

Evaluación probabilística de riesgos por exposición a mercurio en la minería aurífera artesanal de Colombia.



Presentado por:

Diana Isabel Clavijo Rojas.

Universidad Politécnica de Madrid.

E.T.S.I. De Minas.

Departamento de Ingeniería Química y Combustibles.

Trabajo fin de Máster en Investigación, Modelización y Análisis del Riesgo en Medio Ambiente.

Septiembre de 2010.



Evaluación probabilística de riesgos por exposición a mercurio en la minería aurífera artesanal de Colombia.



Presentado por:

Diana Isabel Claviño Roias.

Asesores:

Dr. Eduardo de Miguel.

UPM (DIQYC)

Dr. Enrique Chacón

UPM (DMARN)

Universidad Politécnica de Madrid.

Trabajo fin de Máster en Investigación,
Modelización y Análisis del Riesgo en Medio
Ambiente.

Septiembre de 2010.



Tabla de Contenido

Capítulo		Pag
1	INTRODUCCIÓN.....	1
	Justificación.....	2
	Objetivo general.....	3
	Objetivos específicos.....	3
2	MARCO TEÓRICO	
	1. Minería aurífera artesanal en Colombia.....	4
	1.1 Ubicación de minería en Colombia.....	8
	1.2 Departamentos auríferos.....	10
	1.2.1 Departamento de Antioquia.....	10
	1.2.2 Departamento de Bolívar.....	11
	1.2.3 Departamento de Caldas.....	13
	1.2.4 Departamento de Cauca.....	14
	1.2.5 Departamento de Chocó.....	16
	1.2.6 Departamento de Córdoba.....	17
	1.2.7 Departamento de Guainía.....	18
	1.2.8 Departamento de Nariño.....	20
	1.2.9 Departamento de Quindío.....	21
	1.2.10 Departamento de Santander.....	22
	1.2.11 Departamento de Tolima.....	24
	1.2.12 Departamento de Vaupés.....	26
	1.3 Última década de explotación aurífera.....	27
3	METODOLOGÍA Y DESARROLLO	
	2. Identificación del Peligro.....	28
	2.1 Mercurio.....	28
	2.2 Ciclo del mercurio.....	30
	2.2.1 Especiación y movilidad del mercurio.....	31
	2.2.2 Evidencia toxicológica.....	33
	2.2.3 Mercurio elemental.....	34
	2.2.4 Metilmercurio.....	34
	3. Evaluación de la exposición.....	36
	3.1 Caracterización de los sitios de exposición.....	36
	3.2 Poblaciones en riesgo.....	36
	3.3 Rutas de Exposición.....	37
	3.4 Modelo conceptual.....	40
	3.5 Cuantificación de la exposición.....	41
	3.5.1 Exposición oral.....	41
	i. Concentración de exposición.....	41
	ii. Tasa de consumo.....	43

	iii. Ecuaciones exposición Oral	46
	iv. Calculo de las dosis suministradas por Ingesta de peces y caracterización del Riesgo	47
	3.5.2 Exposición por inhalación	62
	i. Concentración de exposición	63
	ii. Ecuación Dosis de inhalación para trabajadores mineros	71
	iii. Calculo de las dosis suministradas por inhalación y caracterización del Riesgo para trabajadores minería	73
	iv. Ecuación Dosis de inhalación para residentes	81
	v. Calculo de las dosis suministradas por inhalación y caracterización del Riesgo para residentes no trabajadores en minería	83
	3.6 Sumatoria de riesgos por diferentes rutas de exposición	90
	i. HI de consumo peces Antioquia	90
	ii. HI de Inhalación trabajadores de municipios Antioqueños	91
	iii. HI de Inhalación residentes municipios Antioqueños	91
	iv. Sumatoria de riesgos	91
	3.7 Evaluación y presentación de las incertidumbres	94
4	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	
	4. Discusión de resultados	95
	4.1 Evaluación de riesgos por consumo de Metilmercurio en peces	96
	4.1.1 Riesgos por Rangos de Consumo	96
	4.2 Evaluación de riesgos por inhalación de Vapor de mercurio	104
	4.2.1 Riesgo en trabajadores de minería	105
	4.2.2 Riesgo por inhalación de vapores de mercurio población no trabajadora en minería artesanal	109
	4.3 Sumatoria de Riesgos Departamento de Antioquia: Consumo de peces e inhalación	113
	4.3.1 Exposición Total Antioquia trabajadores mineros: Peces + Inhalación	113
	4.3.2. Exposición Total Antioquia residentes de municipios mineros: Peces + Inhalación	115
	4.4 Conclusiones	117
5	BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXO	A. Paper	i

Contenidos

MAPAS

		Pág.
1.	Departamentos Auríferos Colombianos.....	9
2.	Municipios auríferos de Antioquia.....	11
3.	Municipios auríferos de Bolívar.....	12
4.	Municipios auríferos de Caldas.....	14
5.	Municipios auríferos de Cauca.....	15
6.	Municipios auríferos de Chocó.....	17
7.	Municipios auríferos de Córdoba.....	18
8.	Municipios auríferos de Guainía.....	19
9.	Municipios auríferos de Nariño.....	21
10.	Municipio aurífero de Quindío.....	22
11.	Municipio aurífero de Santander.....	24
12.	Municipio aurífero de Tolima.....	25
13.	Municipio aurífero de Vaupés.....	27
14.	Ratio de ingesta de peces Departamentos auríferos de Colombia.....	45
15.	Distribución riesgo por consumo mínimo de peces.....	97
16.	Distribución riesgo por consumo medio de peces.....	99
17.	Distribución riesgo por consumo máximo de peces.....	101
18.	Índice de riesgo por consumo de peces con Metilmercurio en Colombia.....	103
19.	Índice de riesgo por inhalación de vapor de mercurio, trabajadores minería.....	108
20.	Índice de riesgo por inhalación de vapor de mercurio, residentes municipios mineros.....	112
21.	Exposición Total Antioquia trabajadores mineros.....	114
22.	Exposición Total Antioquia Residentes Municipios Mineros.....	116

