

## EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL EN UN TIRADERO CON QUEMA DE BASURA

Ryan Michael ATENCIO PÉREZ<sup>1\*</sup>, Jaime Alonso REYES-LÓPEZ<sup>2</sup> y José Antonio GUEVARA-GARCÍA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> California Department of Toxic Substances Control, 627 Wake Avenue, El Centro, EUA

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal s/n Col. Insurgentes Este, Mexicali, B.C. México

<sup>3</sup> Laboratorio de Investigación en Bioinorgánica y Biorremediación (LIByB), Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Campus Apizaco

\*Autor responsable; ratencio@arb.ca.gov

*(Recibido agosto 2011, aceptado enero 2013)*

Palabras clave: contaminantes críticos (CC), dioxinas, quema, residuos sólidos urbanos, tiraderos a cielo abierto

### RESUMEN

Los impactos ambientales de los sitios de residuos sólidos urbanos están, en su mayoría, relacionados con la migración de contaminantes ya sea en forma de gas y/o lixiviados. De estos sitios, resultan por demás peligrosos aquellos en donde se realiza la quema a cielo abierto de basura, en los cuales los contaminantes liberados (en la ceniza, en el suelo y en el aire) pueden incluir: metales pesados, hidrocarburos del petróleo, compuestos orgánicos semivolátiles (SVOC), bifenilos policlorados (PCB) y dioxinas y furanos. El suelo es el medio que recibe directamente los contaminantes contenidos en la ceniza de la basura. Así, los receptores humanos en o cerca de estos sitios pueden estar expuestos a estos contaminantes a través del contacto directo o por la propagación en el aire. En el presente estudio se evalúa el riesgo potencial para aquellas personas que puedan estar expuestas a los contaminantes críticos (CC) en este tipo de tiraderos a cielo abierto. Se implementó una campaña de muestreo en el sitio y su correspondiente análisis en laboratorio. Los contaminantes críticos medidos incluyen dioxinas y furanos. Se desarrolló un modelo conceptual del sitio que se usó de base para la evaluación de riesgos ambientales. Los resultados indican un riesgo alto (inaceptable) para los seres humanos en un escenario de uso residencial, con la mayoría de los riesgos cancerígenos atribuidos a la 2,3,7,8 tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD).

Key words: contaminants of concern (COC), dioxins, burn dumps, municipal solid waste, open dumping

### ABSTRACT

Environmental impacts from municipal solid waste sites are mostly related to the migration of contaminants in the form of gases or leachates. However, more dangerous are municipal solid waste sites where the practice of trash burning occurs, since this liberates contaminants (into ash, soil, or air) that can include: heavy metals, petroleum hydrocarbons, semi-volatile organic compounds, polychlorinated biphenyls, dioxins and furans. Surface soil is the media that is directly impacted by contaminants in burn ash. Also, human receptors at or near the site can be exposed to these contaminants

through direct contact or through fugitive dust in air. The current study evaluates the potential risk for those people who could be exposed to the contaminants of concern (CoC) in this type of burn dump. A sampling campaign was implemented at the site and corresponding chemical analyses were conducted in a laboratory. The CoC's identified and measured include dioxins and furans. A conceptual site model was developed to evaluate the potential human health risks. Results indicate an unacceptable risk for humans under a residential land use, with the majority of the carcinogenic risk attributed to 2,3,7,8 tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD).

## INTRODUCCIÓN

El municipio de Mexicali en el estado de Baja California tiene una tasa de generación de residuos sólidos, en su zona urbana, de 1300 toneladas al día (Rojas-Caldelas y Corona-Zambrano 2008). Hasta finales del año 2010, los residuos domésticos se disponían en un relleno sanitario que no cumplía con la NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT 2003), siendo a partir de esta fecha que inicia la operación de un relleno sanitario normado. Sin embargo, en el resto del municipio, aún se siguen operando al menos 19 tiraderos ilegales a cielo abierto (OULM 2008) e incluso, el antiguo de la misma ciudad.

En los sitios de residuos sólidos urbanos (RSU), los impactos ambientales que se generan son en su mayoría relacionados con la migración de contaminantes ya sea en forma de gas y lixiviados (Zairi *et al.* 2004). Históricamente, un método común para la gestión de los residuos, en los municipios, son los tiraderos a cielo abierto y la quema de ellos para reducir al mínimo el material orgánico y otras condiciones insalubres (DTSC 2003). También se ha vuelto común que en estos tiraderos se realice la quema de algunos residuos, tales como llantas o cable eléctrico para la recuperación de metales o la recuperación de otros recursos (CDRRR 1998). Así, la quema de basura puede incrementar tanto en la ceniza residual, como en el suelo, las concentraciones de los residuos peligrosos hasta exceder los niveles de contaminantes establecidos en la ley (DTSC 2003).

En este estudio se considera el caso de un tiradero a cielo abierto del Municipio de Mexicali, denominado basurero Vado Carranza, que en su operación ha mantenido la quema de basura como una manera de gestión. En este sitio se realiza de manera informal la separación de residuos con valor económico; labor realizada por los denominados "pepenadores". Los "pepenadores" realizan la quema clandestina como medio para extraer los metales de la basura que luego son comercializados. Esta práctica se realiza todos

los días, incluso participan personas que viven en o cerca del lugar, además de los mencionados pepenadores. Este basurero no tiene ningún tipo de cerco, es de libre acceso para cualquier persona. Además, investigaciones anteriores en este sitio muestran que tanto los suelos como las aguas subterráneas, están contaminadas con metales pesados (Gómez 2010, Valdez 2010).

