



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN

**Título:**

“EVALUACIÓN DEL RIESGO SANITARIO AMBIENTAL POR EXPOSICIÓN DE  
ARSÉNICO Y MERCURIO PRESENTE EN LOS SEDIMENTOS DEL DISTRITO  
MINERO PORTOVELO – ZARUMA.”

**Autores:**

Danny Andrés Chela Tenelema  
Cristina Gabriela Córdor Simbaña

**Directora:**

Dra. María Fernanda Rivera Velásquez

**Riobamba – Ecuador**

**2017**

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:  
**EVALUACIÓN DEL RIESGO SANITARIO AMBIENTAL POR EXPOSICIÓN DE ARSÉNICO Y MERCURIO PRESENTE EN LOS SEDIMENTOS DEL DISTRITO MINERO PORTOVELO – ZARUMA,**  
presentado por: Danny Andrés Chela Tenelema y Cristina Gabriela Córdor Simbaña

Dirigido por: Dra. María Fernanda Rivera Velásquez.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Iván Ríos PHD

\_\_\_\_\_  
Presidente del Tribunal

  
\_\_\_\_\_  
Firma

Ing. María Fernanda Rivera PHD

\_\_\_\_\_  
Director del Proyecto

  
\_\_\_\_\_  
Firma

Ing. Juan Carlos Caicedo Msc.

\_\_\_\_\_  
Miembro del Tribunal

  
\_\_\_\_\_  
Firma

**AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Danny Andrés Chela Tenelema

CI. 020156432-5



Cristina Gabriela Córdor Simbaña

CI. 060408120-8



## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios fuente de virtud y sabiduría. « *Entrega al Señor todo lo que haces; confía en él, y él te ayudará (Salmos 37: 5, 6.)*» A nuestra Alma Máter la Universidad Nacional de Chimborazo por la excelencia académica y valor humanista que nos ha brindado, a la Facultad de Ingeniería y a la Carrera de Ingeniería Ambiental donde nos hemos formado como profesionales capaces de afrontar retos con ética y responsabilidad, a la Dra. María Fernanda Rivera amiga y maestra quien nos guió con su conocimiento y dedicación, sin ella este proceso no hubiera sido posible, al Dr. Patricio Colón Velásquez por la colaboración técnica durante la realización de este trabajo y a todos nuestros maestros que siempre recordaremos con gratitud, cariño y admiración.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico con todo cariño y gratitud, a mis padres Manuel y María por ser el pilar fundamental de mi vida, con sus consejos y su ejemplo de superación; a mis hermanos Marco, Marcelo, Paulina, Sofía por ser mi apoyo incondicional; a mis sobrinos que con su alegría e inocencia me motivaban a seguir adelante; a mis amigos y hermanos Danny, Cristhian, Víctor, por todos los gratos momentos compartidos y por el apoyo que han brindado siempre, en este camino recorrido; a mis maestros quienes con su conocimiento brindado me han formado como profesional; y a todas aquellas personas que me han acompañado en esta gran etapa de mi vida.

### **Gaby C.**

Dedico de todo corazón a la fuerza que me inspiro e incentivó a seguir luchando por lo que más anhelo, mi madre Rosita a quien respeto y amo; a mis abuelitos María y Manuel que con sus oraciones me han guiado por el camino del bien; a mi padre Agustín que con sus sabios consejos jamás me desamparó; a mis tíos por su apoyo incondicional, a mis primas, primos, familiares, amigos que siempre me han animado a seguir caminando y nunca detenerme, a Gaby, Víctor, Maycol, hermanos personas queridas a quienes estimo por el viaje arduo de los semestres cursados y este trabajo final que ha afianzado el lazo que nos une.

### **Danny Ch. (Atik)**

## ÍNDICE

RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Problemática .....	1
1.2 Justificación .....	3
2. OBJETIVOS .....	4
2.1 General.....	4
2.2 Específicos .....	4
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
3.1 Evaluación del Riesgo Sanitario Ambiental .....	4
3.1.1 Análisis del riesgo determinístico y probabilístico .....	6
3.2 Naturaleza de los contaminantes.....	7
3.2.1 Toxicología del arsénico (As).....	7
3.2.2 Toxicología del mercurio (Hg) .....	9
3.3 Políticas de gestión de sitios contaminados en el Ecuador. ....	11
4. METODOLOGÍA .....	12
4.1 Caracterización del sitio:.....	12
4.2 Selección de contaminantes indicadores y cuantificación de la concentración de contaminantes indicadores. ....	12
4.3 Definición del modelo conceptual del sitio.....	13
4.4 Cálculo de la concentración en el punto de exposición .....	13
4.5 Cálculo del riesgo .....	14
5. RESULTADOS.....	20
5.1 Caracterización del sitio:.....	20
5.2 Selección de contaminantes indicadores y cuantificación de la concentración de contaminantes indicadores. ....	23
5.3 Definición del modelo conceptual del sitio.....	26
5.4 Cálculo de la concentración en el punto de exposición .....	27
5.5 Cálculo del riesgo .....	28
Riesgo determinístico.....	28
Riesgo probabilístico .....	29
6. DISCUSIÓN .....	32
7. CONCLUSIONES .....	34
8. RECOMENDACIONES .....	36
9. BIBLIOGRAFÍA .....	37

10.	APÉNDICES O ANEXOS.....	40
	Anexo 1. Marco legal ambiental aplicado al sector minero.....	40
	Anexo 2. Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo del año 2007.....	42
	Anexo 3. Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo del año 2011-2012 ....	44
	Anexo 4. Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo del año 2013.....	47
	Anexo 5. Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo del año 2017 correspondiente a la investigación. ....	49
	Anexo 6. Resultados del análisis de las concentraciones de mercurio y arsénico año 2017. ....	50
	Anexo 7. Cálculo del riesgo sanitario ambiental de forma determinística.....	55
	Anexo 8. Análisis de incertidumbre del riesgo probabilístico .....	58
	Anexo 9. Fotografías del Distrito Minero Portovelo - Zaruma .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Valores de ingreso (inputs) para el cálculo del riesgo probabilístico y determinístico.....	18
<b>Tabla 2.</b>	Valor del factor cancerígeno y tóxico de los elementos contaminantes .....	19
<b>Tabla 3.</b>	Valores de concentración en el punto exposición .....	27
<b>Tabla 4.</b>	Valores de Riesgo para los contaminantes Arsénico (As) y Mercurio (Hg) .....	28
<b>Tabla 5.</b>	Valores calculados de riesgo total determinístico .....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Curva dosis – respuesta del riesgo.....	16
<b>Figura 2.</b>	Mapa de ubicación del Distrito Minero Zaruma-Portovelo.....	20
<b>Figura 3.</b>	Porcentaje de concentración de elementos que supera la normativa ambiental vigente según criterios del recurso suelo .....	24
<b>Figura 4.</b>	Porcentaje de concentración de elementos que supera la normativa ambiental vigente según criterios del recurso suelo año 2017.....	24
<b>Figura 5.</b>	Evolución de las concentraciones vs tiempo en los puntos de muestreo a) mercurio y b) arsénico. ....	25
<b>Figura 6.</b>	Definición del modelo conceptual.....	26
<b>Figura 7.</b>	Riesgo total cancerígeno en el receptor Adultos .....	29
<b>Figura 8.</b>	Riesgo total tóxico en el receptor Adultos.....	30
<b>Figura 9.</b>	Riesgo total cancerígeno en el receptor Niños .....	30
<b>Figura 10.</b>	Riesgo total tóxico en el receptor Niños.....	31
<b>Figura 11.</b>	Riesgo total cancerígeno en el receptor Trabajadores .....	31
<b>Figura 12.</b>	Riesgo total tóxico en el receptor Trabajadores .....	32

## **RESUMEN**

Desde la época colonial, las principales actividades mineras se encuentran en la región sur de Ecuador. La zona de Zaruma - Portovelo es el principal Distrito Minero del país, cuenta con aproximadamente 200 concesiones mineras y 80 plantas de beneficio. Las actividades de pequeña minería y minería artesanal realizadas en la zona han dado como resultado concentraciones altas de metales pesados, entre ellos, los más representativos son: el arsénico y el mercurio. El mercurio es usado en los procesos de amalgamación para la recuperación de oro. El arsénico se forma a partir de sulfuros minerales expuestos a procesos de meteorización durante las tareas de excavación. El objetivo de este estudio es evaluar los efectos sobre la salud en términos de riesgo cancerígeno y riesgo tóxico para adultos, niños y trabajadores mineros del Distrito Minero Zaruma Portovelo, mediante un análisis probabilístico y determinístico. Los puntos muestreados se encuentran en las cercanías de las riveras de los ríos Caleras, Pindo y Amarillo. Este trabajo realiza un análisis temporal y espacial de los datos de concentración de mercurio y arsénico en sedimentos en los años 2007, 2011, 2012, 2013 y 2017. Las vías de exposición activas son: inhalación, contacto dérmico e ingestión. El receptor se ubica en el lugar mismo de la contaminación. Los resultados muestran que el riesgo total, calculado como la suma de los riesgos individuales por vía de exposición de cada contaminante, tanto para el riesgo tóxico como cancerígeno, supera los límites establecidos  $RC= 1 \times 10^{-6}$  y  $HQ= 1$ , respectivamente.

## **PALABRAS CLAVES**

Procesos mineros, análisis de riesgo sanitario ambiental, mercurio, arsénico sedimentos.

## Abstract

Since colonial times, the main gold mining activities are in the Southern region of Ecuador. Zaruma - Portovelo zone is the main mining district of the country. It has approximately 200 mining concessions and 80 gold processing plants. Small-scale mining and handicraft mining activities in the area led to high concentrations of several heavy metals, among which the most representative are arsenic and mercury. Mercury is used in amalgamation processes for gold recovery. Arsenic is produced from mineral sulphides exposed to weathering processes during excavation. The objective of this article is to evaluate the effects on health in terms of carcinogenic risk and toxic risk for adults, children and mining workers of the Zaruma Portovelo Mining District, through a probabilistic and deterministic analysis. The sampling points are located near the banks of the Caleras, Pindo and Amarillo rivers. This work makes a temporal and spatial analysis of the mercury and arsenic concentration data in sediments in the years 2007, 2011, 2012, 2013 and 2017. The active routes of exposure are: inhalation, dermal contact and ingestion. For the calculation of the risk the receiver is considered located at the same place of the contamination. The results show that the total risk, calculated as the sum of the individual risks by exposure and for each pollutant, for both toxic and carcinogenic risk, exceeds the established limits  $RC = 1 \times 10^{-6}$  and  $HQ = 1$ , respectively.

**KEYWORDS :** Mining processes, health risk analysis, mercury, arsenic, sediments.



Reviewed by: Barriga, Luis  
Language Center Teacher

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Problemática**

Las actividades industriales mineras son parte integral del desarrollo del hombre. Sin embargo, los procesos de contaminación ligados a esta actividad aumentan substancialmente cuando se trabaja de manera semi-clandestina, y/o con tecnología inadecuada. La liberación de metales pesados como mercurio, arsénico, cromo, plomo, entre otros, todos químicos tóxicos que tiene un preocupante impacto ambiental por representar un riesgo para la salud de las poblaciones aledañas. (Velásquez, 2010)

Estas preocupaciones han llevado las autoridades de turno a implementar acciones orientadas a controlar la presencia de estos elementos, tales como el Plan Cero Mercurio del Ministerio de Ambiente del Ecuador (PNUMA, 2014), cuyo principal objetivo es prevenir y combatir los impactos del mercurio y sus compuestos aplicando un criterio de gradualidad, como instrumento de partida. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, hasta la fecha no existe una metodología de gestión clara, para determinar en sitios contaminados, el riesgo potencial para los humanos.

En el Ecuador, el potencial aurífero se explota en las provincias de Zamora, Azuay y El Oro, en los depósitos Zaruma-Portovelo, Nambija y Ponce Enríquez, respectivamente. Los procesos ligados a la pequeña minería y minería artesanal han causado episodios de contaminación, en agua, suelo y aire, debidos a metales pesados residuos mayoritariamente de los procesos de recuperación de oro y otros minerales. (Rivera, 2012)

La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas y se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes (OMS, 2012). En tanto que la exposición al mercurio incluso en

pequeñas cantidades, puede causar graves problemas en las primeras etapas de vida, y puede ser tóxica para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos (OMS, 2012).

A pesar de que la minería artesanal se viene dando desde hace muchos años, se han realizado pocos estudios para conocer el impacto en la salud humana, sobre todo en los grupos más vulnerables como son los niños. La revisión bibliográfica, ha permitido encontrar estudios al respecto; sin embargo estos se enmarcan en la población ocupacionalmente expuesta, o en la no ocupacionalmente expuesta, pero en las cuales no se consideran a los menores de 18 años.

Según Martínez y Santos, (1994) en su estudio denominado, “Incidencia del Mercurio en la región de Zaruma y Portovelo”, para determinar el impacto del mercurio en la salud, estableció que el 52.4% de mineros en el Cantón Portovelo, presentaban manifestaciones de intoxicación mercurial, variando entre los niveles de impregnación y de intoxicación real utilizando técnicas exploratorias también de tipo clínico.

En una publicación realizado por Skerfving, (1995) denominado “Exposición a mercurio, plomo y cadmio en mineros de Ponce Enríquez, Portovelo, Zaruma y Nambija en Ecuador” se concluyó que aproximadamente, el 30% de mineros presentan valores por encima de los 18  $\mu\text{g/l}$ , de mercurio en sangre que es el valor límite para Europa. Además se encontraron cifras altas en compradores de oro (6 a 433  $\mu\text{g/l}$ ). En las personas no relacionadas con la minería las cifras estaban por debajo del límite biológico de exposición.

En un artículo más reciente de la autoría de Montero S. José Luis, 2011 denominado “Estudio y evaluación de los flujos ácidos derivados de la minería en las márgenes del río Calera, Distrito Minero Portovelo – Zaruma” La concentración de arsénico está en el intervalo de (0.04 y 0.33)  $\text{mg/l}$  con una media de 0.17  $\text{mg/l}$ . determinándose como un valor que supera el límite de 0.1  $\text{mg/l}$ .

En este sentido se planteó como hipótesis que el contacto incidental de arsénico y mercurio en sedimentos presentes en el Distrito Minero Zaruma- Portovelo genera un Riesgo Sanitario Ambiental

## **1.2 Justificación**

La relevancia social y trascendencia de la investigación se sustenta en la Constitución Política del Ecuador, la cual reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, en El Plan Nacional del Buen Vivir, que en su objetivo siete define garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global, a través de su política establece la necesidad de garantizar la bioseguridad precautelando la salud de las personas; mediante el desarrollo y aplicación de sistemas para el control de los potenciales peligros y riesgos ambientales.

Teniendo presente la problemática analizada y las nuevas tendencias en materia de legal, económica y social, que han convertido al tema minero en un asunto de importancia nacional, por los impactos positivos y negativos que representa; un estudio que ponga en evidencia la problemática de un manejo no adecuado de los recursos minerales que asocia problemas contaminación con afectación directa al hombre, podría ser de importancia para la toma de decisiones a largo plazo. Es así que la presente investigación pretende ser un referente técnico y de gestión para la toma de decisiones a nivel de gobierno central, con la finalidad de salvaguardar la integridad de las personas que habitan y trabajan en el Distrito Minero de Zaruma – Portovelo.

El estudio nace a partir de una problemática real, que es la de evaluar el nivel de riesgo al cual las personas están expuestas producto de la carga contaminante de arsénico y mercurio generada por la producción aurífera. La matriz ambiental analizada corresponde a sedimentos fluviales, que afectarían no solo a los mineros, sino también a las comunidades aledañas a los centros de extracción. El alcance es el de calcular de manera determinística y probabilística el riesgo para tres tipos de receptores (adultos, niños y trabajadores).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General:**

- Evaluar el riesgo sanitario ambiental por exposición de mercurio y arsénico presente en los sedimentos, del Distrito Minero Portovelo-Zaruma.

### **2.2 Específicos:**

- Caracterizar el escenario de exposición y cuantificar las concentraciones de mercurio y arsénico en los sedimentos del Distrito Minero Portovelo-Zaruma.
- Calcular el riesgo total del arsénico y mercurio de manera determinística mediante la ecuación de riesgo.
- Determinar el riesgo total del arsénico y mercurio de manera probabilística mediante la ecuación de riesgo.
- Analizar de manera comparativa las curvas de densidad de probabilidad y los valores determinísticos obtenidos.

## **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **3.1. Evaluación del Riesgo Sanitario Ambiental**

La evaluación del riesgo para la salud humana puede definirse como la probabilidad de que la exposición a sustancias químicas en ambientes contaminados pueda haber dañado la salud de las personas. El cálculo del riesgo es llamado "cálculo predictivo", mientras que el cálculo de los niveles de remediación se denomina "cálculo regresivo" de acuerdo a la Guía de Evaluación de Riesgos de la EPA (USEPA, 2015). La caracterización del riesgo integra información y sintetiza una conclusión general sobre el riesgo que es completa, informativa y útil para los tomadores de decisiones.

Para la evaluación del riesgo para la salud, se describe un paradigma de cuatro pasos (NRC, 1983). Por cada paso, se evalúa la información pertinente y científicamente fiable.

**-Recopilación y evaluación de datos:** Identificación del peligro para determinar si un químico en particular está causalmente vinculada a efectos particulares sobre la salud.

**-Respuesta a la dosis:** Establece la relación entre la magnitud de la exposición y la probabilidad de que se produce los efectos sobre la salud humana, analizar las emisiones contaminantes, identificar las poblaciones expuestas, posibles vías de exposición, estimar las concentraciones en las vías de exposición y la ingesta de contaminantes para las vías.

**-Evaluación de la toxicidad:** Se realiza mediante la recopilación de información cualitativa y cuantitativa de toxicidad y determinación de los valores de toxicidad apropiados.

**-Caracterización del riesgo:** Consiste en caracterizar la posibilidad de que se produzcan efectos adversos para la salud, estimar los riesgos de cáncer, los cocientes de riesgo no relacionados con el cáncer y evaluar la incertidumbre.

En general, las evaluaciones de riesgos llevan categorías de incertidumbre, la cual se define como la falta de conocimiento sobre los efectos de los contaminantes y se refiere al error usual que acompaña a la medición científica – estadística estándar. La incertidumbre es a menudo inherente al muestreo ambiental, uso de modelos científicos y estimaciones o supuestos utilizados en la evaluación. (U.S. Environmental Protection Agency, 2000)

El análisis de riesgo es el uso sistemático de la información disponible para determinar la frecuencia con la que determinados eventos se pueden producir y la magnitud de sus consecuencias. Se puede realizar cualitativa y cuantitativamente. El análisis de riesgo cualitativo generalmente incluye la evaluación intuitiva, mientras que el riesgo cuantitativo trata de asignar valores numéricos a los riesgos. (U.S. Environmental Protection Agency, 2000)

### **3.1.1 Análisis del riesgo determinístico y probabilístico**

Un análisis de riesgo cuantitativo se puede realizar con dos métodos diferentes. El primer método utiliza estimaciones de un solo punto, y es de naturaleza determinista. Con este método, un analista o tomador de decisiones puede asignar valores a situaciones; normalmente se examina tres resultados diferentes: el peor de los casos, el mejor de los casos y el caso más probable, sin embargo este método tiene varios problemas ya que sólo se consideran unos pocos resultados independientes, y se ignoran cientos o miles más, se da el mismo peso a cada resultado, es decir, no se trata de evaluar la probabilidad de cada resultado y se ignora la interdependencia entre las variables de entrada, el impacto de las diferentes variables sobre el resultado y otros detalles, simplificando en exceso el modelo y reduciendo su precisión. (EPA., 2015). (Wilson, 2000)

El método tradicional para la evaluación de riesgo es el cálculo del cociente de riesgo, donde la estimación puntual de la exposición medida o prevista se determina a partir de una relación dosis-respuesta. Si la proporción excede un valor de 1,0 el potencial de riesgo no puede ser refutado. (Wilson, 2000)

Sin embargo, el término riesgo implica un elemento de probabilidad y la probabilidad se reporta como probabilidades, que no pueden establecerse a partir de estimaciones puntuales. Además existe un grado de incertidumbre en las evaluaciones del riesgo.

