

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Caracterización del riego en la salud por exposición de metales pesados  
en la Cuenca del Río Napo.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Minas**

Presentado por:

Luis Miguel Orbe Saenz

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero agradecer a mis abuelos Guillermo y Magdalena por el esfuerzo y las oportunidades que me han dado al largo de mi vida. A mi apoyo, compañero y amigo Luis Roberto que siempre está ahí, a su manera, y me da excelentes consejos de vez en cuando. A mi tutora Samantha, por la paciencia y soporte que dedicó en el tiempo de desarrollo de este trabajo. También un especial agradecimiento a todas las personas que formaron parte de mi formación académica y personal. Pero, sobre todo quiero agradecer a mi madre Admaris Isabel, por enseñarme el valor del esfuerzo y nunca dejar de presionarme para convertirme en el hombre y ser humano que soy ahora. Donde sea que estés Mayita ¡Lo hicimos!

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Luis Miguel Orbe Saenz* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Luis Miguel Orbe Saenz

# EVALUADORES

---

**MSc. Samantha Jiménez Oyola**

PROFESOR DE LA MATERIA Y  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente estudio pretende caracterizar y cuantificar el potencial riesgo sistémico y cancerígeno en la salud por la exposición a metales pesados basándose en datos de concentración de sedimentos y aguas superficiales en afluentes del Río Napo, con el fin de exponer y evidenciar los principales elementos aportantes a este riesgo y comparar el riesgo producido por la actividad minera local en contraste con el que es generado por otro tipo de actividades de origen antropogénico realizadas en la zona.

Para caracterizar la naturaleza y magnitud del riesgo que tienen los metales pesados en la salud de los receptores de la zona de estudio, se realizó un análisis determinista utilizando la metodología de evaluación de riesgos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), en donde se evalúan escenarios de exposición y se consideran ciertos parámetros que permiten la cuantificación del riesgo en la salud humana y que de esta forma, se puedan comparar los valores obtenidos de las diferentes fuentes de contaminación y de los elementos contaminantes identificados.

Como era esperado, los resultados de la evaluación arrojaron valores de riesgo que superan el valor umbral permisible en gran parte de las localidades de los sondeos, indicándonos el evidente peligro al que están expuestas las poblaciones locales y posicionando a la actividad minera como la principal fuente de riesgo sistémico y cancerígeno. Aunque este trabajo es una evaluación preliminar de riesgos, la información expuesta en el estudio puede servir como insumo para priorizar futuras investigaciones en el área, y así mismo, para implementar planes de mitigación y control ambiental.

**Palabras Clave:** evaluación de riesgos, metales pesados, Amazonía, contaminación minera.

## **ABSTRACT**

*This study aims to characterize and quantify the potential health risk from exposure to heavy metals based on concentration data of sediments and surface water in tributaries of the Napo River, in order to expose and compare the risk produced by local mining activity in contrast to the risk generated by other types of anthropogenic activities conducted in the area.*

*A deterministic analysis was performed using the United States Environmental Protection Agency (US EPA)'s risk assessment methodology to characterize the nature and magnitude of the risk that heavy metals pose to the health of the receptors in the surrounding area. Where exposure scenarios and parameters allow the quantification of health risk and have made possible to compare the values obtained and identify the sources and elements that pollute the most.*

*The results of the evaluation showed risk values that exceed the permissible threshold in most of the survey locations indicating the evident danger to which local populations are exposed and placing mining activity as the main source of systemic and carcinogenic risk. Although this work is a preliminary risk assessment, the information presented in the study can serve as input to prioritize future research in the area, and to implement environmental mitigation and control plans.*

**Keywords:** *health risk assessment, heavy metals, Amazon, mining pollution.*

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	2
EVALUADORES .....	4
RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.4 Marco teórico .....	5
1.4.1 Metales Pesados .....	5
1.4.2 Metales en el medioambiente.....	8
1.4.3 Normativa de metales en agua y sedimentos en el Ecuador.....	9
1.4.4 Evaluación de riesgos para la salud humana.....	10
CAPÍTULO 2 .....	15
2. Metodología.....	15

2.1	Área de estudio .....	15
2.2	Análisis de datos .....	17
2.3	Evaluación de exposición y caracterización del riesgo en la salud .....	18
2.3.1	Escenarios.....	18
2.3.2	Receptores y Vías de Exposición.....	19
2.3.3	Dosis Diaria Promedio.....	20
2.3.4	Factores de exposición.....	21
2.3.5	Cuantificación del riesgo.....	22
CAPÍTULO 3 .....		24
3.	Resultados y Análisis .....	24
3.1	Análisis Espacial .....	28
3.2	Identificación del riesgo por fuente de contaminación.....	30
3.3	Contribuyentes del riesgo .....	32
3.3.1	Riesgo sistémico .....	32
3.3.2	Riesgo cancerígeno.....	33
CAPÍTULO 4 .....		35
4.	Conclusiones.....	35
4.1	Recomendaciones .....	36
BIBLIOGRAFÍA .....		37
ANEXOS .....		40
ANEXO A: Criterios de calidad de agua.....		40
ANEXO B: Criterios de calidad de suelo .....		41
ANEXO C: Cálculo de Dosis de Referencia Dérmica (RfD <sub>Dérmica</sub> ) .....		42



## ABREVIATURAS

ADN	Ácido Desoxirribonucleico
CCME	Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
IKIAM	Universidad Regional Amazónica
MAAE	Ministerio del Ambiente y Agua
RAIS	Sistema de Información de Evaluación de Riesgos
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
TEL	Nivel de Efecto Umbral
PEL	Nivel de Efecto Probable
CDI	Ingesta Diaria Crónica
HQ	Riesgo potencial Sistémico
HI	Índice de peligro
CR	Riego cancerígeno potencial
TR	Riesgo cancerígeno total

## **SIMBOLOGÍA**

cm	Centímetro
gr	Gramo
Kg	Kilogramo
L	Litro
mg	Miligramo
RfD	Dosis de referencia diaria
SF	Factor pendiente
Cd	Cadmio
Cr	Cromo
Hg	Mercurio
Ni	Níquel
Pb	Plomo
Zn	Zinc

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 <i>Mapa del área de estudio</i> .....	16
Figura 2.2 <i>Modelo conceptual para selección de receptores y escenarios</i> . ....	19
Figura 3.1 <i>Mapa de HI en escenario recreativo para receptores a) adulto y b) niño</i> . .....	29
Figura 3.2 <i>Mapa de HI en escenario agrícola para receptores a) adulto y b) niño</i> . .	29
Figura 3.3 <i>Mapa de TCR en escenario recreativo para receptores a) adulto y b) niño</i> . .....	30
Figura 3.4 <i>Mapa de TCR en escenario agrícola para receptores a) adulto y b) niño</i> . .....	30
Figura 3.5 <i>Comparación de HI en fuentes de contaminación</i> .....	31
Figura 3.6 <i>Comparación de TCR en fuentes de contaminación</i> . ....	31
Figura 3.7 <i>Comparación HI de metales contaminantes en sedimentos</i> . ....	32
Figura 3.8 <i>Comparación de HI de metales contaminantes en aguas</i> . ....	33
Figura 3.9 <i>Comparación de TCR de metales contaminantes</i> . ....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores de concentración de sondeos en agua.....	17
Tabla 2.2 Valores de concentración de sondeos en sedimentos .....	18
Tabla 2.3 Parámetros y factores de exposición por escenario.....	21
Tabla 2.4 Valores de Dosis de Referencia y Factor Pendiente (oral y dérmico). ....	23
Tabla 3.1 Coeficiente de riesgo (HQ) e Índice de peligro (HI) por exposición a aguas en escenario recreativo para adultos y niños .....	24
Tabla 3.2 Coeficiente de riesgo (HQ) e Índice de peligro (HI) por exposición a aguas en escenario agrícola para receptores adultos y niños .....	25
Tabla 3.3 Coeficiente de riesgo (HQ) e Índice de peligro (HI) por exposición a sedimentos en escenario recreativo para receptores adultos y niños. ....	26
Tabla 3.4 Coeficiente de riesgo (HQ) e Índice de peligro (HI) por exposición a sedimentos en escenario agrícola para receptores adultos y niños.....	26
Tabla 3.5 Riesgo potencial cancerígeno (CR) y Riesgo cancerígeno total (TCR) por exposición a aguas en escenarios agrícola y recreativo para adultos y niños .....	27
Tabla 3.6 Riesgo potencial cancerígeno (CR) y Riesgo cancerígeno total (TCR) por exposición a sedimentos en escenarios agrícola y recreativo para adultos y niños.	28

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La minería se ha consolidado como uno de los ejes principales en el desarrollo de la economía ecuatoriana siendo un motor y fuente de prosperidad para las zonas pobres y rurales del país (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019). Sin embargo, tanto en minería como en otras actividades antropogénicas, la generación de sustancias contaminantes es inevitable y puede causar graves impactos en los ecosistemas y en la salud de las personas si la gestión de residuos no se realiza de forma adecuada.

Los contaminantes más comunes de los residuos mineros son los metales, dentro de los cuales tenemos algunos como: Zinc (Zn), Cobre (Cr), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Cromo (Cr) y Cobalto (Co); que son considerados metales esenciales ya que, en bajas concentraciones están involucrados en procesos metabólicos importantes para el desarrollo de los seres humanos, pero en concentraciones elevadas podrían tener efectos adversos en la salud de los individuos. Por otro lado, también encontramos metales no esenciales como: Arsénico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Mercurio (Hg); que son tóxicos y no tienen ningún beneficio directo en la salud (Crichton, 2017).

El monitoreo de las concentraciones de los metales pesados es muy importante en el manejo de la salud pública, ya que sus valores se elevan considerablemente en zonas aledañas a actividades como la minería, la piscicultura, los rellenos sanitarios, la construcción u otras actividades de origen humano. La contaminación por metales pesados es una problemática actual muy seria en el país, donde los sectores cercanos a ríos y afluentes son los más afectados (Oviedo et al., 2017).

La Amazonía ecuatoriana es una zona muy rica en recursos, pero lamentablemente posee un amplio historial de contaminación por metales pesados, debido principalmente

a la extracción de petróleo al norte de la región y a la minería legal e ilegal (Barraza et al., 2018).

La provincia del Napo posee redes fluviales muy complejas que desembocan en el río Amazonas; paralelamente, la actividad minera local se dedica a la extracción de oro aluvial, generando gran impacto en el ecosistema de los márgenes de ríos y afluentes, incluyendo a poblaciones que se concentran en estas áreas como es el caso de Tena, Archidona y Puerto Napo, ubicados en los cantones Tena y Archidona al noreste de la Amazonía ecuatoriana.

En la Amazonia, las actividades mineras se han venido realizando hace varias décadas, sin embargo, es evidente la falta de monitoreo y estudios sobre el impacto que tienen los contaminantes o residuos mineros en la salud de las poblaciones de la zona. En este sentido, este estudio tiene la finalidad de cuantificar el riesgo en la salud al que está expuesta la población de las zonas aledañas a los entornos mineros y representarlo de manera que se perciba la situación como una problemática real y con efectos tangibles.

## **1.1 Descripción del problema**

Napo se presenta como una potencial fuente de recursos no renovables como son: oro aluvial, gravas, asfalto, calizas y yacimientos probables de polimetálicos. Los datos del Censo 2010 estiman que el 0.98 % de la población de la provincia se dedica o está relacionada con la minería, estableciéndose como una actividad con bastante relevancia en la zona (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010). La explotación de oro aluvial se realiza en los cantones Carlos Julio Arosemena y Tena, sobre todo en los márgenes del río Napo y algunos de sus afluentes (GAD Provincial de Napo, 2019).