En este estudio, inicialmente, se miden los contaminantes potenciales y se seleccionan los contaminantes críticos (CC) del sitio conforme a las recomendaciones y normativas vigentes señaladas en los protocolos de SEMARNAT (2006), DTSC (1997) y USEPA (1989). Posteriormente se realiza una evaluación de riesgo ambiental (ERA) haciendo uso de los requerimientos en los protocolos mexicanos y estadounidenses. Finalmente se obtiene el riesgo potencial para la salud de los receptores humanos en la zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El basurero Vado Carranza es gestionado por la Delegación Venustiano Carranza, del municipio de Mexicali, Baja California, México. Específicamente, el basurero se localiza a 52 km al sureste de la ciudad de Mexicali, en un punto central con coordenadas UTM (Zona 11 Sur): 673,565 Este y 3,564,501 Norte (**Fig.1**). El sitio cuenta con una superficie aproximada de 13.75 ha (34 acres). El basurero opera desde 1995 con un aproximado de basura depositada de 30-32 toneladas por día (Valdez 2010).

### Definición y conceptos de la ERA

La ERA forma parte del programa de remediación de sitios contaminados y según el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, debe incluir: estudios de caracterización, estudios de ERA, investigaciones históricas y la propuesta de remediación (RLGPGIR 2006). El

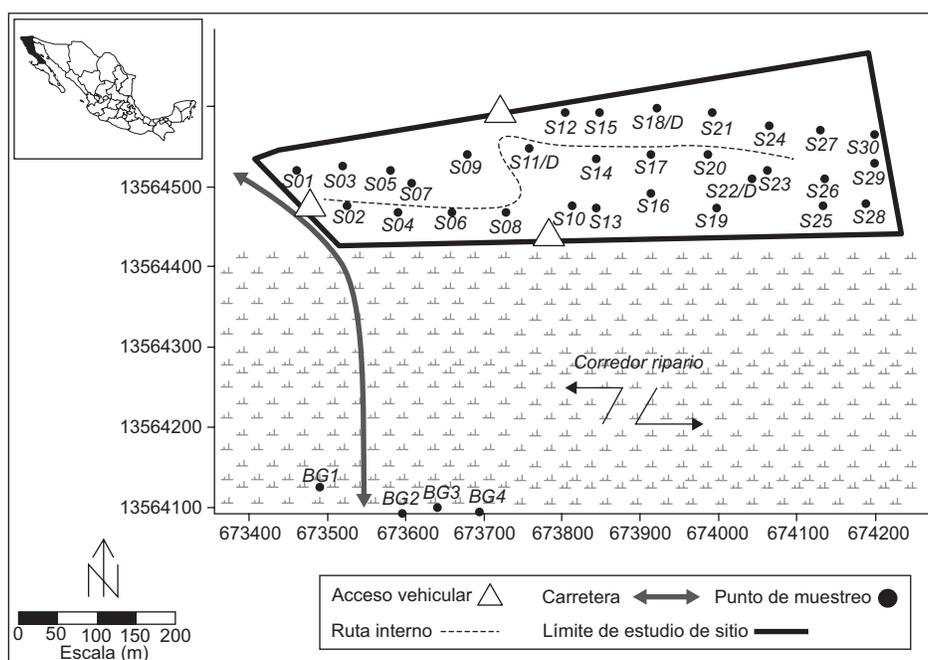


Fig. 1. Puntos de muestreo en la zona del sitio

objetivo de la ERA es conocer los riesgos potenciales a la salud humana asociados con la exposición a sustancias químicas en un escenario supuesto. Los resultados se utilizan para identificar las sustancias químicas y las vías o medios de exposición que puedan suponer un riesgo inaceptable para los receptores hipotéticos actuales y futuros en el sitio (SEMARNAT 2006).

Para la ERA se consideraron parámetros de exposición conservadores en un escenario de uso residencial. Se evalúa las exposiciones a través del contacto directo con los suelos (ingestión accidental y el contacto dérmico) y la inhalación del aire exterior. Los supuestos de exposición (Cal/EPA 1999, SEMARNAT 2006) son que un residente vive en el lugar durante 350 días al año con una duración a la exposición de seis años para un niño y 24 años de exposición para los adultos.

El riesgo se define como la probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares (LGPGIR 2003). La magnitud del riesgo es una función (f) de la peligrosidad de la sustancia y de la magnitud de la exposición (Peña *et al.* 2001), que se simplifica mediante la relación funcional siguiente:

$$\text{Riesgo} = f(\text{Exposición, Peligro})$$

### Modelo conceptual del sitio

La figura 2 presenta el modelo conceptual del basurero Vado Carranza con los elementos de la ERA, desde la fuente primaria hasta los receptores humanos. El modelo conceptual representa esquemáticamente o descriptivamente un evento de contaminación en un sistema ambiental (SEMARNAT 2006). En el sitio de estudio, este evento de contaminación se estableció con base en los niveles elevados de metales pesados en los suelos superficiales (Gómez, 2010) y también porque la quema de basura no controlada es un tratamiento inadecuado de gestión de residuos. Así, la fuente primaria de contaminación es la quema de basura, específicamente sus residuos y cenizas. Los medios directamente afectados son la superficie del suelo y el subsuelo o zona no saturada, que se consideran las fuentes secundarias de contaminación. Estas fuentes secundarias están afectadas por mecanismos de liberación como el viento, la lixiviación y la misma deposición *in situ*. Estudios previos han demostrado que los metales y otros contaminantes son liberados por la quema de basura en la superficie del suelo y subsuelo, percolando a las aguas subterráneas por lixiviación (Gómez 2010 y Valdez 2010). De este modo, estos mecanismos de liberación propagan la contaminación que se originó con la quema de basura a los diferentes medios en

