6. U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA 1997. Exposure Factors Handbook. U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. EPA/600/P-95/002fa August
- EPA. 1998. Guidelines for Ecological Risk Assessment. Environmental Protection Agency. USA. 112 p.
- EPA 1999. Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol Appendix E: Toxicity Reference Values U.S. EPA Region 6. Multimedia Planning and Permitting Division Center for Combustion Science and Engineering. U.S. EPA. Office of Solid Waste. August.
- EPA 2000. Handbook For Non-Cancer Health Effects Valuation. EPA Science Policy Council U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460. December

- EPA 2000b. Supplementary Guidance for Conducting Health Risk Assessment of Chemical Mixtures  
U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. EPA/630/R-00/002 August
- EPA 2001. Risk Assessment Guidance For Superfund: Volume III- Part A, Process For Conducting  
Probabilistic Risk Assessment. Environmental Protection Agency Washington, Dc. EPA 540-  
R-02-002. Oswer 9285.7-45. Pb2002 963302. www.EPA.Gov/Superfund/Rags3a/Index.Htm.
- EPA 2002a. A Review Of The Reference Dose And Reference Concentration Processes. U.S.  
Environmental Protection Agency Washington, Dc. EPA/630/P-02/002f December.
- EPA 2002b. Child-Specific Exposure Factors Handbook. U.S. Environmental Protection Agency  
Washington, D.C. EPA-600-P-00-002b. Interim Report. September.
- Evans, J.; A. Fernández; A. Gavilán; I. Lema; M. A. Martínez; P. Ramírez; M. Zuk. 2003.  
*Introducción al análisis de riesgos ambientales*. Instituto Nacional de Ecología (INE-  
SEMARNAT). D. F. México. 123 p.
- Franco, L.J.; G.A. de la Cruz; A.G. Cruz; A.R. Rocha; N.S. Navarrete; G.M. Flores; E.M. Kato; S.C.  
Colón; L.A. Abarca y C.S. Bedia. 1989. *Manual de ecología*. 2ª ed. Trillas. México. 266pp.
- Freeman, G.B.; R.A. Schoof; M.V. Ruby; A.O. Davis; J.A. Dill; S.C. Liao; C.A. Lapin y P.D.  
Bergstrom. 1995. Bioavailability of arsenic in soil and house dust impacted by smelter  
activities following oral administration in *Cynomolgus* monkeys. *Fundamentals on Applied  
Toxicology*, 28:215-222
- Gulson, B.L. y J.L. Davis. 1994. Lead bioavailability in the environment of children: Blood lead levels  
in children can be elevated in a mining community, *Archives of Environmental Health*,  
49:326-332
- Hem, J.D. 1992. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water United  
States Geological Survey, Water-Supply, Paper 2254. 263 pp.

- Hodson, M.E.; E. Valsami-Jones y J.D. Cotter-Howells. 2000. *Metal phosphates and remediation of contaminated land*. En: Environmental Mineralogy: Microbials Interactions, Anthropogenic Influences, Contaminated Land and Waste Management. Mineralogical Society of Great Britain & Ireland. London. 291-311.
- IPCS. 1989. DDT and its derivatives-environmental aspects. Environmental Health Criteria 83. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- IRIS. 2005. Environmental Protection Agency. The Integrated Risk Information System (IRIS). [www.EPA.gov/iris/](http://www.EPA.gov/iris/). (Última visita marzo de 2005)
- Karr, J.R. 1991. Biological Integrity: a Long-Neglected Aspect of Water Resource Management. *Ecological Applications*: 1:66-84
- Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*, CRC Press, Florida, 331 p.
- Klaassen, C.D. 2001. *Casarett and Doull's: Toxicology The Basic Science of Poisons*. 6th Edition. Mc Graw Hill. USA. 782 p.
- Lam, P.K.S. and R.S.S. Wu. 2003. *Use of biomarkers in environmental monitoring*. Review Submitted to the Scientific and Technical Advisory Panel (STAP) and Global Environmental Facility (GEF). Japan. 79 p.
- Li, X. y I. Thornton. 2001. Chemical partitioning of trace and major elements in soils contaminated by mining and smelting activities. *Applied Geochemistry*, 16:1693-1706
- Martorell, C. and E. M. Peters. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation*, 124:199-207
- McCarty LS, Power M. and K. R. Munkittrick. 2002. Bioindicators Versus Biomarkers in Ecological Risk Assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*. 8(1): 159-164

- Mercado S. N. y J. Lyons. 2001. Índices de integridad biótica en los Ríos Lerma y Pánuco: una aproximación a su desarrollo, *en*: Pineda-López R. y P.E. Diaz. Diversidad biológica de ríos y arroyos del centro de México: Bases para su conocimiento y conservación. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. En prensa.
- Newman, M.C. y M.A. Unger. 2003. *Fundamentals of Ecotoxicology*. 2ª ed. Lewis Publishers. U.S.A. 458 pp.
- Oliver, D.P.; M.J. McLaughlin; R. Naidu; L.H. Smith; E.J. Maynard y I.C. Calder. 1999. Measuring Pb bioavailability from household dust using an in vitro model. *Environmental Science and Technology*, 33:4434-4439
- Oomen, A.G.; J. Tolls; A.J. Sips; M.A. Van den Hoop. 2003. Lead speciation in artificial human digestive fluid. *Arch Environ Contam Toxicol*. 44:107-15
- OPS. 1999. Metodología de Identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Organización Panamericana de la Salud. OPS/Cepis/Pub/99.34.
- Ornelas, H.M. 1999. *Evaluación de Riesgo y Predictores de los Niveles de Plomo en Sangre en Mujeres en Edad Reproductiva y Niños de 1 a 5 Años en Avalos, Chihuahua*. Tesis de Maestría. Escuela de Salud Pública de México, Instituto Nacional de Salud Pública, 184 pp.
- Ramondetta Miriam and Repossi Alessandra. 1998. Seveso 20 years after: from dioxin to the Oak wood. Fondazione Lombardia per l'Ambiente, Milano.
- Razo, I.; J. Téllez. L. Carrizales; M. Monroy y F. Díaz-Barriga. 2003. Determinación *in vitro* de arsénico y plomo potencialmente biodisponible en suelos contaminados de Villa de la Paz y Matehuala, Seminario de divulgación interna del Laboratorio de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 189 p.
- Rieuwerts, J.S.; M.E. Farago; M. Cikrt y V. Bencko. 2000. Differences in lead bioavailability between a smelting and a mining area. *Water, Air and Soil Pollution*, 122:203-229



Risk Software. [www.palisade.com/](http://www.palisade.com/) (Última visita Marzo de 2005).

Ruby, M.V.; A. Davis; T.E. Link; R. Schoof; R.L. Chaney; G.B. Freeman y P. Bergstrom. 1993. Development of an in vitro screening test to evaluate the in vivo bioaccessibility of ingested mine-waste lead. *Environ. Sci. Technol.* 27:2870-2877

Ruby, M.V.; A. Davis; R. Schoof; S. Eberle y C.M. Sellstone. 1996. Estimation of bioavailability using a physiologically based extraction test. *Environ. Sci. Technol.* 30:420-430

Selevan, S.G.; D.C. Rice; K.A. Hogan; S.Y. Euling; A. Pfahles-Hutchens and J. Bethel. 2003. Blood Lead Concentration and Delayed Puberty in Girls. *N. Engl. J. Med.* 348:1527-1536

Smedley, P.L. y D.G. Kinniburgh. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17:517-568

Steele, M.J.; B.D Beck; B.L. Murphy y H.S. Strauss. 1990. Assessing the Contribution from Lead in Mining Wastes to Blood Lead. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 11:158-190

Smith L.R. y T.M. Smith. 2001. *Ecología*. 4a ed. Pearson Educación. Madrid. 664 pp.

Suter II, G.W. 1993. *Ecological Risk Assessment*. Lewis Publishers. United States. 538 pp.

Vargas, G.G.; A.M. Rubio; L.M. Del Razo; A.M. Borja; A.E. Vera y M.E. Cebrián. 2001. Lead exposure in children living in a smelter community in Region Lagunera, Mexico. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 62:417-429

World Health Organization (WHO), 1995, Environmental Health Criteria Series No. 165: Lead, International Programme on Chemical Safety, 300 p.

**ANEXO 1. BASES PARA LA CALIFICACIÓN DE LOS SITIOS INSPECCIONADOS.  
CARACTERÍSTICAS DE ALGUNAS SUSTANCIAS COMUNES\***

Compuesto	Toxicidad a	Persistencia	Inflamabilidad	Reactividad
Acetaldehido	3	0	3	2
Acetona	2	0	3	0
Ácido acético	3	0	2	1
Ácido clorhídrico	3	0	0	0
Ácido fórmico	3	0	2	0
Ácido nítrico	3	0	0	0
Ácido sulfúrico	3	0	0	2
Aldrín	3	3	1	0
Anilina	3	1	2	0
Anhidrido de amonio	3	0	1	0
Benceno	3	1	3	0
BPC	3	3	0 c	0 c
Ciclohexano	2	2	3	0
Clordano	3	3	0 b	0 b
Clorobenceno	2	2	3	0
Cloroformo	3	3	0	0
(m, p)-Cresol	3	1	1	0
O-Cresol	3	1	2	0
Endrín	3	3	1	0
Éter isopropílico	3	1	3	1
Etilbenceno	2	1	3	0
Fenol	3	1	2	0
Formaldehido	3	0	2	0
Lindano	3	3	1	0
Metano	1	1	3	0
Metil etilcetona	2	0	3	0
Metil paratión en solución de xileno	3	0 c	3	2
Naftaleno	2	1	2	0
Paratión	3	0 c	1	2
Petróleo, kerosene	3	1	2	0
Tetracloruro de Carbono	3	3	0	0
Tolueno	2	1	3	0
Triclorobenceno	2	3	1	0
1,1,1-Tricloroetano	2	2	1	0
Xileno	2	1	3	0

Marsch, G.M. y R. Day. (1991). A model standardized risk assessment protocol for use with hazardous waste sites. *Environ. Health Perspect.* 90:199-208.

\*Se usa la calificación más alta enumerada bajo cada sustancia. Fuente: Sax, N.L. (1976. *Dangerous properties of industrial materials*, 4th ed. Van Nostrand Rheinhold co., Nueva York.

<sup>b</sup>Opinión profesional basada en información contenida en: U.S. Co: Guard CHRIS Hazardous Chemical Data.

<sup>c</sup>Opinión profesional basada en la literatura existente.

## ANEXO 2. BASES PARA LA CALIFICACIÓN DE LOS SITIOS INSPECCIONADOS.

### TASAS DE TOXICIDAD\*

#### 0: Ninguna toxicidad (ninguna)

Materiales que no causan daño bajo ninguna condición normal de uso.

Materiales que producen efectos tóxicos en los seres humanos sólo bajo condiciones inusuales o por grandes dosis.

#### 1: Toxicidad leve (baja)

##### Aguda local

Materiales que en una sola exposición que dura segundos, minutos u horas, causan sólo efectos leves en la piel o membranas mucosas independientemente del grado de exposición.

##### Aguda sistémica

Materiales que se pueden absorber en el organismo mediante inhalación, ingestión, o a través de la piel y producen sólo efectos leves después de una sola exposición que dura segundos, minutos, u horas, o luego de ingerir una dosis, independientemente de la cantidad absorbida o del grado de exposición.

##### Crónica local

Materiales que en una exposición continua o repetida que se extiende durante períodos que pueden incluir días, meses o años, causan sólo un daño leve generalmente reversible a la piel o membranas mucosas. El grado de exposición puede ser grande o pequeño.

#### 2: Toxicidad moderada (mod)

##### Aguda local

Materiales que en una sola exposición que dura segundos, minutos u horas, causan efectos moderados sobre la piel o membranas mucosas. Estos efectos pueden ser el resultado de una intensa exposición en cuestión de segundos o exposición moderada en cuestión de horas.

##### Aguda sistémica

Materiales que se pueden absorber en el organismo mediante inhalación, ingestión, o a través de la piel y producen efectos moderados luego de una sola exposición que dura segundos, minutos u horas, o luego de ingerir una sola dosis.

##### Crónica local

Materiales que en una exposición continua o repetida que se extiende durante períodos de días, meses o años, causan un daño moderado a la piel o membranas mucosas.

##### Crónica sistémica

Materiales que pueden absorberse en el organismo mediante inhalación, ingestión, o a través de la piel y producen efectos moderados luego de exposiciones continuas o repetidas que se extienden durante días, meses o años.

#### 3: Toxicidad grave (alta)

##### Aguda local

Materiales que en una sola exposición que dura segundos o minutos causan lesión a la piel o membranas mucosas de gravedad suficiente para amenazar la vida o causar deficiencia física permanente o deformación.

##### Aguda sistémica

Materiales que pueden absorberse en el organismo mediante inhalación, ingestión, o a través de la piel y pueden causar lesión de gravedad suficiente para amenazar la vida después de una única exposición que dura segundos, minutos u horas, o luego de la ingestión de una sola dosis.

##### Crónica local

Materiales que en exposiciones continuas o repetidas durante períodos que pueden incluir días, meses o años, pueden causar lesión a la piel o membranas mucosas de gravedad suficiente para amenazar la vida o causar deficiencia permanente, deformación, o cambio irreversible.

##### Crónica sistémica

Materiales que pueden absorberse en el organismo mediante inhalación, ingestión o a través de la piel y pueden causar la muerte o deficiencia física grave luego de exposiciones continuas o repetidas a cantidades pequeñas durante períodos que pueden incluir días, meses o años.

---

\* Las clasificaciones numeradas de toxicidad han sido tomadas de Sax, N.L. (1976). *Dangerous properties of industrial materials*, 4th ed. Van Nostrand Reinhold, Co., Nueva York.

Las clasificaciones de toxicidad entre paréntesis son de Sax, N.L. (1979). *Dangerous properties of industrial materials*, 5th ed. Van Nostrand Reinhold, Co., Nueva York.

---

### ANEXO 3. VALORACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES EN SUELO. ESTUDIO DE CASO FRACCIÓN MORALES

---

La biodisponibilidad de los metales contenidos en una muestra de suelo depende de cuando menos seis factores:

- (1) la fase o compuesto portador del metal tóxico;
- (2) la accesibilidad de los metales, es decir, su liberación de los componentes del suelo o el grado de disponibilidad de la superficie reactiva;
- (3) el tamaño de partícula;
- (4) la interacción entre los metales y los nutrientes de la dieta o los ácidos biliares;
- (5) la absorción del metal a través de las membranas celulares del epitelio intestinal y
- (6) el efecto del primer paso, esto es, la cantidad de metal que al llegar al hígado por vía portal es excretado por vía biliar, sin que entre al torrente sanguíneo.

En este estudio de caso se evaluaron "in vitro", los tres primeros factores. La biodisponibilidad en función del tipo de compuesto y de su grado de accesibilidad, se determinó a través de la extracción consecutiva del suelo en medios que mimetizan las condiciones gástricas e intestinales. En tanto el factor tamaño de partícula fue considerado al realizar una clasificación del tamaño de partícula de las muestras de suelo por mallas. Obviamente, un mayor grado de accesibilidad y un tamaño pequeño de partícula deben facilitar la biodisponibilidad, aunque esto es también dependiente de la solubilidad de los compuestos portadores bajo las condiciones del medio.

## METODOLOGÍA

### Muestreo

Se realizó un muestreo de suelo superficial durante septiembre del 2003 en el área de la Fracción Morales. Las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo de suelo fueron registradas con un sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) Garmin *emap* (Cuadro 1).

Las muestras de suelo fueron recolectadas con un cucharón de acero inoxidable en los primeros 5 cm de profundidad sobre una superficie de aproximadamente 1 m<sup>2</sup> en cada punto de muestreo. Las muestras fueron inmediatamente colocadas en bolsas de polietileno para su transporte y almacenamiento.

Cuadro 1. Referencias geográficas y ubicación de puntos de muestreo.

Muestra	Norte (UTM)	Este (UTM)	Ubicación
Morales-bio1	2452914	0292216	Área recreación infantil, calle Roca y circuito Pétreo
Morales-bio2	2452557	0291739	Av. Ferrocarril casi esquina con prolongación Azufre
Morales-bio3	2452313	0291739	A un costado del Kinder Miguel Cervantes
Morales-bio4	2452413	0291540	Terrenos IMMSA, a la altura del Kinder Miguel Cervantes
Morales-bio5	2452338	0291981	Área recreación infantil, Plaza Mina del Potosí
Morales-bio6	2452136	0291528	Terrenos IMMSA, frente a calle Platino
Morales-bio7	2452117	0291902	Esquina de Calles Aire y Diario de San Luis
Morales-bio8	2451789	0291545	Área recreación infantil, calle Oro
Morales-bio9	2451697	0291716	3ª Privada de Bronce
Morales-bio10	2451749	0291852	Calle sulfato entre calles Azufre y Zinc

#### **Preparación de muestras y análisis químicos.**

Se prepararon tres fracciones representativas de cada muestra de suelo a tamaños menores de 2000, 600 y 53  $\mu\text{m}$ , empleando tamices de 10, 28 y 270 mallas de la serie Tyler, respectivamente. Previo a su análisis químico, cada una de las fracciones obtenidas fue digerida en medio ácido ( $\text{HNO}_3$  25 %) empleando un sistema de extracción por microondas CEM MDS-2000 durante 30 minutos bajo una presión de 80 psias. Posterior a la digestión, la solución extractante fue filtrada sobre papel filtro Whatman 1 (apertura de poro 11  $\mu\text{m}$ ).