Actividades como la minería y otras actividades antropogénicas producen drenajes que, de no ser debidamente controlados y monitoreados, representan un riesgo ecológico y para la salud para las personas que habitan en estas zonas. La ciudadanía de Napo ha denunciado que en los últimos 20 años se han concesionado áreas a

empresas extranjeras, trayendo consigo un gran impacto ambiental que carece de un proceso de remediación ambiental (Defensoría del Pueblo Ecuador, 2020).

Los residuos y descargas de este tipo de actividades tienden a acumularse en los cursos de ríos, lo que ocasiona un grave problema de contaminación al contener sustancias que alteran el medio acuático y producen afecciones en la salud de las personas (Bofill-Mas et al., 2005). Un reciente estudio publicado por Capparelli et al. (2020), reveló que existen valores de concentración de metales pesados que superan los límites máximos permisibles (LMP) en agua y sedimentos en varios afluentes del río Napo. Aunque la contaminación por fuentes naturales no puede ignorarse, los sondeos de concentraciones de metales y evaluaciones de fitotoxicidad realizadas en el estudio citado sugieren que las elevadas concentraciones son producidas por actividades de origen humano.

La presencia de metales pesados es una problemática recurrente y en este tipo de ecosistemas suelen tener especial impacto ya que los metales son transportados fácilmente por las fuentes hídricas. La falta de estudios y monitoreo con respecto a esta temática en la región es preocupante, ya que existen muchas zonas pobladas a lo largo de la cuenca del río Napo que aprovechan este recurso hídrico, además que sus viviendas se encuentran a las orillas del mismo. La exposición que tienen es directa y podría tener serias consecuencias en su salud a largo plazo.

## **1.2 Justificación del problema**

La zona presenta rasgos generales distintivos de las áreas rurales del Ecuador: población joven; tasa de crecimiento relativamente alta; e índices de mortalidad general, infantil y materna elevados. Las causas de muerte corresponden en su mayoría a patologías prevenibles provocadas por contaminación, las mismas que pueden ser reducidas al tratar este tipo de problemáticas ambientales de manera efectiva (Zambrano, 2015).

Los altos niveles de metales encontrados en la zona sugieren que una caracterización de riesgos enfocada en la salud humana es requerida, porque de esta forma se pueden identificar las principales vías de exposición y planificar estrategias que limiten la exposición de la población a los contaminantes. Además, que al cuantificar el riesgo se podrá comparar la contaminación producida por la actividad minera en contraste con otro tipo de actividades realizadas en la zona, y de esta forma generar conciencia y priorizar sectores para apelar a un posible plan de gestión y mitigación ambiental.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Caracterizar el riesgo en la salud por exposición a metales pesados producto de actividades antropogénicas en afluentes del Río Napo para la conceptualización de la naturaleza y magnitud de los afectos que tiene este tipo de contaminación en sus receptores.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar los escenarios convenientes para la evaluación de las principales vías de exposición que existen entre las poblaciones y las zonas contaminadas.
- Evaluar las dosis promedio de exposición para los escenarios seleccionados y relacionarlas con las dosis de referencia de cada metal valorado.
- Cuantificar el riesgo acumulado para cada actividad y elemento contaminante para la estimación de la fuente de mayor impacto en la salud de los receptores.



## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Metales Pesados**

Los desechos de las actividades antropogénicas se evidencian como contaminación tanto en el agua, aire y en el suelo. Es importante, considerar cada una de estas vías ya que existe un constante intercambio entre ellas debido a la estrecha relación que tienen en los ecosistemas en los que se encuentran. Es decir, que cualquier desecho que se emita en el aire, tarde o temprano llegará a alguna fuente hídrica, o se depositará en el suelo. De igual manera un contaminante en el agua producirá sedimentos que se depositarán y absorberán en el suelo (Venegas, 2016).

Los metales pesados son elementos inherentes en el medio ambiente que, en concentraciones determinadas, cumplen funciones importantes en los ecosistemas y están vinculados en procesos esenciales de los organismos vivos cuando su concentración en el cuerpo no supera el 0,01% de la masa total (Jimenez, 2012). No obstante, debido a la actividad humana, las concentraciones de estos elementos en el ambiente han sido alteradas y rompen con el equilibrio natural al ser introducidos en la red trófica a través de la contaminación de fuentes hídricas y los suelos (Bautista, 1999).

Sean esenciales o no, todos los metales pesados son tóxicos en altas concentraciones, sin embargo, existen metales más peligrosos que otros. Entre los más nocivos podemos identificar metales como el Hg, Cd, Ag, Ni y Pb, aunque también entran en esta categoría otros metales más livianos como Al, Ba, Cu y V (Venegas, 2016).

El problema de estos contaminantes radica en el tiempo de permanencia que tienen en el medio natural, pues al no ser biodegradables, pueden perdurar en el medio ambiente durante prolongados periodos de tiempo, aumentando de esta forma el tiempo de exposición y el riesgo de propagarse por otros medios, teniendo un gran impacto ecológico y en la salud de las personas. Además, existen ciertos factores abióticos como, por ejemplo: el pH, la presencia de iones inorgánicos y la temperatura; que influyen sobre la toxicidad, la solubilidad y la movilidad de estos metales en el medio natural.

La acumulación de metales pesados en diferentes hábitats, hasta cierto punto ha sido ignorada por estudios ambientales (Venegas, 2016). Pero se ha vuelto cada vez más evidente la necesidad de un análisis y caracterización del riesgo producido por este tipo de contaminantes debido a los efectos adversos que pueden tener en la salud de las personas y en el medio ambiente.

Para este estudio se considerarán valores de concentración de los metales: Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

#### **1.4.1.1 Cadmio.**

Es un metal poco común en el medio natural y por lo general se lo encuentra vinculado al Zn. Su número atómico es 48 y posee masa atómica 112,40 g/mol.

No hay evidencia de que sea un elemento esencial para los organismos vivos por lo que se lo considera un elemento tóxico para la vida principalmente por sus efectos cancerígenos y mutagénicos (Jimenez, 2012).

La exposición prolongada a este metal puede tener algunas consecuencias perjudiciales para la salud como: trastornos gastrointestinales por ingestión; problemas de disfunción renal y trastornos pulmonares por inhalación; incluso casos de anemia, modificaciones óseas y anosmia por exposiciones prolongadas a este metal (Quiroz, 2007).

#### **1.4.1.2 Cromo.**

Su número atómico es 24 y su masa atómica 51,996 g/mol. Es un metal esencial que no se encuentra de manera libre en el medio natural; en tanto, en su estado de oxidación  $\text{Cr}^{+6}$  posee propiedades cancerígenas

Por otro lado, los alimentos son la fuente más común de ingesta de este metal, siendo esencial en el cuerpo humano para la síntesis de grasas y carbohidratos, además de cumplir un papel importante con la insulina y en la descomposición de la glucosa en

la sangre. A pesar de tener beneficios en la salud, en altas concentraciones puede causar afecciones cutáneas, además de alergias y depresión del sistema inmune (Venegas, 2016). La contaminación ambiental por este metal es el resultado de algunas actividades industriales (Jimenez, 2012).

#### **1.4.1.3 Mercurio.**

Es un elemento pesado de número atómico 80 y masa atómica de 200,59 g/mol. La enorme toxicidad de este elemento fue destacada en 1956 por un desastre medioambiental en la población de Minamata en Japón, provocando un síndrome neurológico grave conocido desde ese momento como la enfermedad de Minamata (Crichton, 2017).

El uso de este metal está totalmente prohibido en cualquier proceso industrial minero en el Ecuador de acuerdo con la Ley de Minería (2018), debido no solo a sus efectos sistémicos, sino también a los efectos cancerígenos que tiene en la salud de las personas.

#### **1.4.1.4 Níquel.**

El níquel es un elemento esencial muy abundante en la naturaleza. Posee número atómico 28 y masa atómica 58,71 g/mol. Se lo usa principalmente en la industria para crear aleaciones resistentes a la corrosión. En general los compuestos de níquel tienen bajo riesgo ambiental y para la salud.

La ingesta o inhalación de Níquel es común, al igual que la exposición dérmica a través de diferentes vías de exposición (Quiroz, 2007). En altas concentraciones, sus efectos tóxicos afectan principalmente a los sistemas: respiratorio, cardiovascular, gastrointestinal, hematológico, muscular esquelético, hepático, renal, dérmico, ocular, inmunológico, al desarrollo mental, neurológico y reproductivo; además de estar vinculado a daños en el ADN (Jimenez, 2012).

#### **1.4.1.5 Plomo.**

Es un metal con número atómico 82 y masa atómica 207,19 g/mol. Este elemento es muy conocido por sus propiedades tóxicas para los seres vivos y puede llegar a ser cancerígeno si es absorbido en grandes cantidades (Quiroz, 2007).

Este metal se absorbe muy fácil, quedando retenido a 2 cm y 5 cm de profundidad en sedimentos (Jimenez, 2012). Entre sus efectos en la salud está la inhibición de la síntesis de la hemoglobina, lo que conduce al desarrollo de anemia. Además, la exposición prolongada puede provocar encefalopatía, he incluso alteraciones psicológicas, neuropatía, estreñimiento, afectación hepática y problemas cardiacos (Quiroz, 2007).

#### **1.4.1.6 Zinc.**

Es un metal esencial de número atómico 30 y masa atómica 65,37 g/mol. Ligado estrechamente a otros metales en procesos estructurales y catalíticos en el cuerpo humano, además de estar ampliamente involucrado en la función cerebral.

En altas dosis produce intoxicación, vinculada a fatiga y alteraciones en los glóbulos rojos bloqueando la absorción de cobre, lo que pueden conducir a una anemia. El proceso de eliminación del Zn es muy lento así que en casos de una intoxicación, a los pacientes se les administra suplementos de cobre (Alzman et al., 2002).

### **1.4.2 Metales en el medioambiente**

La presencia de los metales pesados en los organismos vivos puede provocar problemas de toxicidad, dependiendo de las concentraciones en que se encuentren (Bautista, 1999).

Los metales pesados presentes en la naturaleza presentan cantidades fijas que se encuentran regulados por ciertas condiciones químicas y al ser poco solubles no representan un escollo para la biodiversidad. Sin embargo, las diversas actividades humanas generan gran cantidad de desechos que tienen como consecuencia la acumulación de compuestos de estos metales en formas y cantidades solubles,

provocando la contaminación de redes hídricas, causando efectos tóxicos, alterando los ecosistemas y causando deterioro ambiental (Venegas, 2016).

#### **1.4.2.1 Medio Acuático.**

Los metales pesados son tóxicos para los sistemas acuáticos aun en concentraciones relativamente bajas ya que, al no ser biodegradables, una vez ingresados en este tipo de ecosistema pueden llegar a permanecer ahí durante muchos años, además que algunos organismo de este medio tienden a bioacumularlos (Jimenez, 2012; Quiroz, 2007).

#### **1.4.2.2 Sedimentos.**

Los sedimentos de ríos son elementos pesados arrastrados por la corriente que debido a su densidad tienden a depositarse. Los sedimentos pueden provenir de diferentes fuentes, ya sea de forma natural como: erosión de las rocas, la precipitación de sustancias disueltas en el agua, la acumulación de materia orgánica, etc. (Venegas, 2016).

#### **1.4.3 Normativa de metales en agua y sedimentos en el Ecuador.**

Existen varias normativas internacionales con diferentes criterios para la preservación de la calidad del agua. En el Ecuador la normativa vigente para la gestión de los recursos hídricos se encuentra decretada en la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) establecida por el Ministerio de Ambiente y Agua (ANEXO A).