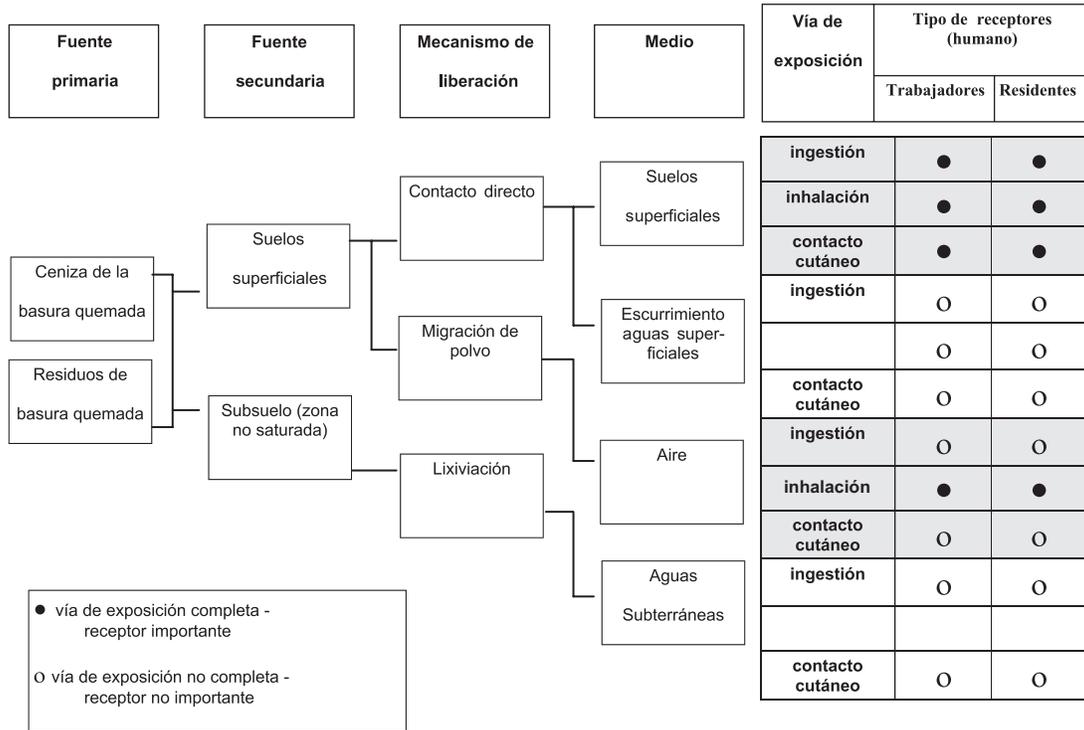


Fig. 2. Modelo conceptual del sitio

el sitio (la superficie del suelo, el aire, las aguas superficiales y las aguas subterráneas). Finalmente por medio de las vías de exposición (ingestión, inhalación y contacto cutáneo) los CC pueden llegar a los receptores, que en este caso se consideraron dos: los trabajadores y los residentes.

Una vía de exposición completa, conceptualmente representa un riesgo (ASTM 2008), así que para que el riesgo exista se debe constatar que el receptor este expuesto al CC. Por ejemplo, una exposición incompleta (no-riesgo) es la ingestión de agua subterránea ya que no hay pozos de agua potable en el área de estudio, y por lo tanto los receptores no están expuestos a este medio (por beber agua o incluso por contacto). También, en el sitio no existe ninguna acumulación de agua superficial, tanto por la ausencia de cuerpos superficiales de agua, como por la baja cantidad y frecuencia de precipitación, esta ruta se considera incompleta. El medio principal con el que los receptores entran en contacto directo con los CC es mediante el suelo superficial. Los receptores podrían estar expuestos a este suelo por la vía de inhalación, ingestión y contacto con la piel, por lo tanto, los suelos se consideran una ruta de exposición completa. También, con respecto a la ruta de aire, los receptores podrían estar expuestos a los contaminantes a través de las partículas en polvos.

Por lo tanto la ruta de aire, se considera como una ruta de exposición completa.

**Contaminantes críticos (CC)**

El método más simple para establecer un CC es comparar si su concentración rebasa un valor de fondo (USEPA 1989, SEMARNAT 2006). Así, los compuestos inorgánicos (metales) se evaluaron considerando esta comparación y los compuestos orgánicos al detectarse en al menos una de las muestras. En la **figura 1** se presentan los 34 puntos de muestreo, de los cuales 30 están dentro del basurero (S01 a S30: S de Superficie) y los cuatro sitios restantes son valores de fondo (BG01 a BG04) situados aproximadamente a 500 m del bordo de éste. Dado que los valores de fondo son trascendentales para definir si un contaminante es crítico, se trató que las características texturales del suelo fueran similares a las del basurero, además de no perturbadas (en lo máximo posible) y a una profundidad de entre 30 y 60 cm.

El **cuadro 1** presenta los elementos usados en el muestreo y las técnicas de análisis para cada contaminante (compuesto). Del total de muestras se eligieron 15 para ser analizadas para dioxinas y furanos, debido principalmente a las restricciones presupuestarias del estudio, aunque también se resalta que el proceso de análisis es muy intensivo. Los niveles de detección

**CUADRO I. LOS RECIPIENTES DE MUESTREO Y TIPOS DE ANÁLISIS**

| Compuesto        | Medio          | Tipo de contenedor                              | Análisis        |
|------------------|----------------|---|-----------------|
| Metales          | suelos/cenizas | vidrio de 8 oz / tapado con una tapa de teflón. | USEPA 6010/6020 |
| dioxinas/furanos | suelos/cenizas | vidrio de 8 oz / tapado con una tapa de teflón. | USEPA 1613      |
| SVOC             | suelos/cenizas | vidrio de 8 oz / tapado con una tapa de teflón. | USEPA 8270      |
| PCB              | suelos/cenizas | vidrio de 8 oz / tapado con una tapa de teflón. | USEPA 8082      |

fueron 1 pico gramo por gramo (pg/g). Una explicación más detallada del procedimiento de análisis se da en Atencio (2011).