Análisis químicos de Pb total en las muestras de suelo se realizaron por espectrometría de absorción atómica (EAA) utilizando un espectrómetro *Varian Spectra AA 220*. El As total fue analizado en las muestras de suelos por EAA utilizando un espectrómetro Perkin Elmer *Aanalyst 100* acoplado con un sistema de inyección de flujo (FIAS) Perkin Elmer *FIAS 100*.

Como control de calidad se analizaron Materiales Estándares de Referencia (SRM por sus siglas en inglés) certificados por el Instituto Nacional de Estándares y Pruebas de los Estados Unidos, (NIST por sus siglas en inglés). El SRM empleado fue *Montana Soil SRM 2711*. Un análisis del SRM se realizó siguiendo el mismo procedimiento para las muestras. Los porcentajes promedio de recuperación para los elementos analizados fueron: Pb 92% y As 95%.

#### **Procedimiento de extracción de la fracción bioaccesible.**

Para determinar la fracción bioaccesible de Pb y As en las muestras de suelo en sus fracciones -600 y -2000  $\mu\text{m}$  se utilizó el método reportado por Ruby *et al.*, (1993), llamado prueba de extracción basado fisiológicamente (PBET, por sus siglas en inglés). El método PBET establece condiciones que simulan las fases gástrica e intestinal del proceso de

digestión humana, incorporando valores de pH, temperatura, y tiempo de residencia plenamente conocidos para cada una de estas fases (Ruby *et al.*, 1993; Ruby *et al.*, 1996).

Durante la implementación del método se realizaron algunas modificaciones en la etapa de neutralización (inicio de la fase intestinal). Debido al prolongado tiempo que se requiere para alcanzar un pH de 7.0 de acuerdo al procedimiento original (diálisis), en este trabajo la neutralización de la solución gástrica se realizó adicionado el volumen necesario de solución saturada de  $\text{NaHCO}_3$  hasta alcanzar el pH señalado. A continuación se señala detalladamente el procedimiento empleado para el análisis de las muestras estudiadas.

### **Fase gástrica**

La solución gástrica fue preparada disolviendo 1.25 g de pepsina, 0.50 g de citrato de sodio, 0.50 g de malato disódico, 420  $\mu\text{L}$  de ácido láctico y 500  $\mu\text{L}$  de ácido acético en 1L de agua desionizada; el pH se ajustó a 1.3 utilizando HCl concentrado. 50 mL de solución gástrica fueron colocados en un embudo de separación de polietileno de 250 mL de capacidad, en donde se agregaron 0.5 g de muestra de suelo. El embudo se sumergió en un baño de agua con temperatura controlada a 37° C. La mezcla muestra/solución gástrica se mantuvo en reposo durante los primeros 10 minutos para después comenzar la agitación mediante un flujo constante de argón de 1 L/min por la parte inferior del embudo. 5 minutos después de iniciada la agitación y posteriormente cada 10 minutos, se midió el pH de la mezcla con un pH-metro Beckman  $\Phi$  10 y un electrodo de calomel con sonda ATC para la compensación de temperatura. En caso de ser necesario el pH se ajustaba a 1.3 utilizando HCl concentrado. Una hora después de iniciada la fase gástrica, la agitación se detenía para extraer 10 mL de la solución, los cuales se filtraban y se les adicionaban 200  $\mu\text{L}$  de  $\text{HNO}_3$  concentrado, preservando la solución bajo refrigeración hasta su análisis químico. El volumen de solución extraída del embudo era compensado agregando un volumen igual de solución gástrica original.

### **Fase intestinal**

Para proseguir con la fase intestinal, se adicionó la cantidad necesaria de una solución saturada de  $\text{NaHCO}_3$  hasta alcanzar un pH de 7.0 en la mezcla suelo /solución gástrica, agregando además 87.5 mg de sales biliares y 25 mg de pancreatina, reiniciando en este punto la agitación mediante el flujo de argón. La agitación finalizaba 3 horas después, recuperando a este tiempo el resto de la solución bajo el mismo procedimiento empleado en el muestreo de la fase gástrica.

Las soluciones de la fase gástrica e intestinal fueron analizadas por Pb mediante Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) utilizando un espectrómetro *Varian Spectra AA 220*. El As fue analizado por EAA utilizando un espectrómetro Perkin Elmer *Aanalyst 100* acoplado con un sistema de inyección de flujo (FIAS) Perkin Elmer *FIAS 100*. Como control de calidad para el análisis de As se empleó el SRM 1643d de elementos traza en agua, obteniendo una recuperación del 96 %.

### **Identificación de fases portadoras de Pb y As en suelos de Morales**

Con el objetivo de identificar las fases minerales de Pb y As presentes en las muestras de suelo, se realizó una caracterización mineralógica por microscopía electrónica de barrido (MEB). Esta caracterización por MEB se llevo a cabo empleando un microscopio Phillips XL30 equipado con un espectrómetro de rayos X por energía dispersiva EDAX DX460. Las muestras fueron montadas en probetas con resina epóxica y más tarde desbastadas y pulidas. Las muestras fueron observadas bajo el modo de electrones retrodispersos (BSE, por sus siglas en inglés) empleando un voltaje de aceleración del haz de electrones de 20 kv. Además, se realizaron análisis químicos cualitativos y cuantitativos por espectrometría de rayos X (EDX) para la identificación de las fases minerales (60 segundos de tiempo de conteo). Además, se utilizó el método de preparación de muestras empleado por Aragón (2000) con el fin de identificar compuestos portadores de metales tóxicos, solubles bajo las condiciones de la preparación de muestras montadas en probetas.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **Contenido de metales en muestras de suelo de la Fracción de Morales.**

Las concentraciones de Pb y As total en las fracciones -2000 y -600  $\mu\text{m}$  de las muestras recolectadas en el área de la Fracción Morales no presentan diferencias significativas entre ambas fracciones granulométricas (Cuadro 2), encenrándose dentro de los rangos de concentración para estos elementos reportados en sitios cercanos a fundiciones en México (Ornelas, 1999; Vargas *et al.*, 2001) y en otros países (Barcan y Kovnatsky, 1998; Rieuwerts *et al.*, 2000; Li y Thornton, 2001). Además, estas concentraciones coinciden con los rangos de concentración reportados anteriormente para Morales (Díaz-Barriga *et al.*, 1993, así como en el presente documento).

Cuadro 2. Concentraciones totales de As y Pb en las fracciones -600 y -2000  $\mu\text{m}$ .

Muestra	600 $\mu\text{m}$		2000 $\mu\text{m}$	
	As (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	As (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)
Morales-bio1	214	448	206	359
Morales-bio2	318	660	275	594
Morales-bio3	202	391	247	301
Morales-bio4	2310	3258	2268	3114
Morales-bio5	436	936	369	732
Morales-bio6	457	437	422	437
Morales-bio7	443	756	376	624
Morales-bio8	710	810	718	810
Morales-bio9	5214	4062	4158	3186
Morales-bio10	489	696	364	443

**Contenido de metales en suelo por tamaño de partícula.**

En cuanto a las concentraciones de Pb y As en función del tamaño de partícula, se observa que existe un importante incremento en el contenido de metales en la fracción más fina (-53  $\mu\text{m}$ , Figuras 1 y 2). Esto representa un grave riesgo desde el punto de vista riesgo en salud, debido a que se ha demostrado que la absorción de Pb por el organismo se incrementa conforme disminuye el tamaño de las partículas (Steel *et al.*, 1990). Además, al incrementarse la concentración de los metales tóxicos con la disminución del tamaño de partícula, se incrementa el riesgo en salud puesto que las partículas finas pueden ser transportadas fácilmente por el viento, aumentando así la probabilidad de ser ingeridas e incluso inhaladas.

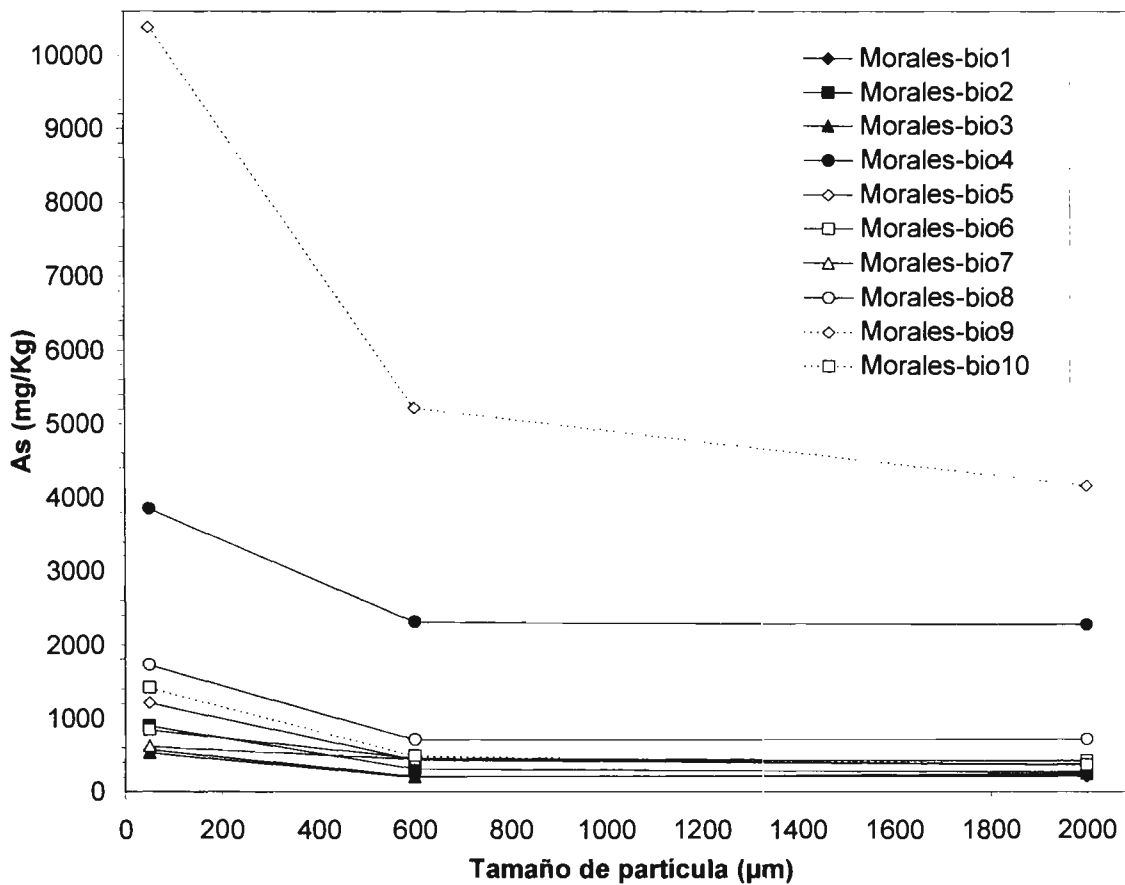


Figura 1. Concentración total de As en función del tamaño de partícula, representado aquí por las tres fracciones de tamaño de partícula en una misma muestra.



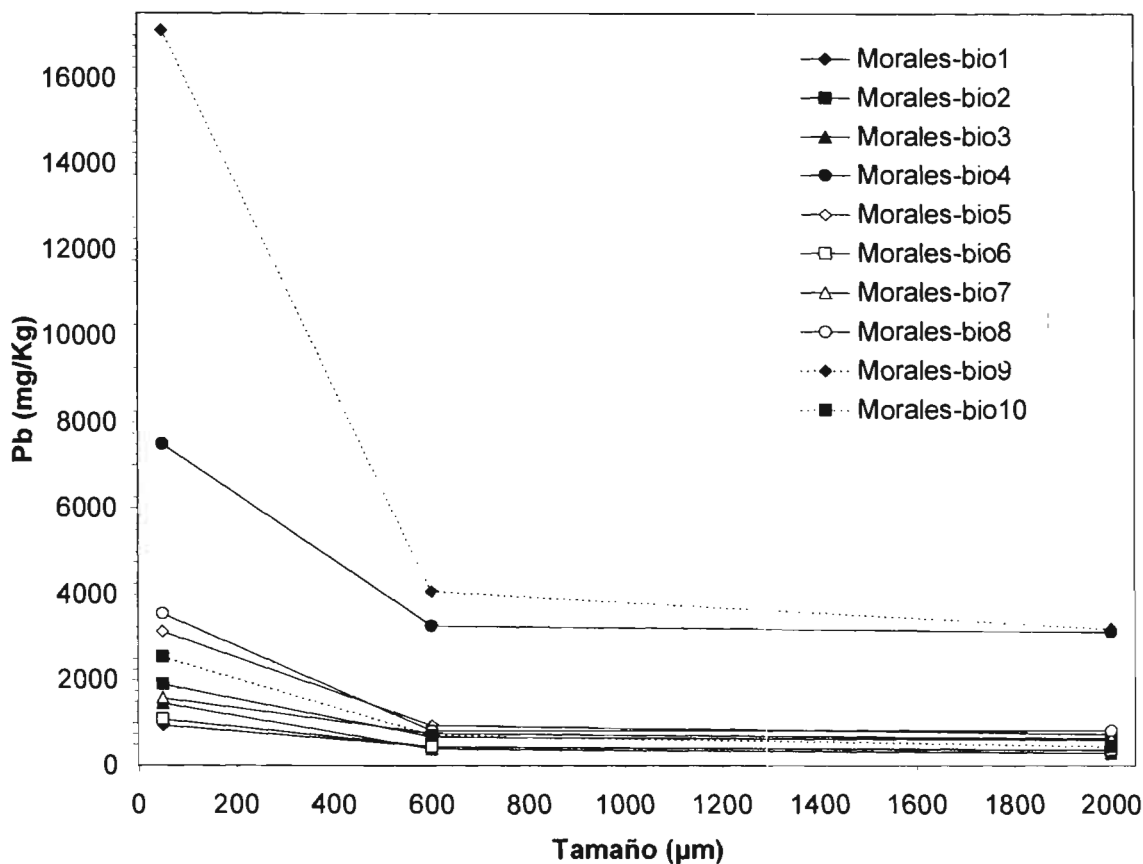


Figura 2. Concentración total de Pb en función del tamaño de partícula, representado aquí por las tres fracciones de tamaño de partícula en una misma muestra.

**Bioaccesibilidad de los metales en las muestras de suelo.**

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas empleando el método PBET, la bioaccesibilidad de Pb y As de las fracciones -600 y -2000 µm no presentaron diferencias significativas (Cuadro 3), por lo que a continuación se discutirán exclusivamente los resultados de la fracción -600 µm.

Por otra parte, la fracción de As y Pb disuelta en la fase intestinal y el porcentaje de esta fracción con respecto a la cantidad total de estos elementos en el suelo se denominará en lo siguiente fracción "bioaccesible". Como se sabe, la absorción de As y Pb en el organismo se lleva a cabo a través del epitelio intestinal, por lo que el término bioaccesible se refiere a la fracción de As y Pb que tiene una alta probabilidad de ser absorbida.

Cuadro 3. Comparación de resultados de % de bioaccesibilidad de As y Pb de las fracciones -600 y -2000 µm. Los valores corresponden a las medianas de 10 muestras independientes.

Fracción -600 $\mu\text{m}$		Fracción -2000 $\mu\text{m}$	
% As bioaccesible	% Pb bioaccesible	% As bioaccesible	% Pb bioaccesible
46.5	32.5	43.5	38.0

En el Cuadro 4 se presentan la fracción disuelta de Pb y As durante la fase intestinal, así como el porcentaje que esta fracción representa con respecto al contenido total de estos elementos en el suelo. Con respecto al arsénico, podemos observar que cerca del 50 % de este elemento fue extraído durante la fase intestinal. Es sabido que el arsénico tiene la capacidad de mantenerse en solución dentro de un amplio rango de pH (Smedley y Kinniburgh, 2002), por lo tanto, es muy probable que el arsénico disuelto durante la fase gástrica (pH 1.3) se mantenga en solución después de la neutralización (pH 7.0).

En la Figura 3 puede advertirse que el porcentaje de arsénico presente en la solución intestinal es mayor que el presente en la fase gástrica, esto podría deberse a que durante el periodo de la fase intestinal se mantuvo la extracción (disolución) de minerales portadores de arsénico. Aun cuando es reconocido que el pH y el potencial de óxido-reducción son los principales factores que controlan la solubilidad de especies de arsénico (Smedley y Kinniburgh, 2002), no debe descartarse la posibilidad de que compuestos orgánicos presentes en la fase intestinal contribuyan positivamente en la disolución de compuestos de arsénico mediante reacciones de complejación.