TABLAS

		Pág.
1.	Datos básicos del Departamento de Antioquia.....	10
2.	Datos básicos del Departamento de Bolívar.....	12
3.	Datos básicos del Departamento de Caldas.....	13
4.	Datos básicos del Departamento de Cauca.....	15
5.	Datos básicos del Departamento de Chocó.....	16
6.	Datos básicos del Departamento de Córdoba.....	18
7.	Datos básicos del Departamento de Guainía.....	19
8.	Datos básicos del Departamento de Nariño.....	20
9.	Datos básicos del Departamento de Quindío.....	22
10.	Datos básicos del Departamento de Santander.....	23
11.	Datos básicos del Departamento de Tolima.....	25
12.	Datos básicos del Departamento de Vaupés.....	26
13.	Producción de oro década 1999 a 2009.....	28
14.	Vida media del mercurio.....	34

15.	Rutas de Exposición – Fuentes.....	37
16.	Rutas de Exposición – Mecanismos.....	38
17.	Rutas de Exposición – Medios.....	38
18.	Rutas de Exposición – Rutas.....	39
19.	Concentraciones de Metilmercurio en peces.....	42
20.	Adultos Consumo de Peces.....	44
21.	Factores Dosis de Ingesta.....	47
22.	Concentraciones de vapor de mercurio en el departamento de Antioquia.....	70
23.	Factores concentración de exposición.....	72
24.	Factores concentración de exposición.....	82
25.	Distribución de riesgo por consumo mínimo de peces	97
26.	Distribución de riesgo por consumo medio de peces	99
27.	Distribución de riesgo por consumo máximo de peces	101
28.	Índice de riesgo por inhalación de vapor de mercurio, trabajadores minería.....	109
29.	Índice de riesgo por inhalación de vapor de mercurio, residentes municipios mineros.....	113
30.	Índice de riesgos de sumatoria de exposiciones trabajadores.....	114
31.	Índice de riesgos de sumatoria de exposiciones residentes.....	116

ECUACIONES

		Pág.
1.	Dosis de consumo.....	46
2.	Caracterización del riesgo.....	47
3.	Consentracion de exposición.....	71
4.	Caracterizacion del riesgo.....	72
5.	Consentracion de exposición.....	82
6.	Caracterizacion del riesgo.....	83
7.	Sumatoria de riesgos población minera.....	90
8.	Sumatoria de riesgos residentes.....	90

INTRODUCCIÓN

La minería aurífera artesanal es una de las actividades más antiguas del mundo, diferentes referencias citan el desarrollo de esta actividad desde las épocas prerromanas, de esta manera la apreciación que el hombre le da al oro, ha ido creciendo por los beneficios económicos que conlleva. Las explotaciones auríferas artesanales a nivel mundial, en su mayoría, son fortalecidas por las grandes diferencias socioeconómicas, la falta de educación y la ausencia de entidades gubernamentales que tomen cartas en el asunto en sus malas prácticas industriales por el uso inadecuado de mercurio, que perjudica a las poblaciones y al medioambiente; algunos países que han implementado la minería artesanal son: Tanzania, República Democrática Popular Lao, Indonesia, Sudán, Zimbabwe, Filipinas, Brasil, Perú, Bolivia, Ecuador, Nicaragua, Panamá y Colombia.

Colombia, según el estudio de la Organización de la Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial – ONUDI- de Julio de 2010 , señaló que el país es el mayor contaminador per cápita con mercurio del mundo, en consecuencia de la minería artesanal, que se incrementa con rapidez dados los altos precios del oro a nivel mundial. Los mineros han empleado mercurio para separar el oro durante décadas, pero parte de este químico se pierde en el proceso, contaminando ríos, aire, suelos que afectan en última medida a las poblaciones residentes de las zonas donde se desarrolla la minería artesanal y obviamente al minero.

Este trabajo está encaminado a realizar un análisis de riesgos probabilísticos por el uso de mercurio en la minería aurífera artesanal de Colombia, la exposición se estudiará tanto a poblaciones que hacen parte del proceso minero como para la población residente de los municipios auríferos.

Justificación

Porqué

La minería artesanal aurífera en Colombia se encuentra en su expansión por la rentabilidad a nivel internacional del metal precioso, es importante evaluar los riesgos, consecuencia de malas prácticas por el uso de mercurio, y poder utilizarse como herramienta tanto para niveles gubernamentales como niveles educativos y demostrativos de que el daño que el mercurio causa de manera crónica es real y no un mito.

En Colombia se han realizado diferentes estudios que muestrean las concentraciones de mercurio proveniente de la minería artesanal aurífera, según su especiación, pero no se ha realizado una evaluación de riesgos por exposición a este metal pesado usando la metodología propuesta por la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos – EPA- , con variables que describen a las poblaciones estudiadas.

Para qué

Este trabajo es realizado para optar al grado de Máster en Investigación, Modelización y Análisis de Riesgos en Medio Ambiente y es una gran oportunidad poder aplicar los conocimientos adquiridos en un problemática ambiental de mi país.

Objetivo

Evaluar, cuantificar y analizar probabilísticamente el riesgo por exposición a mercurio en la minería aurífera artesanal de Colombia, aplicando la metodología de Agencia Norteamericana de Protección ambiental, EPA, utilizando muestreos realizados por diferentes organizaciones, recopilados bibliográficamente

Objetivos específicos:

- ★ Realizar una búsqueda exhaustiva de muestreos realizados en Colombia donde se evidencie contaminación por mercurio.
- ★ Implementar las Guías de evaluación de Riesgos – RAGS - de la EPA, partes A, B y F, al igual que el Handbook de la EPA.
- ★ Utilizar como herramienta estadística para realizar el análisis de riesgos probabilísticos el programa R.
- ★ Presentar los resultados de la Evaluación de Riesgos con la ayuda del programa de sistemas de información geográfica ARGIS 9.3.