### Estimación de riesgo y peligro

La exposición potencial a un CC puede producir dos efectos adversos a la salud: los efectos cancerígenos (riesgo) y los efectos no cancerígenos (peligro) (SEMARNAT 2006, USEPA 1991, Cal/EPA 1999). La estimación del riesgo y del índice de peligrosidad (HI por sus siglas en inglés) se estima para cada una de las rutas de exposición completas señaladas en el modelo conceptual; es en sí una sumatoria del efecto de cada CC a cada uno de los receptores para cada vía de exposición completa. En el **cuadro II** se muestran las ecuaciones y la descripción de los parámetros y valores utilizados para estas estimaciones. Los parámetros fundamentales para las estimaciones son: el factor de pendiente de cáncer (SF por sus siglas en inglés), para el cálculo de los riesgos por la exposición a agentes carcinógenos, y la dosis de referencia (RfD por sus siglas en inglés) para el peligro o HI (**Cuadro III**). Por ejemplo, en forma resumida, para estimar la exposición a través de la ingestión accidental de suelo, se utilizan: la tasa de ingestión, la fracción de suelo ingerido afectado por el CC, la frecuencia y duración de la exposición y los factores de toxicidad de cada producto químico; esto es, el SF oral (SFO) para estimar el riesgo (efectos cancerígenos) y la RfD oral (RfDo) para el HI (efectos no-cancerígenos). Una descripción completa del procedimiento se da en Atencio (2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los **cuadros IV** y **V** presentan las concentraciones máximas de los CC utilizados en la ERA. También se presentan los resultados del riesgo y del HI, en un escenario residencial, para las rutas de exposición aire y suelo. En la ruta de exposición del suelo (**Cuadro V**), los metales se consideran para estimar el HI pero para el riesgo sólo el As. Para la ruta de exposición del aire (**Cuadro IV**), se observa que varios CC

no contribuyen en la evaluación. En caso de no existir uno de los factores fundamentales, SF y/o RfD para un CC este no se considera en la ERA, lo que puede aumentar los valores estimados pero no reducirlos. Es obvio que varios elementos químicos están clasificados como peligrosos (cancerígenos o no-cancerígenos), con base en la probabilidad de que la exposición pueda causar cáncer o alguna enfermedad en seres humanos. Para dioxinas y furanos, el congénere más tóxico, 2, 3, 7, 8 tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD) presentó concentraciones que variaron de 1.9 a 104 pg/g. Cabe resaltar que los resultados de dioxinas y furanos fueron estandarizados con el método de equivalentes tóxicos (TEQ por sus siglas en inglés) como describe Van den Berg *et al.* (2006). El único bifenilo policlorados (PCB por sus siglas en inglés) detectado fue Aroclor 1242 en dos lugares: S10 (15 µg/kg) y S18D (11 µg/kg). En cuanto a las dos rutas de exposición evaluadas, el riesgo proveniente del suelo representa el valor mayor con  $4.14 \times 10^{-4}$  que contrasta con  $6.24 \times 10^{-6}$  del aire. Esto mismo sucede con el HI, con 27.53 y 0.38 para el suelo y aire, respectivamente. Para ambas rutas de exposición, las dioxinas (TCDD) son el CC que más contribuye a los efectos de riesgo y peligro, principalmente en el suelo, ya que en el aire no se tiene el valor de RfDi y por lo tanto no se considera en la evaluación.

La suma de los valores estimados de riesgo de ambas vías de exposición es de  $4.2 \times 10^{-4}$  que supera el límite más bajo del rango de riesgos para tomar decisiones. Este rango de riesgos es de  $1 \times 10^{-4}$  a  $1 \times 10^{-6}$ , utilizado por los gobiernos de México (SEMARNAT) y de EUA (USEPA). El HI en el escenario residencial es de 27.91, que supera el valor de HI aceptable de 1 (USEPA 1989). Según los resultados obtenidos en este estudio, en ningún caso se debe utilizar el lugar como zona de vivienda residencial.

Dado que la ERA estima las exposiciones a través del contacto directo, la tasa de ingestión de suelo se basa en la cantidad de suelo que un niño o un adulto puede ingerir accidentalmente en un día, por ejemplo: se considera que las personas pueden ingerir suelo a través de un contacto accidental de la

**CUADRO II.** ECUACIONES DE LA ERA CON SUS PARÁMETROS Y VALORES DE EXPOSICIÓN PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS Y RECEPTORES POTENCIALES