Se ha reportado que las principales fases minerales de As y metales pesados presentes en suelos cercanos a fundiciones corresponden principalmente a óxidos (Steel *et al.*, 1990; Gulson y Davis, 1994). Un estudio mineralógico de las partículas suspendidas en aire de la ciudad de San Luis Potosí reveló que el arsénico en la cercanía de la fundición de IMMSA ocurre principalmente como trióxido de arsénico (Aragón, 2000). El trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) presenta una constante de producto de solubilidad relativamente alta ( $\log K_{ps} = -2.8$ ; Ball y Nordstrom, 2001), por lo que sería fácilmente explicable su disolución bajo las condiciones de la prueba.

Cuadro 4. Concentración bioaccesible de As y Pb y su porcentaje con respecto al contenido total del metal en cada muestra. Resultados de la fase intestinal para la fracción -600 µm

Muestra	As bioaccesible		Pb bioaccesible	
	mg/Kg	%	mg/Kg	%
Morales-bio 1	100	47	156	35
Morales-bio 2	150	47	299	45
Morales-bio 3	133	66	115	30
Morales-bio 4	907	39	648	20
Morales-bio 5	196	45	122	13
Morales-bio 6	206	45	202	46
Morales-bio 7	187	42	185	25
Morales-bio 8	328	46	519	64
Morales-bio 9	2647	51	2141	53
Morales-bio 10	236	48	177	26

mediana = 46.5 32.5

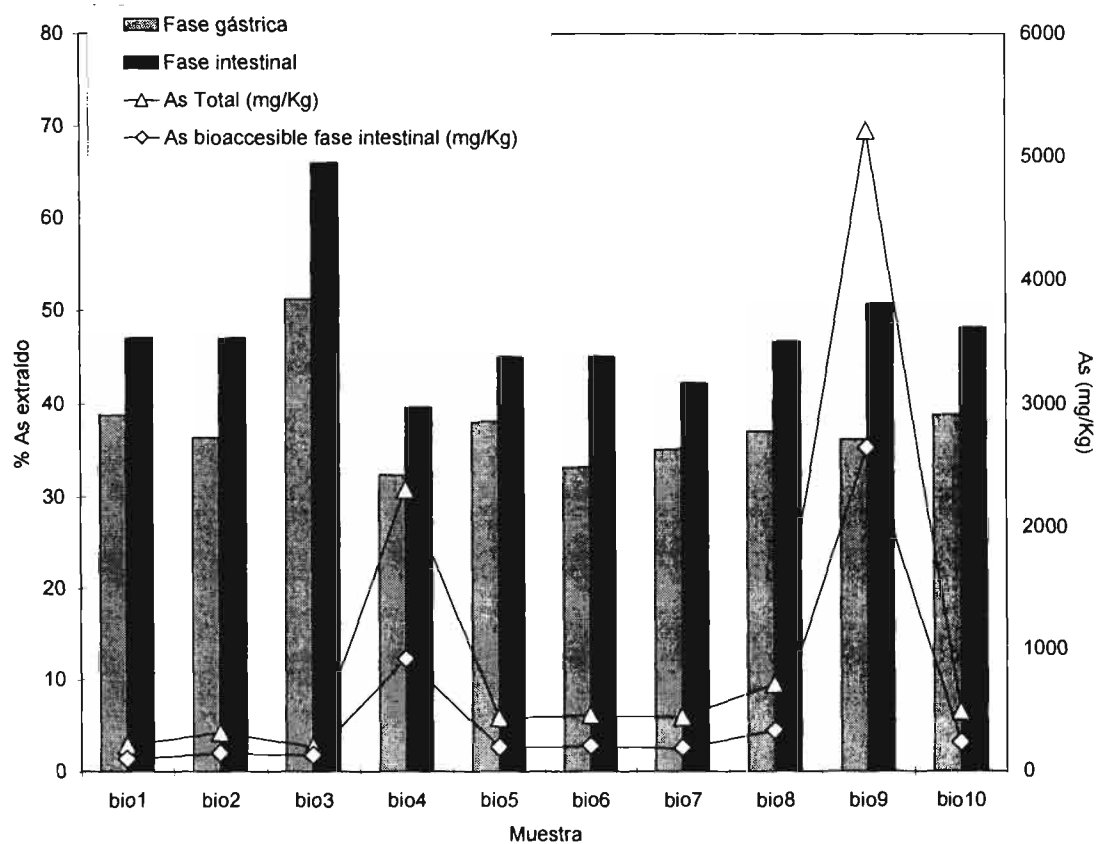
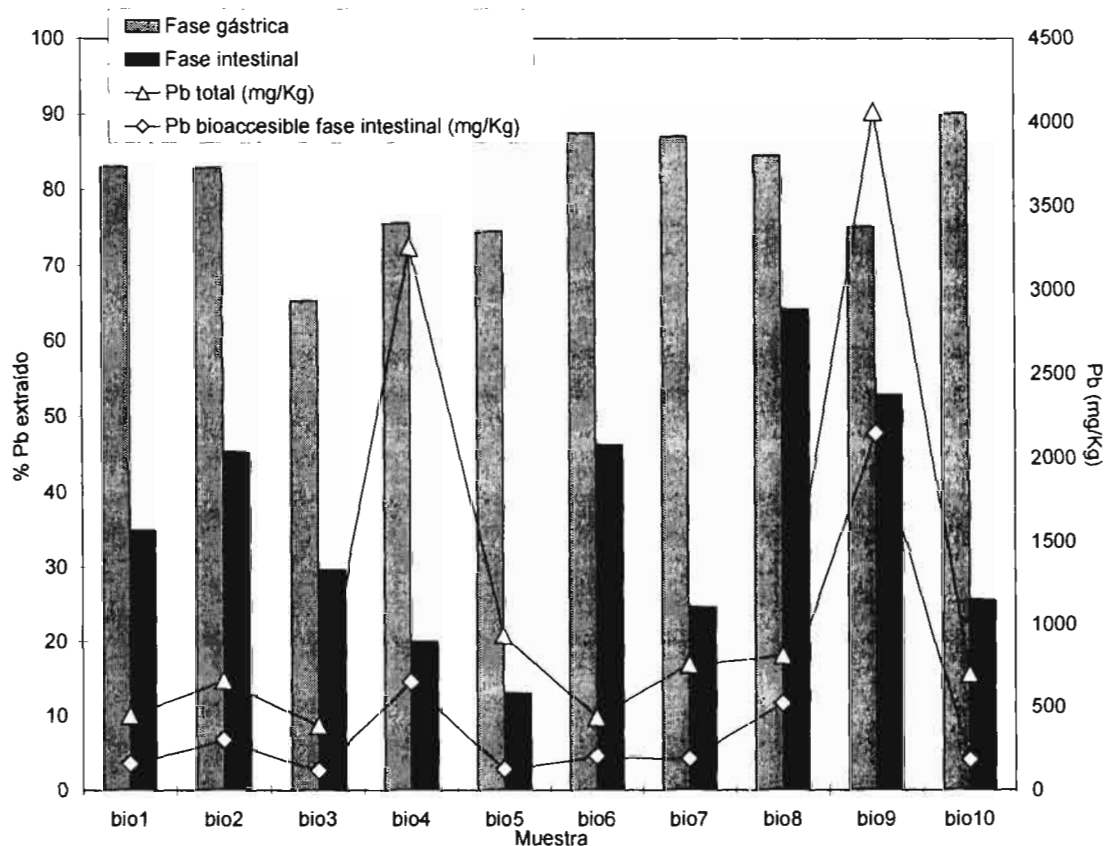


Figura 3. As extraído en las fases gástrica e intestinal. Fracción -600 µm.

Con respecto al Pb se encontró un porcentaje de bioaccesibilidad cercano al 30 %. Es importante señalar que la solubilidad de compuestos de Pb no sólo depende del pH, sino también de la concentración de aniones inorgánicos (cloruros y carbonatos, por ejemplo) y la presencia de compuestos orgánicos quelantes (Hem, 1992; WHO, 1995). Se sabe de la gran afinidad del Pb para formar complejos estables con compuestos orgánicos, por ejemplo, los que presentan grupos funcionales carboxílicos ( $R-COO^{-1}$ ), varios compuestos orgánicos de este tipo estuvieron presentes en la solución intestinal (se adicionó citrato de sodio, malato disódico, ácido láctico y ácido acético, todos estos compuestos presentan grupos funcionales carboxílicos) o con las sales biliares también presentes en el medio (Oomen *et al.*, 2003). Sin embargo, parte del Pb que se disolvió en la fase gástrica fue retirado de la solución seguramente por reacciones de precipitación que ocurrieron durante la neutralización, esto en parte pudo deberse al aumento en pH, pero también a la adición de iones carbonato (se utilizó  $NaHCO_3$  para neutralizar). Así, la amplia variación de bioaccesibilidad de Pb que se observa en las muestras (Figura 4) podría deberse en parte, a que estas reacciones de precipitación no fueron similares para todas las muestras ya que pudieron alcanzarse diferentes condiciones de equilibrio dependiendo de la cantidad de solución neutralizante adicionada o de la mineralogía de cada muestra (contenido de calcita,  $CaCO_3$ , por ejemplo).

Figura 4. Comparación del porcentaje de Pb extraído en las fases gástrica e intestinal. Resultados de la fracción 600  $\mu m$ .



En general, podemos concluir que los valores de bioaccesibilidad de Pb y As (%), son similares a valores reportados en sitios cercanos a fundiciones y que fueron evaluados por diferentes métodos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Datos sobre la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de As y Pb reportados para diferentes sitios metalúrgicos, obtenidos por métodos *in vivo* e *in vitro*.

% bioaccesibilidad o biodisponibilidad		Medio	Método empleado	Referencia
Pb	As			
35 a 68	-	Suelo	HCl 0.12 M (pH 1.19), 2 horas de extracción, temperatura ambiente	Rieuwerts <i>et al.</i> , 2000
40 a 82	-	Polvo casero		
5 a 20	-	Polvo	PBET, Fase intestinal	Oliver <i>et al.</i> , 1999
29 a 54	44 a 50	Suelo	PBET, Fase intestinal	Ruby <i>et al.</i> , 1996
-	11	Suelo	<i>in vivo</i> , primates	Freeman <i>et al.</i> , 1995
12	-	Suelo	PBET, Fase intestinal	Basta y Gradwhol, 2000
13 a 64	39 a 69	Suelo	PBET, Fase intestinal	Este trabajo

Un estudio realizado en muestras de suelo contaminado en antiguas áreas de fundición, empleando un método de extracción selectiva, demostró que la fracción más abundante de plomo estaría principalmente asociada a óxidos de plomo. Además, de acuerdo a la fracción intercambiable del área de la fundición (1-30 %), se demostró que el plomo tendría una elevada potencial biodisponibilidad dada la alta solubilidad encontrada (Li y Thornton, 2001).

En cuanto a la comparación del método "in vitro" con resultados "in vivo", se cuenta con un estudio efectuado en nuestros laboratorios donde hubo una excelente correlación entre la biodisponibilidad relativa del arsénico en rata con la accesibilidad del arsénico en la fase intestinal del método "in vitro" (Razo *et al.*, 2003). Los trabajos se realizaron con una muestra de suelos mineros, cuya complejidad química es superior a la de suelos metalúrgicos.

#### **Especies minerales registradas en las muestras de suelo.**

La identificación de especies minerales portadoras de Pb en los suelos de Morales por MEB y EDX aportó importante información que puede ser utilizada para explicar la elevada biodisponibilidad de Pb en estos suelos. La principal especie portadora de Pb encontrada correspondería a un probable sulfato complejo de plomo que presenta variables concentraciones de Fe, Cu, Zn, Cd y As. Una fase mineral similar a estos sulfatos de plomo ha sido encontrada y caracterizada previamente en partículas atmosféricas en las cercanías de la planta de fundición de IMMSA (Aragón *et al.*, 2000; Aragón *et al.*, 2002), las partículas encontradas en el suelo coinciden con las atmosféricas no sólo en composición sino también en morfología (B y C de Plantilla 1, A y B de Plantilla 3). Se sabe que la solubilidad de compuestos de Pb tipo sulfatos no es tan limitada comparándola con otros compuestos de

este metal, la constante de solubilidad de la anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ) es relativamente alta ( $\log K_{ps} = -7.7$ ) en comparación a la galena ( $\text{PbS}$ ) y la cerusita ( $\text{PbCO}_3$ ) ( $\log K_{ps} = -26.6$  y  $-12.8$ , respectivamente) (Hodson *et al.*, 2000). Esto podría explicar la razón por la que la ingestión de sulfuro de plomo (galena) generalmente resulta en una menor absorción, que la ingestión de óxidos y sulfatos de plomo (Steele *et al.*, 1990). Sin embargo, utilizando modelos animales (in vivo) se han reportado porcentajes de biodisponibilidad similares relacionadas a sulfuros, sulfatos y plomo metálico (<25%) (Casteel *et al.*, 2001). Se desconoce si la presencia de otros metales en la estructura de esta fase mineral (Fe, Cu, Zn, etc.) tiene un efecto positivo o negativo en la solubilidad del sulfato.

Es importante mencionar que también se encontraron fases minerales de Pb poco solubles como silicatos (B en Planilla 4) o que serían difíciles de disolver por encontrarse ocluidos en otras fases (A en Plantilla 4). Esta fracción de Pb probablemente poco soluble podría explicar el hecho de que no todo el Pb presente en los suelos de Morales se haya disuelto bajo las condiciones de la fase gástrica empleadas en el método PBET.

En cuanto al As, aún cuando este elemento se encontró presente en diferentes compuestos, la concentración de arsénico en estos compuestos (<10%) implicaría que estas no corresponden a la principal fase portadora de As. Esto es, en las preparaciones en probeta, el número y concentración de las partículas con arsénico no eran representativos de la concentración de arsénico en la muestra. Sin embargo, en las muestras observadas de manera directa (montadas en porta muestras de aluminio) fue posible identificar partículas de trióxido de arsénico (arsenolita). Es muy probable que esta fase mineral no haya podido ser observada en las probetas debido a su disolución durante la preparación de las muestras (se utilizó agua como lubricante durante el desbastado y pulido de las muestras). En un estudio realizado por Aragón *et al.*, (2000), se encontró que la principal fase mineral de As en polvo atmosférico recolectado en la Fracción Morales corresponde precisamente a la arsenolita ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ), pero a diferencia de las partículas atmosféricas observadas en ese estudio, las partículas de arsenolita encontradas en suelo presentan superficies con evidencias de alteración y/o erosión (A y B en Plantilla 5), debido seguramente a procesos de intemperismo por su exposición en el suelo. La disolución de arsenolita durante su permanencia en suelo implicaría además procesos de movilidad y precipitación de compuestos que podrían presentar una mayor estabilidad química, como arsenatos metálicos (C en Plantilla 5), o bien, el arsénico liberado en solución podría adsorberse en la superficie de ciertos minerales, principalmente de óxidos de hierro y en menor medida carbonatos, siendo nuevamente liberado al presentarse cambios químicos en las condiciones del medio (una disminución en el pH o en el potencial óxido-reducción, por ejemplo) (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

Aquí cabe mencionar que un estudio de suelos contaminados por arsénico donde el principal mineral portador era arsenolita reportó un rango de 20 a 50% de biodisponibilidad empleando modelos animales (Casteel *et al.*, 2001).

Es importante señalar que se requieren de estudios más detallados que tenga como objetivo determinar cual es la principal fracción de arsénico presente en los suelos de la Fracción Morales, para esto se propone realizar un conteo de partículas por MEB ya así determinar las abundancias relativas de minerales portadores de arsénico en suelo. Además, un estudio por extracción selectiva permitiría diferenciar la fracción de arsénico intercambiable de la fracción adsorbida y de la fracción residual (insoluble).

Otro aspecto importante encontrado en las partículas de Pb y As observadas, es el tamaño al cual se presentan. Durante el estudio por MEB, se observaron escasas partículas de tamaños mayores a 50  $\mu\text{m}$ ; esto junto con el incremento significativo en la concentración de metal total encontrado en la fracción  $< 53 \mu\text{m}$ , confirma que en los suelos de Morales estos elementos tóxicos se distribuyen principalmente en la fracción fina.

#### ANEXO 4.- Instrucciones de campo para estimar disturbio antropógeno.

##### ¿Dónde medir?

Una vez delimitada la zona de estudio debe elegirse un punto al azar a partir del cual se tenderán dos trayectos, uno perpendicular a la pendiente (trayecto horizontal) y uno paralelo a la misma (trayecto vertical). Si el sitio es plano, entonces bastará un solo trayecto. Se recomienda una longitud de 50 metros por trayecto, aunque es posible hacerlos más cortos en caso de que el área de estudio sea muy pequeña, siempre y cuando se tome esto en cuenta al calcular los indicadores. Un total de tres réplicas por sitio es deseable. **Sólo** los indicadores marcados con \* se deben registrar a lo largo del trayecto vertical.

##### Grupo 1: Ganadería

1) *Densidad de excretas de cabra u oveja (CABR)*: Registrar la presencia o ausencia de excretas en los 10 cuadros de 1 m<sup>2</sup>, sin importar la cantidad. *CABR* = número de cuadros con excretas entre número de cuadros revisados. Cuidado con las excretas de conejo, pues pueden confundirse, y no deben contarse.