Una mejor forma de hacer un análisis de riesgo cuantitativo es mediante el uso de la simulación Monte Carlo donde las variables inciertas de un modelo se representan usando rangos de posibles valores denominados distribuciones de probabilidad, en su forma más simple es un generador de números aleatorios que es útil para análisis de pronóstico mediante el uso de distribuciones de probabilidad, las variables pueden tener diferentes probabilidades de producir diferentes resultados. Las distribuciones de probabilidad son una forma mucho más realista de describir la incertidumbre en las variables de un análisis de riesgo. (Mun., 2005-2012)

La simulación permite la evaluación de escenarios generados aleatoriamente, de acuerdo a las distribuciones de probabilidades de las variables que influyen en el riesgo y de las relaciones de interdependencia entre ellas, de este modo se obtiene distribuciones de probabilidad de los criterios de evaluación seleccionados. (Mun., 2005-2012)

## **3.2 Naturaleza de los contaminantes**

### **3.2.1 Toxicología del arsénico (As)**

El arsénico es un elemento de origen natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre, se encuentra en formas orgánicas e inorgánicas y en diferentes estados de valencia u oxidación. Los estados de valencia del arsénico de interés medioambiental son los estados trivalente (III) y pentavalente (V). El arsénico elemental tiene un estado de valencia de (0). (Michael F. Hughes, 2011)

La concentración de arsénico en el suelo varía ampliamente, generalmente en el intervalo de 1 a 40 partes de arsénico a un millón de partes de tierra (ppm) con un nivel medio de 3-4 ppm. Sin embargo, los suelos cerca de yacimientos geológicos ricos en arsénico, algunos sitios de minería y fundición, o áreas agrícolas pueden contener niveles mucho más altos de arsénico. (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007)

El arsénico es la sustancia número uno de la Lista Prioritaria de Sustancias Peligrosas publicada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés). Existen diversos estudios sobre la toxicología del arsénico, la mayoría han sido realizados en animales, pero hay una serie de estudios en seres humanos que brindan una idea de su comportamiento y riesgo para la salud.

#### ***3.2.1.1 Exposición al arsénico por inhalación***

El arsénico inorgánico existe en el aire como material particulado, la absorción a través del pulmón involucra dos procesos: deposición de las partículas sobre la superficie pulmonar y absorción de arsénico. No se han encontrado estudios sobre

la absorción de arsénico orgánico en humanos o animales después de la exposición por inhalación. Sin embargo, estudios en los pulmones de ratas demostraron que el arsénico es absorbido rápidamente (tiempo medio de 2,2 minutos) y casi completamente (al menos 92%) (Stevens et al., 1977). Esto indica la probabilidad que los arsenicales orgánicos sean también absorbidos por la vía de inhalación.

Si se respira altos niveles de arsénico inorgánico, es probable experimentar un dolor de garganta y pulmones irritado, el nivel de exposición que produce estos efectos es aún incierto, pero es probable que sea un valor superior a 100 microgramos de arsénico por metro cúbico ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) en una breve exposición. En una exposición más prolongada causaría efectos en la piel, y trastornos nerviosos circulatorios y periféricos.

Una preocupación importante es la capacidad del arsénico inorgánico para aumentar el riesgo de cáncer de pulmón. Esto se ha visto principalmente en trabajadores y residentes expuestos al arsénico en fundiciones, minas y fábricas de productos químicos. (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007)

### ***3.2.1.2 Exposición al arsénico por ingestión***

Estudios en humanos indican que los arseniatos y los arsenitos son absorbidos a través del tracto gastrointestinal. La evidencia más directa proviene de un estudio que evaluó en el período de 6 días la eliminación del arsénico en seres humanos sanos a los que se les dio agua de un sitio de muestreo con arsénico alto y reportaron aproximadamente 95% de absorción. (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007)

Grandes dosis (por encima de 60.000 ppb en agua) de arsénico inorgánico pueden resultar en la muerte. Si se ingiere niveles más bajos de arsénico inorgánico de aproximadamente 300 a 30.000 ppb en agua; se puede experimentar irritación de estómago e intestinos, con síntomas tales como dolor de estómago, náuseas, vómitos y diarrea. La ingestión de arsénico también puede aumentar el riesgo de cáncer en el hígado, la vejiga y los pulmones. (Michael F. Hughes, 2011)

### ***3.2.1.3 Exposición al arsénico por contacto dérmico***

No se encontraron estudios cuantitativos sobre la absorción de arsénicos inorgánicos u orgánicos en humanos después de la exposición dérmica. La absorción percutánea de [<sup>73</sup>As] como del ácido arsénico (H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub>) solo y mezclado con el suelo se ha medido en la piel de cadáveres (Wester et al., 1993). El arsénico marcado fue aplicado a la piel en las células de difusión y el tránsito a través de la piel en el líquido receptor medido, después de 24 horas, el 0.93% de la dosis pasó a través de la piel y el 0.98% permaneció en la piel después del lavado. (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007)

El efecto más característico de la exposición oral a largo plazo al arsénico inorgánico es un patrón de cambios en la piel y también puede desarrollarse cáncer de piel. (Michael F. Hughes, 2011).

### **3.2.2 Toxicología del mercurio (Hg)**

El mercurio es un metal natural que se encuentra en el medio ambiente como resultado de la descomposición de los minerales en las rocas y el suelo. Actividades como la minería han ocasionado su liberación desde comienzos de la era industrial. Las estimaciones de las emisiones anuales totales de mercurio resultado de las actividades humanas oscilan entre un tercio y dos tercios del total de emisiones de mercurio. Una incertidumbre importante en estas estimaciones es la cantidad de mercurio que se libera del agua, suelos o sedimentos previamente contaminados por las actividades humanas en oposición a las liberaciones naturales. (PNUMA, 2002)

El mercurio se encuentra naturalmente en el ambiente en varias formas mercurio metálico o elemental, mercurio orgánico y mercurio inorgánico. La toxicidad del mercurio depende de su forma química y, por lo tanto, los síntomas y signos varían, aunque es bien sabido que el mercurio y sus compuestos son sustancias sumamente tóxicas. Las investigaciones de la última década muestran que los efectos tóxicos pueden generarse a concentraciones más bajas, y que podrían afectar a más población mundial de lo que se había pensado. (PNUMA, 2002)

### ***3.2.2.1 Exposición al mercurio por inhalación***

La mayoría de los estudios sobre la exposición por inhalación se refieren a la exposición al vapor de mercurio metálico. Otras formas de mercurio inorgánico no representan un riesgo por la vía de inhalación. La inhalación de niveles suficientes de vapor metálico de mercurio se ha asociado con toxicidad sistémica tanto en humanos como en animales. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999)

Los principales órganos afectados por la toxicidad inducida por mercurio metálico son los riñones y el sistema nervioso central. A niveles de exposición altos, también se producen efectos respiratorios, cardiovasculares y gastrointestinales. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999)

### ***3.2.2.2 Exposición al mercurio por ingestión***

Pocos estudios en humanos se localizaron con respecto a la absorción de mercurio inorgánico o ingerido. Para el mercurio metálico, la ingestión de pequeñas cantidades, tal como la contenida en un termómetro estándar (aproximadamente 0,1 ml o aproximadamente 1 g), no produce síntomas de intoxicación (Wright et al., 1980). Los compuestos orgánicos de mercurio son más fácilmente absorbidos por vía oral que los compuestos inorgánicos de mercurio. Basándose en estudios de retención y excreción en humanos, se absorbió aproximadamente el 95% de una dosis oral de nitrato metilmercúrico acuoso (Aberg et al., 1969).

### ***3.2.2.3 Exposición al mercurio por contacto dérmico***

En relación al mercurio metálico e inorgánico en el estudio realizado por Hursh et al. (1989) se concluye que la absorción dérmica de vapor de mercurio presenta un riesgo ocupacional muy menor en comparación con la exposición por inhalación. Cuando se comparó la absorción para el área total de la piel con la vía de inhalación para la misma concentración ambiental, la vía dérmica absorbida se estimó en un 2,6% de la cantidad absorbida por el pulmón. La evidencia indirecta de la absorción dérmica es proporcionada por estudios de casos clínicos en los que se informó intoxicación por mercurio en individuos después de la aplicación dérmica de ungüentos que contenían sales inorgánicas de mercurio (Bourbourg et

al., 1986; DeBont et al., 1986). Un historial clínico indica una absorción casi completa del dimetilmercurio a través de la piel, dando como resultado una vía de exposición altamente tóxica.

### **3.3 Políticas de gestión de sitios contaminados en el Ecuador.**

Considerando que Sudamérica es una de las regiones en las que prolifera la llamada minería artesanal o de pequeña escala para extraer oro. Ecuador y Colombia destacan en la lista de países en los que se encuentra la minería ilegal, y Perú es el mayor importador de mercurio de la región.

Ecuador suscribe el “Convenio de Minamata sobre el Mercurio”, instrumento que tiene como objetivo la protección de la salud humana y del ambiente, de los efectos nocivos de las emisiones y liberaciones de mercurio en el marco de la Conferencia de Plenipotenciarios en la ciudad de Kumamoto, Japón. Así Ecuador ha empezado a trabajar impulsado acciones hacia un país Cero Mercurio; el programa que permitirá el control de mercurio en todo su ciclo de vida. (MAE, 2013). Algunas de estas acciones son:

-Emisión del Acuerdo Ministerial No. 003 del 11 de enero del 2013, en el cual se restringe la formulación, fabricación, comercialización, almacenamiento, uso y tenencia en el territorio nacional de mercurio, cianuro de sodio y cianuro de potasio, con el fin de proceder a la eliminación gradual del uso de mercurio en el país, especialmente en minería.

-Elaboración del Plan Cero Mercurio, el cual incluye la sistematización del registro de sustancias químicas peligrosas, entre las cuales el mercurio y cianuro, lo que permitirá el control de su uso mediante el establecimiento de cupos de importación.

-Coordinación con otras entidades del estado para establecer cambios de tecnologías, capacitaciones e incentivos para los pequeños mineros y mineros artesanales.

-La gestión realizada por el Ministerio del Ambiente, en coordinación con otras instituciones, permitirá un eficiente control en frontera que detenga el tráfico ilícito de sustancias químicas peligrosas.

#### **4. METODOLOGÍA**

La gestión del riesgo vista desde una óptica de salud humana se define como un proceso en el cual la toma de decisiones con miras a la reducción del mismo integra su evaluación con informaciones específicas relativas al sitio. (Covello & Merkhofer, 1993), (Ahlborg & Haag Gronlund, 1995) (Bedford & Cooke, 2001), (Ljungquist, 2005). Dentro de este contexto, la metodología utilizada incluyó 5 fases descritas a continuación:

**4.1 Caracterización del sitio:** Conocida comúnmente como línea base, comprende la recolección de estudios ambientales en la zona minera de Portovelo- Zaruma con la finalidad de identificar las posibles fuentes de contaminación y otros aspectos relevantes.

**4.2 Selección de contaminantes indicadores y cuantificación de la concentración de contaminantes indicadores.**

El estudio de temporalidad se desarrolló con los valores de las concentraciones de arsénico y mercurio en sedimentos de diferentes estudios (Lascano, 2008 ) (Guerrero,2013) (INIGEMM, 2013), los mismos que contemplaron los puntos de muestreo dispuestos en el Proyecto PRODEMINCA por el Gobierno de Suecia, que sugiere el muestreo en sitios próximos a los ríos Amarillo, Caleras, Pindo y quebradas ubicadas cerca de las plantas de beneficio de extracción de oro, debido a que históricamente han captado las aguas producto de las actividades mineras en el distrito. Se procedió entonces a comparar los valores de concentración de los elementos contaminantes encontrados en cada uno de los puntos con la normativa ambiental ecuatoriana vigente.

Una vez determinados los contaminantes criterio en el área del Distrito Minero Portovelo- Zaruma fueron identificados 20 puntos para el muestreo, en los sitios próximos a los puntos propuestos en el Proyecto PRODEMINCA, para

cuantificar la concentración de mercurio y arsénico en sedimentos, considerándolos puntos de importancia, por los criterios de nivel aparente de contaminación, personas posiblemente afectadas y condiciones topográficas, puesto que al paso de los años las características de accesibilidad a los sitios fueron modificadas.

El trabajo de campo fue realizado en enero del 2017, temporada lluviosa. Se recogió alrededor de 1kg de muestra de sedimento por punto de muestreo, a una profundidad de entre 15 y 20 cm con ayuda de una pala, las muestras se colocaron en fundas plásticas selladas herméticamente e identificadas mediante etiquetas, la toma de muestras de campo incluyó el posicionamiento satelital de los sitios de muestreo mediante un GPS Map 62S en sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator).

La concentración de arsénico y mercurio en las muestras tomadas en el Distrito Minero Portovelo- Zaruma fueron analizadas en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo mediante espectrofotometría de absorción atómica EPA SW-846 MÉTODO 7061A para el elemento arsénico y EPA SW-846 MÉTODO 7471 para el elemento mercurio.

#### **4.3 Definición del modelo conceptual del sitio.**

A partir de los resultados de caracterización, se construyó el MODELO CONCEPTUAL DEL SITIO mediante:

- Identificación de las fuentes de contaminación
- Selección de los contaminantes indicadores
- Identificación de las vías de migración y de las vías de exposición activas

#### **4.4 Cálculo de la concentración en el punto de exposición (CPOE)**

Fue necesario estimar la concentración en el punto mismo de la contaminación. En este estudio, con finalidad cautelativa, la concentración considerada en el análisis de riesgo coincide con la concentración de la fuente de exposición despreciando las vías de migración.

#### 4.5 Cálculo del riesgo

Recogiendo algunas definiciones dadas por diversos autores (NRC, 1993) (OTA, 1993) (EPA., 2015) se define el análisis de riesgo como: “La cuantificación del daño toxicológico producido al hombre, por efectos de una fuente contaminante, cuyas concentraciones llegan al “potencial” receptor a través de diversas vías de migración y de exposición”. Las ecuaciones para el cálculo de la dosis media diaria (del inglés ADD, Average daily dose, (mg/kg-day)) vinculada a las vías de exposición “Ingestión, Inhalación y Contacto Dérmico” se muestran a continuación.

- **Ingestión incidental por sedimentos:**

**Ecuación 1. Ingestión incidental por sedimentos**

$$\frac{C_{sn} * CF_1 * EF * FI * ED * IR}{CF_2 * BW * AT}$$

**Fuente:** Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), 2015

**Dónde:**

<b>C<sub>sn</sub></b>	Concentración	mg/kg	<b>IR</b>	Tasa de ingestión de suelo	mg/día
<b>CF<sub>1</sub></b>	Factor de conversión 1	kg/mg	<b>CF<sub>2</sub></b>	Factor de conversión 2	día/año
<b>EF</b>	Frecuencia de exposición	día/año	<b>BW</b>	Peso corporal	Kg
<b>FI</b>	Fracción ingerida	adimensional	<b>AT</b>	Tiempo promedio	Año
<b>ED</b>	Duración de exposición	año			

- **Inhalación incidental por sedimentos**

**Ecuación 2. Inhalación incidental por sedimentos**

$$\frac{C_{sn} * EF * ED \left[ \frac{1}{VF} * \frac{0.036 * (1 * V) * \left(\frac{U_m}{U_t}\right)^3 * F(x)}{\left(\frac{Q}{C}\right) * CF_3} \right]}{CF_2 * AT}$$

**Fuente:** Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), 2015

**Dónde:**

<b>C<sub>sn</sub></b>	Concentración	mg/kg	<b>U<sub>t</sub></b>	Valor umbral equivalente de velocidad del viento a 7 m	m/s
<b>EF</b>	Frecuencia de exposición	día/año	<b>F(x)</b>	Función dependiente de U <sub>m</sub> / U <sub>t</sub>	adimensional
<b>ED</b>	Duración de exposición	año	<b>Q/C</b>	Inversa de la concentración media en el centro de una fuente de 0,5 acre-cuadrado	(g*m3)/(m2*s *kg)

<b>VF</b>	Factor de Volatilización	(m <sup>3</sup> *kg)	<b>CF3</b>	Segundos en una hora	S
<b>V</b>	Fracción de la cubierta vegetal	sin unidades	<b>CF2</b>	Factor de conversión	día/año
<b>Um</b>	Velocidad media anual del viento	m/s	<b>AT</b>	Tiempo promedio	Año

- **Contacto dérmico incidental por sedimentos**

**Ecuación 3. Contacto dérmico incidental por sedimentos**

$$\text{Contacto dérmico} = \frac{C_{sn} * CF_4 * SA * AF * ABS * EF * ED}{CF_2 * BW * AT}$$

**Fuente:** Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), 2015

**Dónde:**

<b>Csn</b>	Concentración	mg/kg	<b>EF</b>	Frecuencia de exposición	mg/día
<b>CF4</b>	Factor de conversión 4	(kg*cm <sup>2</sup> /mg*m <sup>2</sup> )	<b>ED</b>	Duración de exposición	día/año
<b>SA</b>	Área Superficie	m <sup>2</sup> /día	<b>CF2</b>	Factor de conversión	Kg
<b>AF</b>	Factor de adherencia	mg/cm <sup>2</sup>	<b>BW</b>	Peso corporal	año
<b>ABS</b>	Factor de absorción	sin unidades	<b>AT</b>	Tiempo promedio	año

La ADD se traduce en la estima de la dosis diaria que puede ser asumida por el receptor, y se define como la cantidad media de agua, suelo y/o aire contaminado, a la cual el receptor está expuesto, por unidad de peso corporal y por día de exposición. Los valores de ADD que se encuentran en la bibliografía varían, dependiendo si su tratamiento es probabilístico o determinístico, pero, la fuente de mayor acreditación y confiabilidad es la publicación de la EPA (Environmental Protection Agency) denominada “*Exposure Factors Handbook*” (EPA., 2015).

Así el análisis de riesgo determinístico consiste en asignar un solo valor, considerado representativo, a cada uno a los parámetros de exposición (*factores input*) que conforman la ecuación del riesgo, dando como resultado un solo valor de riesgo (*factores output*). El análisis de riesgo probabilístico, introduce funciones de densidad de probabilidad para cada una de sus variables, y considera el grado de variabilidad e incertidumbre de los parámetros a través una simulación de tipo Monte Carlo. Una vez determinada la dosis media diaria se definen las sustancias cancerígenas y no cancerígenas mediante las ecuaciones 4 y 5.

- **Riesgo de una sustancia cancerígena:**

**Ecuación 4.** Riesgo de una sustancia cancerígena

$$RC = ADD \cdot CSF$$

**Fuente:** Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), 2015

En esta ecuación **RC** (riesgo cancerígeno), representa la probabilidad del incremento de casos de tumores en el transcurso de la vida, causados por la exposición a una sustancia, en condiciones de vida usuales. El **CSF Cáncer Slope Factor**  $\left(\frac{mg}{kg \text{ día}}\right)^{-1}$  indica la probabilidad del incremento de casos de tumores en el transcurso de la vida por unidad de dosis.