| Parámetros de exposición                        | Símbolo<br>(por sus siglas en inglés) | Unidades                 | Receptor humano    |                      |                          | Fuente                      |
|---|---------------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
|   |                                       |                          | Niño<br>[0-6 años] | Adulto<br>[> 6 años] | Trabajador<br>[> 6 años] |                             |
| Concentración de CC en suelos                   | Cs                                    | mg/kg                    | --                 | --                   | --                       |                             |
| Concentración de CC en aire                     | Ca                                    | mg/m <sup>3</sup>        | --                 | --                   | --                       |                             |
| Tasa de ingestión accidental de suelo           | IR <sub>S</sub>                       | mg/día                   | 200                | 100                  | 100                      | USEPA 1991, SEMARNAT 2006   |
| Superficie dérmica expuesta                     | SA                                    | cm <sup>2</sup> /día     | 2 800              | 5 700                | 5 700                    | USEPA 2004, SEMARNAT 2006   |
| Factor de adherencia a la piel                  | AF                                    | mg/cm <sup>2</sup>       | 0.2                | 0.07                 | 0.2                      | USEPA 2004, SEMARNAT 2006   |
| Fracción de suelo expuesto                      | FE                                    | sin unidad               | 1                  | 1                    | 1                        | Cal/EPA 1999, SEMARNAT 2006 |
| Tasa de inhalación de aire                      | IR <sub>a</sub>                       | m <sup>3</sup> /día      | 10                 | 20                   | 20                       | USEPA 1989, SEMARNAT 2006   |
| Frecuencia de exposición por ingestión          | EFi                                   | días/año                 | 350                | 350                  | 250                      | USEPA 1991, SEMARNAT 2006   |
| Frecuencia de exposición dérmica                | EFd                                   | días/año                 | 350                | 100                  | 100                      | USEPA 1991, SEMARNAT 2006   |
| Tiempo de exposición                            | ET                                    | hrs/día                  | 24                 | 24                   | 8                        | USEPA 1991, SEMARNAT 2006   |
| Duración de exposición                          | ED                                    | años                     | 6                  | 24                   | 25                       | USEPA 1991, SEMARNAT 2006   |
| Peso corporal                                   | BW                                    | kg                       | 15                 | 70                   | 70                       | USEPA 1991, SEMARNAT 2006   |
| Tiempo promedio de exposición (no cancerígenos) | AT                                    | días                     | 2 190              | 8 760                | 9 125                    | USEPA 1989, SEMARNAT 2006   |
| Tiempo promedio de exposición (cancerígenos)    | ATc                                   | días                     | 25 550             | 25 550               | 25 550                   | USEPA 1989, SEMARNAT 2006   |
| Factor de conversión                            | CF                                    | kg/mg                    | 1.00E-06           | 1.00E-06             | 1.00E-06                 | --                          |
| Factor de pendiente oral                        | SF <sub>o</sub>                       | mg/kg -día <sup>-1</sup> |                    |                      |                          | Ver Cuadro III              |
| Factor de pendiente inhalación                  | SF <sub>i</sub>                       | mg/kg -día <sup>-1</sup> |                    |                      |                          | Ver Cuadro III              |
| Dosis de referencia oral                        | RfD <sub>o</sub>                      | mg/kg -día               |                    |                      |                          | Ver Cuadro III              |
| Dosis de referencia inhalación                  | RfD <sub>i</sub>                      | mg/kg -día               |                    |                      |                          | Ver Cuadro III              |
| Factor de absorción dérmica                     | ABS                                   | sin unidad               |                    |                      |                          | Ver Cuadro III              |

$$Riesgo_{Suelo} = SF_o * C_s * \frac{IR_s \text{ adulto} * EFi * ED_{adulto} * CF}{BW_{adulto} * ATc * 365 \frac{days}{yr}} + SF_o * C_s * \frac{IR_s \text{ niño} * EFi * ED_{niño} * CF}{BW_{niño} * ATc * 365 \frac{days}{yr}} +$$

$$SF_o * C_s * \frac{SA_{adulto} * AF * ABS * EFd_{adulto} * ED_{adulto} * CF}{BW_{adulto} * ATc * 365 \frac{days}{yr}} + SF_o * C_s * \frac{SA_{niño} * AF * ABS * EFd_{niño} * ED_{niño} * CF}{BW_{niño} * ATc * 365 \frac{days}{yr}}$$

$$Peligro_{Suelo} = \left( \frac{1}{RfD_o} \right) * C_s * \frac{IR_s * EF * ED * CF}{BW * AT * 365 \frac{days}{yr}} + \left( \frac{1}{RfD_o} \right) * C_s * \frac{SA * AF * ABS * EF * ED * CF}{BW * AT * 365 \frac{days}{yr}}$$

$$Riesgo_{aire} = SF_i * C_a * \frac{IR_{adulto} * EFd * ED_{adulto}}{BW_{adulto} * ATc * 365 \frac{days}{yr}} + SF_i * C_a * \frac{IR_{niño} * EFd * ED_{niño}}{BW_{niño} * ATc * 365 \frac{days}{yr}}$$

$$Peligro_{aire} = \left( \frac{1}{RfD_i} \right) * C_a * \frac{IR * EF * ED}{BW * AT * 365 \frac{days}{yr}}$$