2) *Densidad de excretas de ganado mayor (GANA)*: Equivalente a la variable anterior, pero se registran las excretas de cualquier otro animal doméstico.

3) *Fracción de plantas ramoneadas (RAMO)*: Revisar todas las plantas perennes (incluyendo arbustos, árboles, cactus, etc., pero no rosetófilas ni herbáceas) en una franja de 50m<sup>2</sup> buscando evidencia de ramoneo. *RAMO* = número de plantas ramoneadas entre el total de plantas revisadas. Si el ganado ha eliminado ya toda la vegetación, entonces *RAMO* = 1

4) *Caminos ganaderos (CAGA)\**: contar el número de caminos hechos por el ganado a lo largo del trayecto. No considerar caminos por lo que se desplaza también la gente. No considerar caminos de menos de 5 metros de largo. Se cuenta el número de veces que el trayecto cruza un camino, independientemente de si dos caminos se juntan en otra parte.

5) *Compactación del suelo por ganado (COMP)\**: Se ubica el camino ganadero más cercano al centro del trayecto, y en el sitio donde se cruzan el camino y el trayecto, enterrar 4 cm un tubo de PVC de 10 cm de diámetro. Se vierten 250 ml de agua y se registra el tiempo necesario para su completa infiltración. El procedimiento se repite en un sitio cercano donde no haya pisoteo de ganado (por ejemplo, bajo un nopal). *COMP* = tiempo de infiltración del camino entre el tiempo en el suelo intacto. Si no hay caminos ganaderos, o si el índice obtenido es menor que 1, entonces *COMP* = 1. No incluir caminos de tránsito humano. Debe cuidarse que no queden huecos por donde el agua pueda escaparse.

##### Grupo 2: Actividades humanas

6) *Fracción de plantas macheteadas (MACH)*: Se mide igual que *RAMO*, pero empleando aquellas plantas que muestren evidencia de haber sido cortadas o taladas.

7) *Evidencia de incendio (INCE)*: Si hay rastros tales como cortezas chamuscadas, carbón, etc. en **al menos** un trayecto, entonces *INCE* = 1, de lo contrario vale 0. No cuentan fogatas o fuegos que hayan tenido lugar dentro de milpas si haberse escapado a la vegetación natural.

8) *Cobertura de caminos humanos (CCHU)\**: Se mide el ancho de la zona donde los caminos utilizados por la gente (sin importar si también los emplea el ganado) se interceptan con el trayecto. No debe medirse el ancho del camino sin tomar en cuenta la dirección del trayecto. *CCHU* = longitud de la intercepción entre longitud del trayecto. En caso de que haya más de un camino, se emplea la suma de las intercepciones.

9) *Cercanía a poblaciones (POBL)*: Registrar la distancia entre el centro de la zona de estudio y el borde de la población más cercana en kilómetros. *POBL* = uno entre dicha distancia. Si la distancia es menor a un kilómetro, entonces *POBL* = 1.

10) *Adyacencia a núcleos de actividad (ADYA)*: Se define un núcleo de actividad humana a sitios tales como minas, milpas, carreteras asfaltadas (no terracerías) o capillas. Un trayecto está adyacente a estos sitios si se encuentra a menos de 200 metros. El mismo núcleo no debe tomarse en cuenta en



más de un trayecto, un dos núcleos debe contarse en el mismo trayecto. *ADYA* = número de trayectos adyacentes entre número de trayectos totales.

11) *Cambio de uso del suelo (USOS)*: Se registra la fracción de la superficie de la zona de estudio destinada a zonas urbanas, milpas, minas etc. Esto puede hacerse por medio de fotografía aérea, de mediciones de áreas en el campo, o por estimación visual. Se trata de una fracción, no un porcentaje, por lo que se expresa entre 0 y 1.

### Grupo 3: Deterioro del hábitat

12) *Erosión (EROS)*: Se seleccionan 20 puntos al azar sobre el trayecto, y en cada uno de ellos se registra si hay erosión. Se considera que hay erosión si se observan huellas dejadas por el material al ser arrastrado por el agua, si hay exposición de roca madre (sólo en el caso de que la roca esté expuesta por causas atribuibles al disturbio humano), o en caminos donde el tránsito o el agua han dejado surco. Cualquier tipo de cárcava se considera erosión. Un río, por el contrario, no, pues aunque cause erosión no es posible atribuirla al disturbio. *EROS* = número de puntos donde se registró erosión entre número de puntos revisados.

13) *Islas (ISLA)*: Los procesos erosivos severos aunados a grandes densidades de caminos ganaderos resultan en paisajes muy característicos en los cuales sólo se observan pequeños montículos de suelo cubiertos de vegetación en una matriz de suelo fuertemente erosionado y desnudo. Si se observa esto en más de la tercera parte de la zona de estudio entonces *ISLA* = 1.

14) *Superficie totalmente modificada (STOM)*: En algunos casos porciones de las zonas de estudio han sido tan modificadas que era imposible o carente de significado realizar las mediciones de los indicadores anteriores en ellas. Tal es el caso del interior de casas, carreteras asfaltadas, milpas, tiraderos de basura, canales de agua, canchas, cárcavas desnudas, etc. En tales casos debe registrarse la longitud del trayecto que intercepta estas zonas. *STOM* = longitud de la intercepción entre longitud del trayecto. En caso de que haya más de un camino, se emplea la suma de las intercepciones.

### Cálculo de la cantidad y calidad del disturbio

Una vez calculados los indicadores, se calcula el disturbio según la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Disturbio} = & 3.41 \text{ CABR} - 1.37 \text{ GANA} + 27.62 \text{ RAMO} + 49.20 \text{ CGAN} - 1.03 \text{ COMP} + 41.01 \text{ MACH} + \\ & 0.12 \text{ CCHU} + 24.17 \text{ POBL} + 8.98 \text{ ADYA} + 8.98 \text{ USOS} - 0.49 \text{ INCE} + 26.94 \text{ EROS} \\ & + 17.97 \text{ ISLA} + 26.97 \text{ STOM} + 0.2 \end{aligned}$$

Se espera que el valor se encuentre entre 0 y 100, pero es posible obtener datos ligeramente fuera de esta escala siempre que el sitio esté sumamente destruido o muy bien conservado. Cabe señalar que la escala no es lineal, de modo que una diferencia de diez puntos de disturbio puede ser sobresaliente si los sitios están bien conservados, pero imperceptible si el disturbio es severo.

Una forma de estimar el tipo de disturbio de la zona es aplicar la fórmula a los diferentes grupos de disturbio por separado, y dividir el resultado entre el disturbio total, multiplicando por 100. Esto estimará la contribución porcentual de cada grupo a la perturbación general de la zona.

**ANEXO 5.- Formato de campo para estimar disturbio antropógeno.**

**Formato de medición de disturbio**

Localidad \_\_\_\_\_

Réplica \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Colaboradores \_\_\_\_\_

**Transecto "horizontal"**

**Puntuales (si/no)**

metro	Cobertura			
	A	H	S	E
41.36				
42.15				
38.16				
39.93				
39.03				
6.14				
31.48				
6.10				
20.85				
49.62				
6.77				
32.68				
47.85				
30.01				
26.53				
43.56				
0.25				
25.63				
26.47				
37.48				

**Vegetación (conteo)**

macheteados	
ramoneados	
normales	

**Excretas (presencia/ausencia)**

metro	chivo/oveja	otros
19	_____	_____
20	_____	_____
14	_____	_____
45	_____	_____
13	_____	_____
3	_____	_____
39	_____	_____
6	_____	_____
2	_____	_____
7	_____	_____

Superficie totalmente modificada: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Transecto "vertical"**

**Caminos ganaderos (conteo)**

--	--

**Caminos (metros)**

_____
_____
_____
_____

**Compactación (segundos)**

Camino ganadero \_\_\_\_\_  
 Suelo normal \_\_\_\_\_

**Datos generales**

Cercanía a poblaciones (km) \_\_\_\_\_

Evidencia de incendio (si/no) \_\_\_\_\_ Presencia de "islas" (si/no) \_\_\_\_\_

Cambio de uso del suelo (% foto aérea) \_\_\_\_\_

Adyacente (100m) a sitios con cambio de uso del suelo (si/no) \_\_\_\_\_ Tipo: \_\_\_\_\_

Observaciones \_\_\_\_\_

Fuente: (Martorell y Peters, 2005)

# **ANEXO 3**



# Exposure to arsenic and lead of children living near a copper-smelter in San Luis Potosi, Mexico: Importance of soil contamination for exposure of children

Leticia Carrizales<sup>a</sup>, Israel Razo<sup>a</sup>, Jesús I. Téllez-Hernández<sup>a</sup>, Rocío Torres-Nerio<sup>a</sup>, Arturo Torres<sup>a</sup>, Lilia E. Batres<sup>a</sup>, Ana-Cristina Cubillas<sup>b</sup>, Fernando Díaz-Barriga<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Mexico

<sup>b</sup>Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Mexico

Received 25 February 2005; received in revised form 16 July 2005; accepted 28 July 2005

## Abstract

The objective of this study was to assess the levels of soil contamination and child exposure in areas next to a primary smelter (arsenic-copper metallurgical) located in the community of Morales in San Luis Potosi, Mexico. In Morales, 90% of the soil samples studied in this work were above 400 mg/kg of lead, and above 100 mg/kg of arsenic, which are guidelines recommended by the United States Environmental Protection Agency (EPA). Bioaccessibility of these metals was studied in vitro in 10 soil samples; the median values of bioaccessibility obtained in these samples were 46.5% and 32.5% for arsenic and lead. Since the concentrations of arsenic and lead in soil were above normal values, and taking into account the bioaccessibility results, exposure to these metals was evaluated in children. Regarding lead, children aged 3–6 years had the highest mean blood lead levels; furthermore, 90% of them had concentrations above 10 µg/dl (CDC's action level). Total urinary arsenic was higher in children aged 8–9 yr; however, the percentage of children with concentrations above 50 µg/g creatinine (CDC's action level) or 100 µg/g creatinine (World Health Organization [WHO] action level) was similar among different age groups. Using the EPA's integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children (IEUBK), we estimated that 87% of the total lead in blood is obtained from the soil/dust pathway. The exposure dose to arsenic, estimated for the children living in Morales using Monte Carlo analysis and the arsenic concentrations found in soil, was above the EPA's reference dose. With all these results, it is evident that studies are needed in order to identify adverse health effects in children living in Morales; nevertheless, it is more important to develop a risk reduction program as soon as possible.

© 2005 Elsevier Inc. All rights reserved.

**Keywords:** Lead; Arsenic; Smelters; Mexico; Bioaccessibility; Children's health

## 1. Introduction

For soil contamination, the most important sources of metals worldwide are mine tailings, smelter emissions, and atmospheric fallout (Nriagu and Pacyna, 1988). In fact, metal concentration in urban areas located in the vicinity of smelters has been shown to be higher than background levels. Arsenic, cadmium, and lead contamination have been reported in smelter areas located in different countries, among them Poland (Dunnette et al., 1994),

Russia (Bustueva et al., 1994), the United States (Hwang et al., 1997), Mexico (Benin et al., 1999; Díaz-Barriga et al., 1993), Bolivia (Díaz-Barriga et al., 1997a), Chile (Rivara et al., 1997), and Peru (Ramírez, 1986).

Considering that the main pathways of human exposure to metals in metallurgical areas are soil and air contamination, and taking into account the general toxicokinetics of these pollutants, it is easy to assume that children and pregnant women are the groups at highest risk in those areas. For children, soil contamination is an important pathway; thus, bioavailability of metals in soil is a factor that deserves special attention. It has been determined that lead acetate and lead oxide are more bioavailable than lead

\*Corresponding author. Fax: + 524 826 2354.  
E-mail address: fdia@uaslp.mx (F. Díaz-Barriga).

1 sulfide or lead ore concentrate (Dieter et al., 1993). These  
2 data are relevant, as it has been determined that in dust,  
3 lead oxide species are the dominant species associated with  
4 smelter operations (Spear et al., 1998). Furthermore, it has  
5 been reported that blood lead concentrations in exposed  
6 individuals are higher in smelter areas than in mining  
7 communities, where mine wastes are composed primarily  
8 of lead sulfide (Steele et al., 1990).

9 In the case of arsenic, bioavailability in smelter areas has  
10 been studied in monkeys (Freeman et al., 1995). The  
11 bioavailability of soil and house dust arsenic relative to  
12 soluble arsenic (by gavage) was between 10% and 30%,  
13 depending upon whether urinary or blood values were used  
14 (Freeman et al., 1995). This result is somewhat in  
15 agreement with a study done in vitro, where the  
16 bioaccessibility of arsenic in soil was reported to be in  
17 the range of 44–50% (Ruby et al., 1996).

18 Human exposure to metals has been reported in the  
19 vicinity of smelters. For example, high levels of urinary  
20 arsenic were found in children living around metallurgical  
21 plants located in Belgium (Buchet et al., 1980), Mexico  
22 (Díaz-Barriga et al., 1993), and the United States (Hwang  
23 et al., 1997; Milham and Strong, 1974; Morse et al., 1979),  
24 while blood lead levels above normal values have been  
25 reported for children and women living in smelter areas of  
26 Yugoslavia (Graziano et al., 1990; Wasserman et al., 1997),  
27 Mexico (Calderón-Salinas et al., 1996; Díaz-Barriga et al.,  
28 1997b), the United States (Landrigan and Baker, 1981), the  
29 Czech Republic (Cikrt et al., 1997), and Canada (Hilts et  
30 al., 1998), among others. Considering the toxicity of these  
31 metals (ATSDR, 1999; ATSDR, 2000), the levels of  
32 exposure suggest health risks that have justified remedia-  
33 tion programs in some smelter areas (Goulet et al., 1996;  
34 Hilts et al., 1998; Langlois et al., 1996).

35 In San Luis Potosi, Mexico, a smelter producing copper,  
36 lead, and arsenic is located within the urban area. Metal  
37 levels in air have decreased since a study of our group showed  
38 high levels of urinary arsenic in children (Díaz-Barriga et al.,  
39 1993), furthermore, the industry is working at 50% of its  
40 capacity. However, the historical accumulation of metals in  
41 soil (the industry has been operating since 1890) may be a risk  
42 for children living in the area. In this study we present data  
43 about the bioaccessibility of metals in soil and levels of  
44 urinary arsenic and lead in blood of children living next to  
45 this copper–arsenic smelter. We used the term “bioaccessi-  
46 bility” instead of “bioavailability,” as the first is the  
47 percentage of the total metal concentration that is extracted  
48 in gastric or intestinal phases in an “in vitro” system  
49 (described in methods), whereas bioavailability refers to  
50 studies done in different “in vivo” (animal or human) models.

## 51 2. Methods

### 52 2.1. Study areas

53 The site, which is known as “Morales,” is an urban area  
54 located within the city of San Luis Potosi, Mexico, 1860 m

55 above sea level. The study area was within 1.5 km of a  
56 smelter complex consisting of a copper–arsenic smelter 59  
57 (which also is producing lead as a by-product) and an  
58 electrolytic zinc refinery. As a result of our first study in the 61  
59 area (Díaz-Barriga et al., 1993), during 1990, the streets of  
60 Morales were paved and the contaminated soil in some  
61 areas was removed. Also, at that time, the smelter  
62 introduced control devices that decreased the emissions  
63 of metals. The source of drinking water is an aquifer  
64 located 100 m below ground level; arsenic and lead levels in  
65 this aquifer are within national guidelines. The mean  
66 temperature is 24.4 °C, and the annual precipitation is  
67 490 mm. About 19,000 inhabitants live in the study area,  
68 including 7000 children. 71

### 72 2.2. Environmental monitoring

73 A systematic sampling was undertaken within a 200-m  
74 grid in the area presumably impacted by the emissions of  
75 the smelter, located within 1.5 km of the stack. Areas  
76 repeatedly used by children were also included in the  
77 collection. Samples of surface soil (1–5 cm in depth) were  
78 obtained with a stainless steel scoop on an approximately  
79 1 m<sup>2</sup> surface area and stored in polyethylene bags. 81

### 82 2.3. Bioaccessibility of metals in soil

83 The physiologically based extraction test (PBET) was  
84 used to determine the As and Pb bioaccessible fraction in  
85 10 soil samples. This method establishes conditions  
86 simulating the gastric and intestinal phases of the digestion  
87 process by incorporating values of pH, temperature,  
88 chemical composition, and residence time (Ruby et al.,  
89 1993, 1996). The amount of metal extracted from soil  
90 under these conditions is similar to the amount of the metal  
91 in the ingested soil that would be available for absorption  
92 by the body after digestion. 93

94 Because of the prolonged time required to reach pH 7.0  
95 at the beginning of the intestinal phase according to the  
96 original procedure (2–3 h), in this work, the neutralization  
97 was performed by adding NaHCO<sub>3</sub> saturated solution as  
98 showed by Rodríguez et al. (1999). The gastric solution pH  
99 was 1.3 and the solution of this phase was sampled an hour  
100 after the test started; intestinal solution was sampled 3 h  
101 after neutralization. Arsenic and lead chemical analyses  
102 were made from both gastric and intestinal solution  
103 samples. The bioaccessibility is expressed as the percentage  
104 of the total concentration that was extracted in gastric or  
105 intestinal phases. 107

### 108 2.4. Gastric phase

109 The gastric solution was prepared dissolving by 1.25 g  
110 porcine pepsin, 0.50 g sodium citrate, 0.50 g sodium malate,  
111 420 µL lactic acid, and 500 µL of acetic acid in 1 L of  
112 deionized water: pH was adjusted to 1.3 using concentrated  
113 HCl. Fifty milliliters of gastric solution was placed in a 250-

1 mL polyethylene funnel to which 0.5 g of soil sample was added. The funnel was kept submerged in a water bath with controlled temperature at 37 °C. The mixture stayed at rest for the first 10 min before beginning the agitation by constant flow of 1 L argon/min at the bottom of the funnel. Five minutes after the initiation of agitation and then every 10 min, pH was adjusted to 1.3 by adding concentrated HCL when necessary. One hour after the initiation the gastric phase, the agitation stopped and a 10-mL solution sample was extracted, which was then filtered with 11- $\mu$ m pore diameter Whatman filter paper. Sample was preserved by adding concentrated HNO<sub>3</sub> and maintained under refrigeration until chemical analysis. The sample solution volume was compensated adding an equal amount of original gastric solution.