Con respecto a los sedimentos no existen criterios en la legislación nacional, por lo que generalmente se usa como referencia la Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados del TULSMA (ANEXO B).

#### **1.4.4 Evaluación de riesgos para la salud humana**

La evaluación de riesgos sirve para caracterizar la naturaleza, la magnitud y la probabilidad del riesgo de algún contaminante o factor ambiental para la salud de los seres humanos y/o receptores ecológicos, ahora o en el futuro. La evaluación de riesgos para la salud humana incluye 4 pasos básicos: (1) planificación, (2) identificación de peligros, (3) evaluación dosis-respuesta, (4) evaluación de la exposición y (5) caracterización de riesgo.

##### **1.4.4.1 Planificación.**

Una correcta evaluación de riesgos para la salud humana comienza con una minuciosa planificación, en donde existe la necesidad de emitir juicios tempranos con respecto al propósito, el alcance y los enfoques técnicos que se utilizarán. Para empezar, los evaluadores de riesgos normalmente harán las siguientes preguntas:

- ***¿Quién o qué está en riesgo?***

Se tendrá que identificar al individuo o población que se encuentra en riesgo, considerando factores como; la etapa de vida en la que se encuentran: niños, adolescentes, mujeres embarazadas y lactantes; subgrupos poblacionales: personas con altamente susceptible por enfermedades genéticas y personas con alta exposición debido a su ubicación, etnia, raza o estatus económico.

- ***¿Cuál es el peligro ambiental que preocupa?***

Se debe identificar la fuente del peligro que genera el riesgo como: productos químicos, radiación, agentes microbiológicos o biológicos, etc.

- ***¿De dónde provienen estos peligros ambientales?***

Las fuentes puntuales naturales o no naturales que producen el peligro ambiental como: descargas de residuos mineros, emisión de gases, rellenos sanitarios, etc.

- ***¿Cómo ocurre la exposición?***

Se identifican las principales vías (aire, agua, suelo, vegetales) y rutas (ingesta, contacto dérmico, inhalación) de exposición y como están relacionadas entre sí.

- ***¿Cuáles son los efectos en la salud?***

Algunos ejemplos de efectos sobre la salud incluyen cáncer, enfermedades cardíacas, enfermedades hepáticas y enfermedades nerviosas.

- ***¿Cuánto tiempo tarda un peligro ambiental en causar un efecto tóxico?***

Aquí se habla de afectos crónicos, subcrónicos y agudos, además de el momento de la vida en el que el receptor tiene exposición con el contaminante.

#### **1.4.4.2 Identificación de Peligros.**

El objetivo de este paso es el de identificar los efectos adversos para la salud que pueden ser causados por la exposición a algún agente contaminante y caracterizar la calidad y el peso de la evidencia que respalda esta identificación.

La identificación de peligros es el proceso de determinar si la exposición a un factor contaminante puede causar un aumento en la incidencia de efectos adversos específicos para la salud.

En el caso de los contaminantes químicos, el proceso consiste en examinar los datos científicos disponibles para las sustancias químicas estudiadas y desarrolla un peso de evidencia para caracterizar el vínculo entre los efectos negativos y el agente químico.

#### **1.4.4.3 Evaluación dosis-respuesta.**

El objetivo de este paso es el de establecer la relación entre la respuesta biológica de un organismo a la dosis de un elemento contaminante en específico, de manera que, se pueda describir la gravedad de los efectos adversos para la salud.

Por lo general, a medida que se aumenta a dosis, también aumenta la respuesta. Pudiéndose observar que las respuestas comienzan a ser visibles a cierto nivel de dosis. Tanto la dosis a la que comienza a aparecer la respuesta como la velocidad a la que aumenta al aumentar la dosis pueden ser variables entre diferentes contaminantes, individuos, vías de exposición, etc.

#### **1.4.4.4 Evaluación de exposición.**

La evaluación de la exposición es un proceso en el cual se pretende medir o estimar la magnitud, frecuencia y duración de la exposición humana a un agente contaminante o estimar las exposiciones futuras que se puedan desencadenar.

Una evaluación de la exposición incluye una discusión sobre el tamaño, la naturaleza y los tipos de poblaciones humanas expuestas al agente, así como una discusión sobre las incertidumbres en la información anterior.

La exposición se puede medir directamente, pero más comúnmente se estima indirectamente mediante la consideración de concentraciones medidas en el medio ambiente, la consideración de modelos de transporte químico y destino en el medio ambiente y estimaciones de la ingesta humana a lo largo del tiempo.

- ***Diferentes tipos de dosis.***

La evaluación de la exposición considera tanto la vía de exposición como la fuente de exposición. Se entiende como vía de exposición al curso que toma un agente contaminante desde su origen hasta los receptores. Por otro lado, la ruta de exposición generalmente se describe como ingesta (comida, bebida o inhalación) o absorción (por contacto con tejidos: piel, ojos, etc.).

- ***Rango de exposición.***

Para cualquier agente o sitio específico, existe una variedad de exposiciones que experimentan los receptores. Algunos pueden tener un alto grado de contacto durante un período prolongado mientras otras personas pueden tener un menor grado de contacto durante un período más corto de acuerdo con el escenario en el que se encuentren.



- ***Cuantificación de la exposición.***

Existen tres formas de cuantificar la exposición. En primer lugar, tenemos la medición del punto de contacto, en donde se considera el límite exterior del cuerpo que entra en contacto con el agente contaminante, integrando la concentración de exposición como el tiempo de contacto.

Después, tenemos la evaluación del escenario, en donde la exposición se puede estimar evaluando por separado la concentración de exposición y el tiempo de contacto, luego combinando esta información.

Finalmente tenemos la reconstrucción, en donde la exposición se puede estimar a partir de la dosis, que a su vez se puede reconstruir a través de indicadores internos (biomarcadores, carga corporal, niveles de excreción, etc.) después de que se haya producido la exposición.

#### **1.4.4.5 Caracterización del riesgo en la salud**

En esta sección final se plasmará el juicio realizado por el evaluador en cuanto a la naturaleza y presencia o ausencia de riesgos, junto con información sobre cómo se evaluó el riesgo, dónde aún existen supuestos e incertidumbres y dónde será necesario tomar decisiones políticas.

La Política de Caracterización de Riesgos de la EPA requiere realizar caracterizaciones de riesgos de una manera que sea consistente con los siguientes principios:

- ***Transparencia.***

La caracterización debe revelar completa y explícitamente los métodos de evaluación de riesgos, los supuestos predeterminados, la lógica, los fundamentos, las extrapolaciones, las incertidumbres y la solidez general de cada paso de la evaluación.

- **Claridad.**

Los lectores dentro y fuera del proceso de evaluación de riesgos deben comprender fácilmente los productos de la evaluación de riesgos. Los documentos deben ser concisos, libres de jerga y deben utilizar tablas, gráficos y ecuaciones comprensibles según sea necesario.

- **Coherencia.**

La evaluación de riesgos debe realizarse y presentarse de manera coherente con la política de la EPA y con otras caracterizaciones de riesgos de alcance similar preparadas en todos los programas de la EPA.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Área de estudio

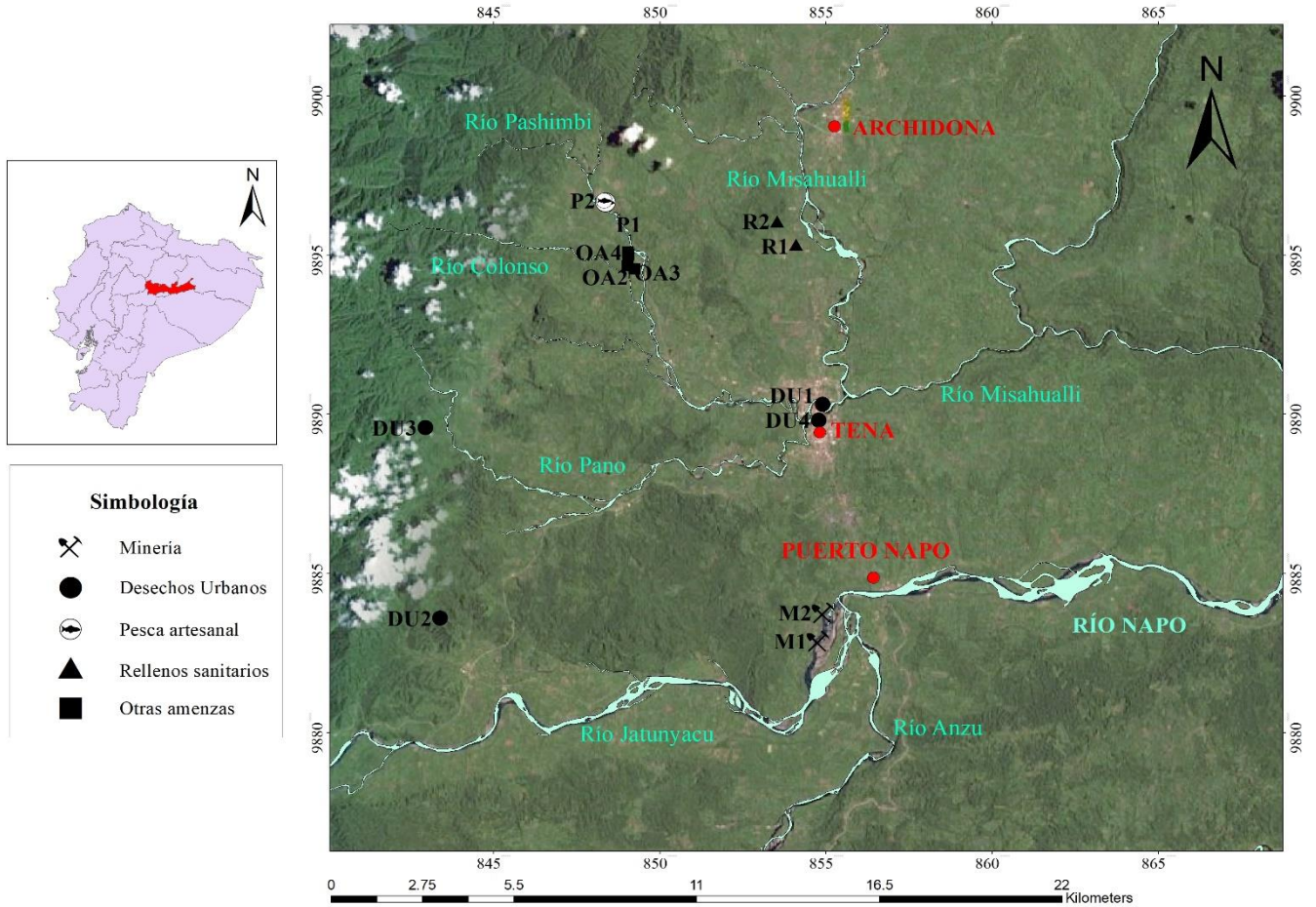
La zona de estudio está ubicada al noroeste de la Amazonía ecuatoriana, en la cuenca del río Napo. La importancia de esta cuenca radica en que, a pesar de que existe muy poca información hidrológica y ser la más pequeña de las 13 cuencas aportantes del Río Amazonas, es el principal afluente en el Ecuador. El río Napo tiene una longitud de 885 km desde su nacimiento en los páramos de la provincia, hasta su desembocadura en el Amazonas (GAD Provincial de Napo, 2019). En el área se puede identificar algunas afluentes del Río Napo como los ríos Pashimbi, Colonso, Misahualli y otras afluentes pequeñas. Todos estos ríos tienen su cabecera en la cordillera de los Andes (Figura 2.1).