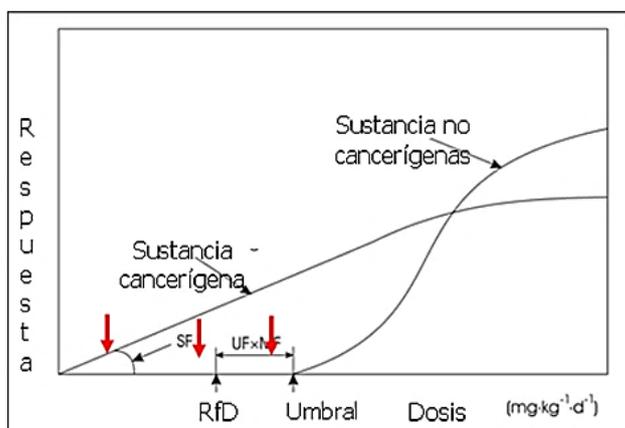
- **Riesgo de una sustancia no cancerígena:**

**Ecuación 5.** Riesgo de una sustancia cancerígena

$$HQ = ADD \cdot RfD$$

**Fuente:** Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), 2015

En esta ecuación **HQ** (riesgo tóxico o no cancerígeno), es un índice de peligro que expresa cuánto la exposición a la sustancia supera la dosis tolerable o de referencia **RfD Reference Dose**  $\left(\frac{mg}{kg \text{ día}}\right)$ . La **RfD** es la estima de la exposición media diaria que no produce efectos adversos apreciables en el organismo humano en el transcurso de su vida.



**Figura 1.** Curva dosis – respuesta del riesgo (EPA, 1997)

La figura 1. Muestra la curva toxicológica dosis-respuesta del riesgo y se evidencia que para las sustancias no cancerígenas, puede considerarse una dosis tolerable, debajo de la cual no existen efectos perjudiciales para la salud del hombre. Para las sustancias cancerígenas no existe umbral, es decir, aún una pequeña cantidad de una sustancia cancerígena se considera precursora de cáncer. Frecuentemente un sitio contaminado presenta varios tipos de sustancias contaminantes, y, tanto para el riesgo cancerígeno como para el riesgo no cancerígeno, se considera riesgo total la suma de los riesgos individuales.

- **Riesgo total de una sustancia cancerígena:**

**Ecuación 6.** Riesgo Total de una sustancia cancerígena

$$RC_{Total} = \sum_i^n \sum_j^n RC_{i,j}$$

**Fuente:** Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), 2015

- **Riesgo total de una sustancia no cancerígena:**

**Ecuación 7.** Riesgo Total de una sustancia no cancerígena

$$HQ_{Total} = \sum_i^n \sum_j^n HQ_{i,j}$$

**Fuente:** Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), 2015

Las sumatorias consideran el contaminante *i* –ésimo y la vía de exposición *j* –ésima.

Los estándares para la protección humana definidos por diversos organismos internacionales prevén los siguientes criterios de aceptabilidad (EPA., 2015). (APAT, 2008):

- **Riesgo cancerígeno:** (para una sola sustancia)

$RC < 10^{-6}$  Expresa una probabilidad de menos de un tumor por cada millón de individuos expuestos para varias sustancias.

$RC < 10^{-5}$  Expresa una probabilidad de menos de un tumor por cada 100.000 individuos expuestos.

- **Riesgo no cancerígeno** (exposición a una o más sustancias)

**HQ,**  $HQ < 1.0$

En este trabajo se calcula el riesgo probabilístico y determinístico y se comparan los resultados correspondientes.

El riesgo determinístico se calculó en el programa Microsoft Excel. El riesgo probabilístico se determinó mediante el Software SimLab 2.2. Este software, de uso no comercial libre por la licencia SIMLAB, es un preprocesador estadístico para la elaboración del modelo de simulación Montecarlo.

Utilizando las ecuaciones 1, 2, 3, 4, 5,6 y 7, se calculó el Riesgo Determinístico y Probabilístico. Los valores de los datos de entrada (input data) se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Valores de ingreso (inputs) para el cálculo del riesgo probabilístico y determinístico.

FACTORES		UNIDADES	PROBABILÍSTICO			DETERMINÍSTICO		
			Niños	Adultos	Trabajadores	Niños	Adultos	Trabajadores
EF	Frecuencia de exposición ruta: suelo	día/años	Triangular Max: 350 Min: 10 Típico: 130	Triangular Max: 350 Min: 10 Típico: 40	Triangular Max: 350 Min: 10 Típico: 40	130	40	125
FI	Fracción ingerida	SN	1	1	1	1	1	1
ED	Duración de exposición para todas las rutas	años	Uniforme Izquierda=1 Derecha=5 Peso=1	Lognormal $\mu=11.36$ (2) $\sigma=13.72$ (1)	Lognormal $\mu=8.3$ (2) $\sigma=8.7$ (1)	5	9	8
IRs	Tasa de ingestión de suelo	mg/día	Lognormal $\mu=86$ (4.1194) $\sigma=84$ (0.82)	Lognormal $\mu=40.4$ (3) $\sigma=37.3$ (0.8)	Lognormal $\mu=40$ ( 3) $\sigma=37.3$ (0.8)	90	40	40
BW	Peso Corporal	kg	Normal $\mu=15.6$ $\sigma=3.7$	Normal $\mu=72$ $\sigma=15.9$	Normal $\mu=72$ $\sigma=15.9$	15	70	70
AT	Tiempo Promedio	LT	No Cancerígeno ED= Uniforme	No Cancerígeno ED= Lognormal	No Cancerígeno ED= Lognormal	70	70	70
		ED	Izquierda=1 Derecha=5 Peso=1	$\mu=2$ $\sigma=1$	$\mu=2$ $\sigma=1$	5	9	8
SAs	Área de superficie	m <sup>2</sup> /día	Triangular Max: 0.55 Min: 0 Típico: 0.13	Triangular Max: 0.56 Min: 0 Típico: 0.11	Triangular Max: 0.56 Min: 0 Típico: 0.11	0.53	0.316	0.316
AF	Factor de adherencia	mg/cm <sup>2</sup>	Triangular Max: 1 Min: 0 Típico: 0.2	Triangular Max: 1 Min: 0 Típico: 0.2	Triangular Max: 1 Min: 0 Típico: 0.2	0.2	0.2	0.2
ABS	Factor de absorción	Ar	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
		Hg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

<b>VF</b>	Factor de Volatilización (m <sup>3</sup> /Kg)	Ar	1.40E+09	1.40E+04	1.40E+09	1.40E+09	1.40E+09	1.40E+09
		Hg	3.50E+04	3.50E+04	3.50E+04	3.50E+04	3.50E+04	3.50E+04
<b>V</b>	Fracción de la Cubierta vegetal	sin unidades	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>Um</b>	Velocidad media anual del viento	m/s	4.69	4.69	4.69	4.69	4.69	4.69
<b>Ut</b>	Valor umbral equivalente de velocidad del viento a 7 m	m/s	11.32	11.32	11.32	11.32	11.32	11.32
<b>F(x)</b>	Función dependiente de Um/Ut	sin unidades	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194
<b>Q/C</b>	Inversa de la concentración media en el centro de una fuente de 0,5 acre-cuadrado	(g*m3)/(m <sup>2</sup> *s*kg)	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8
<b>Lt</b>	Tiempo de vida	años	Cancerígeno Distribución constante 70			Cancerígeno 70		
<b>CF1</b>	Factor de conversión 1	kg/mg	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05
<b>CF2</b>	Factor de conversión 2	día/año	365	365	365	365	365	365
<b>CF3</b>	Factor de conversión 3	s	3600	3600	3600	3600	3600	3600
<b>CF4</b>	Factor de conversión 4	(kg*cm <sup>2</sup> /mg*m <sup>2</sup> )	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

**Fuente:** (EPA, Exposure Factors Handbook, 2015)

En la siguiente tabla se puede observar el valor de ingreso del factor cancerígeno y toxicológico de los elementos contaminantes utilizados para el cálculo del riesgo.

**Tabla 2.** Valor del factor cancerígeno y tóxico de los elementos contaminantes

Elemento	Factor	Unidades	Valor
Arsénico	Cancerígeno	CSF 1/(mg/kg*día)	1.5790E+00
	Toxicológico	RfD mg/kg*día	2.8500E-04
Mercurio	Cancerígeno	CSF -	-
	Toxicológico	RfD mg/kg*día	3.000E-05

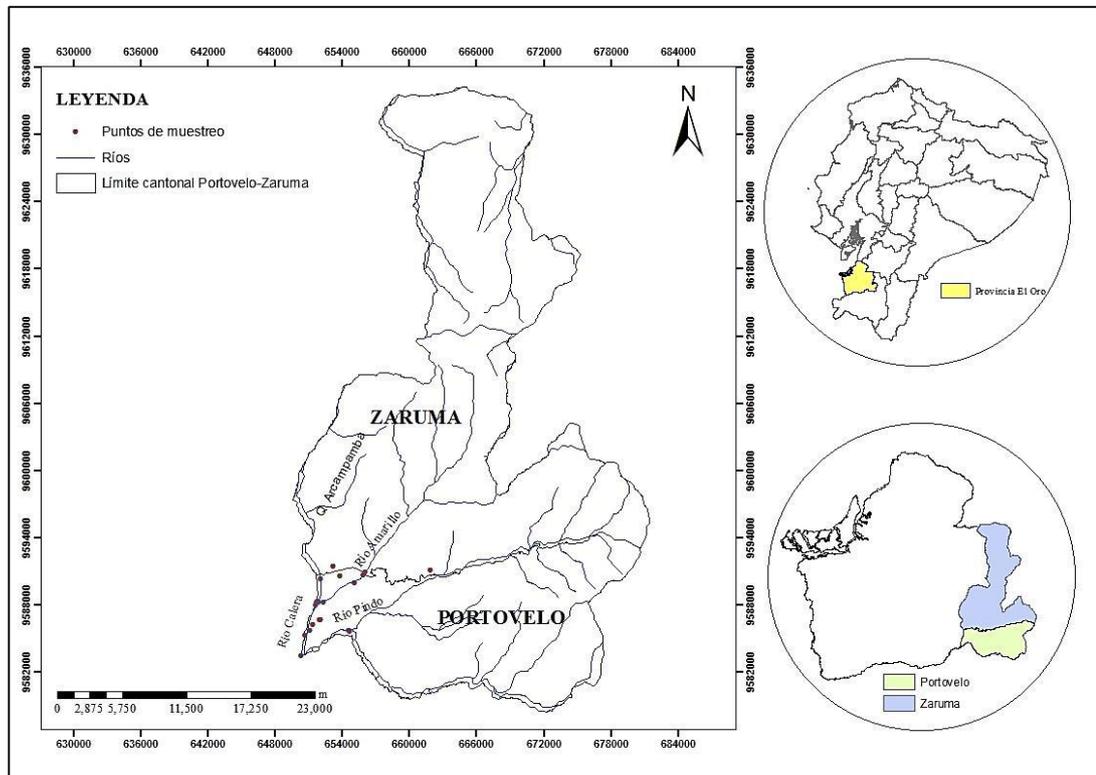
**Fuente:** (EPA, Exposure Factors Handbook, 2015)

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Caracterización del sitio:

En el Ecuador el potencial aurífero se explota desde la época colonial en las provincias de Zamora, Azuay y El Oro, en los depósitos Portovelo-Zaruma, Nambija y Ponce Enríquez, respectivamente. (Rivera, 2012). En la actualidad ésta actividad, se ha considerado estratégica y de prioridad nacional.

El Distrito Minero Portovelo- Zaruma, está ubicado al sur del Ecuador, en la Provincia de El Oro en las coordenadas 655402 Norte y 9594006 Oeste como se lo identifica en la figura 2.



**Figura 2.** Mapa de ubicación del Distrito Minero Portovelo- Zaruma

El clima en este sitio corresponde al bosque húmedo pre-montano, con temperaturas que oscilan desde los 18°C a 30 °C, con altitudes que van de entre los 553 a 3500 msnm. Se diferencian dos épocas invierno y verano, el primero se prolonga desde el mes de enero al mes de abril, y el último desde el mes de mayo al mes de diciembre.

En esta zona desde la época precolombina, se ha realizado la explotación de oro y otros metales, es una zona de recepción y procesamiento de minerales procedentes de otras partes del país. Hoy existen 37 concesiones mineras y funcionan 27 plantas de beneficio en el cantón Portovelo ubicadas en el sector del Pache (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2014-2019). En el cantón Zaruma se reportan alrededor de 163 concesiones mineras de extracción de oro cuya área representa el 67, 53 % del territorio. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Zaruma, 2015)

Esta actividad se realiza a pequeña escala y/o como minería artesanal y en la actualidad alrededor de 6000 mineros trabajan en este lugar. Siendo el mercurio utilizado principalmente para la recuperación del oro, las afectaciones al medio físico y a la calidad de vida de los pobladores son visibles y justificadas en diversos estudios realizados (IDRC, 2003), (PRODEMINCA, 2000) (Rivera, 2012), (Velásquez, 2010), asimismo los procesos de contaminación aumentan sustancialmente si se conoce que se trabaja de manera semiclandestina y/o con tecnología inadecuada.

Dentro del análisis de la población económicamente activa (PEA), se puede determinar que el porcentaje de población ocupada en la explotación de minas y canteras es de un total del 34%, en el Cantón Portovelo y el 25,69% en el cantón Zaruma. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2014-2019) (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Zaruma, 2015)

La falta de planificación, control, regulación y técnicas apropiadas para la explotación ha llevado a los mineros a realizar sus labores en sectores de alto riesgo geodinámico, provocando deslizamientos y desestabilización del suelo. Los problemas graves de esta actividad se presentan en la fase de procesamiento del mineral, ya que las plantas de beneficio se encuentran ubicadas al extremo de los ríos Calera, Amarillo y Pindo cuyas colas, que contienen mercurio y arsénico, vierten directamente en sus aguas y sus sedimentos contienen altas concentraciones de estos metales a la vez que no existe un plan que regule la descarga con niveles que no afecten a la población y tampoco al medio físico. (PRODEMINCA, 2000)

Las fuentes de contaminación están ampliamente difundidas a lo largo de los ríos tributarios, así, en el río La Calera se asienta la gran actividad de procesamiento mineral, en el río Amarillo están minas en desuso e instalaciones abandonadas, y en las zonas montañosas de ambos ríos se encuentra gran cantidad de plantas pequeñas. En época lluviosa, las fuertes corrientes permiten que los metales se diluyan rápidamente y los sólidos se depositen a mayor distancia, mientras que en el periodo seco ocurre lo contrario. La zona que muestra peores mediciones y, por lo tanto, peores condiciones ambientales, es la ubicada en la intersección de los ríos Calera y Amarillo. “En extensos tramos del río, la calidad del agua y de los sedimentos es tal que se ha erradicado toda forma de vida superior [...]” (PRODEMINCA, 2000)

El mercurio es un ejemplo de este hecho, ya que se bioacumula es decir, se concentra a medida que organismos contaminados, ascienden en la cadena trófica. En Portovelo y Zaruma, donde los moradores observan un río agonizante y desolado, la población no utiliza sus aguas. Mientras que los moradores de zonas bajas dependen en gran medida de la generosidad del río, y paradójicamente, dichas personas necesitan más del río en la estación seca, justo cuando las aguas tienen los peores niveles de contaminación. (IDRC, 2003).

Dentro del análisis de mortalidad se pudo identificar que en la provincia de El Oro la causa principal de muerte son las enfermedades del sistema circulatorio que representan el 20,94% del total de causales de muerte, dentro de estas se presentan con mayor frecuencia las enfermedades hipertensivas (32,23%) y enfermedades cerebrovasculares (29,49%). La segunda causa de muerte se da por tumores que constituyen el 18,11% del total de muertes en la provincia, y dentro del grupo, el tumor maligno de estómago (19,49%) es el que presenta mayor incidencia. (INEC, 2010)

La tasa de mortalidad general es de 409,09 para el cantón Portovelo y para el cantón Zaruma 465 por cada diez mil habitantes; dentro de las causales más frecuentes de mortalidad se encuentran los infartos de miocardio, seguido de cáncer gástrico, cáncer pulmonar y la insuficiencia cardíaca. La tasa de mortalidad infantil, de niños menores a un año, se estima en 1,15 por cada mil habitantes.

(PDOT Portovelo, 2014-2019) (PDOT Zaruma, 2014), los datos de mortalidad superan al menos 100 veces el promedio nacional que es igual a 40.8 personas / 10.000 habitantes

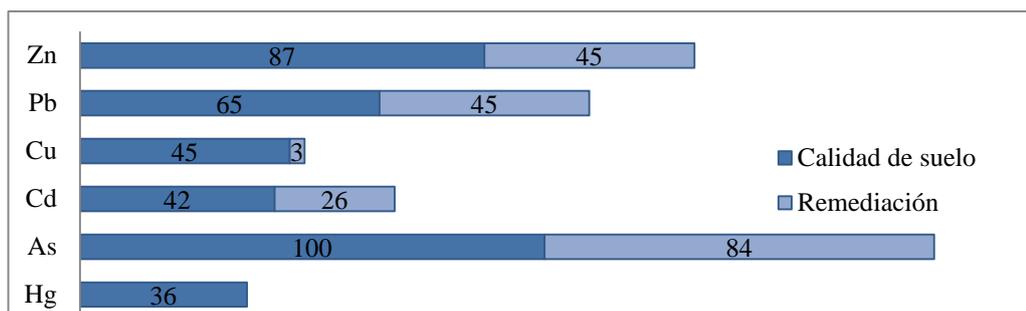
El análisis de morbilidad según los casos reportados en cada uno de los Centros de Salud de la provincia de El Oro, las afecciones que más incidieron en la población son las infecciones a las vías respiratorias, dengue y paludismo. (Ramirez, 2004)

En el área de Salud N°9 que concentra los datos de atención de las poblaciones de los cantones Portovelo y Zaruma, muestran que los niños y adolescentes son los más vulnerables dentro de la morbilidad existente en el Cantón. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo, 2014-2019) (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Zaruma, 2015).

Un análisis univariado de la morbilidad en los cantones Zaruma y Portovelo, en consulta externa por áreas establece que con una media de 58 y desviación estándar de 314,9 el mayor reporte en una enfermedad específica es la infección aguda de las vías respiratorias superiores. (Ramirez, 2004)

## **5.2 Selección de contaminantes indicadores y cuantificación de la concentración de contaminantes indicadores.**

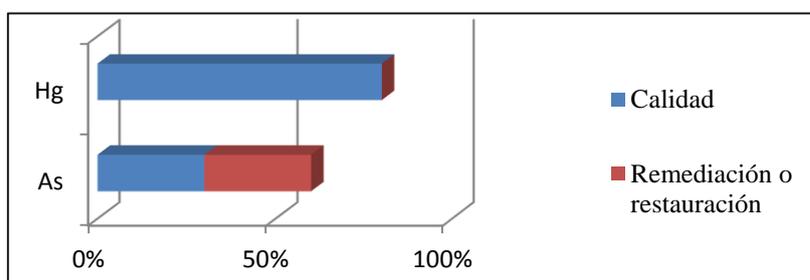
Como consecuencia de la actividad minera en el Distrito Zaruma- Portovelo, se evidenciaron concentraciones de elementos contaminantes elementos (Zn, Pb, Cu, Cd, As, Hg). En una primera etapa para el estudio de temporalidad, se tomó datos de tres campañas de muestreo realizadas en los años 2007,2011, 2012 y 2013 (Lascano, 2008 ) (Guerrero, 2013) (INIGEMM, 2013). Se procedió a comparar cada uno de los valores de concentraciones con los criterios del Texto Unificado de Legislación Secundaria determinándose que el arsénico es el elemento que sobrepasaban en mayor porcentaje los límites permisibles en la mayoría de puntos que fueron muestreados. (Figura 3.).



**Figura 3.** Porcentaje de concentración de elementos que supera la normativa ambiental vigente según criterios del recurso suelo (Lascano, 2008 ) (Guerrero, 2013) (INIGEMM, 2013)

#### **-Cuantificación de la concentración de contaminantes.**

Se procedió al muestreo in-situ en época invernal en el año 2017, y a la cuantificación de las contracciones del elemento arsénico y mercurio, considerando el resultado arrojado en la primera etapa del estudio de temporalidad y las políticas ambientales del estado ecuatoriano. (Ver Anexo 6) y de igual forma se compararon los datos de concentración obtenidos con los criterios de calidad y remediación de suelo, se obtuvieron los siguientes resultados.