### 2.5. Intestinal phase

To continue with the intestinal phase, a NaHCO<sub>3</sub> saturated solution was added slowly to gastric solution until reaching pH of 7.0. Then 87.5 mg biliary salts and 25.0 mg pancreatina were added. At this point, agitation was reinitiated and maintained until the end of the extraction 3 h later, recovering at this time the rest of the solution under the same procedure used in the gastric solution.

### 2.6. Biological monitoring

Children attending schools in the area were selected at random from those families that agreed to participate. Healthy children who had at least 2 yr of residence in their particular area (within 1.5 km of the smelters) were considered for the study. All parents filled out an exposure questionnaire. Blood was obtained by venous puncture using lead-free tubes containing EDTA as anticoagulant. First void urine samples were collected, stored in plastic bottles, and kept frozen until analysis.

### 2.7. Analytical methods

Lead in blood was analyzed with matrix modifier (diammonium hydrogenphosphate–Triton X-100 in the presence of 0.2% nitric acid) according to Subramanian (1987) and the samples were analyzed with a Perkin–Elmer 3110 atomic absorption spectrophotometer using a gra-

phite furnace. An aliquot of urine (0.5–3.0 mL) was wet digested with nitric, sulfuric, and perchloric acids according to Cox (1980). Soil samples were oven dried at 30 °C for 1 to 2 days. The <600- $\mu$ m fraction was separated with a 28 mesh Tyler Series sieve. Soil samples were acid digested (HNO<sub>3</sub> 25%) for 30 min under 80 psi pressure using a CEM MDS-2000 microwave extraction system. After digestion, the extracted solution was filtered through Whatman filter paper with 11  $\mu$ m pore diameter. Analyses for lead in soil were carried out by flame atomic absorption spectrometry using a Varian Spectra AA 220 atomic absorption spectrometer; arsenic (either in urinary or soil samples) was analyzed by flame atomic absorption spectrometry using a Perkin–Elmer *Aanalyst 100* atomic absorption spectrometer coupled to a Perkin–Elmer *FIAS 100* hydride generation system.

### 2.8. Quality control considerations

Analysis of primary standard reference material in each run was conducted as an internal quality control. For soil, NIST-SRM 2710 (Montana soil) was used with recovery of 98% for lead and 97% for arsenic. At the time of the study, our laboratory was participating in the blood lead proficiency testing program of the Centers for Disease Control (CDC), and in the Interlaboratory Comparison Program organized by the Centre de Toxicologie du Québec for urinary arsenic and lead in blood. Each sample was analyzed in duplicate. Distilled–deionized water was used for all analytical work, and glassware and other materials were soaked in 10% nitric acid, rinsed with doubly distilled water, and dried before use.

### 2.9. Estimates of lead exposure

EPA's integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children (IEUBK) was used to estimate lead exposure. Results using IEUBK were obtained under the following conditions: Air: Pb in air 0.76  $\mu$ g/m<sup>3</sup> (data from Morales according to the Mexican government). Time spent outdoors 4 h/day. Diet: 9.3  $\mu$ g/dia (Batres et al., 1995). Water: Pb in water 6.4  $\mu$ g/L and 1 L/day of water ingestion. Soil: Pb in soil 1122 mg/kg (median value of the results depicted in Table 1), Pb in dust 861 mg/kg (data given by the IEUBK in the multiple source analysis option), and 200 mg/day of soil ingestion (ATSDR,

Table 1  
Arsenic and lead levels in surface soil (mg/kg)

	<i>n</i>	Mean	SD	Min	Max	% > 400 mg/kg	% > 1200 mg/kg
Lead	71	1450	1593	195	12,600	91	48
Arsenic	<i>n</i>	Mean	SD	Min	Max	% > 100 mg/kg	% > 1000 mg/kg
	95	791	798	17	4424	92	27

Note: Results are depicted as the arithmetic mean (SD) standard deviation. The minimum (min) and maximum (max) concentrations found in the samples are also shown. In the last two columns the percentages of samples above the corresponding reference value are presented.

1 2001). Bioavailability: 30% (default value in the IEUBK).  
 2 We did not include exposure to lead-glazed pottery, as 70%  
 3 of the children in the smelter area did not consume food  
 4 cooked in this pottery.

5

7

### 2.10. Statistical analysis

9

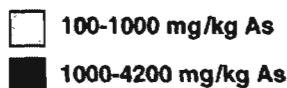

10 The distribution of blood lead levels (PbB) and urinary  
 11 arsenic concentrations (AsU) were skewed; therefore,  
 12 values were log transformed for statistical analysis.  
 13 Differences in PbB between age groups according to use  
 14 of lead-glazed pottery were examined by the Student *t*-test.

15

17

19

21

22  100-1000 mg/kg As  
 23  1000-4200 mg/kg As

23

25

27

29

31

33

35

37

39

41

43

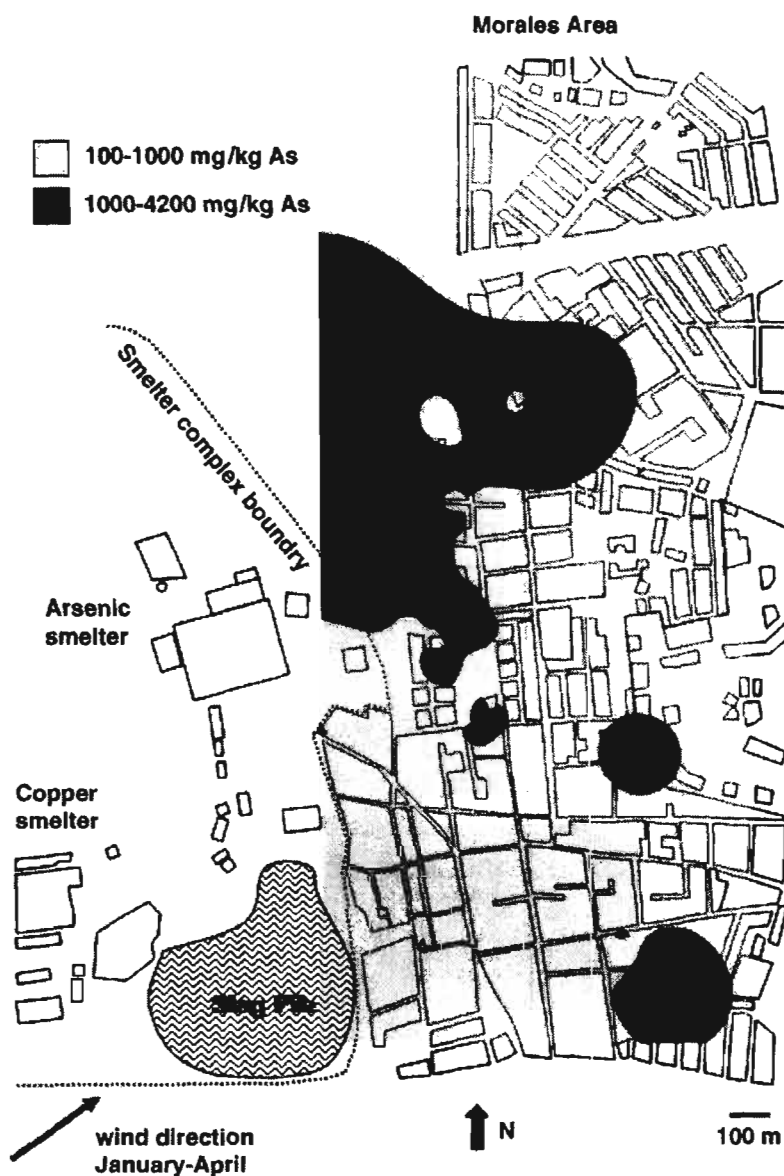
45

47

49

51

53



55

56 Fig. 1. Contour maps corresponding to spatial distribution for arsenic in soil according to 200 m grid surface soil sampling. Mapping by Surfer 7.0  
 57 (Golden Software, Inc., USA) using distance inverse to a power interpolation method. Results depicted in Table 1 were used for the construction of this  
 58 map.

Probabilistic risk assessment was performed by Monte  
 Carlo analysis using Crystal Ball v5.5.

59

61

63

### 3. Results

As is shown in Table 1, high concentration levels of lead  
 and arsenic in soil samples were found. Ninety percent of  
 the samples were above 400 mg/kg of lead, and above  
 100 mg/kg of arsenic, which are intervention guidelines  
 recommended by the United States Environmental Protec-  
 tion Agency (USEPA) (EPA, 1990, 2001). A distribution of  
 the concentrations of arsenic and lead in the urban area  
 can be observed in Figs. 1 and 2. It is important to note

65

67

69

71

73

75

77

79

81

83

85

87

89

91

93

95

97

99

101

103

105

107

109

111

113

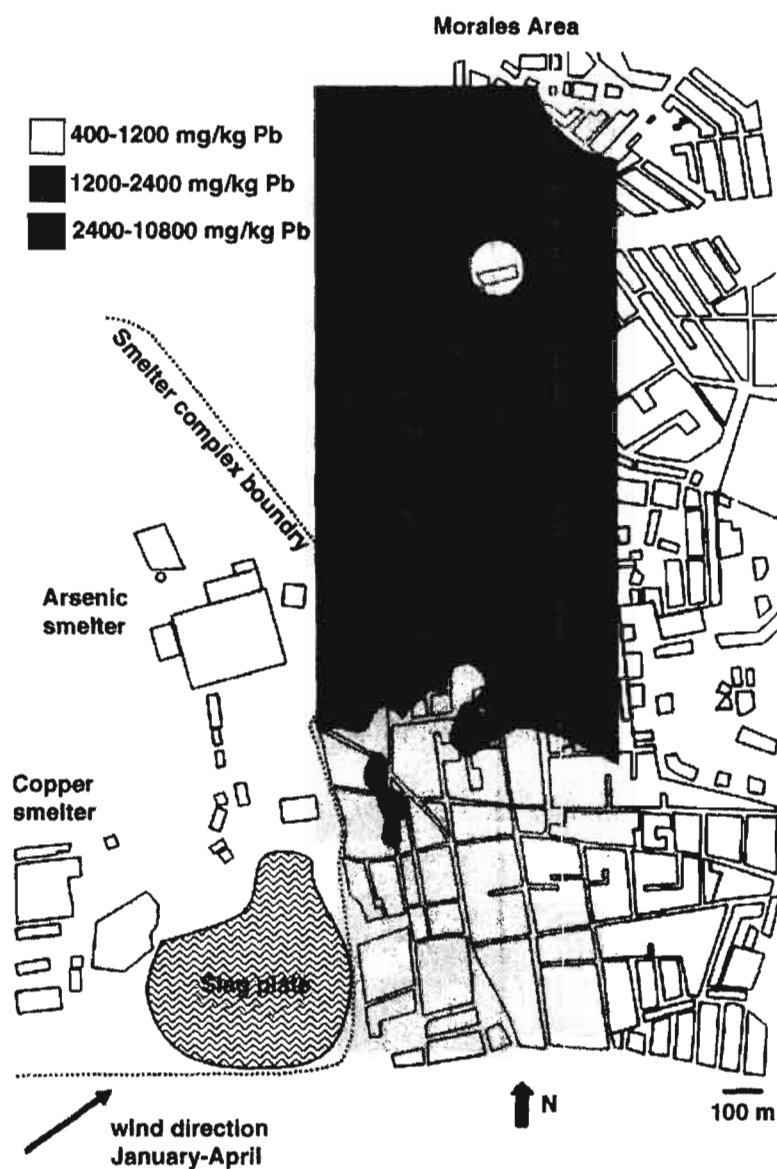


Fig. 2. Contour maps corresponding to spatial distribution for lead in soil according to 200 m grid surface soil sampling. Mapping by Surfer 7.0 (Golden Software, Inc., USA) using distance inverse to a power interpolation method. Results depicted in Table 1 were used for the construction of this map.

that the concentration of arsenic and lead in soil samples was three times higher in a soil particle size  $< 50 \mu\text{m}$ , when compared to particles size  $< 600 \mu\text{m}$  (data not shown).

Bioaccessibility was assessed in vitro as stated in Methods. In Table 2 the results of the intestinal phase in 10 samples are presented. It can be observed that arsenic and lead are bioaccessible, and in general, similar percentages of bioaccessibility were observed in the samples. The median values for the percentage of bioaccessibility obtained in these samples were 46.5 and 32.5 for arsenic and lead, respectively. In Figs. 3 and 4 we present the percentages obtained in both the gastric and the intestinal phases. For arsenic, both phases gave similar results; however, more lead was extracted in the gastric phase. The amount of lead or arsenic extracted, in either

the gastric or the intestinal phases, and the total concentration of the metal in the original soil sample, presented a high correlation coefficient ( $r = 0.875$ ); thus, the percentage of bioaccessibility for both elements was independent of the total concentration in the soil samples (Figs. 3 and 4). The percentage of bioaccessibility was also independent of the soil particle size ( $2000 \mu\text{m}$  vs.  $600 \mu\text{m}$ , data not shown).

Since the concentrations of arsenic and lead in soil were above normal values, and taking into account the bioaccessibility results, exposure to these metals was assessed in children. Regarding lead, children aged 3–6 yr had the highest mean blood lead levels (Table 3); furthermore, 90% of them had concentration above  $10 \mu\text{g/dl}$  (CDCs action level) (CDC, 1991), and 27% were



1 Table 2  
Bioaccessibility of the arsenic and lead present in surface soil samples

Sample	Total concentration (mg/kg) in surface soil		Intestinal bioaccessibility (%)	
	As	Pb	As	Pb
1	214	448	47	35
2	318	660	47	45
3	202	391	66	30
4	2310	3258	39	20
5	436	936	45	13
6	457	437	45	46
7	443	756	42	25
8	710	810	46	64
9	5214	4062	51	53
10	489	696	48	26
Median			46	32

Table 3  
Blood lead levels in children living in Morales (µg/dl)

Age	n	G Mean	Min	Max	% > 5	% > 10	% > 20
3–6	30	14.8	5.5	26.4	100	90	27
6–7	62	11.5	3.3	28.0	94	65	5
8–9	43	10.2	2.2	20.1	91	48	2
>9	64	10.6	2.4	24.6	94	56	3

Note: Children aged 3–11 yr were studied. Results are depicted as the geometric mean. The minimum (min) and maximum (max) concentrations found in the samples are also shown. In the last three columns the percentage of children with levels above the corresponding reference value in µg/dl are presented. A geometric mean level of 4.9 µg/dl was found in 229 children living in nine nonsmelter and nonmining areas of Mexico (Diaz-Barriga et al., 2004). According to the World Health Organization, blood lead levels of 10–15 µg/dl are considered as “level of concern” (IPCS, 1995).

Note: Bioaccessibility is expressed as the percentage of the total concentration that was extracted in the intestinal phase.

Table 4  
Urinary arsenic in children living in Morales (µg/g creatinine)

Age	n	G Mean	Min	Max	% > 50	% > 100
3–6	30	44	12	230	33	17
6–7	63	51	12	274	49	16
8–9	45	80	7	342	47	18
>9	70	46	6	231	31	7

Note: Children aged 3–11 yr were studied. Results are depicted as the geometric mean. The minimum (min) and maximum (max) concentrations found in the samples are also shown. In the last two columns the percentage of children with levels above the corresponding reference value in µg/g creatinine are presented. A geometric mean level of 20.4 µg/g creatinine was found in 229 children living in nine nonsmelter and nonmining areas of Mexico (Diaz-Barriga et al., 2004).