Históricamente esta área ha sido fuertemente afectada principalmente por la extracción de crudo, la pesca no nativa y las actividades de minería legal e ilegal (Barraza et al., 2018). La provincia de Napo es rica en ecosistemas acuáticos, sus ríos, lagos y lagunas cubren una superficie equivalente al 0,42 % de la superficie provincial. El 100 % de la superficie provincial están dentro de la cuenca del Napo (GAD Provincial de Napo, 2019).

La densidad de la red hidrográfica de la zona hace difícil mapear las fuentes directas de los contaminantes, pero gracias a la información de los sondes del estudio de Capparelli et al., (2020) se sabe que las principales fuentes son actividades como: la minería artesanal, pequeña minería, la piscicultura y rellenos sanitarios. Además, en las áreas urbanas aparentemente no existe un tratamiento adecuado para los desechos que desembocan en los ríos (Capparelli et al., 2020).

En la zona existe actividad minera artesanal y seis concesiones operadas por la empresa Terraeearth Resources S.A., de las cuales solo una se encuentra en etapa

de explotación (Castro, 2020). La actividad local se trata de minería aurífera aluvial que se practica en los márgenes de los ríos y por ello, contribuye a que incremente la



concentración de ciertos metales pesados.

*Nota.* En la figura se puede apreciar los sondeos con su respectiva fuente, las zonas pobladas aledañas, y las afluentes del río Napo del sector.

**Figura 2.1 Mapa del área de estudio.**

## 2.2 Análisis de datos

Se analizaron los datos de concentración de agua y sedimentos para Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, y Zn; extraídos de una investigación realizada por IKIAM y reportada por Capparelli et al., (2020) (Tabla 2.1 y 2.2). En donde se pudo observar que algunos valores de concentración de agua superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental del Ecuador (TULSMA); y de igual manera con ciertos valores de concentración de sedimentos en contraste con los valores de Nivel Efecto Umbral (TEL) y Nivel de Efecto Probable (PEL), fijados por las directrices de calidad ambiental canadienses del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME por sus siglas en inglés).

**Tabla 2.1 Valores de concentración de sondeos en agua**

	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<b>P1</b>	0.0039	-	0.007	-	0.1181	0.0026
<b>P2</b>	-	-	0.0112	-	-	0.0264
<b>DU1</b>	-	-	0.0039	-	-	0.0095
<b>DU2</b>	0.0017	0.0049	0.0005	-	0.005	0.0024
<b>M1</b>	0.046	0.2383	-	0.1556	0.1331	0.712
<b>M2</b>	0.0029	0.0315	-	-	0.003	0.0781
<b>DU3</b>	-	-	0.0067	-	-	0.0057
<b>DU4</b>	0.0044	-	-	-	0.063	0.0152
<b>R1</b>	0.0106	0.0093	-	-	0.0497	0.0458
<b>R2</b>	0.0025	0.0194	-	0.0181	0.0007	0.0252
<b>OA1</b>	0.0031	-	-	-	0.0459	0.0312
<b>OA2</b>	0.002	-	-	-	0.0011	0.0032
<b>OA3</b>	-	-	-	-	-	0.0109
<b>OA4</b>	0.0028	-	-	-	0.0327	0.0032
<b>LMP</b>	0.001	0.032	0.0002	0.025	0.001	-

*Nota.* Datos de concentración de agua tomados del estudio de Capparelli et al. 2020 con los respectivos LMP establecidos por el TULSMA.

**Tabla 2.2 Valores de concentración de sondeos en sedimentos**

		<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	
<b>SEDIMENTOS (mg/kg)</b>	<b>P1</b>	2.5	16.9	0.1	78.0	4.2	52.3	
	<b>P2</b>	8.0	38.8	0.4	11.3	11.0	77.4	
	<b>DU1</b>	2.1	7.5	0.0	3.5	1.5	39.9	
	<b>DU2</b>	4.6	11.2	0.0	9.9	8.9	90.2	
	<b>M1</b>	1.6	8.0	0.0	4.2	1.6	21.3	
	<b>M2</b>	4.7	21.3	0.1	17.2	5.5	60.8	
	<b>DU3</b>	2.6	9.1	0.1	5.6	3.7	69.7	
	<b>DU4</b>	3.1	12.9	0.1	7.7	5.9	233.7	
	<b>R1</b>	20.1	20.6	0.0	5.4	6.3	81.5	
	<b>R2</b>	1.9	2.7	0.0	-	2.6	17.8	
	<b>OA1</b>	2.8	4.7	-	-	1.4	26.4	
	<b>OA2</b>	2.4	8.7	0.0	3.7	1.0	44.3	
	<b>OA3</b>	1.4	2.8	0.0	0.9	1.3	21.0	
	<b>OA4</b>	3.1	7.1	0.0	-	2.0	30.3	
	<b>CCME</b>	<b>TEL</b>	0.6	37.3	0.17	-	35	123
		<b>PEL</b>	3.5	90	0.486	-	91.3	315

*Nota.* Datos de concentración de sedimentos tomados del estudio de Capparelli et al. 2020 en comparación con los valores de TEL Y PEL de las CCME.

## 2.3 Evaluación de exposición y caracterización del riesgo en la salud

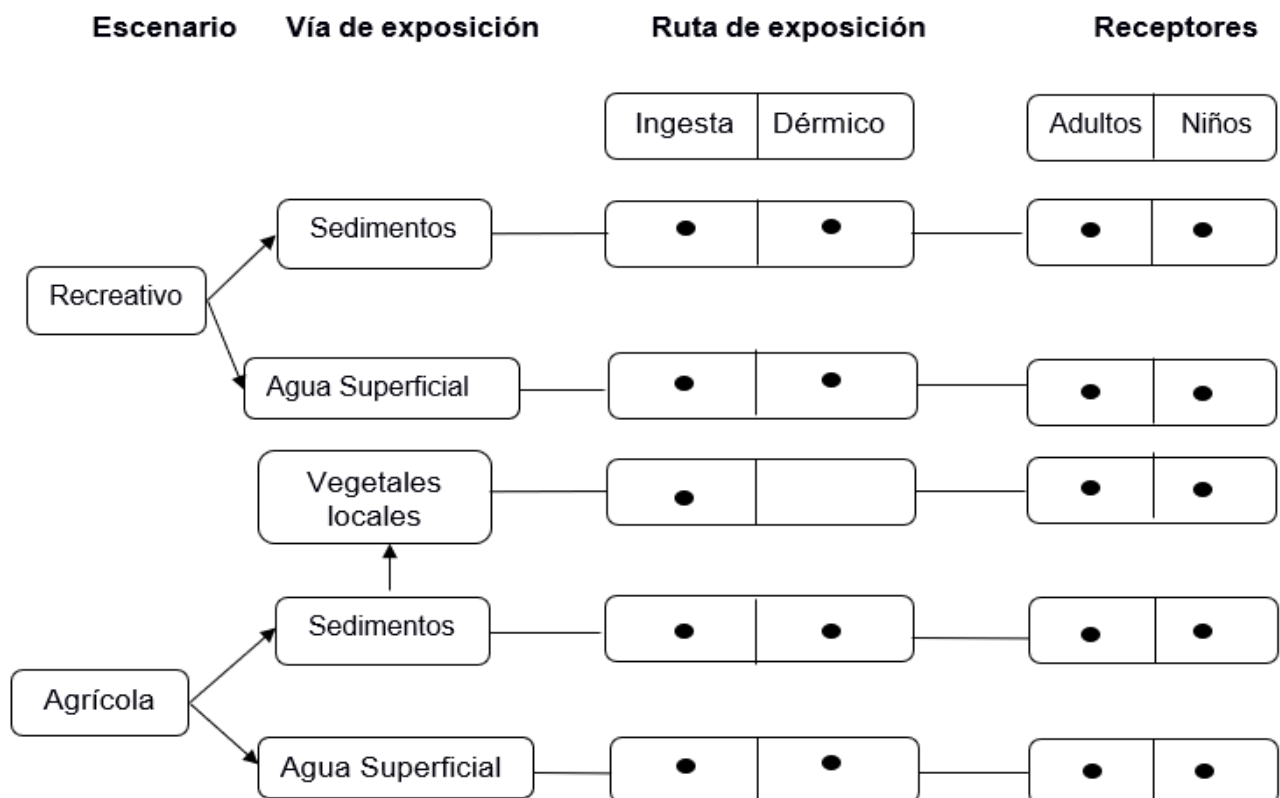
En primer lugar, para la evaluación de riesgo fue necesario elegir los posibles escenarios que comprometen la salud de los receptores. Para ello, se debió considerar el componente sociocultural y el comportamiento de los habitantes de la zona de acuerdo a datos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Napo (2019), y algunas interpretaciones realizadas por el autor.

Una vez establecidos los escenarios, se deben determinar los receptores y las vías y rutas de exposición. La rutas y vías de exposición para cada escenario se determinaron de acuerdo al Libro de Mano de factores de exposición proporcionado por la EPA, y de acuerdo a las actividades contaminantes reconocidas anteriormente.

### 2.3.1 Escenarios.

Se seleccionaron 2 escenarios: (a) agrícola, ya que se identifica a la agricultura y ganadería como principales actividades económica de subsistencia tradicional de la

provincia (GAD Provincial de Napo, 2019; Zambrano, 2015); y (b) recreativo debido a la gran cantidad de balnearios ubicados en las afluentes ya mencionadas, que los residentes locales utilizan con este fin. El escenario residencial no se consideró debido que el agua no ríos no se usa con fines domésticos. El modelo conceptual de sitio se presenta en la figura (2.2).



**Figura 2.2 Modelo conceptual para selección de receptores y escenarios.**

### 2.3.2 Receptores y Vías de Exposición.

Una vez identificados los escenarios consideraremos las vías de exposición de acuerdo con la naturaleza de las fuentes. Para el escenario recreativo se identifican las concentraciones en sedimentos y de agua superficial como principales vías de exposición, para las cuales se considera ingesta y contacto dérmico, respectivamente, como principales rutas de exposición. Para el escenario agrícola se considerará como

vía de exposición igualmente al el agua superficial y los sedimentos, más la ingesta de vegetales cultivados en la zona, derivado de los sedimentos que se absorben en el suelo (Figura 2.2).

Para ambos escenarios se consideraron como receptores a niños y adultos, basándonos en información del INEC (2010) donde se afirma en algunos estadísticos que las población productiva se encuentra en edades jóvenes y adultas (GAD Provincial de Napo, 2019).

### 2.3.3 Dosis Diaria Promedio.

Se calcularon las Dosis Diarias de Ingesta (CDI por sus siglas en ingles), para determinar la dosis que reciben los receptores a través de cada vía de exposición identificada. Las fórmulas e información extraída para el cálculo del CDI fueron extraídas de Ogbeide et al. (2016) y Jiménez et al. (2019) que a su vez citan a US EPA (2002) y US EPA, (2011).