**Figura 4.** Porcentaje de concentración de elementos que supera la normativa ambiental vigente según criterios del recurso suelo año 2017

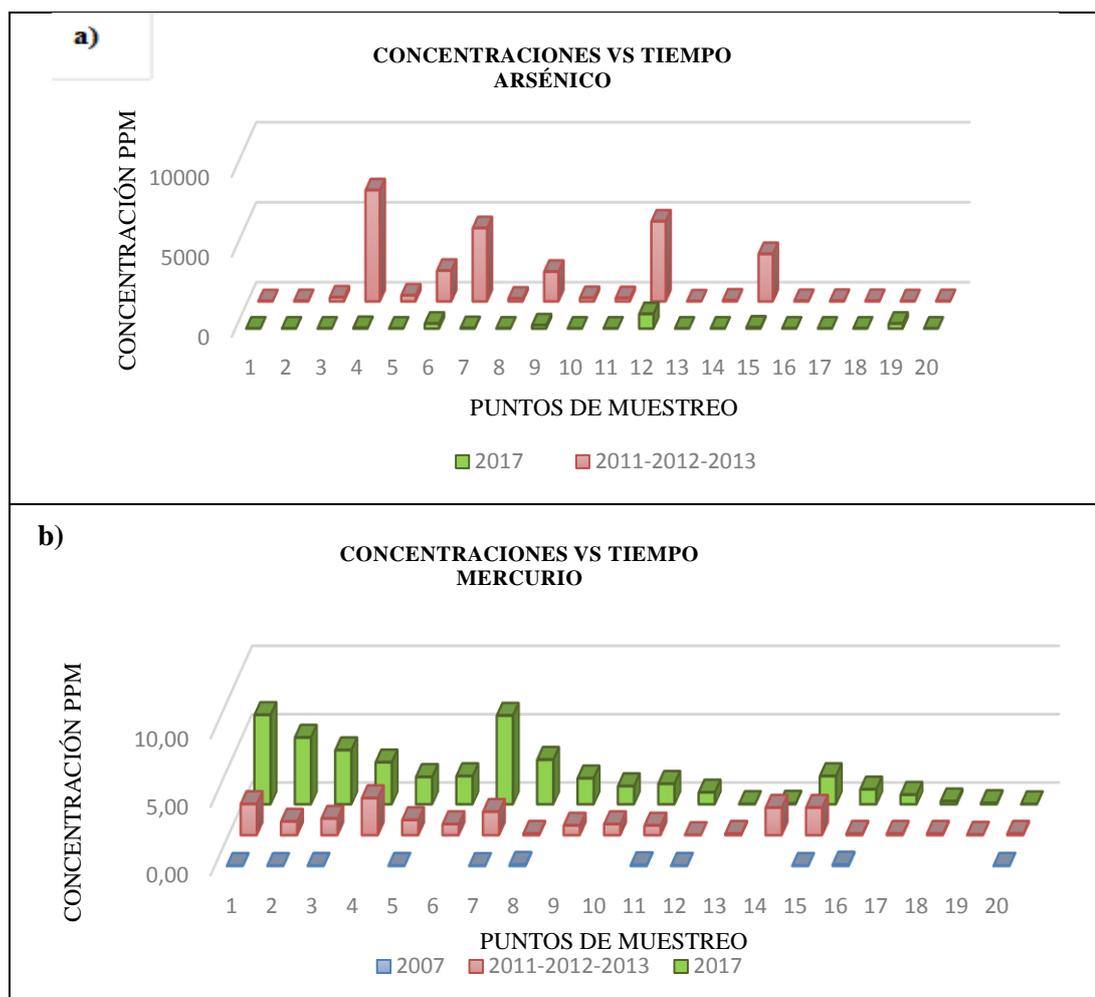
En la figura 4. Se puede observar que los dos contaminantes sobrepasan en un gran porcentaje de puntos los límites permisibles según los criterios de remediación y calidad de suelo.

#### **-Evolución de las concentraciones de los contaminantes en el tiempo**

Durante los años 2007, 2011,2012, 2013 , en puntos de muestreo específicos dentro del Distrito Minero se han encontrado concentraciones altas de mercurio y

arsénico en sedimentos, este escenario ha sido corroborado por el nuevo muestreo realizado en 2017. La figura 5 muestra un análisis de las concentraciones de mercurio y arsénico en los diferentes puntos de muestreos, tanto para arsénico (figura 5a) y para mercurio (figura 5b).

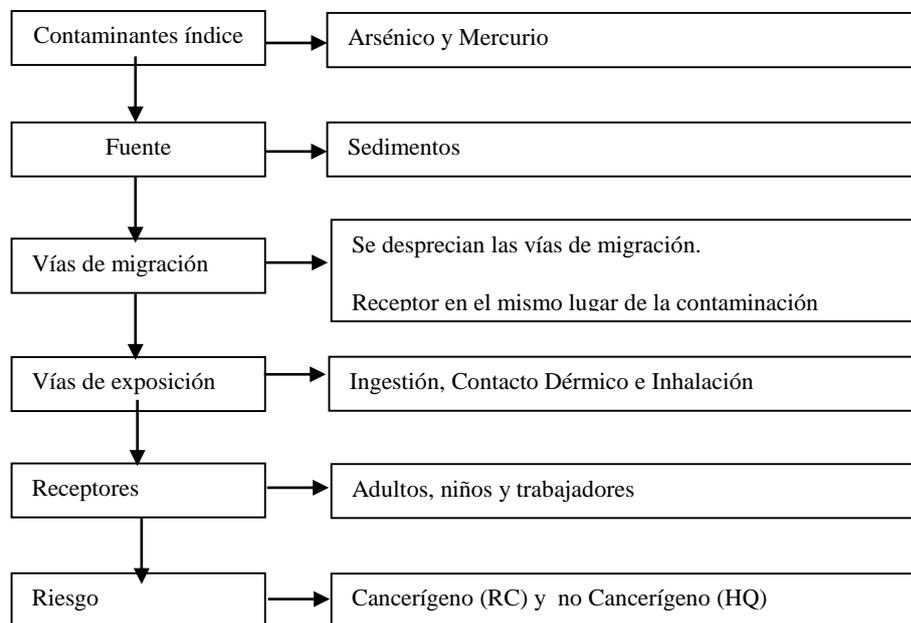
Como se observa en la figura 5 al pasar de los años el mercurio en sedimentos ha tenido un incremento en sus concentraciones, este factor que puede deberse a los métodos sin mayor desarrollo tecnológico usados en la zona en minería, la baja movilidad y a procesos de bioacumulación y la biomagnificación de este metal. El arsénico encontrado en esta zona minera, ha sufrido una disminución, se presume que este hecho se debe a su alta movilidad, es decir, al fácil esparcimiento del contaminante en el suelo.



**Figura 5.** Evolución de las concentraciones vs tiempo en los puntos de muestreo a) mercurio y b) arsénico.

### 5.3 Definición del modelo conceptual del sitio.

Teniendo presente que las concentraciones de arsénico, son aquellas que superaron notablemente los criterios de la normativa, y que el criterio de calidad de suelo está severamente afectado por el mercurio como se muestra en la figura 3, estos dos compuestos son definidos como contaminantes indicadores. La fuente contaminada a ser estudiada son los sedimentos. El nivel de riesgo sanitario asociado a los contaminantes índices hace referencia a las vías de exposición activas, es decir, las vías a través de las cuales el receptor entra en contacto con las especies químicas contaminantes, en una manera no ocasional sino sistemática y permanente. De hecho, los efectos que se evalúan no son los efectos agudos en la salud humana, sino los efectos crónicos consecuencia de exposiciones prolongadas a dosis pequeñas. Para este análisis se considera como escenario el mostrado en la figura 6.



**Figura 6.** Definición del modelo conceptual

## 5.4 Cálculo de la concentración en el punto de exposición (CPOE)

El cálculo del riesgo se lo realizó dentro de dos esquemas, determinístico y probabilístico, y se usaron criterios diferentes para seleccionar las concentraciones al punto de exposición en cada uno de los casos.

**-CPOE Determinístico:** Del conjunto de datos de concentración recomendados obtenidos in situ, se tomó un solo valor representativo denominado Upper Confidence Limit 95% (UCL 95%), recomendado por la EPA como valor cautelativo para la salud del hombre. Este cálculo se lo realizó a través del programa Pro UCL el cual permite realizar un análisis de conjuntos de datos ambientales con y sin observaciones nondetect (ND).

**-CPOE Probabilístico:** Teniendo en cuenta el universo de datos. Se hicieron test de comparación entre las diferentes distribuciones para elegir el más idóneo, eligiéndose una distribución triangular. Los valores de CPOE obtenidos como resultado según las consideraciones antes mencionadas para los cálculos anteriores son mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Valores de concentración en el punto exposición

FACTORES	UNIDADES	PROBABILÍSTICO			DETERMINÍSTICO		
		Niños	Adultos	Trabajadores	Niños	Adultos	Trabajadores
Csn Hg	Concentración de mercurio	mg/kg	Triangular	Triangular	Triangular		
			Max: 6.77	Max: 6.77	Max: 6.77		
			Min: 0.00026	Min: 0.00026	Min: 0.00026	1.958	
			Típico: 1.958	Típico: 1.958	Típico: 1.958		
Csn As	Concentración de arsénico	mg/kg	Triangular	Triangular	Triangular		
			Max: 17470	Max: 17470	Max: 17470		
			Min: 0.4	Min: 0.4	Min: 0.4	3122	
			Típico: 3122	Típico: 3122	Típico: 3122		

## 5.5 Cálculo del riesgo

**Riesgo determinístico:** El riesgo determinístico se calculó en el programa Microsoft Excel, mediante las ecuaciones 1,2,3,4,5,6 y 7. Los valores del riesgo determinístico son mostrados en las tablas 4 y 5.

**Tabla 4.** Valores de Riesgo para los contaminantes Arsénico (As) y Mercurio (Hg)

Receptores	Elementos	Inhalación	Ingestión	Contacto dérmico
ADULTOS	<b>As</b>			
	Cancerígeno	1.44E-16	1.51E-04	2.51E-07
	Tóxico	2.60E-13	2.61	0.004
	<b>Hg</b>			
NIÑOS	Tóxico	1.34E-11	0.001	0.00002
	<b>As</b>			
	Cancerígeno	2.59E-16	2.86E-03	3.54E-06
	Tóxico	8.47E-13	88.92	0.11
TRABAJADORES	<b>Hg</b>			
	Tóxico	4.37E-11	4.034	0.0004
	<b>As</b>			
	Cancerígeno	3.99E-16	4.19E-04	6.96E-07
TRABAJADORES	Tóxico	8.E-13	8.14	0.01
	<b>Hg</b>			
TRABAJADORES	Tóxico	4.20E-11	0.003	0.00005

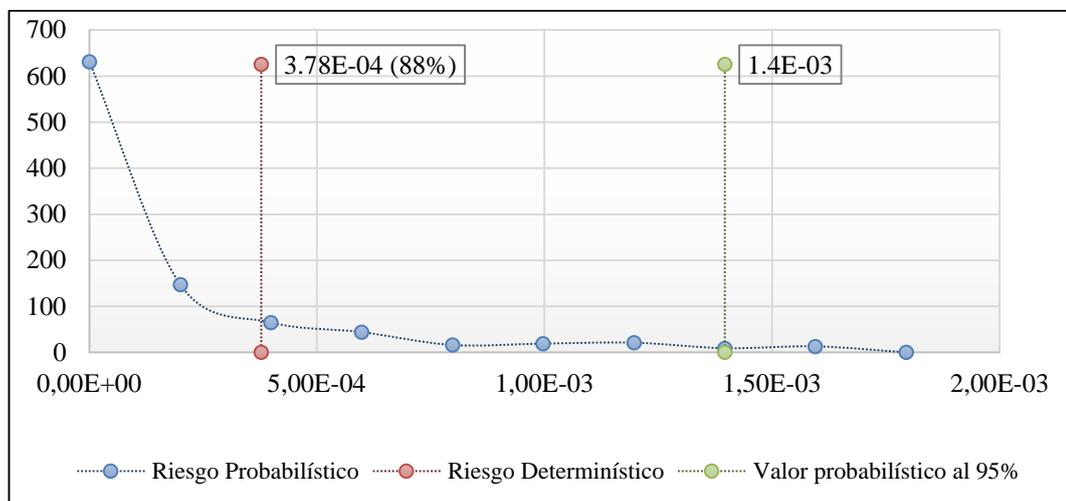
**Tabla 5.** Valores calculados de riesgo total determinístico

Elemento	Riesgo	Adultos	Niños	Trabajadores	TOTAL
Arsénico	Tóxico	6.53	222.66	20.40	249.59
	Cancerígeno	3.78E-04	7.16E-03	1.05E-03	8.58E-03
Mercurio	Tóxico	0.0042	0.1411	0.0130	0.1582
	Cancerígeno	-	-	-	-
TOTAL	HQ	6.53	222.81	20.41	HQ>1
	RC	3.78E-04	7.16E-03	1.05E-03	RC=10 <sup>-6</sup>

A partir de los resultados obtenidos, sobre cuantificación del riesgo, se observa que los límites de tolerancia RC (riesgo cancerígeno) =  $1 \times 10^{-6}$  y HQ (riesgo tóxico) = 1 son superadas, se puede observar además que el receptor que presenta la mayor vulnerabilidad son los niños.

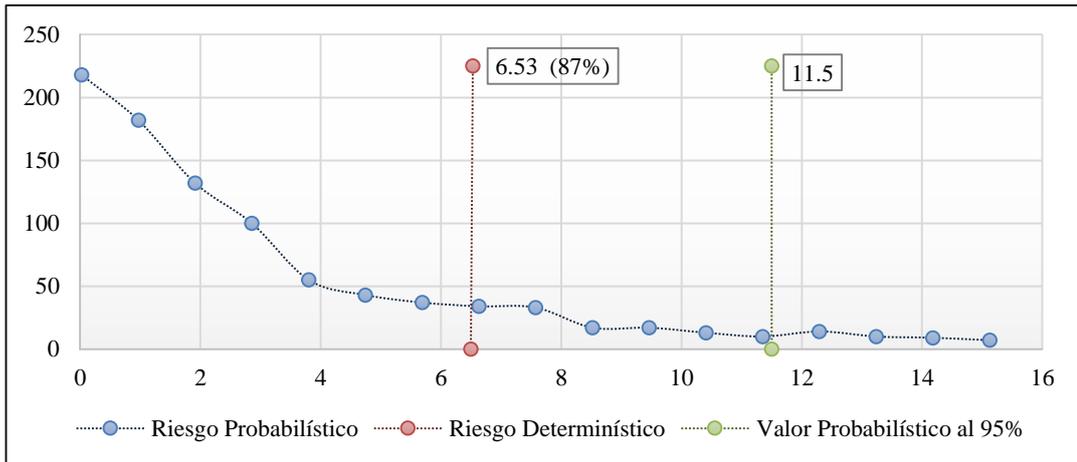
**Riesgo probabilístico:** El riesgo probabilístico se determinó mediante el Software SimLab 2.2. Este software, de uso no comercial libre por la licencia SIMLAB, es un preprocesador estadístico para la elaboración del modelo de Simulación Montecarlo, y permite un análisis cuantitativo del Riesgo Sanitario Ambiental para la toma de decisiones.

En las figuras 7, 8, 9, 10,11 y 12 se pueden observar funciones de densidad de probabilidad, en el eje horizontal se representan los valores de riesgo y en el eje vertical la frecuencia; el riesgo probabilístico permitió identificar el valor de riesgo que posee un 95% de confiabilidad



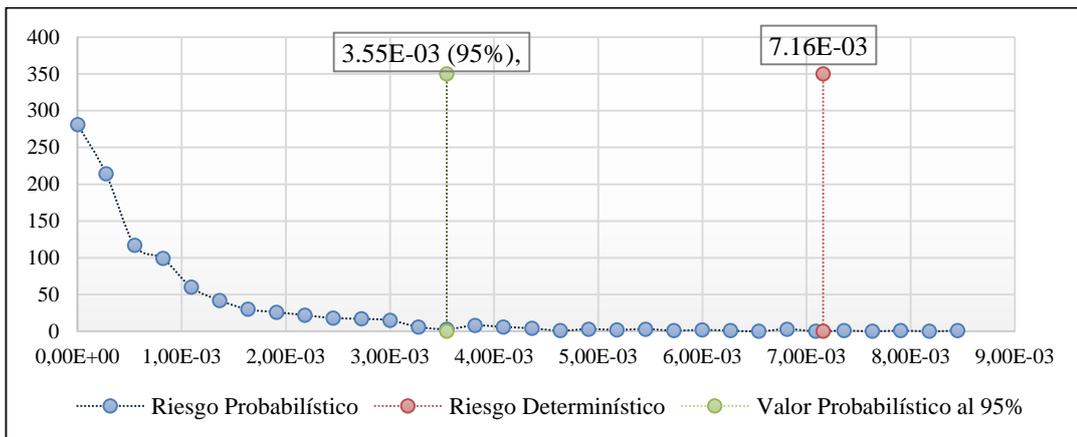
**Figura 7.** Riesgo total cancerígeno en el receptor Adultos

El cálculo probabilístico del riesgo total cancerígeno para el receptor adultos muestra que con un 95% de certeza, 1 de cada 1000 personas tiene el riesgo de contraer cáncer, incluyendo el valor de riesgo determinístico en la PDF (función de densidad de probabilidad) se puede determinar una diferencia porcentual entre valores del 57%.



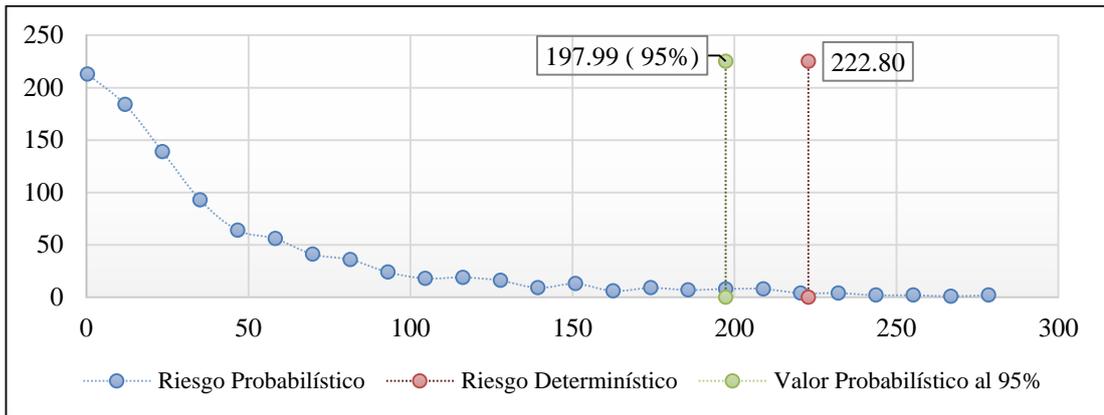
**Figura 8.** Riesgo total tóxico en el receptor Adultos

El cálculo probabilístico del riesgo total tóxico para el receptor adulto, muestra que con un 95% de certeza, es superado en 11 veces la tolerancia a los efectos tóxicos para el ser humano, incluyendo el valor de riesgo determinístico en la PDF se puede determinar una diferencia porcentual entre valores del 28%.