**CUADRO III.** FACTORES DE TOXICIDAD UTILIZADOS PARA LAS ESTIMACIONES DE RIESGO Y PELIGRO

| Contaminantes críticos (CC) | Riesgo (cancerígenos)                                     |        |  |        |  |        | Peligro (no-cancerígeno)                  |        |   |        |
|-----------------------------|---|--------|--|--------|--|--------|---|--------|---|--------|
|                             | Factor de absorción dérmica (ABS) sin unidad <sup>3</sup> | fuente | Factor de pendiente oral (SFo) (mg/kg/día) | fuente | Factor de pendiente inhalación (SFi) (mg/kg/día) | fuente | Dosis de referencia oral (RfDo) mg/kg/día | fuente | Dosis de referencia inhalación (RfDi) mg/kg/día | fuente |
| <b>Metales</b>              |   |        |  |        |  |        |   |        |   |        |
| Antimonio                   | 0.01  |        |  |        |  |        | 4.00E-04                                  | 2      |   |        |
| Arsénico                    | 0.03  | 1      | 9.50E+00                                   | 1      | 1.20E+01   | 1      | 3.00E-04                                  | 2      | 8.60E-06  | 1      |
| Bario                       | 0.01  |        |  |        | 8.40E+00   | 1      | 2.00E-01                                  | 2      | 1.40E-04  | 3      |
| Berilio                     | 0.01  |        |  |        |  |        | 2.00E-03                                  | 2      | 2.00E-06  | 1      |
| Cadmio                      | 0.001   |        |  |        | 1.50E+01   | 1      | 1.00E-03                                  | 2      | 5.70E-06  | 1      |
| Cromo                       |   |        |  |        |  |        | 1.50E+00                                  | 2      |   |        |
| Cobalto                     | 0.01  |        |  |        |  |        | 2.00E-02                                  | 4      |   |        |
| Cobre                       | 0.01  |        |  |        |  |        | 4.00E-02                                  | 3      |   |        |
| Molibdeno                   | 0.01  |        |  |        |  |        | 5.00E-03                                  | 2      |   |        |
| Níquel                      | 0.01  |        |  |        | 9.10E-01   | 1      | 2.00E-02                                  | 2      |   |        |
| Selenio                     | 0.01  |        |  |        |  |        | 5.00E-03                                  | 2      | 5.70E-03  | 1      |
| Talio                       | 0.01  |        |  |        |  |        | 6.50E-05                                  | 3      |   |        |
| Vanadio                     | 0.01  |        |  |        |  |        | 5.00E-03                                  | 3      |   |        |
| Zinc                        | 0.01  |        |  |        |  |        | 3.00E-01                                  | 2      |   |        |
| Manganeso                   |   |        |  |        |  |        | 2.40E-02                                  | 4      | 1.40E-05  | 4      |
| <b>SVOC</b>                 |   |        |  |        |  |        |   |        |   |        |
| Anilina                     | 0.1   | 4      | 5.70E-03                                   | 1      | 5.70E-03   | 1      | 7.0E-03                                   | 4      | 2.9E-04   | 4      |
| Bis(2-ethylhexil)ftalato    | 0.1   | 1      | 3.00E-03                                   | 1      | 8.40E-03   | 1      | 2.06E-02                                  | 2      | 2.06E-02  |        |
| Di-n-butilftalato           | 0.1   | 1      |  |        |  |        | 1.00E-01                                  | 2      |   |        |
| Di-n-octilftalato           | 0.1   | 4      |  |        |  |        | 4.00E-02                                  | 4      | 4.00E-02  | 4      |
| Dietilftalato               | 0.1   |        |  |        |  |        | 8.00E-01                                  | 4      | 8.00E-01  | 4      |
| Dimetilftalato              | 0.1   | 4      |  |        |  |        | 1.00E+01                                  | 4      | 1.00E+01  | 4      |
| Fenol                       | 0.1   | 4      |  |        |  |        | 3.00E-01                                  | 2      | 5.70E-02  | 1      |
| <b>PCB</b>                  |   |        |  |        |  |        |   |        |   |        |
| Aroclor 1242                | 0.15  | 5      | 3.2E-01                                    | 4      | 5.8E+03  | 4      | 2.00E-05                                  | 4      | 2.00E-05  | 4      |
| <b>Dioxinas</b>             |   |        |  |        |  |        |   |        |   |        |
| TCDD-TEQ                    | 0.03  | 1      | 1.30E+05                                   | 1      | 1.30E+05   | 1      | 1.00E-09                                  | 3      |   |        |

Fuentes: OEHHA 2008<sup>1</sup>; USEPA 2008<sup>2</sup>, ORNL 2008<sup>3</sup>, USEPA 2010<sup>4</sup>, Wester *et al.* 1993<sup>5</sup>.

boca con las manos y la ropa. Con respecto al aire, se considera que el 100 % de las partículas tienen la misma concentración de contaminantes que el valor máximo de la concentración encontrada en el suelo. Aunque, esto sólo se utiliza para compuestos no volátiles.

## CONCLUSIONES

Los resultados indican un riesgo alto (inaceptable) para los seres humanos en un escenario de uso residencial, con la mayoría de los riesgos cancerígenos atribuidos al TCDD.

El incremento en el riesgo de cáncer que es permisible depende de la legislación de un país. El valor que se considera socialmente aceptable en México

y EUA es de una probabilidad de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$ . Las recomendaciones que surgen del estudio son: evitar la exposición al polvo y al suelo superficial; prohibir la práctica de quema de basura y realizar estudios complementarios para ampliar la ERA (vapores del subsuelo, flora y fauna y remediación en función con el uso del suelo).

La incertidumbre involucrada con esta investigación y evaluación incluye: 1.- La sobrestimación de la exposición real por el uso de las concentraciones máximas de CC, ya que en realidad, la exposición a largo plazo en un punto del sitio, a la exposición máxima es muy remota; 2.- En general, los suelos superficiales siempre son perturbados y por lo tanto la caracterización precisa en un sitio activo no se logrará a través de una sola campaña de muestreo.

CUADRO IV. CONCENTRACIONES MÁXIMAS ENCONTRADAS EN LOS CCY ESTIMACIONES DEL RIESGO Y DEL HI PARA LA RUTA DE EXPOSICIÓN AIRE.