- **Ingesta de agua superficial.**

$$CDI = \frac{C_{agua} * IR_{agua} * EF * ED}{BW * AT} \quad (2.1)$$

- **Contacto dérmico con agua superficial.**

$$CDI = \frac{C_{agua} * SA * Kp * EF * ED * ET * CF_1}{BW * AT} \quad (2.2)$$

- **Ingesta de sedimentos.**



$$CDI = \frac{C_{sed} * IR_{sed} * EF * ED * FI * CF_2}{BW * AT} \quad (2.3)$$

▪ **Contacto dérmico con sedimentos.**

$$CDI = \frac{C_{sed} * SA * AF * ABS * EF * ED * CF_2}{BW * AT} \quad (2.4)$$

▪ **Ingesta de vegetales.**

$$CDI = \frac{C_{sed} * (BV_{wet} + MLF) FI_v * IR_{veg} * EF * ED * CF_3}{BW * AT} \quad (2.5)$$

### 2.3.4 Factores de exposición.

Los factores de exposición suelen ser recopilados a partir de encuestas realizadas en la zona de estudio. Sin embargo, por el panorama de la pandemia por COVID-19 se optó por emplear valores genéricos recomendados por la EPA, además de datos de estudios similares. Los parámetros y factores de exposición utilizados se presentan en la (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3 Parámetros y factores de exposición por escenario**

Parámetro		Escenario	
		Agrícola	Recreativo
IR <sub>agua</sub>	Tasa de ingesta de agua (L día <sup>-1</sup> )	2	Adulto: 0.016 Niño: 0.037
IR <sub>sed</sub>	Tasa de ingesta de sedimentos (gr día <sup>-1</sup> )	Adulto: 0.1 Niño: 0.2	Adulto: 0.1 Niño: 0.2
IR <sub>veg</sub>	Tasa de ingesta de vegetales (kg día <sup>-1</sup> )	0.2	
EF	Frecuencia de la exposición (días año <sup>-1</sup> )	350	40
ED	Duración de la exposición (años)	Adulto: 30 Niño: 6	Adulto: 30 Niño: 6
ET	Tiempo de Exposición (horas evento <sup>-1</sup> )	0.2	2.6
BW	Masa corporal (kg)	Adulto: 70	Adulto: 70

AT	Tiempo promedio (días)	Niño: 15 Cancerígeno: ED*365 Sistémico: 25550	Niño: 15
SA	Área de piel expuesta (cm <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> )	Adulto: 5700 Niño: 2800	Adulto: 5700 Niño: 2800
AF	Factor de adherencia (mg cm <sup>-2</sup> )	Adulto: 0.07 Niño: 0.02	Adulto: 0.07 Niño: 0.02
FI	Fracción ingerida	1	
MLF	Factor de carga de masa	0.26	
FI <sub>v</sub>	Fracción de dieta	0.40	
BV <sub>wet</sub>	Factor de absorción suelo a planta (Kg Kg <sup>-1</sup> )	Cd: 0.1375, Cr:0.001875, Hg: 0.225, Ni: 0.015, Zn: 0.264	
ABS	Factor de absorción	0.001	
Kp	Constante de permeabilidad (cm hora <sup>-1</sup> )	Cr: 0.002, Ni: 0.0002, Zn: 0.0006, otros metales: 0.001	
CF	Factor de conversión	CF <sub>1</sub> : 10, CF <sub>2</sub> : 0.000001, CF <sub>3</sub> : 0.001	

*Nota.* Los factores de exposición fueron tomados de (Jiménez et al., 2019) y de (Ogbeide et al., 2016) que a su vez citan a (US DOE (2011), Qu et al. (2014), Ezemonye et al. (2015), Huang et al. (2014), US EPA (2002), US EPA, (2011)).

### 2.3.5 Cuantificación del riesgo.

Una vez calculado el CDI para cada elemento y vía de exposición, se establece una relación entre dichos valores obtenidos y la dosis de referencia para obtener el valor del riesgo potencial de efectos sistémicos (HQ), y de igual manera relacionándolos con el valor pendiente para el riesgo potencial cancerígeno (CR) (Tabla 2.4); utilizando las (ecuaciones 2.6 y 2.8 respectivamente). Finalmente, se realiza la suma de todos los valores de riesgo sistémico y cancerígeno para obtener los valores de Índice de Peligro (HI) y riesgo cancerígeno total (TRC) según las (ecuaciones 2.7 y 2.9).

Los valores de toxicidad: Dosis de Referencia (RfD) para riesgo sistémico y Factor Pendiente (SF) para riesgo cancerígeno, fueron extraídos del Sistema de Información de Evaluación de Riesgo (RAIS por sus siglas en inglés), y de estudios relacionados (Tabla 2.4). El riesgo cancerígeno se estimó para Cr y Pb, únicos elementos con SF reportado de los seleccionados para el estudio. Los valores de RfD dérmica no se encuentran publicados en la base de datos de la RAIS sin embargo, se especifica un método para su cálculo en el ANEXO C.

**Tabla 2.4 Valores de Dosis de Referencia y Factor Pendiente (oral y dérmico).**

Metal	RfD <sub>Oral</sub>	RfD <sub>Dérmica</sub>	SF <sub>Oral</sub>
Cd	0.0005	0.0009	n.d.
Cr	0.003	0.00006	0.5
Hg	0.0003	0.000021	n.d.
Ni	0.02	0.0054	n.d.
Pb	0.0035	0.0035	0.0085
Zn	0.30	0.06	n.d.

*Nota.* Los valores fueron obtenidos de la página de RAIS y calculados según la metodología del Anexo C.  
n.d. no existen datos.

- **Riesgo potencial sistémico.**

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (2.6)$$

- **Índice de peligro.**

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i \quad (2.7)$$

- **Riesgo cancerígeno potencial.**

$$CR = CDI * SF \quad (2.8)$$

- **Riesgo cancerígeno total.**

$$TRC = \sum_{i=1}^n CR_i \quad (2.9)$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los valores de HI y TCR estimados han evidenciado el potencial riesgo a la salud al que se encuentran expuestos los habitantes de esta zona, debido a que en varios puntos estos superan en magnitud al valor umbral aceptable (HI=1). La evaluación de riesgo asociado a la presencia de metales pesados en aguas superficiales dio valores inaceptables para los dos escenarios seleccionados: en recreativo HI=2.65E+02 para adultos y HI=1.20E+02 para niños; y en el agrícola HI=1.83E+02 para adultos y HI=8.70E+01 para niños. Pudiendo identificarse al contacto dérmico como la principal ruta de exposición con un aporte del 99 % en escenario recreativo y 95% en el agrícola, y al Cr y Hg como principales elementos contribuyentes al riesgo sistémico (Tabla 3.1 y 3.2).

Por otro lado, la evaluación de riesgo relacionado con sedimentos dio como resultado valores de Índice de peligro relativamente bajos que no superan el valor umbral aceptable para ningún escenario o receptor (Tabla 3.3 y 3.4).

**Tabla 3.1 Coeficiente de riesgo (HQ) e Índice de peligro (HI) por exposición a aguas en escenario recreativo para adultos y niños**

Receptor	Metal	Escenario Recreativo		
		Ingesta	Contacto dérmico	ΣHQ
Adulto	Cd	1.63E+00	8.83E+00	1.05E+01
	Cr	1.09E-03	1.01E+02	1.01E+02
	Hg	1.57E-03	1.39E+02	1.39E+02
	Ni	9.32E-05	6.40E-01	6.40E-01
	Pb	1.03E+00	1.28E+01	1.39E+01
	Zn	3.47E-02	9.66E-01	1.00E+00
	ΣHQ		2.69E+00	2.63E+02

Niño	Cd	3.70E-03	4.05E+00	4.05E+00
	Cr	2.34E-03	4.61E+01	4.61E+01
	Hg	3.39E-03	6.36E+01	6.36E+01
	Ni	2.01E-04	2.93E-01	2.93E-01
	Pb	2.99E-03	5.89E+00	5.89E+00
	Zn	7.50E-05	4.43E-01	4.43E-01
	$\Sigma$ HQ	1.27E-02	1.20E+02	<b>HI=1.20E+02</b>

**Tabla 3.2 Coeficiente de riesgo (HQ) e Índice de peligro (HI) por exposición a aguas en escenario agrícola para receptores adultos y niños**

Receptor	Metal	Escenario Agrícola		
		Ingesta	Contacto dérmico	$\Sigma$ HQ
Adulto	Cd	1.88E+00	5.94E+00	7.82E+00
	Cr	1.19E+00	6.77E+01	6.89E+01
	Hg	1.72E+00	9.34E+01	9.51E+01
	Ni	1.02E-01	4.31E-01	5.33E-01
	Pb	1.52E+00	8.65E+00	1.02E+01
	Zn	3.80E-02	6.50E-01	6.88E-01
	$\Sigma$ HQ	6.44E+00	1.77E+02	<b>HI=1.83E+02</b>
Niño	Cd	1.75E+00	2.72E+00	4.48E+00
	Cr	1.11E+00	3.10E+01	3.21E+01
	Hg	1.61E+00	4.28E+01	4.44E+01
	Ni	9.52E-02	1.97E-01	2.93E-01
	Pb	1.42E+00	3.97E+00	5.38E+00
	Zn	3.55E-02	2.98E-01	3.34E-01
	$\Sigma$ HQ	6.01E+00	8.10E+01	<b>HI=8.70E+01</b>

**Tabla 3.3 Coeficiente de riesgo (HQ) e Índice de peligro (HI) por exposición a sedimentos en escenario recreativo para receptores adultos y niños.**

Receptor	Metal	Escenario Recreativo			$\Sigma$ HQ
		Ingesta	Contacto dérmico		
Adulto	Cd	8.17E-06	4.71E-05		5.53E-05
	Cr	3.85E-06	2.00E-04		2.04E-04
	Hg	2.68E-07	2.65E-05		2.68E-05
	Ni	4.94E-07	1.90E-05		1.95E-05
	Pb	1.09E-06	1.13E-05		1.24E-05
	Zn	1.94E-07	1.01E-05		1.02E-05
	$\Sigma$ HQ	1.41E-05	3.14E-04		<b>HI=3.28E-04</b>
Niño	Cd	1.53E-05	5.92E-06		2.12E-05
	Cr	7.19E-06	2.62E-05		3.34E-05
	Hg	5.01E-07	3.47E-06		3.97E-06
	Ni	9.23E-07	2.49E-06		3.41E-06
	Pb	2.04E-06	1.48E-06		3.52E-06
	Zn	3.62E-07	1.32E-06		1.68E-06
	$\Sigma$ HQ	2.63E-05	4.09E-05		<b>HI=6.71E-05</b>

**Tabla 3.4 Coeficiente de riesgo (HQ) e Índice de peligro (HI) por exposición a sedimentos en escenario agrícola para receptores adultos y niños.**

Receptor	Metal	Escenario Agrícola			$\Sigma$ HQ
		Ingesta	Contacto dérmico	Ingesta vegetales	
Adulto	Cd	7.15E-05	3.17E-05	2.27E-02	2.28E-02
	Cr	3.37E-05	1.35E-04	7.06E-03	7.23E-03
	Hg	2.35E-06	1.78E-05	9.11E-04	9.31E-04
	Ni	4.33E-06	1.28E-05	9.52E-04	9.69E-04
	Pb	9.54E-06	7.62E-06	-	1.72E-05
	Zn	1.70E-06	6.77E-06	6.97E-04	7.06E-04
	$\Sigma$ HQ	1.23E-04	2.11E-04	3.24E-02	<b>HI=3.27E-02</b>

Niño	Cd	1.33E-04	4.15E-06	1.06E-01	1.06E-01
	Cr	6.29E-05	1.76E-05	3.30E-02	3.30E-02
	Hg	4.38E-06	2.34E-06	4.25E-03	4.26E-03
	Ni	8.08E-06	1.68E-06	4.44E-03	4.45E-03
	Pb	1.78E-05	9.98E-07	-	1.88E-05
	Zn	3.17E-06	8.86E-07	3.25E-03	3.26E-03
	$\Sigma$ HQ	2.30E-04	2.77E-05	1.51E-01	<b>HI=1.51E-01</b>

La evaluación de riesgo cancerígeno asociado a la exposición de los metales Cr y Hg en aguas superficiales presentó valores que superan el umbral aceptable (TCR=1E-05) en los escenarios: recreativo en receptores infantiles TCR=4.20E-05; y en el agrícola, para adultos TCR=4.36E-03 y para niños TCR=1.99E-02, constituyendo un riesgo cancerígeno significativo para ambos receptores. El Cr es el principal aportante al riesgo cancerígeno con un aporte del 98 % al TRC total (Tabla 3.3).