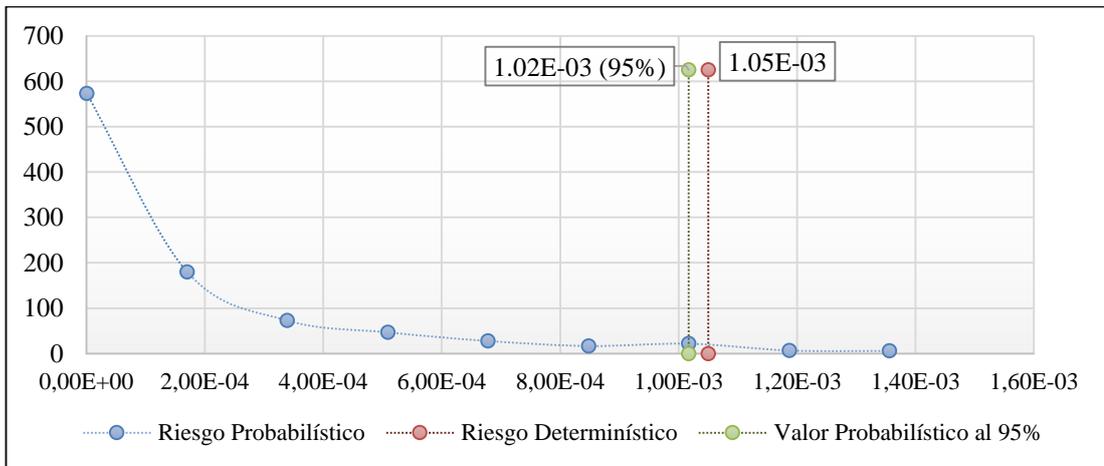
**Figura 9.** Riesgo total cancerígeno en el receptor Niños

El cálculo probabilístico del riesgo total cancerígeno para el receptor niño, muestra que con un 95% de certeza, al menos 3 de cada 1.000 personas tiene el riesgo de contraer cáncer, incluyendo el valor de riesgo determinístico en la PDF se puede determinar una diferencia porcentual entre valores del 34%.



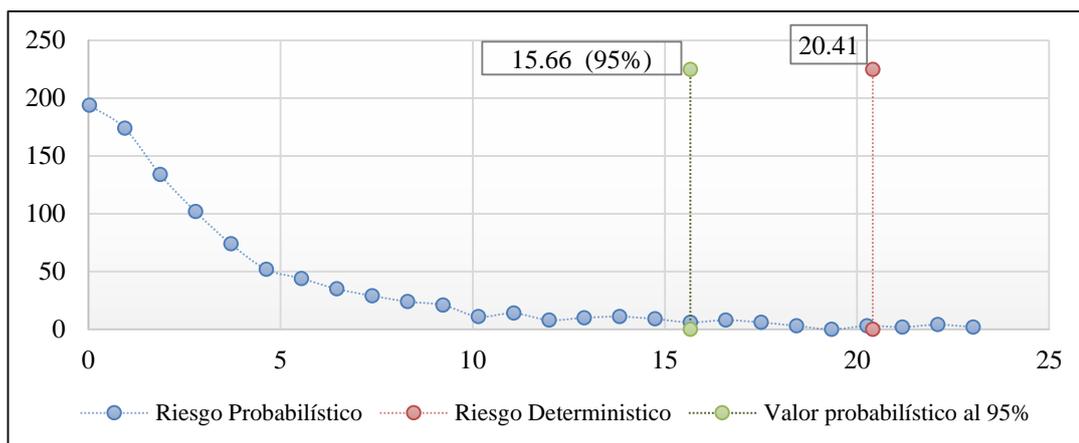
**Figura 10.** Riesgo total tóxico en el receptor Niños

El cálculo probabilístico del riesgo total tóxico para el receptor niños, muestra que con un 95% de certeza, es superado en 197 veces la tolerancia a los efectos tóxicos para el ser humano, incluyendo el valor de riesgo determinístico en la PDF se puede determinar una diferencia porcentual entre valores del 6%.



**Figura 11.** Riesgo total cancerígeno en el receptor Trabajadores

El cálculo probabilístico del riesgo total cancerígeno para el receptor trabajador, muestra que con un 95% de certeza, 1 de cada 1000 personas tiene el riesgo de contraer cáncer, incluyendo el valor de riesgo determinístico en la PDF se puede determinar una diferencia porcentual entre valores del 1%.



**Figura 12.** Riesgo total tóxico en el receptor Trabajadores

El cálculo probabilístico del riesgo total tóxico para el receptor trabajadores, muestra que con un 95% de certeza, es superado en 16 veces la tolerancia a los efectos tóxicos para el ser humano.

## 6. DISCUSIÓN

El Distrito Portovelo -Zaruma, es uno de los principales centros de procesamiento de oro del Ecuador, se procesan alrededor de 4000 toneladas de material por día. (Velásquez, 2010). Las actividades mineras dentro de los procesos de recuperación de oro producen impactos negativos de contaminación por metales pesados, entre ellos el mercurio y el arsénico presentándose en mayor cantidad en el medio. (Guerrero 2013). El mercurio es emanado a la atmósfera debido a los procesos de amalgamación, que se realiza en esta zona por la pequeña minería y minería artesanal, tanto aluvial como de vetas y filones, en recipientes abiertos, o destapados. El arsénico se libera en el medio ambiente de manera natural a través de la meteorización y erosión de los sulfuros minerales. Las actividades mineras pueden incrementar la velocidad de liberación de arsénico a partir de sulfuros minerales porque los exponen a procesos de meteorización durante las tareas de excavación (Lascano, 2008 )

Durante los años 2007, 2011,2012, 2013 , en puntos de muestreo específicos dentro del Distrito Minero se han encontrado concentraciones altas de mercurio y arsénico en sedimentos, este escenario ha sido corroborado por un nuevo

muestreo realizado. La figura 5 muestra un análisis de las concentraciones de mercurio y arsénico en los diferentes puntos de muestreos, tanto para arsénico (figura 5a) y para mercurio (figura 5b).

Como se observa en la figura 5 al pasar de los años el mercurio en sedimentos ha tenido un incremento en sus concentraciones, este factor que puede deberse a los métodos sin mayor desarrollo tecnológico usados en la zona en minería, la baja movilidad y a procesos de bioacumulación y la biomagnificación de este metal. El arsénico encontrado en esta zona minera, ha sufrido una disminución, se presume que este hecho se debe a su alta movilidad, es decir, al fácil esparcimiento del contaminante en el suelo.

El cálculo del riesgo fue realizado a través de las metodologías desarrolladas por la EPA (EPA, Exposure Factors Handbook, 2015), el cálculo de riesgo de acuerdo a un análisis determinístico y probabilístico, toma en consideración la fuente de contaminación, las vías de exposición y el receptor. Sin embargo el término riesgo implica un elemento de probabilidad y la probabilidad se reporta como probabilidades, que no pueden establecerse a partir de estimaciones puntuales. Las distribuciones de probabilidad son una forma mucho más realista de describir la incertidumbre en las variables de un análisis de riesgo.

El arsénico es la sustancia número uno de la Lista Prioritaria de Sustancias Peligrosas publicada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades y los resultados obtenidos muestran como el elemento arsénico presenta un mayor riesgo la salud en comparación al elemento mercurio, sin embargo la normativa ecuatoriana vigente basa su política al control del mercurio únicamente.

Se evidencia que en todos los casos el riesgo es supera los límites de tolerancia, tanto para el riesgo cancerígeno como para el riesgo tóxico. Considerando el valor y orden de magnitud del Riesgo Total Cancerígeno RC, se puede decir que 1 de cada 1000 adultos, 3 de cada 1000 niños y 1 de cada 1000 trabajadores tienen mayor probabilidad de desarrollar tumores o neoplasias. En lo que respecta al Riesgo Tóxico HQ, el valor de límite seguro es superado 11 veces en adultos, 198

veces en niños y 16 veces en trabajadores. En este sentido, la población que trabaja en esta zona minera está expuesta a un potencial riesgo a su salud.

Si bien es cierto el alcance del estudio solo fue solo para sedimentos se puede intuir, bajo la consideración de un sistema integral de interacciones ambientales, que las matrices aire y agua también poseen cargas altas de contaminantes. Por lo tanto, el riesgo al que están sometidas las personas es mucho mayor al cálculo mostrado en este estudio, sin embargo, este valor ayuda a tener un orientación cuantitativa sobre este tipo de peligro al cual la población está expuesta, y por lo tanto este estudio ayuda a tomar nuevas medidas de control para salvaguardar la integridad de este personal. Las medidas a ser tomadas deberían contener un sistema de monitoreo a largo plazo y medidas de seguridad de los habitantes de la zona.

## **7. CONCLUSIONES**

- Las fuentes de contaminación se encuentran a lo largo de los ríos tributarios de la Cuenca del Puyango así, en el río La Calera se asienta la actividad de procesamiento mineral, en el río Amarillo están minas en desuso e instalaciones abandonadas, la zona que muestra las concentraciones más altas se ubican en la intersección de los ríos Calera y Amarillo. En época lluviosa, las corrientes permiten que los metales se diluyan y los sólidos se depositen a mayor distancia, mientras que en el periodo seco ocurre lo contrario.
- Considerando que en el Distrito Minero Portovelo- Zaruma, las causales de mortalidad son los infartos de miocardio, cáncer gástrico y pulmonar, además los reportes de morbilidad de los Centros de Salud indican que la población sufre de infecciones a las vías respiratorias, se puede presumir que este hecho se debe en parte a la presencia de los elementos arsénico y mercurio considerando la toxicología de los mismos.

- El contacto incidental de arsénico y mercurio en sedimentos presentes en el Distrito Minero Portovelo-Zaruma, genera un Riesgo Sanitario Ambiental y se demostró con los dos análisis de riesgo aplicados.
- En el análisis realizado de la confrontación entre valores determinísticos y probabilísticos para el riesgo tóxico y cancerígeno, ambos sobrepuestos en las figuras 7, 8, 9, 10,11 y 12, para los receptores adultos niños y trabajadores se concluye:
  - En todos los casos el riesgo es superado (ver tabla 5) y el arsénico es el contaminante que más altos valores de riesgo produce y tiene características cancerígenas y tóxicas, a diferencia del mercurio que posee únicamente propiedades tóxicas.
  - Tomando en cuenta los dos valores calculados para el riesgo determinístico (valor más probable) y probabilístico (valor calculado con intervalo de confianza igual al 95%), se observa una diferencia porcentual, de una con respecto al otra, de entre el 1 % al 57%, siendo este último el más elevado.
  - El riesgo determinístico, evidencia una sobrestima del riesgo en algunos casos y en otros una subestimación del riesgo, además no proporciona mayores indicaciones sobre la probabilidad de que el riesgo se manifieste. Es importante indicar que las condiciones de cautela con respecto a la salud del hombre en los dos casos es la misma.
  - El análisis de riesgo probabilístico consideró funciones de densidad de probabilidad de los diferentes factores que actúan en las ecuaciones de Riesgo (Ecuación 1, 2, 3, 4, 5, 6,7). Los valores de ingreso introducidos dentro del SIMLAB provienen de los datos tomados in situ (parámetros expositivos), por esta razón, en el modelo de riesgo (modelo de salida) da mayores indicaciones reales en relación a la probabilidad que el evento se manifieste.
- Del análisis integral de los resultados se comprobó que en todos los casos los límites de tolerancia establecidos por instancias internacionales, RC =

$1 \times 10^{-6}$  [adimensional] y  $HQ = 1$  [adimensional] son superados notablemente, siendo el caso más vulnerable el receptor niños.

- Se identificó la posibilidad de que 1 de cada 1.000 adultos, 3 de cada 1.000 niños y 1 de cada 1.000 trabajadores tienen mayor probabilidad de desarrollar tumores o neoplasias a lo largo de su vida; en el caso del riesgo tóxico el valor de límite de tolerancia al riesgo es superado 11 veces en adultos, 198 veces en niños y 16 veces en trabajadores lo cual podría presentar problemas a la salud de la población debido a la naturaleza del contaminante.
- Específicamente en el caso del mercurio, y haciendo referencia a la intención del Gobierno Ecuatoriano en la su erradicación, a partir del análisis de datos con respecto a la concentración vs tiempo (ver figura 5), se observa que dicho Plan no se ha tenido el éxito deseado. Este fenómeno se puede atribuir a un uso indiscriminado, no controlado del contaminante y adicionalmente al contrabando de la sustancia desde Perú que no permite tener una estima real de la cantidad usada en esta zona minera.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Considerando que la normativa actual ecuatoriana presenta un vacío metodológico en términos de gestión de sitios contaminados, este trabajo puede ser reproducible en otros contextos, adaptarlo a realidades locales, que nacida en una universidad cumple con su función de vinculación al territorio y a las problemáticas nacionales.
- Realizar muestreos continuos en aire, sedimentos, agua superficial y subterránea, para profundizar el estudio mediante modelos de dispersión de contaminantes con la finalidad de tener una interpretación más real del comportamiento de los contaminantes y del riesgo en la zona de estudio.
- Incluir un análisis de sensibilidad, así será más fácil identificar las variables introducidas que tienen mayor influencia sobre los resultados finales.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Academia Nacional de Medicina. (2006). *Seminario Internacional sobre clínica del mercurio*. Bogotá: Kimpres Ltda.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1999). *TOXICOLOGICAL PROFILE FOR MERCURY*. Atlanta, Georgia: U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES.
- Ahlborg, U. G., & Haag Gronlund, M. (1995). *Some methods for risk assessment*. Swedish Enviromental Protection Agency: Reaseach and Development Department.
- APAT. (2008). *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*. Roma: APAT.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). *TOXICOLOGICAL PROFILE FOR ARSENIC*. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Public Health Service. .
- Bedford, T., & Cooke, R. (2001). *Probabilistic risk analysis: Foundation and methods* . Cambrige: Cambrige University Press.
- Covello, V. T., & Merkhofer, M. W. (1993). *Risk assessment methods, approach for assessing health and enviromental risk*. New York: Plenum Press.
- Environmental Protection Agency. (2016). *Statistical Software ProUCL 5.1.00 for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations*. United States.
- EPA. (1997). Análisis de riesgo por contaminantes ambientales: aplicación de métodos determinístico y probabilístico para un escenario escolar. En I. d. Llanuras.
- EPA. (2015). *Risk Assessment Guidance for Superfund* (Vol. 1). Human Health Evaluation Part A.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Portovelo. (2014-2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Portovelo*. Portovelo.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Zaruma. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Zaruma*. Zaruma.

- Guerrero, C. D. (2013). *Diagnóstico Ambiental de las descargas Mineras líquidas y sólidas en los recursos hídricos superficiales y subterráneos del Cantón Portovelo*. Tesis de Grado: Escuela Politecnica Nacional.
- IDRC. (26 de Enero de 2003). “*Minería contaminación y salud en Ecuador*”. Obtenido de Salud enfoque ecosistémico 12: [www.digesa.sld.pe/pw\\_deepa/pdf/4233-2008.pdf](http://www.digesa.sld.pe/pw_deepa/pdf/4233-2008.pdf)
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos. Mortalidad y Morbilidad en el Cantón El Oro*. Zaruma Portovelo: Indicadores Cantonales.
- INIGEMM. (2013). “*Proyecto de Investigación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica en zonas mineras del Ecuador- Informe técnico del muestreo de aguas suelos, sedimentos, y ensayos de permeabilidad en la Unidad Geográfica del Rio Puyango*. .
- Lascano, J. D. (2008 ). *Diagnóstico de la contaminación por mercurio en aguas y sedimentos de ríos que reciben efluentes de la minería de oro en los sectores de Nambija, Ponce Enríquez y Portovelo*. Sangolqui: Escuela Superior Politécnica del Ejército ESPE.
- Ljungquist, K. (2005). *A probabilistic Approach to Risk Analysis: A comparison between undesirable indoor events and human sensitivity*. Lulea: Doctoral Thesis.
- Michael F. Hughes, B. D. (2011). *Arsenic Exposure and Toxicology: A Historical Perspective*. *TOXICOLOGICAL SCIENCES*.
- Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana, G. (11 de Octubre de 2015). Ecuador suscribe el Convenio de Minamata sobre el Mercurio. págs. 1-2.
- Mun., D. J. (2005-2012). *SIMULADOR DE RIESGO*. Dublin, California 94568 , U.S.A.: Real Options Valuation, Inc.
- NRC. (1993). *Risk-assessment in the federal government: managing the process*. Washington DC.: National Academy Press.
- OMS. (Diciembre de 2012). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>
- OTA. (1993). *Researching Health Risks, US Congress Office of Technology Assessment*. USA.

- PNUMA. (2002). *EVALUACIÓN MUNDIAL SOBRE EL MERCURIO*. Ginebra, Suiza: PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE.
- PNUMA. (2014). *Informe El Convenio de Minamata sobre el Mercurio y su implementación en la región de América Latina y el Caribe*. Uruguay: Webinteligente.
- PRODEMINCA. (2000). *Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental*. Quito: Minas, Ministerio de Energía 1ª Edición.
- Ramirez, K. O. (2004). Análisis estadístico de las causas de morbilidad mas frecuentes en el provincia de El Oro. *Escuela Politécnica del Litoral*.
- Rivera, V. (2012). *Analysis of human health risks due to air mercury exposure produced by artisanal and small-scale gold mining activities in the Portovelo mining district*. Ecuador.: Chapter.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria. (2015). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS*. Ministerio de Ambiente de Ecuador: LIBRO VI DEL TEXTO.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000). *RISK CHARACTERIZATION HANDBOOK*.
- UNEP. (2013). *Mercury Time to Act*. United Nations Environment Programme.
- Velásquez, C. (2010). *Mercury balance in amalgamation in artisanal and small scale gold mining: Identifying strategies for reducing environmental pollution in Portovelo-Zaruma, Southern Ecuador*. Journal of Cleaner Production.
- Wilson, L. (2000). A Spacial enviroment risk assesment methodology for risk based decision.