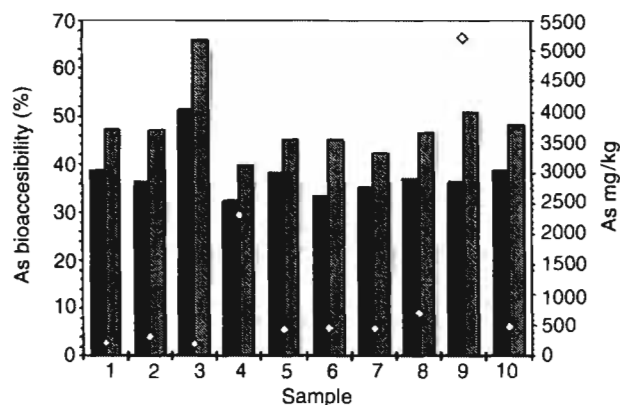


Fig. 3. Comparison between gastric and intestinal As bioaccessibilities in surface soil samples. Results were obtained as described in Methods. (gray) Gastric phase; (black) intestinal phase; (◇) total arsenic.

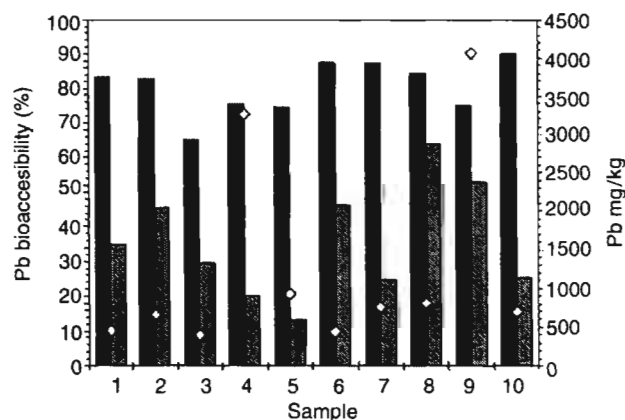


Fig. 4. Comparison between gastric and intestinal Pb bioaccessibilities in surface soil samples. Results were obtained as described in Methods. (gray) Gastric phase; (black) intestinal phase; (◇) total lead.

above 20 µg/dl. In 141 of the studied children 65% reported that they were not exposed to lead-glazed pottery and they had a mean lead level of 9.5 µg/dl, a level significantly lower than those found in children who were exposed to this kind of pottery (10.9 µg/dl). Total urinary arsenic was higher in children aged 8–9 yr (Table 4); however, the percentage of children with concentrations above the guidelines of 50 µg/g creatinine (Belson et al., 2005) or 100 µg/g creatinine (Hwang et al., 1997) was similar among age groups (Table 4).

In order to learn more about soil as a source of lead for children living in Morales, we used the IEUBK. Using values shown in Table 5, we calculated blood lead levels for children aged 3–6 yr. In the same table, we present a comparison between the blood lead levels calculated by the model and the real blood lead levels found in children living in the vicinity of the smelter. It can be observed that a good correlation was obtained between them. According to IEUBK's data, 87% of the total lead in blood is obtained from the soil/dust pathway. As soil was important for lead, through Monte Carlo analysis we assessed the exposure to arsenic using the formulae and considerations depicted in Table 6. It can be observed that the exposure dose in one-third of the children is five times higher than

the reference dose; furthermore, 10% of the population has a risk quotient of 9.

#### 4. Discussion

Taking into account the risk associated with smelter emissions, a health assessment was performed in the urban area located in the vicinity of a copper-arsenic smelter in Morales, San Luis Potosi, Mexico. In this work we found that in Morales, lead and arsenic concentrations were above normal values in surface soil. In several smelter sites, including Morales (Díaz-Barriga et al., 1993), an inverse correlation has been reported between metal levels in soil and distance from the smelter site (Benin et al., 1999; Cikt et al., 1997; Hwang et al., 1997; Milham and Strong, 1974). In this work, we showed that in Morales, at the same distance from the smelter stack, the northern area was more contaminated than the southern area (Figs. 1 and 2). This difference can be explained by the prevailing wind direction. Furthermore, when compared to other smelter

sites, arsenic levels in soil in north Morales were higher than EPA's guideline and than those found in a former copper smelter site (Hwang et al., 1997) or in an active arsenic smelter site (Polissar et al., 1990). In relation to lead levels, the mean concentration in North Morales was similar to the mean concentration found in the vicinity of lead smelters (Benin et al., 1999) and it was higher than the EPA guideline.

Considering the environmental concentrations that were found around the smelter studied in this work, bioavailability became an important issue to explore. In the literature there are several reports about methodologies for the analysis of this subject (Oomen et al., 2002). We selected the one described by Ruby et al. (1993, 1996), as this method establishes conditions that simulate gastric and intestinal phases of the digestion process, by incorporating values of pH, temperature, chemical composition, and residence time. In this work, we are reporting a lead bioaccessibility of 13–64% and 39–69% for arsenic. These results are in agreement with those obtained by different authors in soils collected in smelter areas. For example, Rieuwerts et al. (2000) have reported a lead bioaccessibility of 35–68%, whereas Ruby et al. (1996) reported one of 29–54%. In regard to arsenic, Ruby et al. (1996) reported 44–50%. However, it is important to consider that in a primate model the bioavailability of arsenic in a smelter soil relative to soluble As (by gavage) was between 10% and 30%, depending upon whether urinary or blood values were used (Freeman et al., 1995). Thus, this bioavailability was somewhat lower than the bioaccessibility measured in this work. Without knowing the exact composition of the arsenical particles in the soils used in the studies, it is difficult to obtain an explanation of these findings.

Table 5

Blood lead levels in children living in Morales: comparison between the real values and those obtained with the IEUBK ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )

Age	Real values			IEUBK		
	G mean	% > 10	% > 20	G mean	% > 10	% > 20
3–6	14.8	90	27	16.0	84	16

Note: Results are depicted as the geometric mean. In the next two columns the percentage of children with levels above the reference value in  $\mu\text{g}/\text{dl}$  are presented. Real values were obtained from those shown in Table 3. IEUBK information was obtained as stated in Methods.

Table 6

Exposure dose estimated using arsenic levels in soil samples

$$\text{Exposure dose} = \frac{\text{Soil concentration} \times \text{ingestion rate} \times \text{exposure factor} \times \text{bioavailability}}{\text{Body weight} \times \text{conversion factor}}$$

$$\text{Risk quotient} = \frac{\text{Exposure dose}}{\text{Reference dose}}$$

Considerations

Parameter	Comments	Distribution	n	Min:mun	Maximun	Mean	SD
As in soil (mg/kg)	Table 1	Normal	95	17.4	4424.2	791.5	798.26
Bioavailability	Table 2	log normal	10	0.39	0.66	0.48	0.07
Soil ingestion (mg/day)	EPA (2002)	Triangle		100	400	200.0	
Body weight (kg)	<sup>a</sup>	Log Normal	54	15.0	46.0	22.3	4.82
Exposure factor	<sup>b</sup>	Single				0.27	
RfD as oral (mg/kg-day)	EPA (2005)					0.0003	
Percentage of children at risk							
Risk quotient	% children						
> 1	74.8						
> 2	63.7						
> 5	31.8						
> 9	10.0						

<sup>a</sup>Body weight of 54 children living in the studied area.

<sup>b</sup>Exposure factor = 6 h per day Monday to Friday and 8 h per day during the weekend =  $46/168 = 0.27$ .

1 Exposure was assessed using biomarkers. With regard to  
 lead, levels found in children's blood were higher than the  
 3 CDC guideline and the Mexican background levels (Table  
 3). Furthermore, taking into account that recently blood  
 5 lead concentrations, even those below 10 µg per deciliter,  
 have been shown to be inversely associated with children's  
 7 IQ score (Canfield et al., 2003) and considering that lead  
 may also delay growth and pubertal development in girls at  
 9 concentrations lower than 10 µg/dl (Selevan et al., 2003),  
 our results denote a considerable health risk for children  
 11 living in the vicinity of the smelter.

Urinary arsenic was also quantified in children living less  
 13 than 1.5 km from the smelters. Total arsenic was deter-  
 mined in urine, taking into account that seafood is not an  
 15 important dietary component in the communities that were  
 studied. It has been claimed that total arsenic measure-  
 17 ments are less valid as a biological indicator of exposure to  
 inorganic arsenic than urinary arsenic speciation (Polissar  
 19 et al., 1990). However, this assumption may be applicable  
 only to communities where fish consumption, a source of  
 21 methylated arsenic, is an important component of the diet.  
 We have previously shown that, for the smelter site in  
 23 Morales, total arsenic in urine was a good indicator of  
 exposure, as an inverse correlation was found between  
 25 urinary arsenic and distance to the smelter (Díaz-Barriga et  
 al., 1993). In this work, results showed that children are  
 27 exposed to arsenic in the studied area (Table 4). It is  
 important to note that recently our group has reported  
 29 increased DNA damage in children exposed to arsenic  
 (Díaz-Barriga et al., 2004), whereas arsenic-induced effects  
 31 on neurobehavioral development have been reported in  
 adolescents (Tsai et al., 2003)

33 We have shown that children in Morales are simulta-  
 neously exposed to arsenic and lead, and although no  
 35 attempts to systematically measure health effects were  
 made, the data in the present work suggest that if  
 37 exposures continue, children could suffer adverse health  
 effects. Whether or not the interaction between lead and  
 39 arsenic may have toxicological relevance for the exposed  
 children is a matter that deserves further research;  
 41 however, we have previously shown (Mejía et al., 1997),  
 in rats treated with the mixture arsenic+lead, a 38%  
 43 decrease of norepinephrine in the hippocampus and  
 increases of serotonin in midbrain and frontal cortex  
 45 (100% and 90%, respectively) over control values. These  
 alterations were not elicited by either metal alone.  
 47 Furthermore, preliminary results of our group have shown  
 neuropsychological effects associated with arsenic and lead  
 49 exposures in children living in Morales (Calderón et al.,  
 2001); whereas, in smelter towns, associations between lead  
 51 exposure and neurological endpoints have been reported  
 (Baghurst et al., 1992; Baghurst et al., 1995; Factor-Litvak  
 53 et al., 1999; Wasserman et al., 1997).

It is evident that studies are needed to identify adverse  
 55 health effects in children living in Morales; nevertheless, it  
 is more important to develop risk reduction programs. For  
 57 example, in Morales, the reduction of metal concentrations

in soil is urgently needed, as in this work we showed that  
 soil is an important pathway of exposure for children living  
 59 in the smelter area. Risk-reduction programs have to  
 include the collection of street dust, as preliminary results  
 61 with nine street dust samples showed a mean arsenic level  
 of 387 mg/kg and a mean lead level of 911 mg/kg;  
 63 interestingly, the bioaccessibility of these metals in these  
 samples was similar to that found for soil samples (data not  
 65 shown). Small particles, such as those found in street-dust,  
 are easily inhaled or ingested by hand-to-mouth activity.  
 67 Hand-to-mouth activity is more pronounced in young  
 children and this may be an explanation for the observa-  
 69 tion that the highest mean blood lead was found in young  
 children, 3–6 yr of age. Regarding arsenic in urine, no such  
 71 relationship could be demonstrated; a possible explanation  
 may be that according to data published by the Mexican  
 73 government, arsenic air concentrations in the smelter area  
 are higher than lead levels. Thus, inhalation, an age-  
 75 independent pathway, can be a more important route of  
 exposure for arsenic than it is for lead. 77

Children are different from adults, both in patterns of  
 exposure to environmental risk and in their responses. 79  
 With the recognition of the special vulnerability of  
 children, it is better to prevent environmental diseases in  
 81 children than to treat them. In developed countries, it has  
 been reported that when more than 14% of children had  
 83 elevated blood lead levels, the economic benefits of  
 universal screening exceeded the costs (CDC, 1997). 85  
 Among the economic benefits of reducing blood lead  
 levels, the authors of that study included three main  
 87 categories: (A) improvements in lifetime earnings attribu-  
 table to reductions in lead-induced problems with intelli-  
 89 gence or behavior; (B) reduction in lead-related special-  
 education costs; and (C) economic benefits of identifying  
 91 and fixing dangerous housing so that other people are not  
 exposed to lead. The only difference in developing  
 93 countries would be to ask whether it is convenient to  
 invest in remediating the overexposure to metals in a  
 95 community where a greater beneficial impact on health  
 might be achieved by investment in general sanitation. In  
 97 our opinion, the answer to this question is affirmative, and  
 studies such as the present one are important, as they  
 99 identify the critical pathways of exposure, and at the same  
 time, they give social justification for investment in risk  
 101 reduction programs. In 1999, a surveillance program was  
 developed, and negotiations to start a remediation  
 103 program in the area are imminent. Remediation actions  
 will include playgrounds, school yards, and other places  
 105 where children play outdoors. Contaminated soil will be  
 removed or covered by un-contaminated soil; furthermore,  
 107 street dust will be collected.

#### Acknowledgments

This work was supported by a grant from the Consejo  
 Nacional de Ciencia y Tecnología, Sistema de Investiga-  
 111 ción Miguel Hidalgo (RN-27/96). 113