| ADULTO Y NIÑO (Escenario Residencial). Ruta de Exposición – Aire |                         |                                     |  |  |   |   |   |                      |
|--|-------------------------|-------------------------------------|--|--|---|---|---|----------------------|
| Vía de exposición  | Contaminante crítico    | Max concentración en suelos (mg/kg) | Factor de emisión de partículas (PEF) (kg/m <sup>3</sup> ) | Concentración de exposición (mg/m <sup>3</sup> ) | Dosis de referencia inhalación (RfDI) mg/kg/día | Índice de Peligro (riesgo no-cancerígeno) | Factor de pendiente inhalación (SF <sub>i</sub> ) (mg/kg/día) | Riesgo (cancerígeno) |
| INHALACIÓN   | Antimonio               | 53                                  | 5.00E-08   | 2.65E-06   | 8.60E-06  | 2.30E-02                                  | 1.20E+01  | 0.00E+00             |
|  | Arsénico                | 6.2                                 | 5.00E-08   | 3.10E-07   | 8.60E-06  | 2.30E-02                                  | 1.20E+01  | 5.54E-07             |
|  | Bario                   | 859                                 | 5.00E-08   | 4.30E-05   | 1.40E-04  | 1.96E-01                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Berilio                 | 0.58                                | 5.00E-08   | 2.90E-08   | 2.00E-06  | 9.27E-03                                  | 8.40E+00  | 3.63E-08             |
|  | Cadmio                  | 9.2                                 | 5.00E-08   | 4.60E-07   | 5.70E-06  | 5.16E-02                                  | 1.50E+01  | 1.03E-06             |
|  | Cromo                   | 80.7                                | 5.00E-08   | 4.04E-06   | 5.70E-06  | 9.53E-02                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Cobalto                 | 17                                  | 5.00E-08   | 8.50E-07   | 5.70E-06  | 0.00E+00                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Cobre                   | 17400                               | 5.00E-08   | 8.70E-04   | 0.00E+00  | 0.00E+00                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Molibdeno               | 19                                  | 5.00E-08   | 9.50E-07   | 0.00E+00  | 0.00E+00                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Níquel                  | 437                                 | 5.00E-08   | 2.19E-05   | 2.96E-06  | 9.10E-01                                  | 2.96E-06  | 2.96E-06             |
|  | Selenio                 | 2.6                                 | 5.00E-08   | 1.30E-07   | 5.70E-03  | 1.46E-05                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Talio                   | 0.29                                | 5.00E-08   | 1.45E-08   | 0.00E+00  | 0.00E+00                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Vanadio                 | 27                                  | 5.00E-08   | 1.35E-06   | 0.00E+00  | 0.00E+00                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Zinc                    | 17300                               | 5.00E-08   | 8.65E-04   | 0.00E+00  | 0.00E+00                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Manganeso               | 570                                 | 5.00E-08   | 2.85E-05   | 0.00E+00  | 0.00E+00                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Amilina                 | 0.46                                | 5.00E-08   | 2.30E-08   | 2.9E-04   | 5.07E-05                                  | 5.70E-03  | 1.95E-11             |
|  | Bis(2-etilhexil)ftalato | 10                                  | 5.00E-08   | 5.00E-07   | 2.06E-02  | 1.55E-05                                  | 8.40E-03  | 6.26E-10             |
|  | Di-n-butilftalato       | 1.2                                 | 5.00E-08   | 6.00E-08   | 4.00E-02  | 3.67E-07                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Di-n-octilftalato       | 0.46                                | 5.00E-08   | 2.30E-08   | 8.00E-01  | 3.27E-08                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
|  | Dietilftalato           | 0.82                                | 5.00E-08   | 4.10E-08   | 1.00E+01  | 3.83E-09                                  | 0.00E+00  | 0.00E+00             |
| Dimetilftalato   | 1.2                     | 5.00E-08                            | 6.00E-08   | 5.70E-02   | 4.04E-07  | 0.00E+00                                  | 0.00E+00  |                      |
| Fenol  | 0.72                    | 5.00E-08                            | 3.60E-08   | 2.00E-05   | 2.40E-05  | 5.8E+03                                   | 6.48E-07  |                      |
| Aroclor 1242   | 0.015                   | 5.00E-08                            | 7.50E-10   | 1.30E+05   | 1.01E-06  | 1.01E-06                                  | 1.01E-06  |                      |
| TCDD-TEQ   | 1.04E-03                | 5.00E-08                            | 5.20E-11   | 0.38   | 6.24E-06  | 6.24E-06                                  | 6.24E-06  |                      |

ÍNDICE DE PELIGRO<sub>aire</sub>

CUADRO V. CONCENTRACIONES MÁXIMAS ENCONTRADAS EN LOS CC Y ESTIMACIONES DEL RIESGO Y DEL HI PARA LA RUTA DE EXPOSICIÓN SUELOS.

| ADULTO Y NIÑO (Escenario Residencial). Ruta de Exposición – Suelos |                         |   |                                     |   |   |                                |                 |
|--|-------------------------|---|-------------------------------------|---|---|--------------------------------|-----------------|
| Vía de exposición  | Contaminante crítico    | Factor de absorción dérmica (ABS) sin unidad <sup>1</sup> | Concentración de exposición (mg/kg) | Dosis de referencia oral (RfDo) mg/kg/día | Índice de peligro (riesgo no cancerígeno) | Riesgo (cancerígeno)           |                 |
| ORAL y DERMICA   | Antimonio               | 0.01  | 53                                  | 4.00E-04                                  | 1.87E+00                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Arsénico                | 0.03  | 6.2                                 | 3.00E-04                                  | 3.44E-01                                  | 1.26E-04                       |                 |
|  | Bario                   | 0.01  | 859                                 | 2.00E-01                                  | 6.05E-02                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Berilio                 | 0.01  | 0.58                                | 2.00E-03                                  | 4.08E-03                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Cadmio                  | 0.001   | 9.2                                 | 1.00E-03                                  | 1.19E-01                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Cromo                   | 0   | 80.7                                | 1.50E+00                                  | 6.89E-04                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Cobalto                 | 0.01  | 17                                  | 2.00E-02                                  | 1.20E-02                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Cobre                   | 0.01  | 17400                               | 4.00E-02                                  | 6.12E+00                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Molibdeno               | 0.01  | 19                                  | 5.00E-03                                  | 5.35E-02                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Níquel                  | 0.01  | 437                                 | 2.00E-02                                  | 3.08E-01                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Selenio                 | 0.01  | 2.6                                 | 5.00E-03                                  | 7.32E-03                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Talio                   | 0.01  | 0.29                                | 6.50E-05                                  | 6.28E-02                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Vanadio                 | 0.01  | 27                                  | 5.00E-03                                  | 7.60E-02                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Zinc                    | 0.01  | 17300                               | 3.00E-01                                  | 8.12E-01                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Manganeso               | 0.01  | 570                                 | 2.40E-02                                  | 3.34E-01                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Anilina                 | 0.1   | 0.46                                | 7.0E-03                                   | 1.68E-03                                  | 9.02E-09                       |                 |
|  | Bis(2-etilhexil)ftalato | 0.1   | 10                                  | 2.06E-02                                  | 1.24E-02                                  | 1.03E-07                       |                 |
|  | Di-n-butilftalato       | 0.1   | 1.2                                 | 1.00E-01                                  | 3.07E-04                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Di-n-octilftalato       | 0.1   | 0.46                                | 4.00E-02                                  | 2.94E-04                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Dietilftalato           | 0.1   | 0.82                                | 8.00E-01                                  | 2.62E-05                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Dimetilftalato          | 0.1   | 1.2                                 | 1.00E+01                                  | 3.07E-06                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Fenol                   | 0.1   | 0.72                                | 3.00E-01                                  | 6.14E-05                                  | 0.00E+00                       |                 |
|  | Aroclor 1242            | 0.15  | 0.015                               | 2.00E-05                                  | 2.40E-02                                  | 2.10E-08                       |                 |
|  | TCDD-TEQ                | 0.03  | 1.04E-03                            | 1.00E-09                                  | 1.73E+01                                  | 2.88E-04                       |                 |
|  |                         | <b>ÍNDICE DE PELIGRO<sub>suelos</sub></b>                 |                                     |   |   | <b>27.53</b>                   | <b>4.14E-04</b> |
|  |                         |   |                                     |   |   | <b>RIESGO<sub>suelos</sub></b> |                 |