## 10. APÉNDICES O ANEXOS

### Anexo 1. Marco legal ambiental aplicado al sector minero

NOMBRE	CONTENIDO	REGISTRO
<b>CONSTITUCIÓN</b>		
Constitución de la República del Ecuador	<p>Art.317.- Los recursos naturales no renovables pertenecen al patrimonio inalienable e imprescriptible del Estado y que se priorizará la responsabilidad intergeneracional, la conservación de la naturaleza, el cobro de regalías u otras contribuciones no tributarias y de participaciones empresariales; y minimizará los impactos negativos de carácter ambiental, cultural, social y económico.</p> <p>Art. 313.- Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.</p>	Registro Oficial 449
<b>LEYES</b>		
Ley de Cámaras de Minería del Ecuador	Establece la creación de las Cámaras de Minería en las cabeceras cantonales del país cuya actividad minera las cuales se afiliarán en forma obligatoria a la Cámara Nacional de Minería del Ecuador.	Registro Oficial 132
Ley de Gestión Ambiental	Establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia	Registro Oficial 418
Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública	Establece el Sistema Nacional de Contratación Pública y determina los principios y normas para regular los procedimientos de contratación para la adquisición o arrendamiento de bienes, ejecución de obras y prestación de servicios, incluidos los de consultoría	Registro Oficial 395
Ley de minería	Se centra en las competencias de las instituciones, las áreas mineras especiales, las fases mineras, derechos y concesiones mineras, modalidad contractual, directrices para la conservación del medio ambiente y las características de los regímenes especiales (minería artesanal, pequeña minería, materiales de construcción y minerales no metálicos)	Registro Oficial 517
Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización	Establece la organización político-administrativa del Estado ecuatoriano en el territorio: el régimen de los diferentes niveles de gobiernos autónomos descentralizados y los regímenes especiales, con el fin de garantizar su autonomía política, administrativa y financiera.	Registro Oficial 303
<b>REGLAMENTOS</b>		
Reglamento de Seguridad Minera	Establece las normas necesarias para la protección de la vida y salud del recurso humano minero.	Registro Oficial 999

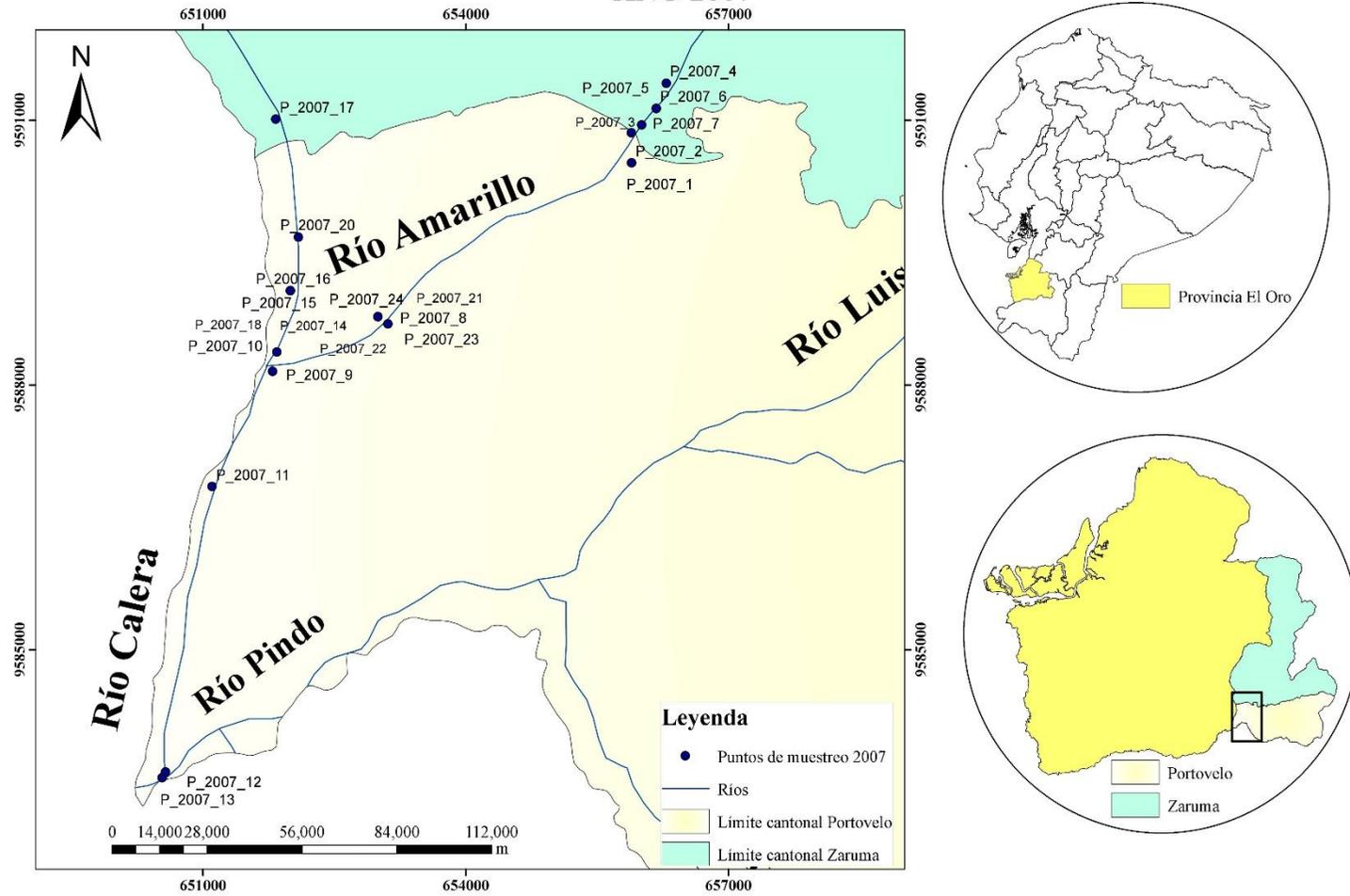
Reglamento del régimen especial de pequeña minería	Establece la normativa necesaria para la aplicación de la Ley de Minería en lo atinente al régimen especial de pequeña minería y minería artesanal. Además, establece los lineamientos acerca de las características, actores, sujetos de derecho, concesiones, formas contractuales y el fomento y asistencia dentro de los tipos de minería artesanal y pequeña	Registro Oficial 120
Reglamento General a la Ley de Minería	Establece la normativa, lineamientos y directrices para la aplicación de la Ley de Minería, incorporando conceptos de consejos consultivos y el registro y catastro minero	Registro Oficial 119
Reglamento de Contabilidad para Minería Metálica a Gran Escala para los Contratos de Explotación Minera	Tiene por objeto uniformar la presentación de la información contable y los criterios que deben mantener y aplicar los concesionarios mineros durante la vigencia del contrato de explotación minera, así como también establecer las normas y procedimientos a ser observados por la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) para el control y fiscalización de los contratos antes mencionados.	Registro Oficial 663
<b>INSTRUCTIVO</b>		
Instructivo para la calificación de consultores.	Norma el procedimiento de constitución del Registro y de calificación de consultores ambientales mineros.	Registro Oficial 213
Instructivo para los estudios ambientales mineros	Establece los requisitos para la presentación de los estudios ambientales mineros.	Registro Oficial 724
Normas para otorgar concesiones mineras	Establece las normas para la presentación de solicitudes y asignación del derecho preferente para el otorgamiento de concesiones mineras	Registro Oficial 329

**Anexo 2.** Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo del año 2007

ID	x	y	Concentración Hg	Codificación
1	655897	9590515	0.01922	P_2007_1
2	655897	9590515	0.00756	P_2007_2
3	656011	9590947	0.05087	P_2007_3
4	656291	9591419	0.07267	P_2007_4
5	656178	9591133	0.02807	P_2007_5
6	656178	9591133	0.07822	P_2007_6
7	655892	9590856	0.08577	P_2007_7
8	653112	9588690	0.00552	P_2007_8
9	651796	9588153	0.00241	P_2007_9
10	651844	9588371	0.01102	P_2007_10
11	651104	9586847	0.00494	P_2007_11
12	650535	9583547	0.02079	P_2007_12
13	650573	9583613	0.00683	P_2007_13
14	651999	9589067	0.13325	P_2007_14
15	651999	9589067	0.02559	P_2007_15
16	651999	9589067	0.04883	P_2007_16
17	651832	9591010	0.08359	P_2007_17
18	650283	9596966	0.07677	P_2007_18
19	652894	9596646	0.00393	P_2007_19
20	652092	9589675	0.00118	P_2007_20
21	652999	9588774	0.03361	P_2007_21
22	652999	9588774	0.17754	P_2007_22
23	652999	9588774	0.39821	P_2007_23
24	652999	9588774	0.02881	P_2007_24

**Fuente:** Lascano, J. D. (2008). Diagnóstico de la contaminación por mercurio en aguas y sedimentos de ríos que reciben efluentes de la minería de oro en los sectores de Nambija, Ponce Enríquez y Portovelo. Sangolqui: Escuela Superior Politécnica del Ejército ESPE.

## MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO AÑO 2007



**Anexo 3.** Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo del año 2011-2012

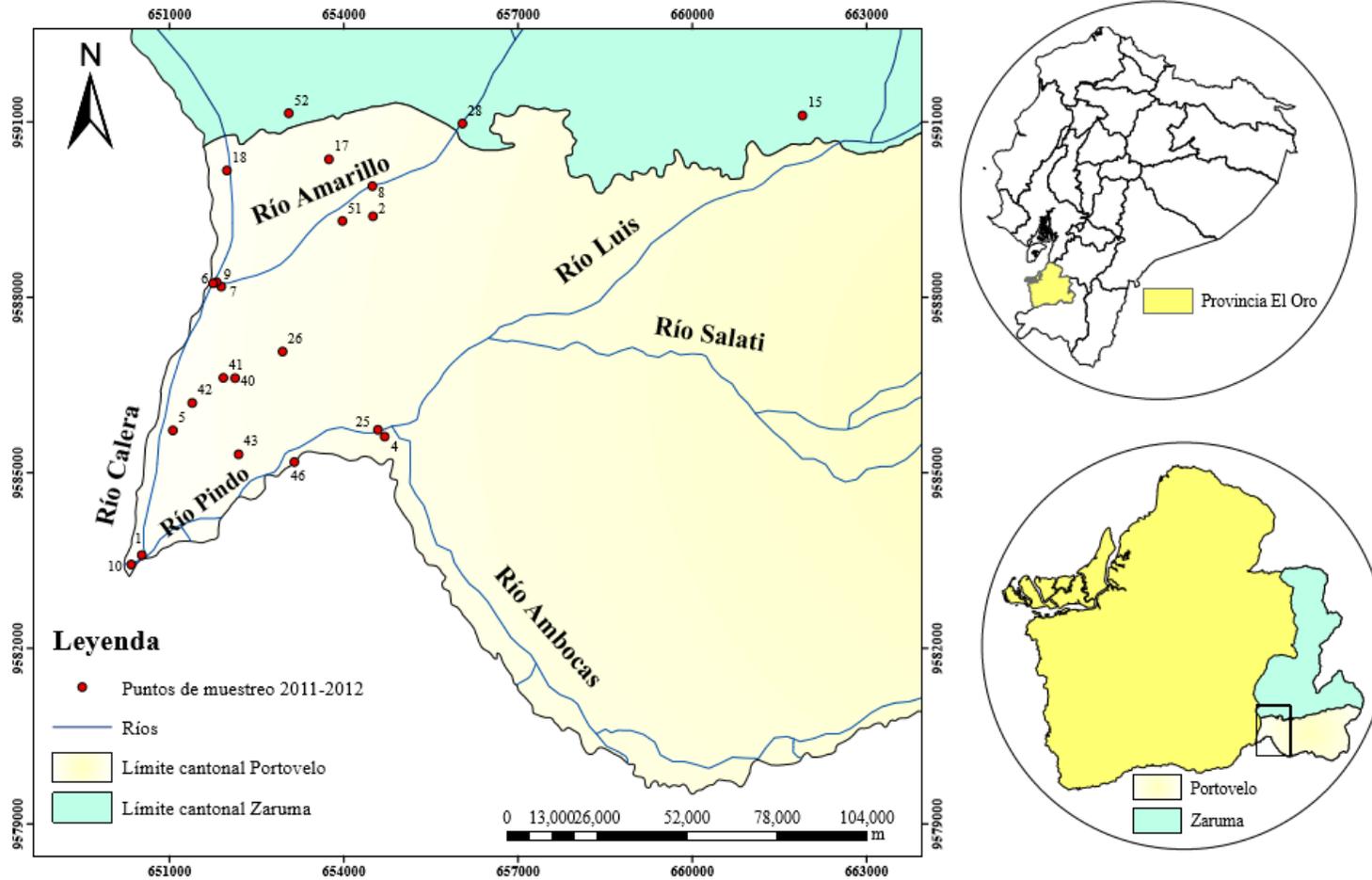
<b>ID</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>Concentración Hg ppm</b>	<b>Concentración As ppm</b>	<b>Sector</b>	<b>Codificación EPN</b>	<b>Fecha</b>
25	650526	9583589	2.00	2963.00	Portovelo	1	Dic 2011- Febrero 2012
26	654506	9589381	0.10	142.00	Portovelo	2	Dic 2011- Febrero 2012
27	654708	9585615	2.00	17470.00	Portovelo	4	Dic 2011- Febrero 2012
28	651061	9585720	0.10	29.00	Portovelo	5	Dic 2011- Febrero 2012
29	651896	9588182	1.10	375.00	Portovelo	6	Dic 2011- Febrero 2012
30	651814	9588255	1.20	253.00	Portovelo	7	Dic 2011- Febrero 2012
31	654495	9589899	0.80	215.00	Portovelo	8	Dic 2011- Febrero 2012
32	651755	9588236	2.70	6947.00	Portovelo	9	Dic 2011- Febrero 2012
33	650344	9583430	0.20	113.00	Portovelo	10	Dic 2011- Febrero 2012
34	661898	9591102	0.80	1920.00	Guizhaguiña	15	Dic 2011- Febrero 2012
35	653751	9590354	0.70	1857.00	Portovelo	17	Dic 2011- Febrero 2012
36	651994	9590164	1.70	4579.00	Portovelo	18	Dic 2011- Febrero 2012
37	654592	9585731	0.10	8.00	Portovelo	25	Dic 2011- Febrero 2012
38	652951	9587067	0.10	32.00	Portovelo	26	Dic 2011- Febrero 2012

39	656045	9590966	0.70	205.00	Zaruma	28	Dic 2011- Febrero 2012
40	652135	9586616	0.10	22.00	Portovelo	40	Dic 2011- Febrero 2012
41	651932	9586620	0.10	23.00	Portovelo	41	Dic 2011- Febrero 2012
42	651398	9586192	0.10	38.00	Portovelo	42	Dic 2011- Febrero 2012
43	652193	9585313	0.10	25.00	Portovelo	43	Dic 2011- Febrero 2012
44	653152	9585183	0.10	45.00	Portovelo	46	Dic 2011- Febrero 2012
45	653980	9589300	0.10	105.00	Portovelo	51	Dic 2011- Febrero 2012
46	653059	9591142	0.10	180.00	Zaruma	52	Dic 2011- Febrero 2012

---

**Fuente:** Guerrero, C. D. (2013). *Diagnóstico Ambiental de las descargas Mineras líquidas y sólidas en los recursos hídricos superficiales y subterráneos del Cantón Portovelo*. Tesis de Grado: Escuela Politecnica Nacional.

## MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO AÑOS 2011-2012

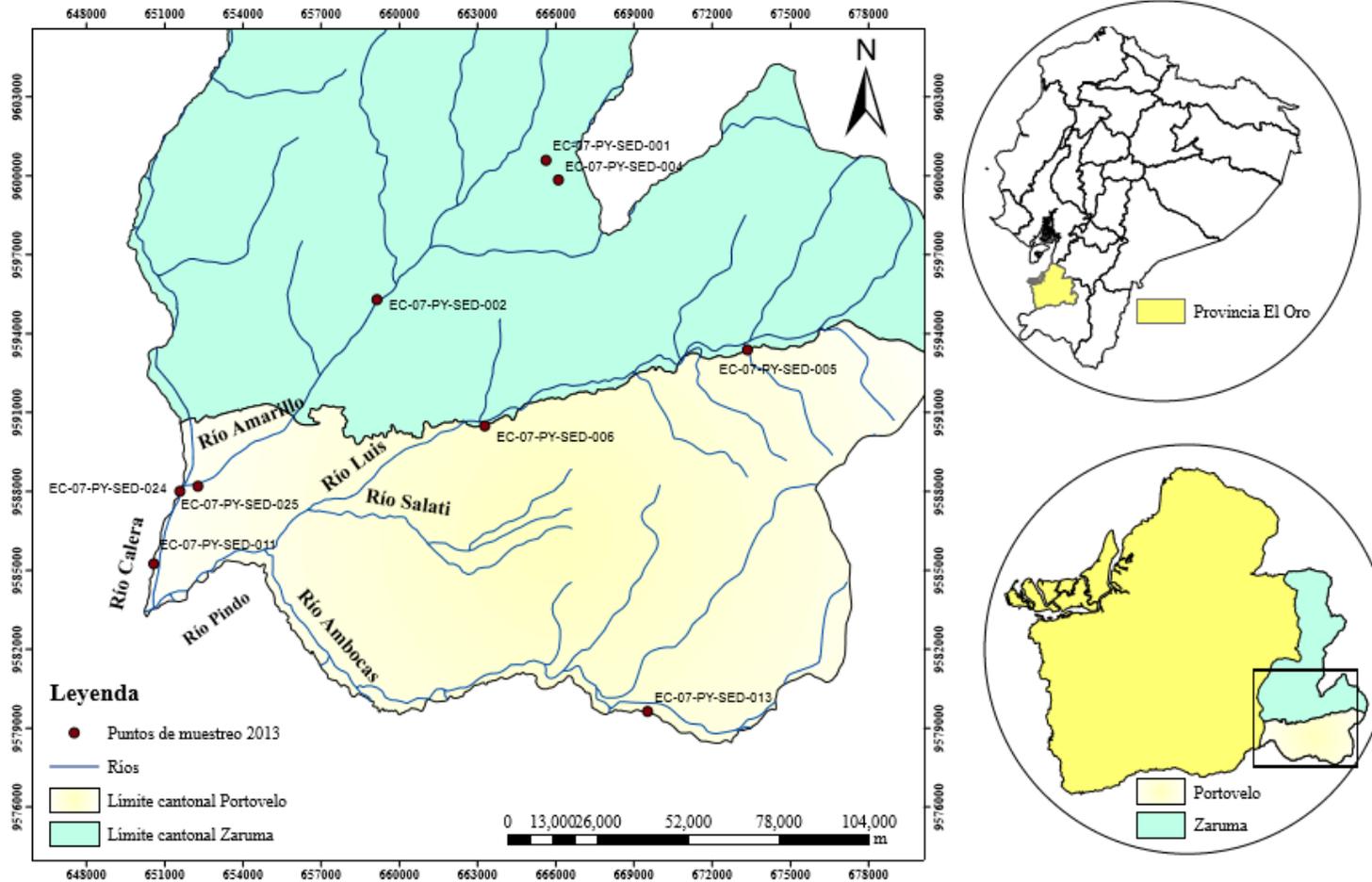


**Anexo 4.** Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo del año 2013.

ID	x	y	Altitud	Concentración Hg ppm	Concentración As ppm	Sector	Codificación INIGEMM	Fecha
47	665628	9600576	1758	5.26	14.61	Chunchi	EC-07-PY-SED-001	16/05/2013
48	659147	9595283	862	0.03	57.23	Río Ambocas (sector Ambocas)	EC-07-PY-SED-002	16/05/2013
49	666099	9599829	2006	6.77	84.37	Río Ambocas entrada al sector Porotillo (puente Porotillo)	EC-07-PY-SED-004	17/05/2013
50	673356	9593374	1877	4.79	6.11	Quebrada Olmedo	EC-07-PY-SED-005	18/05/2013
51	663275	9590477	984	3.81	27.68	Quebrada del Jorupe (Sector El Jorupe)	EC-07-PY-SED-006	18/05/2013
52	650586	9585236	564	0.03	11.48	Río Pindo en las cercanías del río Amarillo	EC-07-PY-SED-011	23/05/2013
53	669526	9579621	1298	0.03	13.71	Margen izquierdo del río Amarillo, sector La Florida	EC-07-PY-SED-013	16/05/2013
54	651592	9587996	598	0.99	25	Margen derecho del río La Calera	EC-07-PY-SED-024	23/05/2013
55	652273	9588185	621	2.27	16.71	Margen izquierdo del río Amarillo, sector LaFlorida	EC-07-PY-SED-025	23/05/2013

- **Fuente:** INIGEMM. (2013). “Proyecto de Investigación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica en zonas mineras del Ecuador- Informe técnico del muestreo de aguas suelos, sedimentos, y ensayos de permeabilidad en la Unidad Geográfica del Rio Puyango.

## MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO AÑO 2013



**Anexo 5.** Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo del año 2017 correspondiente a la investigación.

<b>ID</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Mercurio (mg/kg)</b>	<b>Arsénico (mg/kg)</b>	<b>UNACH</b>
56	652336	9588202	608	6.53	0.4	PCS1
57	651590	9587997	596	4.87	0.4	PCS2
58	651806	9588291	609	3.95	1.83	PCS3
59	651735	9588247	606	3.06	0.4	PCS4
60	651892	9588224	619	1.99	0.4	PCS5
61	661887	9591046	619	2.05	0.4	PCS6
62	652050	9590318	674	6.48	28.43	PCS7
63	653184	9591394	950	3.25	201.36	PCS8
64	653759	9590568	998	1.89	0.4	PCS9
65	655094	9589921	678	1.32	0.4	PCS10
66	656026	9590941	693	1.49	0.4	PCS11
67	655873	9590628	693	0.86	906.98	PCS12
68	654575	9585728	598	0.014	0.4	PCS13
69	654696	9585641	598	0.044	0.4	PCS14
70	651932	9586620	686	2.05	0.4	PCS15
71	652064	9586067	684	1.08	64.04	PCS16
72	651339	9586198	596	0.69	0.4	PCS17
73	651060	9585681	584	0.21	32.08	PCS18
74	650649	9585238	563	0.083	306.53	PCS19
75	650339	9583451	553	0.00026	0.4	PCS20

- **PCS.**\_ Punto de concentración sedimentos.