1 **References**

- 3 ATSDR, 1999. Toxicological Profile for Lead. Agency for Toxic  
Substances and Disease Registry, Atlanta, GA.
- 5 ATSDR, 2000. Toxicological Profile for Arsenic. Agency for Toxic  
Substances and Disease Registry, Atlanta, GA.
- 7 ATSDR, 2001. Public Health Assessment Guidance Manual. Agency for  
Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA.
- 9 Baghurst, P.A., McMichael, A.J., Wigg, N.R., Vimpani, G.V., Robertson,  
E.F., Roberts, R.J., Tong, S.L., 1992. Environmental exposure to lead  
and children's intelligence at the age of seven years. The port pirie  
cohort study. *N. Engl. J. Med.* 327, 1279-1284.
- 11 Baghurst, P.A., McMichael, A.J., Tong, S., Wigg, N.R., Vimpani, G.V.,  
Robertson, E.F., 1995. Exposure to environmental lead and visual-  
motor integration at age 7 years. The Port Pirie cohort study.  
*Epidemiology* 6, 104-109.
- 13 Batres, L., Carrizales, L., Calderón, J., Diaz-Barriga, F., 1995. Participa-  
ción del barro vidriado en la exposición infantil al plomo en una  
comunidad industrial expuesta ambientalmente a este metal. In:  
Hernández, M., Palazuelos, E. (Eds.), *Intoxicación por plomo en  
México: prevención y control*. Instituto Nacional de Salud Pública y  
Departamento de Distrito Federal, pp. 175-185.
- 15 Belson, M.G., Schier, J.G., Patel, M.M., 2005. Case definitions for  
chemical poisoning. *MMWR* 54, 1-24.
- 17 Benin, A., Sargent, J.D., Dalton, M., Roda, S., 1999. High concentrations  
of heavy metals in neighborhoods near ore smelters in Northern  
Mexico. *Environ. Health Perspect.* 107, 279-284.
- 19 Buchet, J.P., Roels, H., Lauwercys, R., Bruaux, P., Clacys-Thoreau, F.,  
Lafontaine, A., Verduyn, G., 1980. Repeated surveillance of exposure  
to cadmium, manganese, and arsenic in school-age children living in  
rural, urban, and nonferrous smelter areas in Belgium. *Environ. Res.*  
22, 95-108.
- 21 Bustueva, K.A., Revich, B.A., Bezpalko, L.E., 1994. Cadmium in the  
environment of three Russian cities and in human hair and urine.  
*Arch. Environ. Health* 49, 284-288.
- 23 Calderón, J., Navarro, M.E., Jiménez-Capdeville, M.E., Santos-Díaz,  
M.A., Golden, A., Rodríguez-Leyva, I., Borja-Aburto, V.H., Diaz-  
Barriga, F., 2001. Exposure to arsenic and lead and neuropsycholog-  
ical development in Mexican children. *Environ. Res.* 85, 69-76.
- 25 Calderón-Salinas, J.V., Valdéz-Anaya, B., Mazuñiga-Charles, Albores-  
Medina, A., 1996. Lead exposure in a population of Mexican children.  
*Hum. Exp. Toxicol.* 15, 305-311.
- 27 Canfield, R.L., Henderson, C.R., Cory-Slechta, D.A., Cox, C., Jusko,  
T.A., Lanphear, B.P., 2003. Intellectual impairment in children with  
blood lead concentrations below 10 µg per deciliter. *N. Engl. J. Med.*  
348, 1517-1526.
- 29 CDC, 1991. Preventing Lead Poisoning in Young Children. US  
Department of Health and Human Services, Centers for Disease  
Control and Prevention, Atlanta, GA.
- 31 CDC, 1997. Costs and benefits of a universal screening program for  
elevated blood lead levels in 1-year-old-children. In: *Screening Young  
Children for Lead Poisoning, Guidance for State and Local Public  
Health Officials*. Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta,  
GA, pp. 1-19 Appendix B-4.
- 33 Cíkr, M., Smerhovský, Z., Blaha, K., Nerudová, J., Sediva, V.,  
Fornusková, H., Knotkova, J., Roth, Z., Kodl, M., Fitzgerald, E.,  
1997. Biological monitoring of child lead exposure in the Czech  
Republic. *Environ. Health Perspect.* 105, 406-411.
- 35 Cox, D.H., 1980. Arsenic evolution-electrothermal atomic absorption  
method for the determination of nanogram levels of total arsenic in  
urine and water. *J. Anal. Toxicol.* 4, 207-211.
- 37 Diaz-Barriga, F., Santos, M.A., Mejía, J.J., Batres, L., Yáñez, L.,  
Carrizales, L., Vera, E., Del Razo, L.M., Cebrian, M.E., 1993. Arsenic  
and cadmium absorption in children living near a smelter complex in  
San Luis Potosí, Mexico. *Environ. Res.* 62, 242-250.
- 39 Diaz-Barriga, F., Carrizales, L., Hamel, J., Paz, E., Calderón, J., Galvao,  
L., Caldas, L.Q., McConnell, R., 1997a. Evaluación Preliminar del  
Riesgo en Salud. Zona Metalúrgica de Vinto, Oruro, Bolivia. In: Diaz-  
Barriga, F. (Ed.), *Evaluación de Riesgos para la Salud en la Población  
Expuesta a Metales en Bolivia*. Centro Panamericano de Ecología  
Humana y Salud OPS/OMS, Mexico, pp. 1-23.
- 41 Diaz-Barriga, F., Batres, L., Calderón, J., Lugo, A., Galvao, L., Lara, I.,  
Rizo, P., Arroyave, M.E., McConnell, R., 1997b. The El Paso smelter  
twenty years later: residual impact on Mexican children. *Environ. Res.*  
74, 11-16.
- 43 Diaz-Barriga, F., Pérez-Maldonado, I., Carrizales, L., Trejo, A.,  
Dominguez, M.G., Yáñez, L., Yarto, M., Izc, I., 2004. Biomonitorio  
infantil de STPs en México. Informe al Instituto Nacional de Ecología.
- 45 Dieter, M.P., Matthews, H.B., Jeffcoat, R.A., Moseman, R.F., 1993.  
Comparison of lead bioavailability in F344 rats fed lead acetate, lead  
oxide, lead sulfide, or lead ore concentrate from Skagway, Alaska. *J.*  
*Toxicol. Environ. Health A* 39, 79-93.
- 47 Dunnette, D.A., Kowalik, P., Kreczniak, J., Makinia, J., 1994.  
Perspectives on hazardous emissions and public health in Poland. In:  
Andrews, J.S., Frumkin, H., Johnson, B.L., Mehlman, M.A.,  
Xintaras, Ch., Bucseca, J.A. (Eds.), *Hazardous Waste and Public  
Health: International Congress on the Health Effects of Hazardous  
Waste*. Princeton Science, pp. 178-191.
- 49 EPA, 1990. Record of Decision (ROD) [Abstract ROD no. EPA/ROD/  
R08-90/028; ROD date; 03/30/90; site, Whitewood creek; EPA ID no.  
SDD980717136; Location; Whitewood, SD; operable unit: 01 Environ-  
mental Protection Agency]. EPA, Washington, DC.
- 51 EPA, 2001. Residential Lead Hazard Standards—TSCA Section 403.  
Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental  
Protection Agency, Federal Register, January 5. Available at:  
[www.epa.gov/lead/leadhaz.htm](http://www.epa.gov/lead/leadhaz.htm).
- 53 EPA, 2002. Child-Specific Exposure Factors Handbook (EPA-600-P-00-  
002B). United States Environmental Protection Agency, Washington,  
DC (Chapter 5, p. 5-37, table 5-19).
- 55 EPA, 2005. Arsenic. Integrated Risk Information System. United States  
Environmental Protection Agency, Washington, DC Available at:  
<http://www.epa.gov/iris/>.
- 57 Factor-Litvak, P., Wasserman, G., Klinc, J.K., Graziano, J., 1999. The  
Yugoslavia prospective study of environmental lead exposure.  
*Environ. Health Perspect.* 107, 9-15.
- 61 Freeman, G.B., Schoof, R.A., Ruby, M.V., Davis, A.O., Dill, J.A., Liao,  
S.C., Lapin, C.A., Bergstrom, P.D., 1995. Bioavailability of arsenic in  
soil and house dust impacted by smelter activities following oral  
administration in *Cynomolgus* monkeys. *Funda. Appl. Toxicol.* 28,  
215-222.
- 63 Goulet, L., Claudreau, J., Messier, A., 1996. Results of a lead  
decontamination program. *Arch. Environ. Health* 51, 68-72.
- 65 Graziano, J.H., Popovac, D., Factor-Litvak, P., ShROUT, P., Klinc, J.,  
Murphy, M.J., Zhao, Y., Mehmeti, A., Ahmedi, X., Rajovic, B.,  
Zvicer, Z., Nencic, D.U., Lolocono, N.J., Stein, Z., 1990. Determi-  
nants of elevated blood lead during pregnancy in a population  
surrounding a lead smelter in Kosovo, Yugoslavia. *Environ. Health  
Perspect.* 89, 95-100.
- 67 Hilt, S.R., Bock, S.E., Oke, T.L., Yates, C.L., Copes, R.A., 1998. Effect  
of interventions on children's blood lead levels. *Environ. Health  
Perspect.* 106, 79-83.
- 69 Hwang, Y.H., Bornschein, R.L., Grote, J., Menrath, W., Roda, S., 1997.  
Environmental arsenic exposure of children around a former copper  
smelter site. *Environ. Res.* 72, 72-81.
- 71 IPCS, 1995. Inorganic Lead, Environmental Health Criteria, 165.  
International Programme on Chemical Safety. World Health Organi-  
zation.
- 73 Landrigan, P.J., Baker, E.L., 1981. Exposure of children to heavy metals  
from smelters: epidemiology and toxic consequences. *Environ. Res.* 25,  
204-224.
- 75 Langlois, P., Smith, L., Fleming, S., Gould, R., Goel, V., Gibson, B.,  
1996. Blood lead levels in Toronto children and abatement of lead-  
contaminated soil and house dust. *Arch. Environ. Health* 51, 59-67.
- 77 59
- 79 61
- 81 63
- 83 65
- 85 67
- 87 69
- 89 71
- 91 73
- 93 75
- 95 77
- 97 79
- 99 81
- 101 83
- 103 85
- 105 87
- 107 89
- 109 91
- 111 93
- 113 95
- 115 97
- 117 99
- 119 101
- 121 103
- 123 105
- 125 107
- 127 109
- 129 111
- 131 113

- 1 Mejía, J.J., Diaz-Barriga, F., Calderón, J., Ríos, C., Jiménez-Capdeville,  
M.E., 1997. Effects of lead-arsenic combined exposure on central  
3 monoaminergic systems. *Neurotoxicol. Teratol.* 19, 489-497.
- 5 Milham, S., Strong, T., 1974. Human arsenic exposure in relation to a  
copper smelter. *Environ. Res.* 7, 176-182.
- 7 Morse, D.L., Harrington, J.M., Housworth, J., Landrigan, P.J., 1979.  
Arsenic exposure in multiple environmental media in children near a  
9 smelter. *Clin. Toxicol.* 14, 389-399.
- 11 Nriagu, J.O., Pacyna, J.M., 1988. Quantitative assessment of worldwide  
contamination of air, water, and soils by trace metals. *Nature* 333,  
134-139.
- 13 Oomen, A., Hack, A., Minekus, M., Zeijdner, E., Cornelis, C., Schoeters,  
G., Verstraete, W., Vandewiele, T., Wragg, J., Rempelberg, C., Sips,  
A., Vanwijnen, J., 2002. Comparison of five in vitro digestion models  
15 to study the bioaccessibility of soil contaminants. *Environ. Sci.  
Technol.* 36, 3326-3334.
- 17 Polissar, L., Lowry-Coble, K., Kalman, D.A., Hughes, J.P., Van Belle, G.,  
Covert, D.S., Burbacher, T.M., Bolgiano, D., Mottet, N.K., 1990.  
Pathways of human exposure to arsenic in a community surrounding a  
19 copper smelter. *Environ. Res.* 53, 29-47.
- 21 Ramírez, A., 1986. Contaminación ambiental por cadmio en una ciudad  
metalúrgica. *Bol. Sanit. Panam.* 101, 514-521.
- 23 Rieuwerts, J.S., Farago, M.E., Cikrt, M., Bencko, V., 2000. Differences in  
lead bioavailability between a smelting and a mining area. *Water Air  
Soil Pollut.* 122, 203-229.
- 25 Rivara, M.I., Cebrian, M., Corey, G., Hernández, M., Romicu, I., 1997.  
Cancer risk in an arsenic-contaminated area of Chile. In: Johnson, B.,  
Xintaras, Ch., Andrews, J.S. (Eds.), *Hazardous Waste: Impacts on  
Human and Ecological Health*. Princeton Science, pp. 408-426.
- 27 Rodriguez, R., Basta, N., Casteel, S., Pace, L., 1999. An in vitro  
gastrointestinal method to estimate bioavailable arsenic in contami-  
nated soils and solid media. *Environ. Sci. Technol.* 33, 642-649.
- Ruby, M.V., Davis, A., Link, T.E., Schoof, R., Chaney, R.L., Freeman,  
G.B., Bergstrom, P., 1993. Development of an in vitro screening test to  
31 evaluate the in vivo bioaccessibility of ingested mine-waste lead.  
*Environ. Sci. Technol.* 27, 2870-2877.
- 33 Ruby, M.V., Davis, A., Schoof, R., Eberle, S., Sellstone, C.M., 1996.  
Estimation of bioavailability using a physiologically based extraction  
35 test. *Environ. Sci. Technol.* 30, 420-430.
- 37 Selevan, S.G., Rice, D.C., Hogan, K.A., Euling, S.Y., Pfahles-Hutchens,  
A., Bethel, J., 2003. Blood lead concentration and delayed puberty in  
girls. *N. Engl. J. Med.* 348, 1527-1536.
- 39 Spear, T.M., Svec, W., Vincent, J.H., Stanisich, N., 1998. Chemical  
speciation of lead dust associated with primary lead smelting. *Environ.  
Health Perspect.* 106, 565-571.
- 41 Steele, M.J., Beck, B.D., Murphy, B.L., Strauss, H.S., 1990. Assessing the  
contribution from lead in mining wastes to blood lead. *Regul. Toxicol.  
Pharmacol.* 11, 158-190.
- 43 Subramanian, K.S., 1987. Determination of lead in blood: Comparison of  
two GFAAS methods. *At. Spectrosc.* 8, 7-14.
- 45 Tsai, S.Y., Chou, H.Y., The, H.W., Chen, C.M., Chen, C.J., 2003. The  
effects of chronic arsenic exposure from drinking water on the  
47 neurobehavioral development in adolescence. *Neurotoxicology.*  
24, 747-753.
- 49 Wasserman, G.A., Liu, X., Lolocono, N.J., Factor-Litvak, P., Kline, J.K.,  
Popovac, D., Morina, N., Musabegovic, A., Vrenczi, N., Capuni-  
Paracka, S., Lekic, V., Preteni-Redjepi, F., Hadzialjevic, S., Slavko-  
vich, V., Graziano, J.H., 1997. Lead exposure and intelligence in 7-  
51 year-old children: the Yugoslavia prospective study. *Environ. Health  
Perspect.* 105, 956-961.
- 53
- 55

# **ANEXO 4**

## ANEXO 4

### PROGRAMA DE INTERVENCIÓN INTEGRAL PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS EN SALUD POR EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES EN INTERIORES DE VIVIENDAS RURALES

#### Antecedentes y Fundamentos

Actualmente se estima que la mitad de la población mundial y más del 90% de la población rural en países en desarrollo utilizan biomasa como fuente energética <sup>1</sup>, algunos estudios consideran que América Latina representa aproximadamente el 12% del consumo global de biomasa <sup>2</sup>.

En nuestro país, INEGI indica que existen 27 millones de personas que diariamente utilizan leña, de las que 18.5 millones usan éste combustible de forma exclusiva siendo el consumo estimado por persona de aproximadamente 2.1 kg / día <sup>3</sup>.

La pobre eficiencia de la quema de leña en las estufas rústicas produce una combustión incompleta en la que se emiten compuestos como el monóxido de carbono (CO) <sup>4, 5</sup>, partículas (PM <sub>2.5</sub>) <sup>6</sup>, compuestos orgánicos volátiles (COV) <sup>7</sup>, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) <sup>8, 9</sup> y dioxinas entre otros <sup>10</sup>. Muestras de hollín recolectadas en lagunas casas indígenas y analizadas en el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina de la UASLP resultaron con concentraciones desde 170 a 390 pg de dioxinas / g de hollín (datos aun no publicados), dichas concentraciones revelan la posible emisión de este compuesto por la quema de leña y su dispersión dentro de las viviendas.

En la mayoría de las viviendas rurales mexicanas, las mujeres se encargan de cocinar los alimentos y al mismo tiempo son las responsables del cuidado de los niños, es por ello que ambos pasan más tiempo en la cocina y por tanto son los individuos más expuestos a las emisiones generadas por la quema de leña.

La exposición al humo de leña, esta relacionada con el incremento de enfermedades respiratorias de vías aéreas superiores como tos, flema, odinofagia, daño bronquial,

disminución de la función pulmonar, tuberculosis<sup>11</sup>, y a largo plazo enfermedad pulmonar obstructiva crónica <sup>12</sup>, entre otras. En nuestro país las enfermedades respiratorias constituyen la tercera causa de muerte en niños de edades entre 1 y 4 años<sup>13</sup>.

Otro factor de riesgo que debemos considerar es la ubicación de viviendas rurales en zonas endémicas de paludismo, motivo por el que es necesario tomar medidas para el control de los insectos transmisores de enfermedades.

La aplicación de plaguicidas es la estrategia fundamental en el control sanitario del paludismo a lo largo de la República Mexicana; los primeros programas utilizaron diclorodifenil tricloroetano (DDT), pero el uso de este insecticida se suprimió debido a su prohibición y desde el año de 1998 los insecticidas de elección son los piretroides destacando el empleo de la deltametrina. El escenario actual es de una exposición crónica simultánea al DDT y a los piretroides. En el caso del DDT, se trata del DDT residual; esto es que, aunque el insecticida ya no se utiliza, debido a su alta persistencia, todavía se encuentra en los diferentes medios del ambiente.

Los individuos habitantes de las zonas palúdicas estarían expuestos de manera paralela al DDT residual, a los metabolitos del DDT y a la deltametrina. El hecho de que el DDT se haya dejado de utilizar, no implica su desaparición inmediata; en el Laboratorio de Toxicología Ambiental de la Facultad de Medicina de la UASLP, se encontraron concentraciones de hasta 19 mg de DDT total / kg de suelo en el interior de algunas viviendas de la comunidad de Tancuime en Aquismón, SLP, siendo el límite propuesto por la guía canadiense de 0.7 mg/ kg para suelo de uso residencial <sup>14</sup>.

En este escenario, queda claro que la exposición simultánea al humo de leña y a los plaguicidas constituyen importantes factores de riesgo en la salud de mujeres y niños de comunidades rurales de nuestro país, es por eso que aquí planteamos un Programa de Intervención para Reducir los Riesgos en la Salud por Exposición a Contaminación en Interiores de Viviendas Rurales.



La estrategia que nosotros proponemos la dividimos en dos partes, en la primera etapa se realizará la remoción de los contaminantes del interior de la viviendas por medio de un programa de limpieza y después, la sustitución de las estufas de tres piedras (o tipo fogata) por las estufas mejoradas tipo LORENA como se ha realizado en otros países con resultados favorables <sup>15, 16</sup>.

La segunda etapa de la intervención pretende la introducción en las comunidades rurales de algunas especies frutales con alto poder calorífico <sup>17</sup> para que, con un adecuado plan de producción se asegure un abasto de leña suficiente y también el aprovechamiento de sus frutos como fuente de alimento.

### **Primera etapa:**

La estufa tipo LORENA es una estructura cúbica construida a base de lodo y arena en la que se introduce la madera que será utilizada como fuente combustible para cocinar; el diseño consta de una chimenea que conduce los humos generados por la quema de la madera hacia el exterior de la vivienda lo que reduce la concentración de gases y partículas al interior de las casas <sup>18,19</sup>. Por otra parte, el diseño de la estufa hace que el calor sea dirigido hacia un sitio específico lo que aumenta la eficiencia resultando en una menor utilización de leña para cocinar.

La sustitución de los braseros tipo fogata por estufas mejoradas con una mayor eficiencia produce: (a) un menor consumo de combustible, (b) una disminución en la deforestación de las zonas aledañas a las comunidades, (c) menos hollín adherido a las paredes de las viviendas, (d) la reducción de exposición humana al humo de leña y finalmente, (e) un menor número de enfermedades respiratorias en mujeres y niños.

Una cuestión adicional que debemos señalar, es la vulnerabilidad de la zona Huasteca a los efectos climáticos, éste fenómeno tiene dos causas principales, la práctica de la roza-tumba-quema (RTQ) y la tala de madera para la cocción de alimentos. Con la participación de la RTQ se ha desmontado alrededor del 40% del territorio huasteco para la siembra de diversos productos. En tanto, aunque no existen datos precisos sobre el impacto de la tala para la cocción de alimentos, es importante indicar que en todos los municipios de la región se presenta dicha práctica y en

algunos, hasta el 80% de los habitantes la llevan a cabo. La tala, además de favorecer la erosión de los suelos, ha ocasionado la disminución de la recarga de acuíferos de la Huasteca Sur lo cual empobrece los recursos hídricos en la Huasteca Norte.