2. Minería aurífera artesanal en Colombia:

El territorio colombiano cuenta con ambientes metalogénicos propicios que le han permitido al país posicionarse en el sector minero del oro a nivel mundial, ubicándose entre los veinte primeros países con mayor índice de producción y tercero en Latinoamérica, como lo estableció el Ministerio de minas y energía en el 2002.

La minería aurífera en Colombia ha sido explotada desde épocas precolombinas; con el tiempo las variaciones en la extracción dependen de quienes se benefician, desde grandes multinacionales pasando por pequeñas organizaciones de mineros y concluyendo con la minería artesanal. La característica común tanto en la pequeña minería como la minería artesanal o de subsistencia es el uso de mercurio para la obtención del oro. Las explotaciones Colombianas son de tipo aluvial y vetiformes; según Gary et al (en Gerhard et al 2006), un depósito aluvial, se define como un yacimiento superficial generado por la concentración mecánica de partículas minerales provenientes de fragmentos de roca transportados desde un área fuente con contenidos metálicos de valor, en este caso específico, de oro. En cuanto a los depósitos vetiformes Colombianos, son de origen hidrotermal, aguas que están enriquecidas con elementos disueltos y que agregaron su valor a formaciones magmáticas del mesozoico y el cenozoico, Del Valle, 2008.

De acuerdo con López Villegas, 2009, la formación de los principales depósitos auríferos en Colombia, se presentan preferentemente en el sistema de cordilleras que la atraviesan y las zonas de llanura que las rodea. Los departamentos que presentan este tipo de extracción son: Antioquia, Bolívar, Caldas, Cauca, Choco, Córdoba, Guainía, Nariño, Quindío, Santander, Tolima y Vaupés, actividad diseminada por toda la geografía Colombiana. Representando de esta manera el 70 % de extracción aurífera nacional.

El aprovechamiento aurífero ha sido un trabajo que ha pasado de generación en generación, en su mayoría, la práctica de la tradición no es ambientalmente amigable y raya en la ilegalidad del código minero. Estas actividades mineras artesanales, en muchos casos corresponden a actividades satélites, donde el común denominador es la explotación ilegal con carácter transitivo, donde predominan las invasiones de áreas en explotación con licencias, concesiones o propiedades mineras de mediana y gran escala, (Del Valle, 2008). La diversidad de formas de explotación que se han empleado en Colombia reflejan, no solo el tipo de minas que se aprovechan, sino también los medios de producción empleados. Estos van en la minería de aluvión, desde el típico lavado de oro en batea que hace el "barequero" hasta el empleo de dragas y sistemas de motobombas, monitores, elevadores, etc. De igual forma los procedimientos en la minería vetiforme, van desde los manuales para el arranque del mineral y la utilización de compresores.

Es indiscutible que la situación socioeconómica de los mineros artesanales es un factor preponderante para realizar esta actividad, dado que aunque el oro sea pagado en el exterior a altos precios, la retribución al minero es aproximadamente un 75% menor de su comercialización, a esto se le suma que la minería artesanal no está considerada por la legislación minera actual convirtiéndola en extracción ilegal porque el cumplimiento de las obligaciones tributarias, mineras y ambientales no son contempladas por desconocimiento y por intereses particulares que priman en la minería de subsistencia.

El uso del mercurio en la minería artesanal básicamente cumple con la función de recolectar las posibles pérdidas del material precioso, en la explotación en veta, para separar el oro de la roca se usa la trituración y molienda adicionándosele mercurio para poder agrupar las partículas de oro que quedan libres, en la minería aluvial el mercurio cumple la misma función, ya que separa eficazmente el oro de la mena húmeda en la que se encuentra, como se puede ver en las fotografías.



Foto 1 y 2. Molienda de rocas enriquecidas, depósitos vetiformes



Foto 3 y 4. Explotación depósitos aluviales auríferos

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial – ONUDI-, en el año 2008 señaló a uno de los municipios de explotación aurífera artesanal en Colombia como la tercera región más contaminada por mercurio después de China e Indonesia, incluyéndola en la segunda etapa del Proyecto Global del Mercurio, cuyo fin es reducir en 50% el uso del mercurio y desarrollar prácticas limpias en los próximos 5 años. Con la elaboración de un reporte técnico en la extracción de oro de manera artesanal, la ONUDI, caracterizó su proceder, destacando que los mineros trabajan con poca o ninguna mecanización, sin orientación geológica ni planteamiento minero haciendo que el desarrollo de sus trabajos sean erráticos y costosos, por

ende la productividad es muy baja, dejando de lado las mínimas normas de seguridad y el cuidado del medio ambiente.

El uso de mercurio en la minería no tecnificada en Colombia, es básicamente porque es el método de extracción más fácil, rápido y económico, dado que en promedio un minero procesa al día 10 toneladas de una mezcla de arena, grava, arcillas y limo, para poder extraer 1 Kg de una mena que puede generar máximo 10 g de oro, para obtener estos resultados usando métodos gravimétricos requiere de mucho tiempo y cabe la posibilidad de perder parte del metal precioso, mientras que la captura del oro con mercurio se hace más efectiva dadas sus características reactivas con otros metales, separando el oro de las impurezas. Adicionalmente el mercurio es



de fácil transporte y es económico frente a la venta que pueda generar con el oro extraído. La mayoría de las veces el proceso de amalgamación se realiza in situ donde se pierde mercurio que ingresa directamente al ecosistema acuático actividad que generalmente se



hace sin ningún tipo de elemento de protección personal para evitar el contacto directo con el mercurio. Una vez hecha la amalgama, para poder separar el mercurio del oro es necesario quemarla llevándola a altas temperaturas, donde el mercurio es evaporado y el oro obtenido, la quema puede ser hecha en el

mismo lugar de extracción o en el pueblo más cercano o en las viviendas de los mineros.