**Anexo 6.** Resultados del análisis de las concentraciones de mercurio y arsénico año 2017.

**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**

---

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Srta. Gabriela Córdor  
Sr. Danny Chela

**INFORME N°:** 003 – 17  
**N° SE:** 003-17

**EMPRESA:** Proyecto de Tesis UNACH

**DIRECCIÓN:** Cdla. Los Alamos

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 27- 01 –17

**TELÉFONO:** 032800371

**FECHA DE INFORME:** 02- 02 –17

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 20

**TIPO DE MUESTRA:** Sedimentos, Distrito Minero Zaruma, Portovelo

**IDENTIFICACIÓN:**

MS – 003-17	PCS1
MS – 004-17	PCS2
MS – 005-17	PCS3
MS – 006-17	PCS4
MS – 007-17	PCS5
MS – 008-17	PCS6
MS – 009-17	PCS7
MS – 010-17	PCS8
MS – 011-17	PCS9
MS – 012-17	PCS10
MS – 013-17	PCS11
MS – 014-17	PCS12
MS – 015-17	PCS13
MS – 016-17	PCS14
MS – 017-17	PCS15
MS – 018-17	PCS16
MS – 019-17	PCS17
MS – 020-17	PCS18
MS – 021-17	PCS19
MS – 022-17	PCS20

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

MS-003-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0.4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	6.53

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



Página 1 de 4

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo



MS-004-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	4,87

MS-005-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	1,83
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	3,95

MS-006-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	3,06

MS-007-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	1,99

MS-008-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	2,05

MS-009-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	28,43
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	6,48

MS-010-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	201,36
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	3,25

MS-011-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	1,89

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 2 de 4

L.S.A. Campos Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.





MS-012-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	1,32

MS-013-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	1,49

MS-014-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	906,98
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	0,86

MS-015-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	0,014

MS-016-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	0,044

MS-017-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	2,05

MS-018-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	64,04
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	1,08

MS-019-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	0,69

MS-020-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7061A	32,08
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	0,21

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 3 de 4

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.





MS-021-17

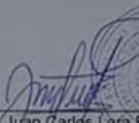
PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7081A	306,53
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	0,083

MS-022-17

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Arsénico	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7081A	< 0,4
Mercurio	mg/Kg	EPA SW - 846 METODO 7471	< 0,00026

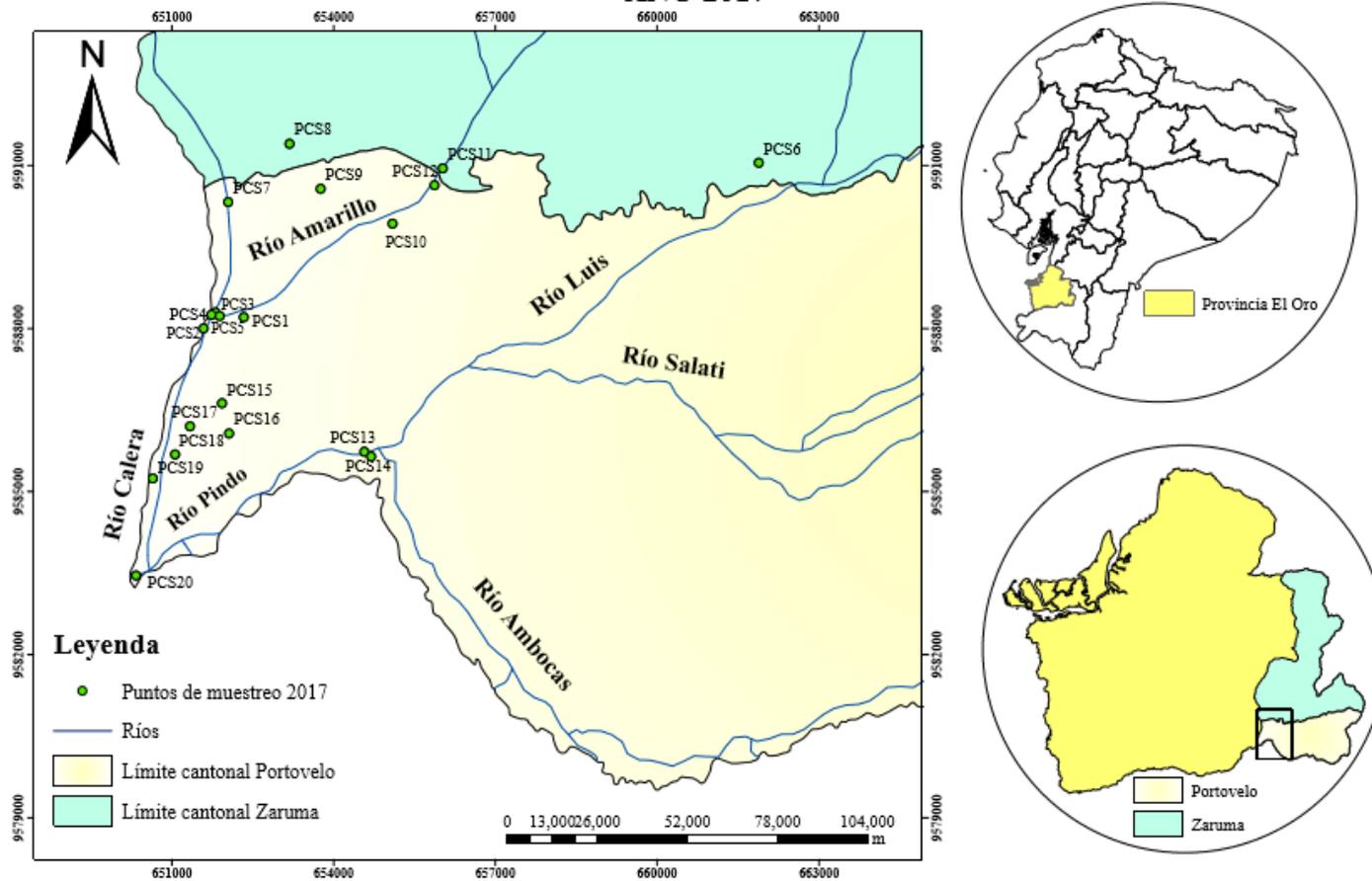
RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TÉCNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s)  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

## MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO AÑO 2017



## Anexo 7. Cálculo del riesgo sanitario ambiental de forma determinística

### ELEMENTO ARSÉNICO

INGESTIÓN INCIDENTAL POR SEDIMENTOS			RECEPTORES		
Factores		Unidades	Adultos	Niños	Trabajadores
Concentración	Csn	mg/kg	3122	3122	3122
Factor de conversión 1	CF1	kg/mg	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05
Frecuencia de exposición	EF	día/año	40	130	125
Fracción ingerida	FI	sin unidades	1	1	1
Duración de exposición	ED	año	9	5	8
Tasa de ingestión de suelo	IR, ac	mg/día	40	90	40
Factor de conversión 2	CF2	día/año	365	365	365
Peso corporal	BW, ac	kg	70	15	70
Tiempo promedio	AT	LT (año)	70	70	70
		ED (año)	9	5	8
Cálculo dosis diaria	ADD	Cáncer mg/(kg*día)	2.51E-04	4.77E-03	6.98E-04
		Tóxico mg/(kg*día)	0.00196	0.06672	0.00611
Factor Cancerígeno	CSF	1/(mg/kg*día)		1.500E+00	
Factor Toxicológico	RfD	mg/kg*día		3.000E-04	
VALOR DE RIESGO		Cancerígeno <b>sin unidades</b>	3.770E-04	7.148E-03	1.047E-03
		Tóxico <b>sin unidades</b>	6.52	222.39	20.37

CONTACTO DÉRMICO INCIDENTAL POR SEDIMENTOS			RECEPTORES		
Factores		Unidades	Adultos	Niños	Trabajadores
Concentración	Csn	mg/kg	3122	3122	3122
Factor de conversión 4	CF4	(kg*cm2/mg*m2)	0.01	0.01	0.01
Área Superficie	SA	m2/día	0.316	0.53	0.316
Factor de adherencia	AF	mg/cm2	0.2	0.2	0.2
Factor de absorción	ABS	sin unidades	0.001	0.001	0.001
Frecuencia de exposición	EF	día/año	40	130	125
Duración de exposición	ED	año	9	5	8
Factor de conversión	CF2	día/año	365	365	365
Peso corporal	BW	kg	70	15	70
Tiempo promedio	AT	LT (año)	70	70	70
		ED (año)	9	5	8
Cálculo dosis diaria	ADD	Cáncer mg/(kg*día)	3.971E-07	5.6E-06	1.10E-06
		Tóxico mg/(kg*día)	3.08E-06	7.8E-05	9.65E-06
Factor Cancerígeno	CSF	1/(mg/kg*día)		1.5790E+00	
Factor Toxicológico	RfD	mg/kg*día		2.8500E-04	
VALOR DE RIESGO		Cancerígeno <b>sin unidades</b>	6.271E-07	8.862E-06	1.742E-06
		Tóxico <b>sin unidades</b>	0.0108	0.2757	0.0339

INHALACIÓN INCIDENTAL POR SEDIMENTOS			RECEPTORES		
Factores		Unidades	Adultos	Niños	Trabajadores
Concentración	Csn	mg/kg	3122	3122	3122
Frecuencia de exposición	EF	día/año	40	130	125
Duración de exposición	ED	año	9	5	8
Factor de Volatilización	VF (PEF)	(m <sup>3</sup> *kg)	1.40E+09	1.40E+09	1.40E+09
Fracción de la cubierta vegetal	V	sin unidades	0.5	0.5	0.5
Velocidad media anual del viento	Um	m/s	4.69	4.69	4.69
Valor umbral equivalente de velocidad del viento a 7 m	Ut	m/s	11.32	11.32	11.32
Función dependiente de Um / Ut	F(x)	sin unidades	0.194	0.194	0.194
Inversa de la concentración media en el centro de una fuente de 0,5 acre-cuadrado	Q/C	(g*m <sup>3</sup> )/(m <sup>2</sup> *s*kg)	90.8	90.8	90.8
Segundos en una hora	CF3	s	3600	3600	3600
Factor de conversión	CF2	día/año	365	365	365
Tiempo promedio		LT (año)	70	70	70
	AT	ED (año)	9	5	8
Cálculo dosis diaria	ADD	Cáncer mg/(kg*día)	2.387E-17	4.3E-17	6.631E-17
		Tóxico mg/(kg*día)	1.86E-16	6.03E-16	5.80E-16
Factor Cancerígeno	CSF	1/(mg/kg*día)		1.505E+01	
Factor Toxicológico	RfD	mg/kg*día		2.850E-04	
VALOR DE RIESGO	Cancerígeno	sin unidades	<u>3.5E-16</u>	<u>6.4E-16</u>	<u>9.98E-16</u>
	Tóxico	sin unidades	6.51E-13	2.12E-12	2.04E-12

INGESTIÓN INCIDENTAL POR SEDIMENTOS			RECEPTORES		
Factores		Unidades	Adultos	Niños	Trabajadores
Concentración	Csn	mg/kg	1.958	1.958	1.958
Factor de conversión 1	CF1	kg/mg	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05
Frecuencia de exposición	EF	día/año	40	130	125
Fracción ingerida	FI	sin unidades	1	1	1
Duración de exposición	ED	año	9	5	8
Tasa de ingestión de suelo	IR, ac	mg/d	40	90	40
Factor de conversión 2	CF2	día/año	365	365	365
Peso corporal	BW, ac	kg	70	15	70
Tiempo promedio	AT	LT (año)	70	70	70
		ED (año)	9	5	8
Cálculo dosis diaria	ADD	Cáncer mg/(kg*día)	1.576E-07	2.98E-06	4.379E-07
		Tóxico mg/(kg*día)	1.226E-06	4.18E-05	3.83E-06
Factor Cancerígeno	CSF	1/(mg/kg*día)		0.000E+00	
Factor Toxicológico	RfD	mg/kg*día		3.000E-04	

<b>VALOR DE RIESGO</b>	Cancerígeno	<b>sin unidades</b>	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
	Tóxico	<b>sin unidades</b>	0.004	0.139	0.013

**CONTACTO DÉRMICO INCIDENTAL POR  
SEDIMENTOS**

			<b>RECEPTORES</b>		
<b>Factores</b>		<b>Unidades</b>	<b>Adultos</b>	<b>Niños</b>	<b>Trabajadores</b>
Concentración	Csn	mg/kg	1.958	1.958	1.958
Factor de conversión 4	CF4	(kg*cm2/mg*m2)	0.01	0.01	0.01
Área Superficie	SA	m2/día	0.316	0.53	0.316
Factor de adherencia	AF	mg/cm2	0.2	0.2	0.2
Factor de absorción	ABS	sin unidades	0.001	0.001	0.001
Frecuencia de exposición	EF	día/año	40	130	125
Duración de exposición	ED	año	9	5	8
Factor de conversión	CF2	día/año	365	365	365
Peso corporal	BW	kg	70	15	70
Tiempo promedio	AT	LT (año)	70	70	70
		ED (año)	9	5	8
<b>Cálculo dosis diaria</b>	ADD	Cáncer mg/(kg*día)	2.49E-10	3.52E-09	6.918E-10
		Tóxico mg/(kg*día)	1.93E-09	4.92E-08	6.054E-09
<b>Factor Cancerígeno</b>	CSF	1/(mg/kg*día)		0.0E+00	
<b>Factor Toxicológico</b>	RfD	mg/kg*día		3.000E-05	
<b>VALOR DE RIESGO</b>	Cancerígeno	<b>sin unidades</b>	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Tóxico	<b>sin unidades</b>	0.0001	0.0016	0.0002

**INHALACIÓN INCIDENTAL POR SEDIMENTOS**

			<b>RECEPTORES</b>		
<b>Factores</b>		<b>Unidades</b>	<b>Adultos</b>	<b>Niños</b>	<b>Trabajadores</b>
Concentración	Csn	mg/kg	1.958	1.958	1.958
Frecuencia de exposición	EF	día/año	40	130	125
Duración de exposición	ED	año	9	5	8
Factor de Volatilización	VF	(m3*kg)	3.47E+04	3.47E+04	3.47E+04
Fracción de la cubierta vegetal	V	sin unidades	0.5	0.5	0.5
Velocidad media anual del viento	Um	m/s	4.69	4.69	4.69
Valor umbral equivalente de velocidad del viento a 7 m	Ut	m/s	11.32	11.32	11.32
Función dependiente de Um / Ut	F(x)	sin unidades	0.194	0.194	0.194
Inversa de la concentración media en el centro de una fuente de 0,5 acre-cuadrado	Q/C	(g*m3)/(m2*s*kg)	90.8	90.8	90.8
Segundos en una hora	CF3	s	3600	3600	3600
Factor de conversion	CF2	día/año	365	365	365
		LT (año)	70	70	70
Tiempo promedio	AT	ED (año)	9	5	8

Cálculo dosis diaria	ADD	Cáncer mg/(kg*día)	6.04E-16	1.09E-15	1.678E-15
		Tóxico mg/(kg*día)	4.70E-15	1.53E-14	1.47E-14
Factor Cancerígeno	CSF	1/(mg/kg*día)		0.00E+00	
Factor Toxicológico	RfD	mg/kg*día		8.57E-05	
VALOR DE RIESGO	Cancerígeno	sin unidades	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Tóxico	sin unidades	5.48E-11	1.78E-10	1.71E-10

## Anexo 8. Análisis de incertidumbre del riesgo probabilístico

### Riesgo Cancerígeno Receptor Adultos

Media:	0.000392
Desviación estándar:	0.000989
Varianza:	9.77e-007
Tcheb:	6.25e-005
TTest:	2.11e-005

Riesgo	Frecuencia	Incremento	Probabilidad	Inv. Acumulativo
2.5E-07	631.00	0.00	0.63	0.37
2.0E-04	147.00	0.15	0.78	0.22
4.0E-04	65.00	0.07	0.84	0.16
6.0E-04	44.00	0.04	0.89	0.11
8.0E-04	16.00	0.02	0.90	0.10
1.0E-03	19.00	0.02	0.92	0.08
1.2E-03	21.00	0.02	0.94	0.06
1.4E-03	9.00	0.01	0.95	0.05
1.6E-03	13.00	0.01	0.97	0.04
1.8E-03	0.00	0.00	0.97	0.04
2.0E-03	3.00	0.00	0.97	0.03
2.2E-03	4.00	0.00	0.97	0.03
2.4E-03	4.00	0.00	0.98	0.02
2.6E-03	1.00	0.00	0.98	0.02
2.8E-03	0.00	0.00	0.98	0.02
3.0E-03	1.00	0.00	0.98	0.02
3.2E-03	1.00	0.00	0.98	0.02
3.4E-03	4.00	0.00	0.98	0.02
3.6E-03	2.00	0.00	0.99	0.02
3.8E-03	3.00	0.00	0.99	0.01
4.0E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
4.2E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
4.4E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
4.6E-03	1.00	0.00	0.99	0.01

4.8E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
5.0E-03	0.00	0.00	0.99	0.01
5.2E-03	0.00	0.00	0.99	0.01
5.4E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
5.6E-03	1.00	0.00	1.00	0.01
5.8E-03	1.00	0.00	1.00	0.00
6.0E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
6.2E-03	2.00	0.00	1.00	0.00
6.4E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
6.6E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
6.8E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
7.0E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
7.2E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
7.4E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
7.6E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
7.8E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
8.0E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
8.2E-03	1.00	0.00	1.00	0.00
8.4E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
8.6E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
8.8E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
9.0E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
9.2E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
9.4E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
9.6E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
9.8E-03	0.00	0.00	1.00	0.00
1.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.1E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.1E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.1E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.1E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.1E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.2E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.2E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.2E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.2E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.2E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00

---

1.4E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.4E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.4E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.4E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.4E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.8E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.8E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.8E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.8E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.8E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.0E-02	1.00	0.00	1.00	0.00

---

**Riesgo Tóxico Receptor Adultos**

<b>Media:</b>	5.34
<b>Desviación estándar:</b>	8.65
<b>Varianza:</b>	74.8
<b>Tcheb:</b>	0.547
<b>TTest:</b>	0.184

<b>Riesgo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Incremento</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Inv. Acumulativo</b>
2.5E-02	218.00	0.00	0.22	0.78
9.7E-01	182.00	0.18	0.40	0.60
1.9E+00	132.00	0.13	0.53	0.47
2.9E+00	100.00	0.10	0.63	0.37
3.8E+00	55.00	0.06	0.69	0.31
4.7E+00	43.00	0.04	0.73	0.27
5.7E+00	37.00	0.04	0.77	0.23
6.6E+00	34.00	0.03	0.80	0.20
7.6E+00	33.00	0.03	0.83	0.17
8.5E+00	17.00	0.02	0.85	0.15
9.5E+00	17.00	0.02	0.87	0.13
1.0E+01	13.00	0.01	0.88	0.12
1.1E+01	10.00	0.01	0.89	0.11
1.2E+01	14.00	0.01	0.91	0.10
1.3E+01	10.00	0.01	0.92	0.09
1.4E+01	9.00	0.01	0.92	0.08
1.5E+01	7.00	0.01	0.93	0.07
1.6E+01	6.00	0.01	0.94	0.06
1.7E+01	8.00	0.01	0.95	0.06
1.8E+01	10.00	0.01	0.96	0.05
1.9E+01	3.00	0.00	0.96	0.04
2.0E+01	4.00	0.00	0.96	0.04
2.1E+01	5.00	0.01	0.97	0.03
2.2E+01	1.00	0.00	0.97	0.03
2.3E+01	4.00	0.00	0.97	0.03
2.4E+01	1.00	0.00	0.97	0.03
2.5E+01	3.00	0.00	0.98	0.02
2.6E+01	0.00	0.00	0.98	0.02
2.6E+01	2.00	0.00	0.98	0.02
2.7E+01	3.00	0.00	0.98	0.02
2.8E+01	1.00	0.00	0.98	0.02
2.9E+01	0.00	0.00	0.98	0.02
3.0E+01	2.00	0.00	0.98	0.02
3.1E+01	1.00	0.00	0.99	0.02
3.2E+01	0.00	0.00	0.99	0.02
3.3E+01	0.00	0.00	0.99	0.02