Nuestro plan pretende establecer lo que nosotros definimos como "Cultivos Comunitarios Multipropósito"; para que además de servir como fuente de madera y de alimento, proporcione diversos beneficios ambientales a la zona, como la disminución de la deforestación para proporcionar refugio a la fauna silvestre, la reducción de la erosión, regulación de la temperatura, la humedad y el reemplazo de nutrientes esenciales en el suelo.

#### **Etapa complementaria:**

Es importante resaltar que de forma paralela a las etapas debemos recopilar la suficiente información para establecer una metodología de Intervención Educativa para la Reducción del Riesgo con la finalidad de lograr la aceptación de las acciones de nuestra propuesta.

#### **Justificación**

En México, durante varios años se han realizado esfuerzos para mejorar las condiciones de vivienda en todo el territorio nacional; sin embargo, las acciones realizadas por cada sector de gobierno se han enfocado en el mejoramiento de los servicios y en la estructura física de las viviendas. Pocos esfuerzos se han realizado para estudiar y reducir otros factores de riesgo para la salud por contaminantes ambientales en el interior de las viviendas, como son: el humos de leña, la exposición al hollín y a los pesticidas empleados para el control de enfermedades transmitidas por vectores.

El programa propuesto además de disminuir el riesgo, contribuye al amortiguamiento del fenómeno de cambio climático en la zona en el que la implementación de una estrategia de aprovechamiento sostenible de las especies madereras de la región

permitirá de forma simultánea disminuir la deforestación del área y la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero por la quema de biomasa.

### **Descripción del Área y de la Población de Estudio.**

El estado de San Luis Potosí está dividido en cuatro regiones de acuerdo con sus características físicas, agroecológicas y socioeconómicas. Entre ellas, se encuentra la Huasteca potosina ubicada al oriente del estado, con una extensión territorial de 10 mil 328 kilómetros cuadrados que representa el 16.3% de la superficie estatal <sup>20</sup>. El clima predominante en el área de estudio es semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, Ac(m)(w). Las temperaturas medias anuales varían entre 22 y 26°C. La precipitación en la zona varía desde 1200 a 3500 mm anuales.

Esta zona se distingue por ser el hábitat natural de los grupos étnicos Náhuatl y Teenek. La dispersión de las comunidades Teenek constituye un obstáculo para la introducción de servicios básicos, como caminos, electricidad, agua potable y educación. El aislamiento de estas comunidades repercute en el ingreso de las familias, pues la insuficiencia de transporte eleva el costo de los productos comerciales.

La base económica de los Teenek es la agricultura. Su vivienda característica es una choza redonda y con techo cónico, cubierta por zacate o palma, el techo se sostiene por horcones de madera; cuenta con un tapanco en el que guardan maíz y enseres menores. Las paredes son de varas colocadas verticalmente y atadas con bejucos y algunas están cubiertas con barro. El piso es de tierra; la choza sólo tiene una entrada protegida por una puerta de varas o madera. Esta choza circular tiene un amplio recinto que utilizan como dormitorio y cocina al mismo tiempo.

El presente trabajo se desarrollará en la comunidad indígena rural de Tancuime, que se ubica en el municipio de Aquismón en la zona Huasteca del estado de San Luis Potosí; de acuerdo con datos de INEGI este municipio es uno de los más pobres del

estado potosino, la comunidad seleccionada constituye la mas importante de la localidad y es donde hasta un 97 % de la población cocina con leña.

### **Objetivos del estudio.**

#### General

- Establecer una medida de intervención integral para la reducción de riesgos en salud por exposición a contaminantes en interiores de viviendas indígenas.

#### Específicos

1. Diseñar un programa de limpieza del interior de las viviendas.
2. Instalación y puesta en funcionamiento de 10 estufas tipo LORENA en la comunidad de Tancuime en Aquismón San Luis Potosí.
3. Evaluación del programa de intervención, midiendo parámetros de salud y de exposición antes y después de la intervención.

### **Métodos**

Población en estudio: 10 familias de la comunidad de Tancuime en el municipio de Aquismón en el Estado de San Luis Potosí, México.

Criterios de selección: 10 familias que acepten participar en el estudio y quienes adopten el uso de una estufa tipo LORENA.

Tiempo de Estudio: Duración estimada 12 meses

#### **Programa de limpieza del interior de las viviendas.**

Se establecerá un programa de sustitución del suelo contaminado de 10 viviendas por suelo de la misma comunidad que ha sido analizado previamente por medio de inmunoanálisis (IA) para descartar la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) y DDT total.

Actualmente la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) de Estados Unidos, ha establecido diversos programas de limpieza en suelos basándose en análisis ambientales realizados por inmunoensayos (IA)<sup>21</sup>.

Se propone la remoción del hollín adherido a las paredes internas de las viviendas, este material se confinará en diversos contenedores y procederemos a realizar los análisis correspondientes para determinar si deberán ser tratados como material peligroso.

Una alternativa a la sustitución de suelo contaminado por suelo limpio es la inclusión de la comunidad rural en programas asistenciales como el "Piso Firme", en donde sus ventajas incluyen: (a) el recubrimiento de aquel suelo fumigado por nuevo material, y (b) la disminución de la vida media de la degradación de los pesticidas aplicados de manera reciente.

#### **Introducción de estufas mejoradas tipo LORENA.**

Después de la etapa de limpieza, se realizará la introducción de las estufas tipo LORENA estableciendo una comunicación permanente con los usuarios para conocer aceptación del diseño y que aporten información para integrar al programa de educación ambiental, se pretende evaluar tanto su aceptación, la adopción, la frecuencia de uso así como las posibles mejoras que se sugieran al diseño original.

El planteamiento establece la implementación de un programa piloto con aquellas viviendas cuyos habitantes acepten participar en el estudio; proponemos introducir 10 estufas en igual número de casas, preferentemente aquellas que están constituidas por una sola habitación y que cuentan con el mayor número de niños.

Luego de la plena adopción de la estufa LORENA, procederemos a evaluar su utilidad en términos de la disminución del riesgo a través de la utilización de biomarcadores de exposición y medición de los efectos respiratorios en mujeres y niños.

#### **Introducción de Cultivos Comunitarios para el Abastecimiento de Leña:**

Se espera que la reducción de riesgos para la salud asociados a la exposición a humo de leña se vea favorecido además, por el empleo de especies que los pobladores del sitio han identificado como recomendables para leña, debido a que producen poco humo y buena brasa. Dentro de las especies recomendadas se encuentra el mango (*Mangifera indica*) y el naranjo (*Citrus sinensis*). Para esto, se pretende introducir plantaciones de alguna de estas especies con un adecuado plan de producción y manejo que asegure un abasto de leña suficiente y su aprovechamiento como especies frutales.

Para una adecuada introducción de plantaciones frutales y de leña, deberán considerarse las condiciones de temperatura, precipitación, humedad, condiciones edafológicas y la ocurrencia de eventos climatológicos adversos como fuertes ventarrones, granizo y heladas. Además, es importante considerar el método de propagación y/o plantación <sup>22</sup>.

Es importante señalar que no se descarta la introducción de especies arbustivas, las cuales suelen ser preferidas por los habitantes del lugar por la facilidad de obtención de ramas de tamaño adecuado para su quema en las hornillas o fogatas. Las leguminosas son un ejemplo de especies arbustivas que han dado buenos resultados en la producción de leña. Además, la introducción de este tipo de especies puede aportar otros beneficios ya que en sus raíces se establecen nódulos micorrízicos fijadores de nitrógeno que enriquece el suelo y su follaje es muy buen forraje por ser rico en proteínas. Su madera es muy densa por lo que es muy apreciada como combustible <sup>23</sup>. Las especies que se contemplan para ser introducidas en la región son *Leucaena leucocephala* y *Calliandra calothyrsus*, ambas especies pertenecen a la familia de las leguminosas.

### **Evaluaciones:**

#### **Medición de la exposición a Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) en mujeres y niños.**

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) son un grupo de compuestos formados durante la combustión de biomasa (leña), existen mas de 100 diferentes compuestos y se encuentran generalmente presentes en mezcla (varios HAP's).

Los HAP están relacionados con efectos adversos a la salud, benz[a]anthraceno, benzo[a]pyreno, benzo[b]fluorantheno, benzo[j]fluorantheno, benzo[k]fluoranthenc, chryseno, dibenz[a,h]anthraceno, e indeno [1,2,3-c,d]pyreno causan tumores en animales de laboratorio, algunos estudios muestran que la exposición por aire o el contacto por piel a mezclas de HAP por periodos prolongados pueden favorecer el desarrollo de ciertos canceres <sup>24</sup>.

El 1-hidroxipireno es uno de los compuestos que se encuentran en cualquier tipo de combustiones; por eso es que, su presencia en orina es referencia de la exposición ambiental a la mezcla de HAP. Antes de la recolecta, se realizarán reuniones informativas en la comunidad para explicar el proyecto.

Se coleccionará la primera orina de la mañana de mujeres y niños participantes, las muestras se guardarán en envases de polipropileno y se congelarán inmediatamente a -20° C hasta su análisis. La propuesta establece el monitoreo de los niños 1 mes antes y 1 mes después de la intervención.

La evaluación de la exposición a HAP se realizará mediante la medición de 1-hidroxipireno en orina como biomarcador de exposición a dichos compuestos; la determinación se realizará por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) <sup>25</sup>.

### **Medición de Carboxihemoglobina en mujeres y niños.**

La Carboxihemoglobina (CO-Hb) es un marcador biológico que evalúa la absorción ambiental de CO; existen múltiples reportes que describen su utilidad en escenarios ocupacionales <sup>26</sup>; sin embargo, no sólo se puede aplicar en aquellos escenarios, para nuestro proyecto utilizaremos la medición de CO-Hb como biomarcador de la exposición a humos provenientes de biomasa (leña).<sup>27, 28</sup>.

Las mediciones de CO-Hb se realizarán en mujeres y niños en las dos etapas, antes y después de la intervención ambiental proyectada.

## **Efectos respiratorios en mujeres y niños.**

Para la evaluación de los síntomas respiratorios en los niños expuestos a contaminación de interiores seguiremos con la metodología desarrollada en el Laboratorio de Toxicología Ambiental de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí <sup>29</sup> para la valoración de las respuestas a irritantes ambientales en niños menores de 12 años.

Se realizará un seguimiento previo y posterior a la intervención ambiental en la comunidad. Primero se identificarán los principales síntomas respiratorios en mujeres y niños por medio de un cuestionario y un diario de síntomas respiratorios durante una semana cada mes (dos meses) previo a las acciones de limpieza e instalación de las estufas LORENA, posteriormente se realizará un seguimiento durante 2 meses, una semana cada mes, a través del diario de síntomas respiratorios por medio del cual se establecerá una asociación entre la exposición a humo de leña y la incidencia de síntomas respiratorios los grupos de estudio.

### **Resultados esperados**

1. Adaptación y rediseño de la estufa tipo LORENA para lograr su aceptación comunitaria.
2. Establecimiento de la metodología de comunicación de riesgo para lograr la adopción de las estufas LORENA en la zona Huasteca de San Luis Potosí.
3. Artículo científico sobre la disminución de la exposición infantil a humos y gases provenientes de la quema de leña en el interior de las viviendas de la zona indígena de la Huasteca de SLP por uso de estufas LORENA.
4. Artículo científico acerca de la disminución de efectos en la salud infantil posteriores al uso de las estufas tipo LORENA.
5. Establecimiento del sistema de Cultivos Madereros Comunitarios para la producción de biomasa.



## Referencias

- <sup>1</sup> Bulletin of the World Health Organization, 2000, 78 (9)
- <sup>2</sup> FAO. The Challenge of Rural Energy Poverty in Developing Countries. World Energy Council and Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1999
- <sup>3</sup> INEGI. Censo Nacional de Población y Vivienda 2000. Disponible en: [http://www.inegi.gob.mx/est/librerias/tabulados.asp?tabulado=tab\\_vi08b&c=781](http://www.inegi.gob.mx/est/librerias/tabulados.asp?tabulado=tab_vi08b&c=781). Dic. 2004
- <sup>4</sup> Chandra Venkataraman and G. Uma Maheswara Rao. Emission Factors of Carbon Monoxide and Size-Resolved Aerosols from Biofuel Combustion Environ. Sci. Technol. 2001, 35, 2100-2107
- <sup>5</sup> Robbailis, Majidezzati, and Daniel M. Kammen. Greenhouse Gas Implications of Household Energy Technology in Kenya, Environ. Sci. Technol. 2003, 37, 2051-2059
- <sup>6</sup> Michael Brauer, Karen Bartlett, Justino Regalado-Pineda, and Rogelio Perez-Padilla. Assessment of Particulate Concentrations from Domestic Biomass Combustion in Rural Mexico. Environ. Sci. Technol. 1996, 30, 104-109
- <sup>7</sup> Christopher G. Nolte, James J. Schauer, Glen R. Cass, and Berndt T. Simoneit. Highly Polar Organic Compounds Present in Wood Smoke and in the Ambient Atmosphere. Environ. Sci. Technol. 2001, 35, 1912-1919
- <sup>8</sup> Yongjian Liu, Lizhong Zhu and Xueyou Shen. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Indoor and Outdoor Air of Hangzhou, China, Environ. Sci. Technol. 2001, 35, 840-844
- <sup>9</sup> Bryan M. Jenkins, A. Daniel Jones, Scott Q. Turn and Robert B. Williams. Emission Factors for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Biomass Burning. Environ. Sci. Technol. 1996, 30, 2462-2469
- <sup>10</sup> EPA/600/P-00/001Bb September 2000 Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-*p*-Dioxin (TCDD) and Related Compounds [www.epa.gov/ncea](http://www.epa.gov/ncea).
- <sup>11</sup> Larson, T.V. and Koenig, J.Q. Wood smoke: emissions and non-cancer respiratory effects. Annual Review of Public Health. 1994. 15, 133-156.
- <sup>12</sup> Smith, K. (1993). "Fuel Combustion, Air Pollution, and Health: The Situation in Developing Countries," Annual Review of Energy and the Environment 1993. 18, 529-566
- <sup>13</sup> INEGI. Censo Nacional de Población y Vivienda 2000. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/tematicos/mediano/med.asp?t=mpob47&c=322> Dic. 2004
- <sup>14</sup> 2002, Canadian Environmental Quality Guidelines.
- <sup>15</sup> Naeher LP, Smith KR, Leaderer BP, Mage D, Grajeda R. Indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> and CO in high- and low-density Guatemalan villages. J Expo Anal Environ Epidemiol. 2000 Nov-Dec;10(6 Pt 1):544-51.
- <sup>16</sup> Fuel-Saving Cookstoves. Aprovecho Institute. A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE in: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH - 1984
- <sup>17</sup> Wood fuel surveys. Forestry for local community development programme-GCP/INT/365/SWE. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1983

- 
- <sup>18</sup> John McCracken and Dana Charron. Evaluation of the Efficacy and Effectiveness of the EcoStove for reducing Indoor Air Pollution Exposures Among Nicaraguan Women. Center for Entrepreneurship in International Health and Development. January 2003
- <sup>19</sup> Regional Wood Energy Development Programme in Asia FAO Regional Office for Asia and the Pacific Maliwan Mansion, Phra Atit Road, Bangkok, Thailand. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Bangkok, September 1993
- <sup>20</sup> [http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM\\_sanluispotosi](http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_sanluispotosi). Enero 2005
- <sup>21</sup> EPA-542-R-00-009. August 2000. [www.epa.gov/tiocluoin.org](http://www.epa.gov/tiocluoin.org). Innovations in Site Characterization. Case Study: Site Cleanup of the Wenatchee Tree Fruit Test Plot Site Using a Dynamic Work Plan.
- <sup>22</sup> Galán S., V. 1999. El cultivo del mango. Mundi Prensa. España. 298 p.
- <sup>23</sup> Nat Acad Scie, 1980. Firewood crops. National Academy of Sciences. Washington, D.C. USA. p 237.
- <sup>24</sup> ATSDR. Toxicological Profile For Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Atlanta, Georgia. August 1995
- <sup>25</sup> Leea Kuusimäki, Yrjö Peltonen, Pertti Mutanen, Kimmo Peltonen, Kirsti Savela. Urinary hydroxy-metabolites of naphthalene, phenanthrene and pyrene as markers of exposure to diesel exhaust. Int. Arch. Occup. Environ. Health., 77: 23-30. 2004
- <sup>26</sup> CDC. Carbon monoxide poisoning resulting from exposure to ski-boat exhaust. Georgia, June 2002. MMWR 2002;51:829--30.
- <sup>27</sup> Behera D, Dash S, Yadav SP. Carboxyhemoglobin in women exposed to different cooking fuels. Thorax. 1991 May;46(5):344-6
- <sup>28</sup> Collings DA, Sithole SD, Martin KS. Indoor woodsmoke pollution causing lower respiratory disease in children. Trop Doct. 1990 Oct;20(4):151-5.
- <sup>29</sup> Leal-Pérez. Efectos respiratorios en niños con alto riesgo de hiperreactividad bronquial expuestos a bióxido de azufre, arsénico y partículas suspendidas en la Fracción de Morales, San Luis Potosí, SLP. 2003. Tesis de maestría en ciencias biomédicas básicas. Fac Med. UASLP