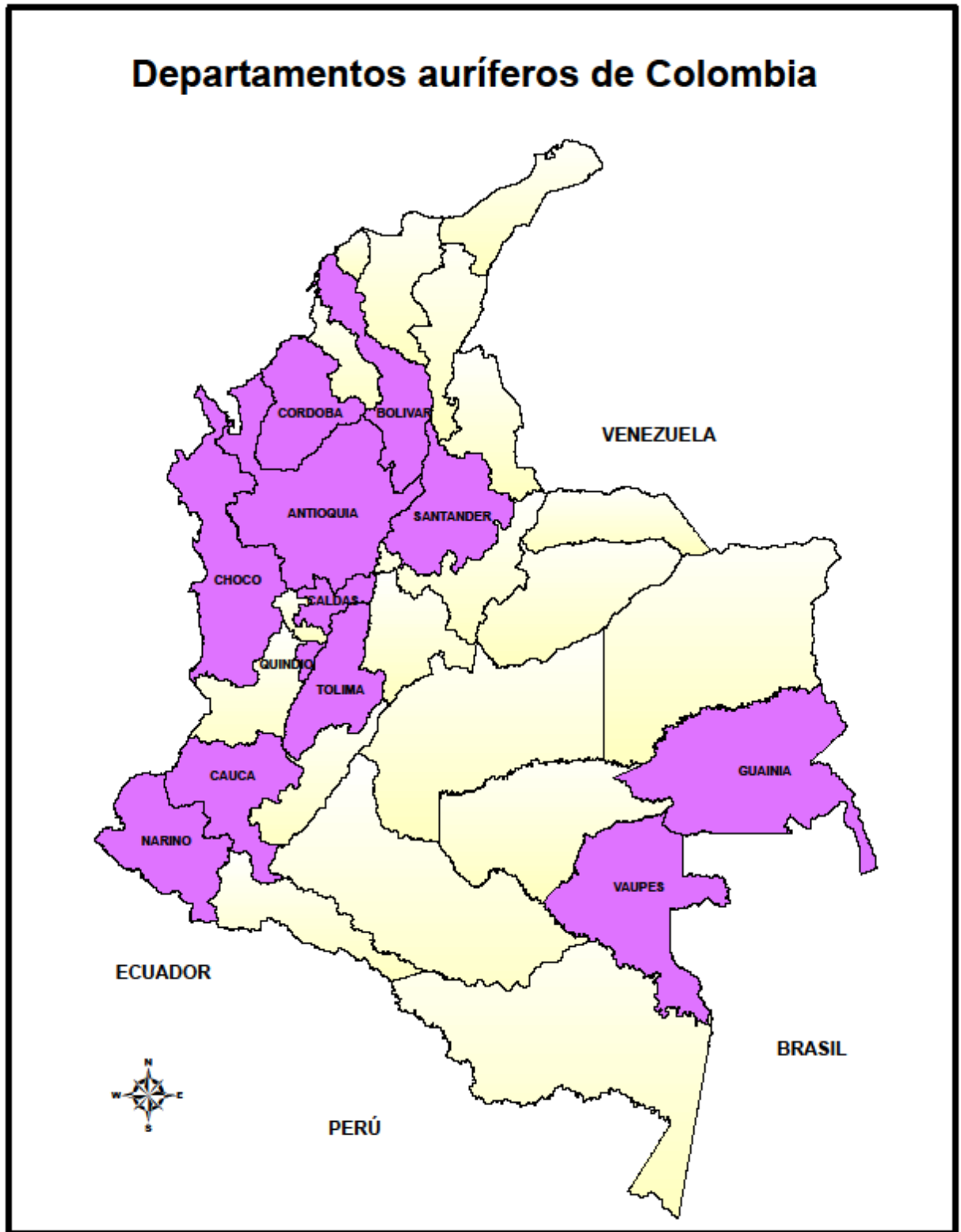
Según ASGM (Artisanal Small-Scale Gold Mining ó Extracción del oro artesanal a pequeña escala), en el año 2008, Colombia se ubico en el tercer puesto con el uso de 75 Ton Hg/año para la producción de 35 mil Ton de oro, mientras que Perú con tan solo 30 Ton Hg/año exploto 400 mil Ton de oro. Estas cifras ubican claramente el manejo inadecuado del mercurio en la extracción del oro en Colombia dado que en su gran mayoría no es recuperado ni reutilizado en el proceso de la amalgamación y es dispuesto en el medio sin ningún tipo de consideración.

2.1 Ubicación de minería en Colombia

Los depósitos auríferos se consideran como el tipo de yacimientos más explotados a través de toda la historia. En Colombia, han existido varios yacimientos que se han explotado desde principios del siglo XX.

La localización de este tipo de formaciones en Colombia se caracteriza por estar en las inmediaciones de las cordilleras central y occidental, ubicándose en los departamentos de: Antioquia, Bolívar, Caldas, Cauca, Choco, Córdoba, Guainía, Nariño, Quindío, Santander, Tolima y Vaupés. Como se ve en el siguiente mapa:

Departamentos auríferos de Colombia



Mapa1. Departamentos Auríferos Colombianos

1.2. Departamentos auríferos:

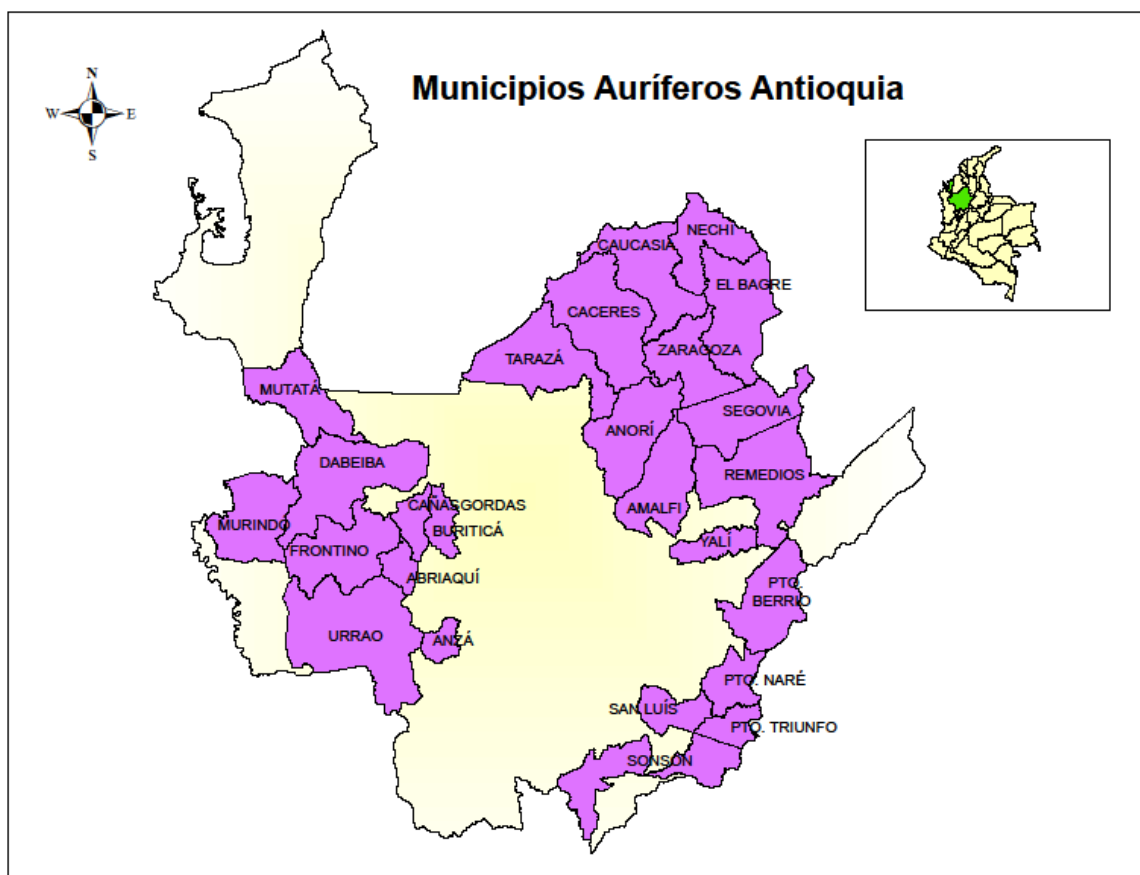
1.2.1. **Departamento de Antioquia:** El departamento de Antioquia está localizado en el noroeste del país, entre los 05°26'20'' y 08°52'23'' de latitud Norte, y los 73°53'11'' y 77°07'16'' de longitud Oeste. En su territorio predomina la topografía montañosa consecuencia de la presencia de las cordilleras Occidental y Central, con alturas máximas de 3000 m.s.n.m., pero también cuenta con terrenos planos en los valles bajos de los ríos Cauca y Magdalena, con alturas entre 200 y 100 m.s.n.m., y en la zona litoral del golfo de Urabá. Este territorio registra una diversidad de ambientes metalogenéticos de mucho interés para la minería de metales preciosos, metales base, minerales industriales y carbón.

Tabla 1: Datos básicos del Departamento de Antioquia.

Capital	Medellín
Superficie	63.612 km ²
Población	5.761.175 habitantes
Principales actividades Económicas	Servicios, industria, agricultura y minería
Principales productos Mineros	Oro, calcáreos, arcillas, materiales de construcción y carbón

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Nechí, El bagre, Zaragoza, Remedios, Segovia, Amalfi, Yalí, Anorí, Tarazá, Caceres, Urao, Anzá, Abriaquí, Buritica, Cañasgordas, Frontino, Murindó, Dabeiba, Mutatá, Sonson, Puerto Triunfo, Puerto Naré, Puerto Berrio y Cauca. Ver mapa 2.



Mapa 2. Municipios auríferos de Antioquia.

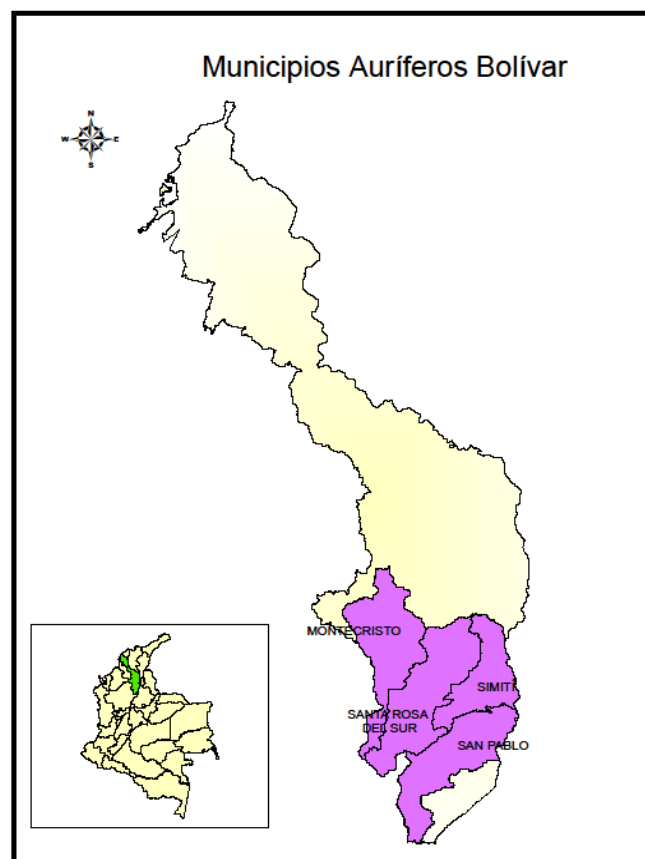
1.2.2 **Departamento de Bolívar:** El Departamento de Bolívar está situado en el norte del país, en la región de la llanura del Caribe, entre los $07^{\circ}00'03''$ y los $10^{\circ}48'37''$ de latitud norte y entre los $73^{\circ}45'15''$ y los $75^{\circ}42'18''$ de longitud oeste. Limita por el Norte con el mar Caribe y el departamento del Atlántico, por el Este con el río Magdalena que lo separa de los departamentos del Magdalena, Cesar y Santander, por el Sur con los departamentos de Santander y Antioquia, y por el Oeste con Antioquia, Córdoba, Sucre y el mar Caribe. Su topografía es baja, pantanosa y ondulada, comprende cuatro zonas: el delta del Magdalena, las serranías de San Jacinto y San Jerónimo, la depresión Momposina y la Serranía de San Lucas. El departamento presenta explotación minera de sal, oro y plata.