FUENTE: ORNL 2008<sup>1</sup>.

## REFERENCIAS

- ASTM (2008). E-1689-95. Standard Guide for Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites. ASTM International. Standard. West Conshohocken, PA. 8 pp.
- Atencio R. (2011). Evaluación de riesgo ambiental en sitios contaminados en el Valle de Mexicali, B.C. Caso de estudio basurero Vado Carranza. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, México, 64 pp.
- Cal/EPA (1999). Preliminary Endangerment Assessment Guidance Manual. State of California, Environmental Protection Agency. . Guidance Document. Sacramento, CA. 57 pp.
- CDRRR (1998). Publication No. 231-98-019. Local Enforcement Agency Advisory #56: Process for Evaluating and Remediating Burn Dump Sites. State of California, Department of Resources Recycling and Recovery. Guidance Document. Sacramento, CA. 28 pp.
- DTSC (1997) Selecting Inorganic Constituents as Chemicals of Potential Concern at Hazardous Waste Sites and Permitted Facilities. State of California, Environmental Protection Agency, Department of Toxic Substances Control. Guidance Document. Sacramento, CA. 8 pp.
- DTSC (2003). Protocol for Burn Dump Site Investigation and Characterization. State of California, Environmental Protection Agency, Department of Toxic Substances Control. Guidance Document. Sacramento, CA. 71 pp.
- Gómez F. (2010). Metales Pesados en Vado Carranza. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, México, 84pp.
- LGPGIR (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 8/octubre/2003.
- OEHHA (2008). Toxicity Criteria Database. Cal-EPA Office of Environmental Health Hazard Assessment [en línea] <http://www.oehha.ca.gov/tcdb/> 9/12/2008.
- ORNL (2008). Oak Ridge National Laboratory Screening Levels (Laboratorio nacional de Oak Ridge) [en línea ] [http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration\\_table/](http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration_table/) 9/12/2008.
- OULM (2008). Observatorio Urbano Local de Mexicali. Disposición de Residuos Sólidos [en línea]. [http://www.uabc.mx/iis/oulm/cgeoclip\\_mi05/carte17.htm](http://www.uabc.mx/iis/oulm/cgeoclip_mi05/carte17.htm) 21/11/2008.
- Peña, C.E., Carter D.E., y Ayala-Fierro F. (2001). Toxicología ambiental: Evaluación de riesgos y restauración ambiental [en línea]. <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/> 6/02/2009.
- RLGPGIR (2006) El Reglamento de Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 20 de Noviembre de 2006.
- Rojas-Caldelas R.I. y Corona Zambrano E.A. (2008). Urban observatories for environmental monitoring. Waste Manage. 28, S40-S44.
- SEMARNAT (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 20 de octubre de 2004
- SEMARNAT (2006). Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Guía técnica. México, D.F. 314 pp.
- USEPA (1989). EPA-540-1-89-002. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Volume I – Human Health Evaluation Manual, Part A. Manual. Washington, DC. 287 pp.
- USEPA (1991). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Volume I – Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance: “Standard Default Exposure Factors”. (United States Environmental Protection Agency).
- USEPA (2004). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Volume I – Human Health Evaluation Manual, Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment (United States Environmental Protection Agency).
- USEPA (2008). Integrated Risk Information System (IRIS), [en línea]. <http://www.epa.gov/IRIS/> 21/12/2008.
- USEPA (2010). USEPA Region VI Human Health Medium-Specific Screening Levels table. (Región VI Tabla de evaluación de Salud Humana) [en línea] [http://www.epa.gov/region6/6pdr/cra\\_c/pd-n/screen.htm](http://www.epa.gov/region6/6pdr/cra_c/pd-n/screen.htm) 10/12/2010.
- Valdez M. (2010). Impacto de los residuos provenientes de un tiradero a cielo abierto sobre la calidad del agua subterránea. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, México. 285 pp.
- Van den Berg M., Birnbaum L.S., Denison M., De Vito M., Farland W., Feeley M., Fiedler H., Hakansson H., Hanberg A., Haws L., Rose M., Safe S., Schrenk D., Tohyama C., Tritscher A., Tuomisto J., Tysklind M., Walker N., Peterson R.E. (2006). The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compound. Toxicol. Sci. 93, 223-241.

Wester R.C., Maibach H.I., Sedik L., Melendres J. y Wade M. (1993). Percutaneous absorption of PCBs from Soil: In-vivo Rhesus monkey, In-vitro human skin, and binding to powdered human stratum corneum. *J. Toxicol. Environ. Health* 39, 375-382

Zairi M., Ferchichi M., Ismail A., Jenayeh M., y Hammami H. (2004). Rehabilitation of El Yahoudia dumping site, Tunisia. *Waste Manage.* 24, 1023-1034.