La estimación de riesgo relacionada a la exposición a sedimentos no reveló valores que superan el umbral en el escenario recreativo. Sin embargo, en el escenario agrícola tenemos valores de TCR=2.48E-05 para receptores adultos y TCR=5.78E-04 en receptores niños con un aporte del 99 % de la ingesta de vegetales, lo cual revelan un potencial riesgo de desarrollar algún tipo cáncer por el consumo de productos agrícolas en la zona (Tabla 3.4).

**Tabla 3.5 Riesgo potencial cancerígeno (CR) y Riesgo cancerígeno total (TCR) por exposición a aguas en escenarios agrícola y recreativo para adultos y niños**

Receptor	Metal	Escenario Recreativo		Escenario Agrícola	
		Ingesta	$\Sigma$ TCR	Ingesta	$\Sigma$ TCR
Adulto	Cr	3.80E-06	3.80E-06	4.16E-03	4.16E-03
	Pb	9.63E-08	9.63E-08	1.05E-04	1.05E-04
	$\Sigma$ CR	3.90E-06	<b>TRC=3.90E-06</b>	4.26E-03	<b>TCR=4.36E-03</b>
Niño	Cr	4.10E-05	4.10E-05	1.94E-02	1.94E-02

Pb	1.04E-06	1.04E-06	4.92E-04	4.92E-04
$\Sigma$ CR	4.20E-05	<b>TCR=4.20E-05</b>	1.99E-02	<b>TCR=1.99E-02</b>

**Tabla 3.6 Riesgo potencial cancerígeno (CR) y Riesgo cancerígeno total (TCR) por exposición a sedimentos en escenarios agrícola y recreativo para adultos y niños**

Receptor	Metal	Escenario Recreativo		Escenario Agrícola		
		Ingesta	$\Sigma$ CR	Ingesta	Ingesta vegetales	$\Sigma$ CR
Adulto	Cr	1.52E-08	1.52E-08	1.18E-07	2.47E-05	2.48E-05
	Pb	3.79E-10	3.79E-10	6.63E-10	-	6.63E-10
	$\Sigma$ CR	1.55E-08	<b>TCR=1.55E-08</b>	1.19E-07	2.47E-05	<b>TCR=2.48E-05</b>
Niño	Cr	1.26E-07	1.26E-07	1.10E-06	5.77E-04	5.78E-04
	Pb	7.07E-10	7.07E-10	6.18E-09	-	6.18E-09
	$\Sigma$ CR	1.27E-07	<b>TCR=1.27E-07</b>	1.11E-06	5.77E-04	<b>TCR=5.78E-04</b>

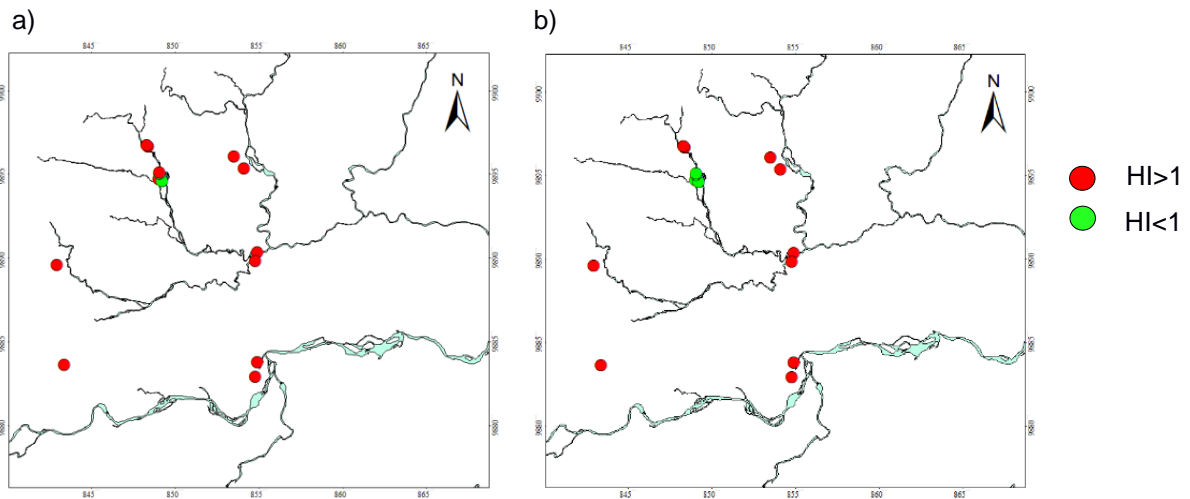
### 3.1 Análisis Espacial

En el análisis espacial de riesgo sistémico y cancerígeno del área de estudio para receptores adultos y niños se pudo observar que gran parte de las fuentes de contaminación evaluadas representan un riesgo evidente para la salud de las poblaciones aledañas. Para ambos escenarios, alrededor del 86 % de las localidades representan un riesgo que supera el valor umbral de índice de riesgo sistémico para adultos, y cerca del 71 % para niños (Figura 3.1 y Figura 3.2).

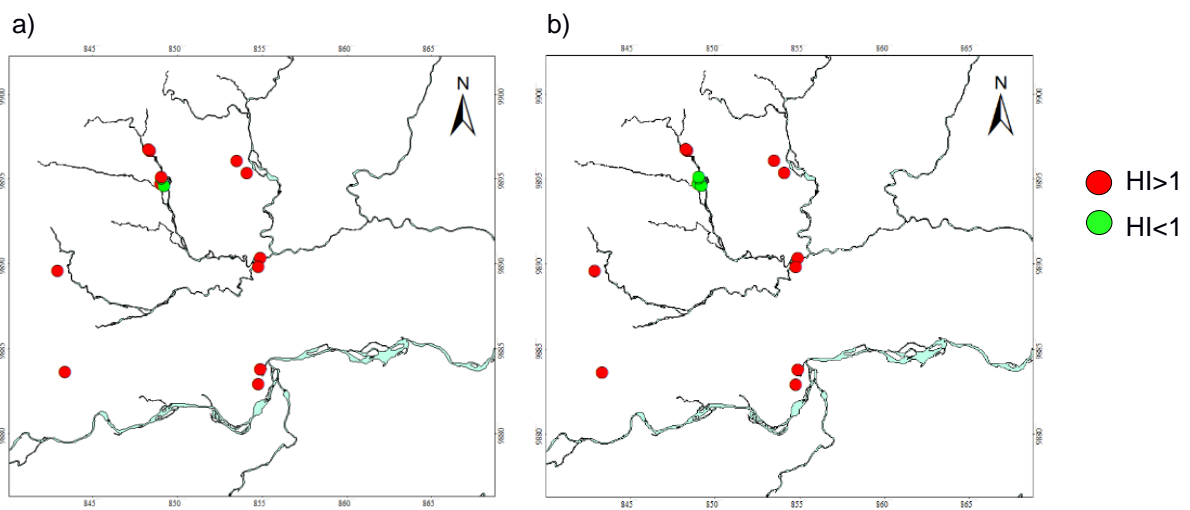
En términos de riesgo cancerígeno se pudo observar que en el escenario recreativo el 100% de los valores de TCR se encuentran por debajo del umbral aceptable para receptores adultos, y para receptores niños las localidades con un valor de riesgo total cancerígeno superior al tolerable no superan el 10%. Por otro lado, en el escenario agrícola tenemos que para adultos estos valores representan el 73 % y para receptores infantiles alrededor del 93 %. Esto demuestra que el riesgo



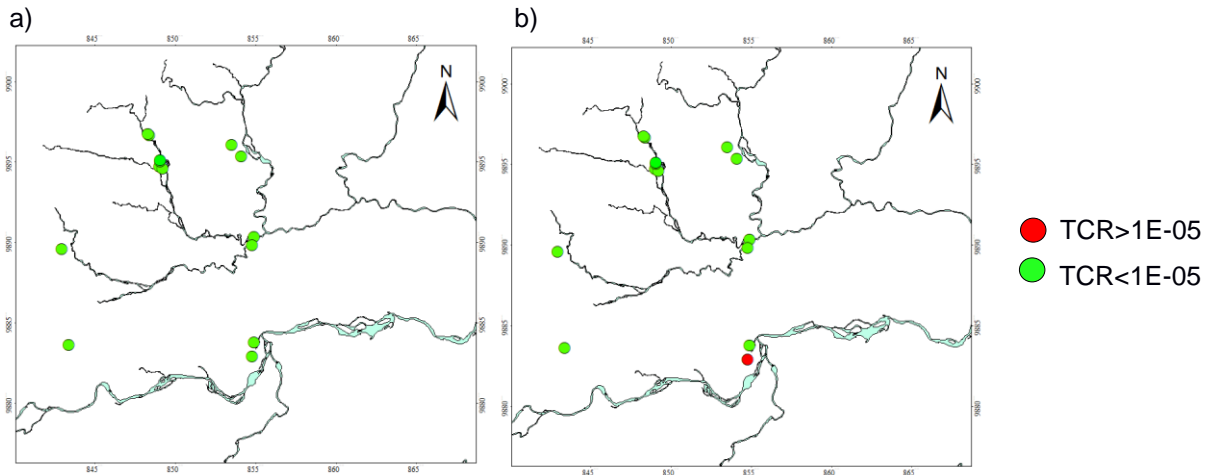
de desarrollar cáncer al que se encuentran expuestos las personas que se dedican a la actividad agrícola en la zona es bastante alto, sobre todo por el consumo de productos cultivados localmente (Figura 3.3 y 3.4).