Tabla 2: Datos básicos del Departamento de Bolívar.

Capital	Cartagena
Superficie	25.978 km ²
Población	1.418.712.habitantes
Principales actividades Económicas	Servicios, industria, agricultura, pesca y minería.
Principales productos Mineros	Sal, Oro y Plata

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: San Pablo, Simití, Santa Rosa del Sur y Montecristo. Ver mapa 3.



Mapa 3. Municipios auríferos de Bolívar.

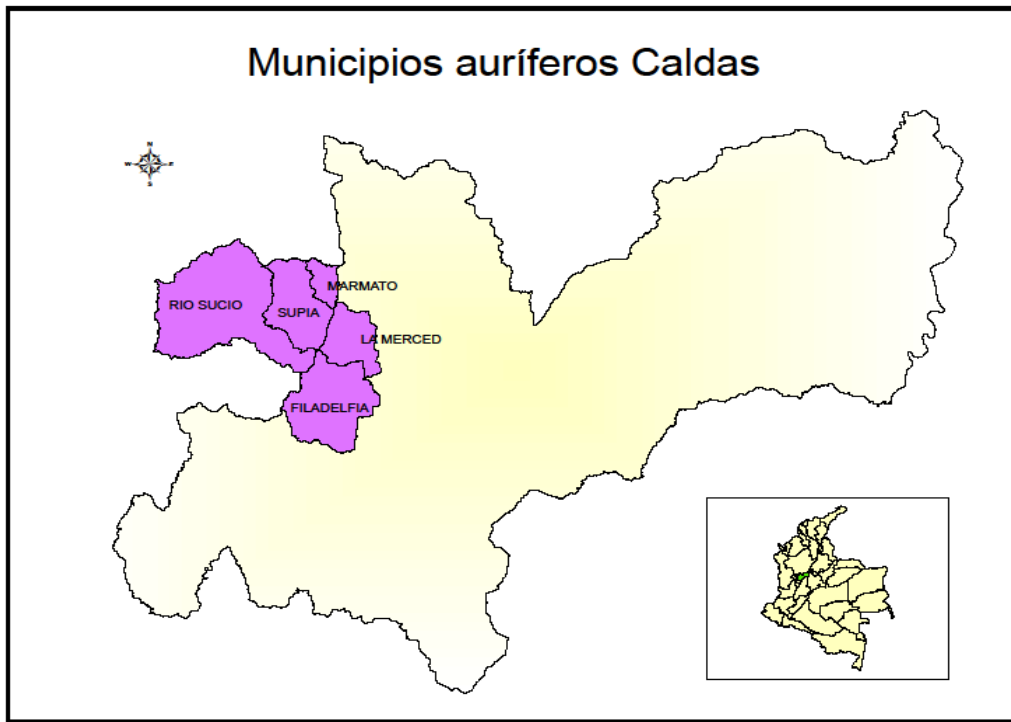
1.2.3 **Departamento de Caldas:** El Departamento de Caldas se ubica en el centro occidente de la región andina, entre los 05°46'51'' y los 04°48'20'' de latitud norte, y los 74°38'01'' y 75°55'45'' de longitud oeste. Limita por el Norte con el departamento de Antioquia, por el Este con el departamento de Cundinamarca, por el Sur con los departamentos del Tolima y Risaralda, y por el Oeste con el departamento de Risaralda. Topográficamente se encuentra entre las cordilleras Occidental y Central, perteneciendo así al sistema andino montañoso, variando de esta forma los pisos térmicos ya que las alturas ascienden desde los 200 a los 5.432 m.s.n.m. La explotación minera que desarrolla el departamento es oro, plata y platino.

Tabla 3: Datos básicos del Departamento de Caldas.

Capital	Manizales
Superficie	7.888 km ²
Población	1'172.510.habitantes
Principales actividades Económicas	Servicios, agricultura, industria y minería.
Principales productos Mineros	Oro, Plata y Platino

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Riosucio, Supia, Marmato, La Merced y Filadelfia. Ver mapa 4.



Mapa 4. Municipios auríferos de Caldas.

1.2.4 **Departamento de Cauca:** El departamento de Cauca se ubica en el suroeste del país entre las regiones andina y pacífica; localizado entre los $00^{\circ}58'54''$ y $03^{\circ}19'04''$ de latitud norte y los $75^{\circ}47'36''$ y $77^{\circ}57'05''$ de longitud oeste. Topográficamente es atravesada de por la parte oriental de norte a sur por la cordillera central, generando actividad vulcanología. La cordillera occidental presenta altiplanos, llanuras y aloja la cuenca del amazonas. Las geoformas del departamento son muy diversas, con relieves ondulados, quebrados y escarpados con altitudes que fluctúan entre los 550 y 4.000 m.s.n.m.; esta característica permite que se encuentren diferentes tipos de clima que van desde el cálido muy seco, hasta el páramo muy frío y muy húmedo. Este departamento cuenta con un gran valor ecosistémico por cuanto se constituye en un corredor biológico importante, que conecta dos ecosistemas estratégicos de interés nacional: el Macizo Colombiano y el Chocó Biogeográfico. Su riqueza minera son el oro, plata, platino, carbón y arcillas.