3.4E+01	0.00	0.00	0.99	0.02
3.5E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
3.6E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
3.7E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
3.8E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
3.9E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
4.0E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
4.1E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
4.2E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
4.2E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
4.3E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
4.4E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
4.5E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
4.6E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
4.7E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
4.8E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
4.9E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.0E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
5.1E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.2E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.3E+01	1.00	0.00	0.99	0.01
5.4E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.5E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.6E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.7E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.8E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.9E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
5.9E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
6.0E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
6.1E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
6.2E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
6.3E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
6.4E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
6.5E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
6.6E+01	0.00	0.00	0.99	0.01
6.7E+01	2.00	0.00	1.00	0.00
6.8E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
6.9E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.0E+01	1.00	0.00	1.00	0.00
7.1E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.2E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.3E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.4E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.5E+01	0.00	0.00	1.00	0.00

---

7.6E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.6E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.7E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.8E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
7.9E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
8.0E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
8.1E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
8.2E+01	1.00	0.00	1.00	0.00
8.3E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
8.4E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
8.5E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
8.6E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
8.7E+01	1.00	0.00	1.00	0.00
8.8E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
8.9E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
9.0E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
9.1E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
9.2E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
9.3E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
9.3E+01	0.00	0.00	1.00	0.00
9.4E+01	1.00	0.00	1.00	0.00

#### Riesgo tóxico receptor niños

<b>Media:</b>	60.3
<b>Desviación estándar:</b>	93.1
<b>Varianza:</b>	8.67e+003
<b>Tcheb:</b>	5.89
<b>TTest:</b>	1.98

Riesgo	Frecuencia	Incremento	Probabilidad	Inv. Acumulativo
0.30	213.00	0.00	0.21	0.79
11.89	184.00	0.18	0.40	0.60
23.48	139.00	0.14	0.54	0.46
35.06	93.00	0.09	0.63	0.37
46.65	64.00	0.06	0.69	0.31
58.24	56.00	0.06	0.75	0.25
69.83	41.00	0.04	0.79	0.21
81.41	36.00	0.04	0.83	0.17
93.00	24.00	0.02	0.85	0.15
104.59	18.00	0.02	0.87	0.13
116.18	19.00	0.02	0.89	0.11
127.76	16.00	0.02	0.90	0.10
139.35	9.00	0.01	0.91	0.09

150.94	13.00	0.01	0.93	0.08
162.53	6.00	0.01	0.93	0.07
174.12	9.00	0.01	0.94	0.06
185.70	7.00	0.01	0.95	0.05
197.29	8.00	0.01	0.96	0.05
208.88	8.00	0.01	0.96	0.04
220.47	4.00	0.00	0.97	0.03
232.05	4.00	0.00	0.97	0.03
243.64	2.00	0.00	0.97	0.03
255.23	2.00	0.00	0.98	0.03
266.82	1.00	0.00	0.98	0.02
278.41	2.00	0.00	0.98	0.02
289.99	2.00	0.00	0.98	0.02
301.58	0.00	0.00	0.98	0.02
313.17	3.00	0.00	0.98	0.02
324.76	2.00	0.00	0.99	0.02
336.34	0.00	0.00	0.99	0.02
347.93	1.00	0.00	0.99	0.01
359.52	0.00	0.00	0.99	0.01
371.11	1.00	0.00	0.99	0.01
382.70	1.00	0.00	0.99	0.01
394.28	0.00	0.00	0.99	0.01
405.87	0.00	0.00	0.99	0.01
417.46	0.00	0.00	0.99	0.01
429.05	0.00	0.00	0.99	0.01
440.63	0.00	0.00	0.99	0.01
452.22	0.00	0.00	0.99	0.01
463.81	1.00	0.00	0.99	0.01
475.40	1.00	0.00	0.99	0.01
486.98	0.00	0.00	0.99	0.01
498.57	0.00	0.00	0.99	0.01
510.16	2.00	0.00	0.99	0.01
521.75	1.00	0.00	0.99	0.01
533.34	0.00	0.00	0.99	0.01
544.92	0.00	0.00	0.99	0.01
556.51	0.00	0.00	0.99	0.01
568.10	0.00	0.00	0.99	0.01
579.69	0.00	0.00	0.99	0.01
591.27	0.00	0.00	0.99	0.01
602.86	1.00	0.00	0.99	0.01
614.45	0.00	0.00	0.99	0.01
626.04	0.00	0.00	0.99	0.01
637.63	0.00	0.00	0.99	0.01
649.21	0.00	0.00	0.99	0.01

---

660.80	0.00	0.00	0.99	0.01
672.39	1.00	0.00	1.00	0.01
683.98	0.00	0.00	1.00	0.01
695.56	0.00	0.00	1.00	0.01
707.15	0.00	0.00	1.00	0.01
718.74	1.00	0.00	1.00	0.00
730.33	1.00	0.00	1.00	0.00
741.91	0.00	0.00	1.00	0.00
753.50	0.00	0.00	1.00	0.00
765.09	0.00	0.00	1.00	0.00
776.68	0.00	0.00	1.00	0.00
788.27	0.00	0.00	1.00	0.00
799.85	0.00	0.00	1.00	0.00
811.44	0.00	0.00	1.00	0.00
823.03	1.00	0.00	1.00	0.00
834.62	0.00	0.00	1.00	0.00
846.20	0.00	0.00	1.00	0.00
857.79	0.00	0.00	1.00	0.00
869.38	0.00	0.00	1.00	0.00
880.97	0.00	0.00	1.00	0.00
892.56	0.00	0.00	1.00	0.00
904.14	0.00	0.00	1.00	0.00
915.73	0.00	0.00	1.00	0.00
927.32	0.00	0.00	1.00	0.00
938.91	1.00	0.00	1.00	0.00
950.49	0.00	0.00	1.00	0.00
962.08	0.00	0.00	1.00	0.00
973.67	0.00	0.00	1.00	0.00
985.26	0.00	0.00	1.00	0.00
996.85	0.00	0.00	1.00	0.00
1008.43	0.00	0.00	1.00	0.00
1020.02	0.00	0.00	1.00	0.00
1031.61	0.00	0.00	1.00	0.00
1043.20	0.00	0.00	1.00	0.00
1054.78	0.00	0.00	1.00	0.00
1066.37	0.00	0.00	1.00	0.00
1077.96	0.00	0.00	1.00	0.00
1089.55	0.00	0.00	1.00	0.00
1101.13	0.00	0.00	1.00	0.00
1112.72	0.00	0.00	1.00	0.00
1124.31	0.00	0.00	1.00	0.00
1135.90	0.00	0.00	1.00	0.00
1147.49	0.00	0.00	1.00	0.00
1159.07	1.00	0.00	1.00	0.00

---

**Riesgo cancerígeno receptor niños**

<b>Media:</b>	0.00116
<b>Desviación estándar:</b>	0.00208
<b>Varianza:</b>	4.33e-006
<b>Tcheb:</b>	0.000132
<b>TTest:</b>	4.43e-005

<b>Riesgo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Incremento</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Inv. Acumulativo</b>
2.4E-06	281.00	0.00	0.28	0.72
2.8E-04	214.00	0.21	0.50	0.51
5.5E-04	117.00	0.12	0.61	0.39
8.2E-04	99.00	0.10	0.71	0.29
1.1E-03	60.00	0.06	0.77	0.23
1.4E-03	42.00	0.04	0.81	0.19
1.6E-03	30.00	0.03	0.84	0.16
1.9E-03	26.00	0.03	0.87	0.13
2.2E-03	22.00	0.02	0.89	0.11
2.5E-03	18.00	0.02	0.91	0.09
2.7E-03	17.00	0.02	0.93	0.07
3.0E-03	15.00	0.02	0.94	0.06
3.3E-03	6.00	0.01	0.95	0.05
3.5E-03	3.00	0.00	0.95	0.05
3.8E-03	8.00	0.01	0.96	0.04
4.1E-03	6.00	0.01	0.96	0.04
4.4E-03	4.00	0.00	0.97	0.03
4.6E-03	1.00	0.00	0.97	0.03
4.9E-03	3.00	0.00	0.97	0.03
5.2E-03	2.00	0.00	0.97	0.03
5.5E-03	3.00	0.00	0.98	0.02
5.7E-03	1.00	0.00	0.98	0.02
6.0E-03	2.00	0.00	0.98	0.02
6.3E-03	1.00	0.00	0.98	0.02
6.5E-03	0.00	0.00	0.98	0.02
6.8E-03	3.00	0.00	0.98	0.02
7.1E-03	0.00	0.00	0.98	0.02
7.4E-03	1.00	0.00	0.99	0.02
7.6E-03	0.00	0.00	0.99	0.02
7.9E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
8.2E-03	0.00	0.00	0.99	0.01
8.5E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
8.7E-03	0.00	0.00	0.99	0.01
9.0E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
9.3E-03	1.00	0.00	0.99	0.01
9.5E-03	0.00	0.00	0.99	0.01

9.8E-03	2.00	0.00	0.99	0.01
1.0E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.0E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.1E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.1E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.1E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.1E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.2E-02	1.00	0.00	0.99	0.01
1.2E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.2E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.3E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.3E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.3E-02	1.00	0.00	0.99	0.01
1.3E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.4E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.4E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.4E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.4E-02	0.00	0.00	0.99	0.01
1.5E-02	1.00	0.00	0.99	0.01
1.5E-02	1.00	0.00	1.00	0.01
1.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.01
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.01
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.01
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.01
1.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.01
1.7E-02	1.00	0.00	1.00	0.00
1.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.8E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.8E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.8E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	1.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	1.00	0.00	1.00	0.00
1.9E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.0E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.1E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.1E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.1E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.2E-02	0.00	0.00	1.00	0.00

---

2.2E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.2E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.2E-02	1.00	0.00	1.00	0.00
2.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.3E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.4E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.4E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.4E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.5E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.6E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.7E-02	0.00	0.00	1.00	0.00
2.7E-02	1.00	0.00	1.00	0.00

#### Riesgo tóxico receptor trabajadores

<b>Media:</b>	5.02
<b>Desviación estándar:</b>	7.45
<b>Varianza:</b>	55.4
<b>Tcheb:</b>	0.471
<b>TTest:</b>	0.159

Riesgo	Frecuencia	Incremento	Probabilidad	Inv. Acumulativo
0.03	194.00	0.00	0.19	0.81
0.95	174.00	0.17	0.37	0.63
1.87	134.00	0.13	0.50	0.50
2.79	102.00	0.10	0.60	0.40
3.71	74.00	0.07	0.68	0.32
4.63	52.00	0.05	0.73	0.27
5.55	44.00	0.04	0.77	0.23
6.47	35.00	0.04	0.81	0.19
7.39	29.00	0.03	0.84	0.16

8.30	24.00	0.02	0.86	0.14
9.22	21.00	0.02	0.88	0.12
10.14	11.00	0.01	0.89	0.11
11.06	14.00	0.01	0.91	0.09
11.98	8.00	0.01	0.92	0.08
12.90	10.00	0.01	0.93	0.07
13.82	11.00	0.01	0.94	0.06
14.74	9.00	0.01	0.95	0.05
15.66	6.00	0.01	0.95	0.05
16.58	8.00	0.01	0.96	0.04
17.50	6.00	0.01	0.97	0.03
18.42	3.00	0.00	0.97	0.03
19.34	0.00	0.00	0.97	0.03
20.26	3.00	0.00	0.97	0.03
21.18	2.00	0.00	0.97	0.03
22.10	4.00	0.00	0.98	0.02
23.02	2.00	0.00	0.98	0.02
23.94	0.00	0.00	0.98	0.02
24.86	1.00	0.00	0.98	0.02
25.78	2.00	0.00	0.98	0.02
26.70	3.00	0.00	0.99	0.01
27.62	0.00	0.00	0.99	0.01
28.54	1.00	0.00	0.99	0.01
29.46	1.00	0.00	0.99	0.01
30.38	0.00	0.00	0.99	0.01
31.30	0.00	0.00	0.99	0.01
32.22	0.00	0.00	0.99	0.01
33.14	0.00	0.00	0.99	0.01
34.06	0.00	0.00	0.99	0.01
34.98	0.00	0.00	0.99	0.01
35.90	0.00	0.00	0.99	0.01
36.82	1.00	0.00	0.99	0.01
37.74	2.00	0.00	0.99	0.01
38.66	0.00	0.00	0.99	0.01
39.58	1.00	0.00	0.99	0.01
40.50	0.00	0.00	0.99	0.01
41.42	0.00	0.00	0.99	0.01
42.34	0.00	0.00	0.99	0.01
43.26	0.00	0.00	0.99	0.01
44.18	1.00	0.00	0.99	0.01
45.10	0.00	0.00	0.99	0.01
46.02	0.00	0.00	0.99	0.01
46.94	0.00	0.00	0.99	0.01
47.86	0.00	0.00	0.99	0.01

---

48.78	0.00	0.00	0.99	0.01
49.70	1.00	0.00	0.99	0.01
50.62	0.00	0.00	0.99	0.01
51.54	0.00	0.00	0.99	0.01
52.46	0.00	0.00	0.99	0.01
53.38	0.00	0.00	0.99	0.01
54.30	0.00	0.00	0.99	0.01
55.22	1.00	0.00	1.00	0.01
56.14	0.00	0.00	1.00	0.01
57.06	1.00	0.00	1.00	0.00
57.98	0.00	0.00	1.00	0.00
58.90	1.00	0.00	1.00	0.00
59.81	0.00	0.00	1.00	0.00
60.73	0.00	0.00	1.00	0.00
61.65	0.00	0.00	1.00	0.00
62.57	0.00	0.00	1.00	0.00
63.49	0.00	0.00	1.00	0.00
64.41	0.00	0.00	1.00	0.00
65.33	1.00	0.00	1.00	0.00
66.25	0.00	0.00	1.00	0.00
67.17	0.00	0.00	1.00	0.00
68.09	0.00	0.00	1.00	0.00
69.01	0.00	0.00	1.00	0.00
69.93	0.00	0.00	1.00	0.00
70.85	1.00	0.00	1.00	0.00
71.77	0.00	0.00	1.00	0.00
72.69	0.00	0.00	1.00	0.00
73.61	0.00	0.00	1.00	0.00
74.53	0.00	0.00	1.00	0.00
75.45	0.00	0.00	1.00	0.00
76.37	0.00	0.00	1.00	0.00
77.29	0.00	0.00	1.00	0.00
78.21	0.00	0.00	1.00	0.00
79.13	0.00	0.00	1.00	0.00
80.05	0.00	0.00	1.00	0.00
80.97	0.00	0.00	1.00	0.00
81.89	0.00	0.00	1.00	0.00
82.81	0.00	0.00	1.00	0.00
83.73	0.00	0.00	1.00	0.00
84.65	0.00	0.00	1.00	0.00
85.57	0.00	0.00	1.00	0.00
86.49	0.00	0.00	1.00	0.00
87.41	0.00	0.00	1.00	0.00
88.33	0.00	0.00	1.00	0.00

---

89.25	0.00	0.00	1.00	0.00
90.17	0.00	0.00	1.00	0.00
91.09	0.00	0.00	1.00	0.00
92.01	1.00	0.00	1.00	0.00

### Riesgo cancerígeno receptor trabajadores

<b>Media:</b>	0.000372
<b>Desviación estándar:</b>	0.000879
<b>Varianza:</b>	7.72e-007
<b>Tcheb:</b>	5.56e-005
<b>TTest:</b>	1.87e-005

Riesgo	Frecuencia	Incremento	Probabilidad	Inv. Acumulativo
2.63E-07	573.00	0.000	0.573	0.427
1.70E-04	180.00	0.180	0.753	0.247
3.39E-04	73.00	0.073	0.826	0.174
5.09E-04	47.00	0.047	0.873	0.127
6.78E-04	28.00	0.028	0.901	0.099
8.48E-04	17.00	0.017	0.918	0.082
1.02E-03	22.00	0.022	0.940	0.060
1.19E-03	7.00	0.007	0.947	0.053
1.36E-03	6.00	0.006	0.953	0.047
1.53E-03	4.00	0.004	0.957	0.043
1.70E-03	6.00	0.006	0.963	0.037
1.87E-03	4.00	0.004	0.967	0.033
2.03E-03	7.00	0.007	0.974	0.026
2.20E-03	4.00	0.004	0.978	0.022
2.37E-03	1.00	0.001	0.979	0.021
2.54E-03	0.00	0.000	0.979	0.021
2.71E-03	1.00	0.001	0.980	0.020
2.88E-03	2.00	0.002	0.982	0.018
3.05E-03	1.00	0.001	0.983	0.017
3.22E-03	0.00	0.000	0.983	0.017
3.39E-03	3.00	0.003	0.986	0.014
3.56E-03	1.00	0.001	0.987	0.013
3.73E-03	2.00	0.002	0.989	0.011
3.90E-03	0.00	0.000	0.989	0.011
4.07E-03	2.00	0.002	0.991	0.009
4.24E-03	1.00	0.001	0.992	0.008
4.41E-03	0.00	0.000	0.992	0.008
4.58E-03	1.00	0.001	0.993	0.007
4.75E-03	2.00	0.002	0.995	0.005
4.92E-03	0.00	0.000	0.995	0.005

5.09E-03	0.00	0.000	0.995	0.005
5.25E-03	0.00	0.000	0.995	0.005
5.42E-03	1.00	0.001	0.996	0.004
5.59E-03	0.00	0.000	0.996	0.004
5.76E-03	0.00	0.000	0.996	0.004
5.93E-03	0.00	0.000	0.996	0.004
6.10E-03	1.00	0.001	0.997	0.003
6.27E-03	0.00	0.000	0.997	0.003
6.44E-03	0.00	0.000	0.997	0.003
6.61E-03	2.00	0.002	0.999	0.001
6.78E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
6.95E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
7.12E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
7.29E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
7.46E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
7.63E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
7.80E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
7.97E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
8.14E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
8.31E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
8.47E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
8.64E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
8.81E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
8.98E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
9.15E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
9.32E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
9.49E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
9.66E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
9.83E-03	0.00	0.000	0.999	0.001
1.00E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.02E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.03E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.05E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.07E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.08E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.10E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.12E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.14E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.15E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.17E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.19E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.20E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.22E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.24E-02	0.00	0.000	0.999	0.001

1.25E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.27E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.29E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.31E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.32E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.34E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.36E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.37E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.39E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.41E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.42E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.44E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.46E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.47E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.49E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.51E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.53E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.54E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.56E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.58E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.59E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.61E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.63E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.64E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.66E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.68E-02	0.00	0.000	0.999	0.001
1.69E-02	1.00	0.001	1.000	0.000

---

**Anexo 9. Fotografías del Distrito Minero Portovelo- Zaruma**



**Fotografía 1.** Área de estudio: Plantas de beneficio del Distrito Minero Portovelo- Zaruma



**Fotografía 2.** Proceso de recirculación de agua



**Fotografía 3.** Relaves mineros



**Fotografía 4.** Mina de extracción de oro



**Fotografía 5.** Proceso de trituración



**Fotografía 6.** Proceso de molienda



**Fotografía 7.** Canalones a continuación del molino

**TOMA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS**



**Fotografía 8.** Identificación del sitio mediante GPS



**Fotografía 9.** Homogenización y toma de sedimentos



**Fotografía 10.** Pesaje de las muestras



**Fotografía 11.** Etiquetado de las muestras



**Fotografía 12.** Toma de muestras en las riveras del Río amarillo



**Fotografía 13.** Toma de muestras en las riveras del Río Pindo



**Fotografía 14.** Toma de muestras en las riveras del Río Calera



**Fotografía 15.** Toma de muestras en quebradas



**Fotografía 16.** Toma de muestras en la relavera El Tablón