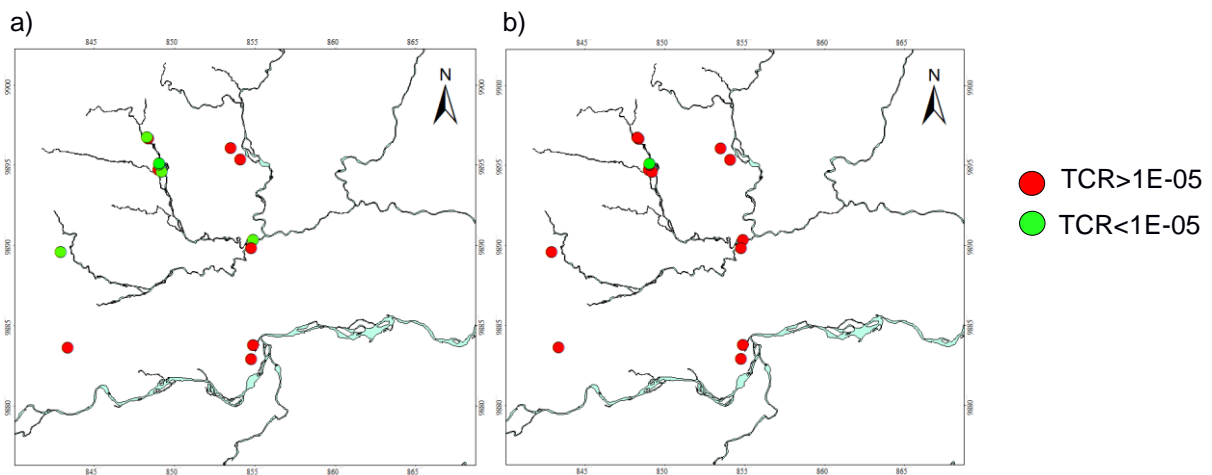
**Figura 3.1 Mapa de HI en escenario recreativo para receptores a) adulto y b) niño.**



**Figura 3.2 Mapa de HI en escenario agrícola para receptores a) adulto y b) niño.**



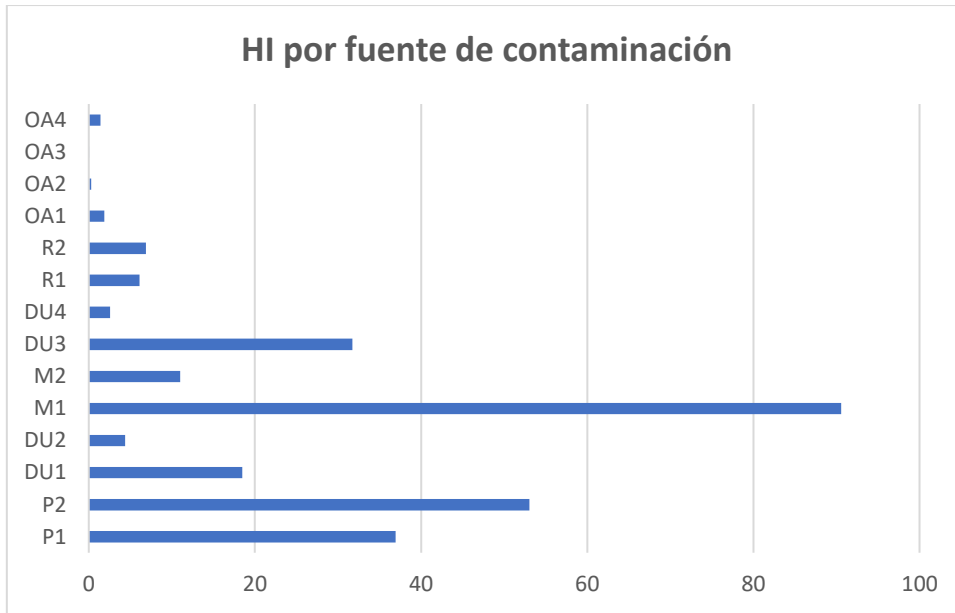
**Figura 3.3 Mapa de TCR en escenario recreativo para receptores a) adulto y b) niño.**



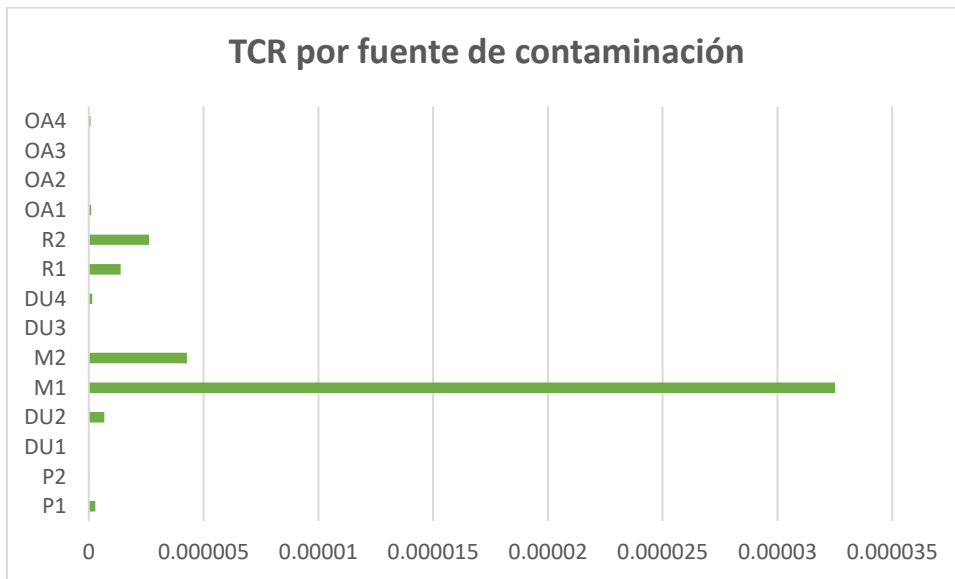
**Figura 3.4 Mapa de TCR en escenario agrícola para receptores a) adulto y b) niño.**

### 3.2 Identificación del riesgo por fuente de contaminación

En su mayoría, los valores de HI obtenidos para las actividades contaminantes de la zona superan el valor umbral tolerable para la salud humana. Siendo los valores más representativos los de M1 y P2 para riesgo sistémico, y M1 para riesgo cancerígeno. Esto nos indica que los metales pesados producidos por la actividad minera son los principales contribuyentes al nivel de riesgo para la salud humana de la zona, seguidos de la actividad pesquera y los rellenos sanitarios (Figura 3.5 y 3.6).



**Figura 3.5 Comparación de HI en fuentes de contaminación.**

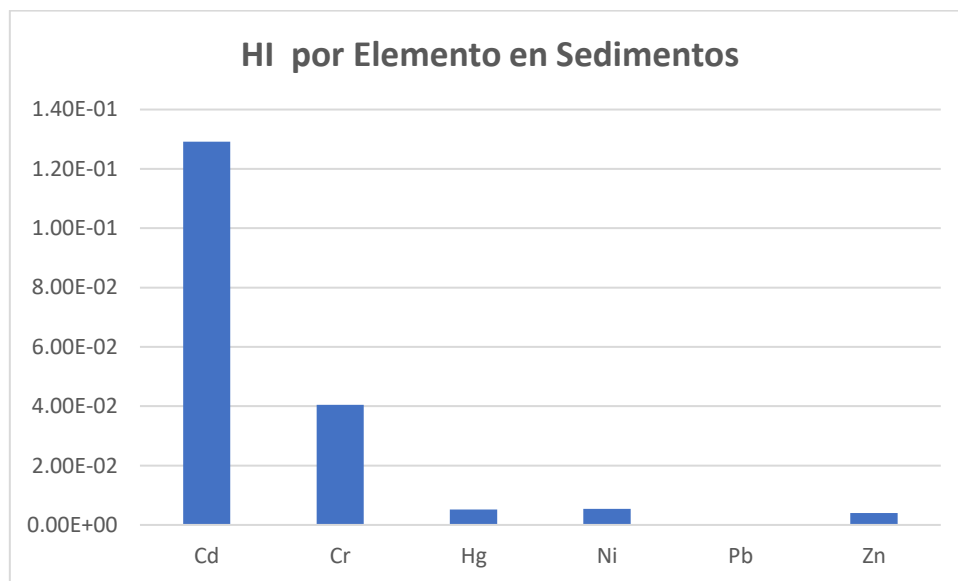


**Figura 3.6 Comparación de TCR en fuentes de contaminación.**

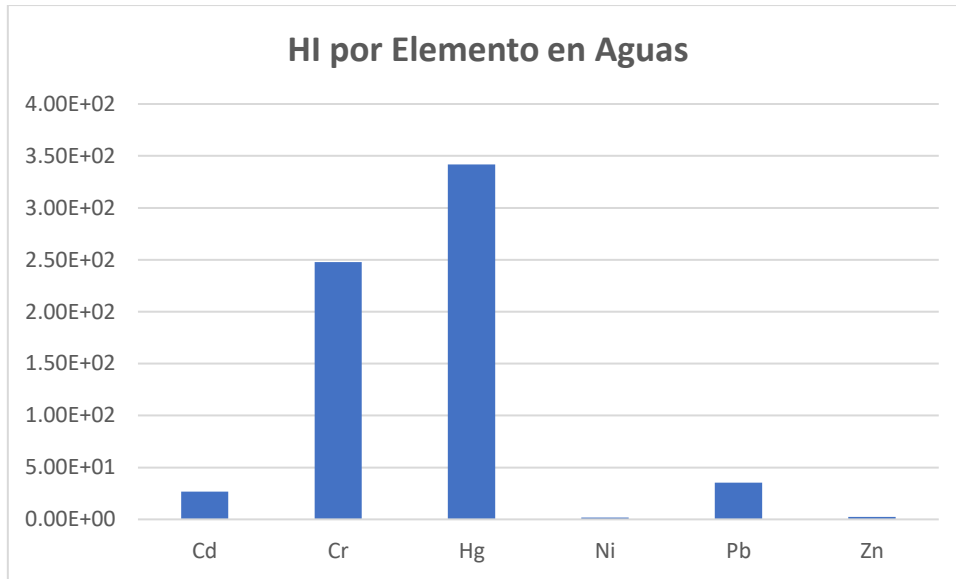
### 3.3 Contribuyentes del riesgo

#### 3.3.1 Riesgo sistémico

Con respecto a la contribución de cada elemento se pudo identificar al Cd como el elemento que más aporta al valor del HI en sedimentos, dando un valor total por encima de  $1.20\text{E}-01$  como se observa en la Figura 3.7. En agua superficial es el Hg quien más aporta al riesgo, llegando a dar un valor total de  $\text{HI}=3.5\text{E}+02$  (Figura 3.8).



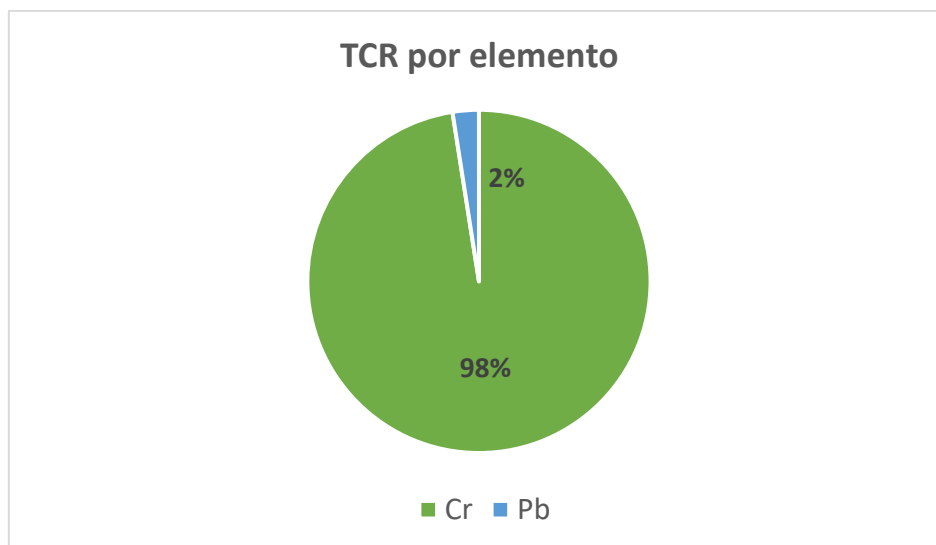
**Figura 3.7 Comparación HI de metales contaminantes en sedimentos.**



**Figura 3.8 Comparación de HI de metales contaminantes en aguas.**

### 3.3.2 Riesgo cancerígeno

Para riesgo total cancerígeno se observa que la concentración de Cr para agua y sedimentos tiene un aporte casi total, pudiéndose observar que el aporte del Pb se encuentra entre el 1 y 2 % (Figura 3.9).