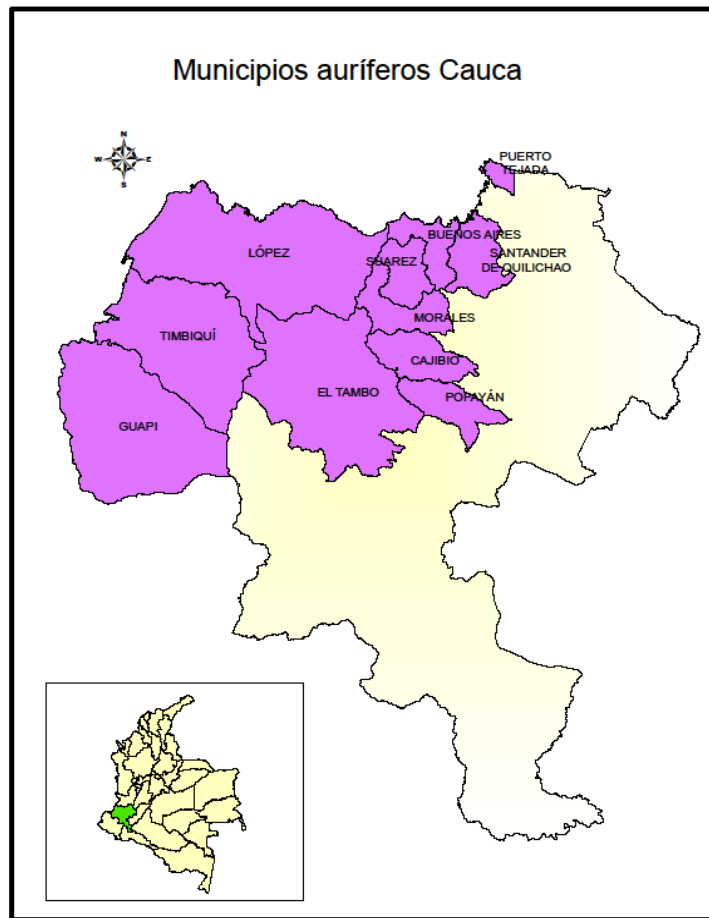
1.2.5

Tabla 4: Datos básicos del Departamento de Cauca.

Capital	Popayán
Superficie	29.308 km ²
Población	1'367.496 habitantes
Principales actividades Económicas	Agricultura, Explotación forestal. Pesca y minería.
Principales productos Mineros	Oro, Plata y Platino

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Guapi, Timbiquí, Lopez de Micay, El tambo, Popayan, Cajibío, Morales, Suarez, Buenos Aires, Santander de Quilichao, Puerto Tajada. Ver mapa 5.



Mapa 5. Municipios auríferos de Cauca.

1.2.6 **Departamento de Chocó:** El departamento de Choco se ubica en el noroccidente del país, en la región de la llanura del Pacífico; localizado entre los 04°00'50'' y 08°41'32'' de latitud norte y los 76°02'57'' y 77°53'38'' de longitud oeste. Limita al norte con Antioquia, Panamá y el Mar Caribe; al oriente con Antioquia, Risaralda y el Valle del Cauca; al sur con el Valle del Cauca, y al occidente Panamá y el Océano Pacífico.

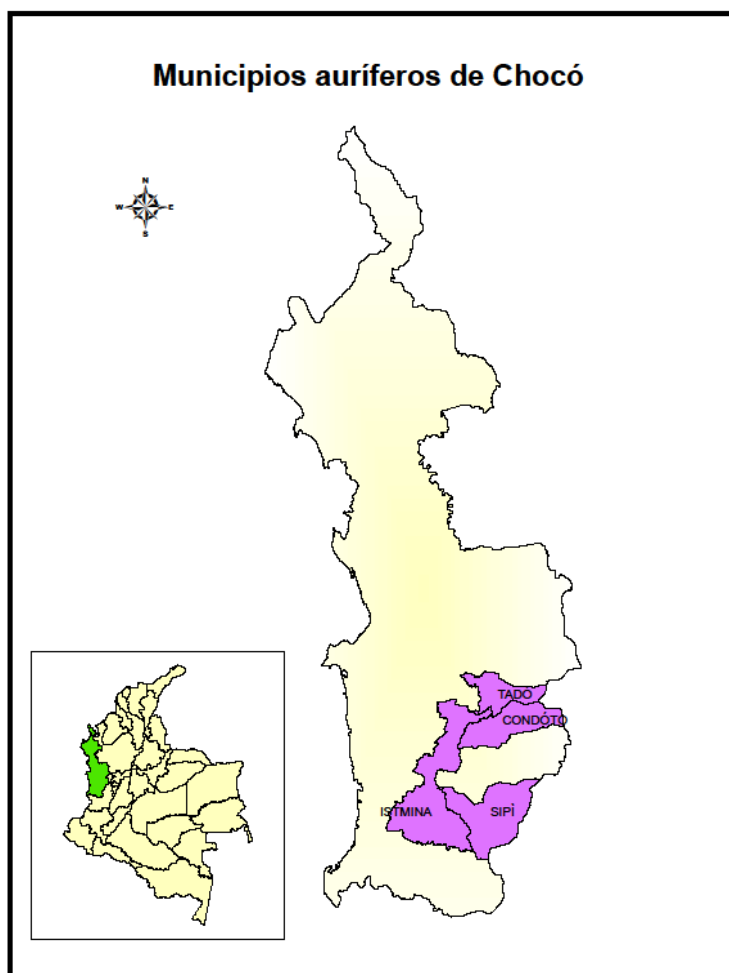
Cuenta con las Selvas del Darién y las cuencas de los ríos Atrato y San Juan. El Chocó es el único departamento suramericano con costas en ambas aguas, el Océano Pacífico y el Océano Atlántico. Es el único departamento limítrofe con Panamá. La explotación minera se centra en la extracción de oro, plata y platino.

Tabla 5: Datos básicos del Departamento de Chocó.

Capital	Quibdó.
Superficie	46.530 km ²
Población	416.318 habitantes
Principales actividades Económicas	Minería, Explotación forestal, Pesca, agricultura y ganadería.
Principales productos Mineros	Oro, Plata y Platino

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Istmina, Condoto, Tadó y Sipí. Ver mapa 6.



Mapa 6. Municipios auríferos de Chocó.