**Figura 3.9 Comparación de TCR de metales contaminantes.**

En el desarrollo de los cálculos para la obtención de HI se pudo observar que para que el índice de riesgo calculado este por debajo del umbral, la frecuencia de exposición (EF) debería ser de 1 día al año en el escenario agrícola y totalmente nula en el escenario recreativo. Por otro lado, para que el riesgo cancerígeno total sea menos al umbral, el EF debe ser como máximo de 33 días al año para escenario recreativo y nulo para agrícola. Paralelamente, se descubrió que así se limite la duración de la exposición (ED) a un año para ambos receptores y escenarios, los valores de HI y TRC aún superarían el valor máximo umbral.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES

La caracterización del riesgo en la salud de los datos de concentración de agua y sedimentos en afluentes del río Napo nos permite tener una apreciación más amplia sobre las condiciones de la zona de estudio y de la problemática ambiental y sanitaria a la que se enfrentan los habitantes de la zona.

Se reveló que alrededor del 80 % de ubicaciones sondeadas presentan valores de índice de riesgo sistémico superior al valor umbral, además que la presencia de estos contaminantes influye en el riesgo cancerígeno sobre todo para las personas que se dedican a la agricultura y que residen a orillas de estas fuentes hídricas.

El Cd es el principal contribuyente para la toxicidad cancerígena para agua y sedimentos, aportando cerca del 98 % de riesgo total en los dos escenarios de exposición. Mientras que en el riesgo sistémico el mayor aportante es el Hg con el 52 % del total para agua superficial y el Cd el 70 % para sedimentos en ambos escenarios.

La evidencia posiciona a la minería como la principal actividad humana del sector que contribuye al índice de riesgo sistémico y riesgo cancerígeno potencial en la salud de las personas de la zona, por lo que se ha considerado que es de vital importancia que se realicen más estudios de monitoreo que permitan identificar de manera más objetiva las fuentes directas de este tipo de contaminantes y de esta forma controlar el ingreso de estos al ecosistema y su introducción a la cadena trófica local. En complemento a esto, se deberían tomar medidas sanitarias que limiten la exposición de la población a los elementos contaminantes, ya que la forma más efectiva de gestionar esta problemática es la prevención.

Indudablemente la actividad minera ha beneficiado de manera directa la economía de muchas comunidades y familias locales, además de ser un ingreso económico al país a través de regalías y utilidades. Sin embargo, debido al escaso monitoreo y control de las actividades mineras ilícitas que se dan en el sector, se categoriza a la minería como una amenaza al desarrollo de otras actividades y a la calidad de vida de las comunidades, las mismas que han desarrollado un evidente rechazo hacia esta actividad.

La seguridad y la salud de las personas no es un factor negociable dentro de la industria y debería ser prioridad. Es de vital importancia que los organismos, empresas y demás actores del sector minero, actúen con responsabilidad social y de manera transparente para evitar las consecuencias que han sido demostradas.

#### **4.1 Recomendaciones**

Se recomienda precaución a la hora de interpretar los resultados del presente estudio debido a que los parámetros y factores de exposición utilizados para la cuantificación del riesgo fueron recopilados de estudios similares, siendo lo más óptimo la obtención directa de estos valores en la zona de estudio. La principal limitante fue el panorama de pandemia provocada por el virus SARS COV 2.

La zona de estudio tiene un historial de denuncias hacia la actividad minera presentadas al Ministerio de Ambiente y Agua, a la Agencia de Control Minero y a la Fiscalía. Lo que indica que los representantes públicos y autoridades ambientales deberían enfatizar en los procesos de evaluación de las actividades locales y cumplimiento de los reglamentos y normativa ambiental. Además, de mantener una socialización activa con las comunidades nativas del sector que son las más inconformes.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alzman, M., Smith, E., & Koo, C. (2002). Excessive Oral Zinc Supplementation. *Journal of Pediatric Hematology Oncology*, 24. [https://journals.lww.com/jphonline/Abstract/2002/10000/Excessive\\_Oral\\_Zinc\\_Supplementation.20.aspx](https://journals.lww.com/jphonline/Abstract/2002/10000/Excessive_Oral_Zinc_Supplementation.20.aspx)
- Barraza, F., Maurice, L., Uzu, G., Becerra, S., López, F., Ochoa-Herrera, V., Ruales, J., & Schreck, E. (2018). Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.246>
- Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. En *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yE2Jq3z7ex4C&oi=fnd&pg=PA17&dq=En+este+ecosistema+los+metales+acumulados+más+frecuentemente+son+\(Hg,+Pb,+Cd+y+As,+quedando+en+la+superficie+de+los+suelos+accesibles+al+consumo+de+las+raíces+de+los+cultivos+&ots=m](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yE2Jq3z7ex4C&oi=fnd&pg=PA17&dq=En+este+ecosistema+los+metales+acumulados+más+frecuentemente+son+(Hg,+Pb,+Cd+y+As,+quedando+en+la+superficie+de+los+suelos+accesibles+al+consumo+de+las+raíces+de+los+cultivos+&ots=m)
- Bofill-Mas, S., Clemente-Casares, P., Albiñana-Giménez, N., Maluquer de Motes Porta, C., Hundesa Gonfa, A., & Girones Llop, R. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Española de Salud Pública*. <https://doi.org/10.1590/s1135-57272005000200012>
- Capparelli, M. V., Moulatlet, G. M., Abessa, D. M. de S., Lucas-Solis, O., Rosero, B., Galarza, E., Tuba, D., Carpintero, N., Ochoa-Herrera, V., & Cipriani-Avila, I. (2020). An integrative approach to identify the impacts of multiple metal contamination sources on the Eastern Andean foothills of the Ecuadorian Amazonia. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136088>
- Crichton, R. R. (2017). Metal Toxicity - An Introduction. En *RSC Metallobiology*. The Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781782623892-00001>
- Defensoría del Pueblo Ecuador. (2020). *Explotación minera y vulneración de derechos*. Temas abordados en Napo por el defensor del pueblo. <https://www.dpe.gob.ec/explotacion-minera-y-vulneracion-de-derechos-temas->

abordados-en-napo-por-el-defensor-del-pueblo/

GAD Provincial de Napo. (2019). *Plan de desarrollo provincial y de ordenamiento territorial Napo*.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). Censo 2010: una historia para ver y sentir. En *INEC*. [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Memorias/memorias\\_censo\\_2010.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Memorias/memorias_censo_2010.pdf)

Jimenez, D. (2012). Cuantificación de metales pesados (Cadmio, Cromo, Níquel Y Plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (*Crassostrea columbiensis*) ostión de mangle en el Puente Portete del Estero Salado (Guayaquil). En *Universidad de Guayaquil*.

Jiménez, S., Bolonio, D., García, M. J., García-Garizabal, I., Ortega, M., & Pincay, W. (2019). Análisis espacial del riesgo para la salud por exposición a metales pesados en el campo minero Ponce Enríquez, Ecuador. En *Universidad Politécnica de Madrid*. <https://doi.org/10.18687/laccei2019.1.1.117>

Mayuri Castro. (2020, marzo 10). Ecuador: contaminación en afluentes del río Napo apunta a la minería. *Mongabay Latam*. <https://es.mongabay.com/2020/03/mineria-de-rio-afecta-afluentes-rio-tena-en-ecuador/>

Ministerio de Economía y Finanzas. (2019, junio 20). *USD 3.800 millones de inversión minera hasta 2021 darán más Prosperidad al Ecuador*. <https://www.finanzas.gob.ec/usd-3-800-millones-de-inversion-minera-hasta-2021-daran-mas-prosperidad-al-ecuador/>

Ministerio del Ambiente y el Agua. (2012). ANEXO 2: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. En *TULSMA*.

Ministerio del Ambiente y el Agua. (2015). Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. En *TULSMA*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>

Ogbeide, O., Tongo, I., & Ezemonye, L. (2016). Assessing the distribution and human health risk of organochlorine pesticide residues in sediments from selected rivers. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.108>

Oviedo, R., Moína, E., Naranjo, J., & Barcos, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2.

<https://doi.org/10.21931/rb/2017.02.04.5>

- Quiroz, E. (2007). Preconcentración de Cu(II), Ni(II), Pb(II) y Cd(II) con POLI-4-Vinilpiridina en muestras de agua y determinación por espectrometría de absorción atómica. *Universidad Austral de Chile*.
- US Environmental Protection Agency. (2011). Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. U.S. EPA. <https://doi.org/EPA/600/R-090/052F>
- US EPA. (2011). *Exposure Factors Handbook*. September, xv. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- Venegas, J. M. (2016). Evaluación del contenido de metales pesados en las aguas y el sedimento del Río Babahoyo, en el tramo comprendido entre las localidades de Babahoyo y Samborondón. En *Escuela Superior Politécnica del Litoral*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6378/1/98T00109.pdf>
- Zambrano, M. (2015). Auditoria ambiental de cumplimiento del proyecto minero aluvial Tena, ubicado en la provincia de Napo: cantones Carlos Julio Arosemena Tola, Tena. En *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.

# ANEXOS

## ANEXO A: Criterios de calidad de agua

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio <sup>(1)</sup>	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total <sup>(2)</sup>	NH <sub>3</sub>	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl <sub>2</sub>	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles <sup>(1)</sup>		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organodorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,2	
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub>	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	-

<sup>(1)</sup> Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l

<sup>(2)</sup> Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce

Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. Fuente: (Ministerio del Ambiente y el Agua, 2015)

## ANEXO B: Criterios de calidad de suelo

Sustancia	Unidades (Concentración en Peso Seco)	Suelo
<b>Parámetros Generales</b>		
Conductividad	mmhos/cm	2
pH		6 a 8
Relación de Adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*
<b>Parámetros Inorgánicos</b>		
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	5
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	30
Cromo Total	mg/kg	20
Cromo VI	mg/kg	2.5
Cianuro (libre)	mg/kg	0.25
Estaño	mg/kg	5
Flúor (total)	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	2
Níquel	mg/kg	20
Plomo	mg/kg	25
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	25
Zinc	mg/kg	60
<b>Parámetros Orgánicos</b>		
Benceno	mg/kg	0.05
Clorobenceno	mg/kg	0.1
Etilbenceno	mg/kg	0.1
Estireno	mg/kg	0.1
Tolueno	mg/kg	0.1
Xileno	mg/kg	0.1
PCBs	mg/kg	0.1
Clorinados Alifáticos (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorobenzenos (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0.1
hexaclorociclohexano	mg/kg	0.01
Fenólicos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) cada tipo	mg/kg	0.1

Fuente: (Ministerio del Ambiente y el Agua, 2012)

### **ANEXO C: Cálculo de Dosis de Referencia Dérmica (RfD<sub>Dérmica</sub>)**

La RfD crónica dérmica, la RfD subcrónica dérmica y el factor de pendiente dérmico se obtienen utilizando los métodos proporcionados en la *Guía de evaluación de riesgos para el Superfondo: Volumen 1, Manual de evaluación de la salud humana, Parte A*.

Además de las incertidumbres causadas por las diferencias de ruta, se introduce una mayor incertidumbre por el hecho de que las relaciones dosis-respuesta oral se basan en la dosis potencial (es decir, administrada), mientras que las estimaciones de dosis dérmica son dosis absorbidas. Idealmente, estas diferencias en la vía y el tipo de dosis deberían resolverse mediante modelos farmacocinéticos.

Alternativamente, si se dispone de estimaciones de la fracción de absorción gastrointestinal para el compuesto de interés en el vehículo apropiado, entonces el factor de respuesta a la dosis oral, sin ajustar para la absorción, se puede convertir a una base de dosis absorbida de la siguiente manera:

$$RfD_{Oral} * GI \text{ Factor de Absorción} = RfD_{Dérmica}$$

$$\frac{SF_{Oral}}{GI \text{ Factor de Absorción}} = RfD_{Dérmica}$$

Fuente: RAIS