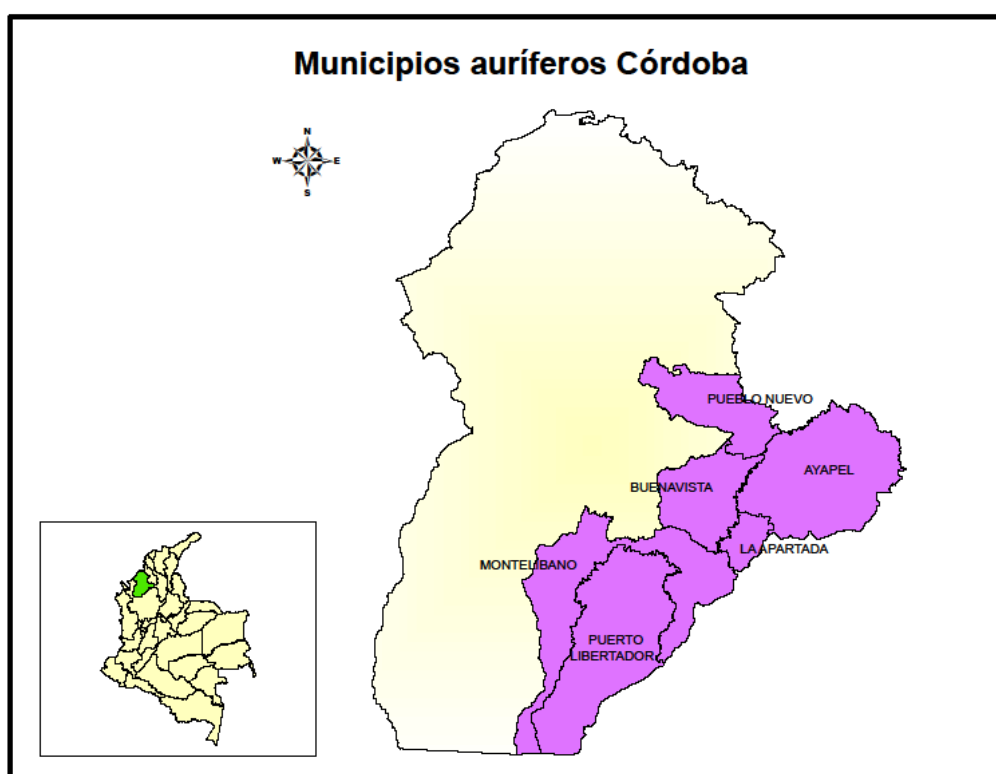
1.2.7 **Departamento de Córdoba:** El departamento de Córdoba en el norte del país, en la región de la llanura del Caribe; localizado entre los $09^{\circ}26'16''$ y $07^{\circ}22'05''$ de latitud norte, y los $74^{\circ}47'43''$ y $76^{\circ}30'01''$ de longitud oeste. Limita por el Norte con el mar Caribe y el departamento de Sucre, por el Este con los departamentos de Sucre, Bolívar y Antioquia; por el Sur con el departamento de Antioquia y por el Oeste con el departamento de Antioquia y el mar Caribe. Cuenta con los valles del Sinú y San Jorge, donde están situados la mayor parte de los municipios que tienen el más alto desarrollo económico departamental ya que son tierras formadas por depósitos aluviales que los ríos han ido acumulando a través del tiempo. Y adicionalmente la presencia de la cordillera occidental que contiene serranías que originan ríos importantes de la región. Sus explotaciones mineras se centran en Carbón, ferroníquel, oro y plata.

Tabla 6: Datos básicos del Departamento de Córdoba.

Capital	Montería.
Superficie	23.98 km ²
Población	1'396.764 habitantes
Principales actividades Económicas	Ganadería, agricultura y minería.
Principales productos Mineros	Carbón, ferroníquel, oro y plata.

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Puerto Libertador, Montelibano, La Apartada, Buena Vista, Pueblo Nuevo y Ayapel. Ver mapa 7.



Mapa 7. Municipios auríferos de Córdoba.

1.2.8 **Departamento de Guainía:** El departamento de Guainía se ubica en el oriente del país, en la región de la Amazonía, localizado entre los 01°10'17'' y 04°02'21'' de latitud norte, y los 66°50'44'' y 70°55'16'' de longitud oeste. Limita por el Norte con el departamento del Vichada; por el

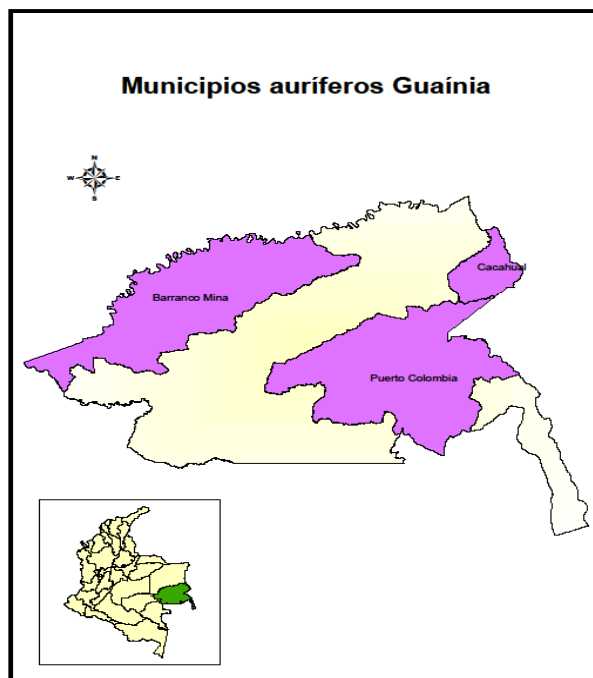
Este con de la República de Venezuela; por el Sur con la República de Brasil y por el Oeste con los departamentos del Vaupés, Guaviare y Vichada. En la mayor parte los territorios del departamento, son planos o suavemente ondulados, pertenecientes al llamado Macizo Guyanés, geológicamente el más antiguo de Colombia, con alturas ligeramente superiores a los 500 metros sobre el nivel del mar. Su explotación minera primordial es el oro.

Tabla 7: Datos básicos del Departamento de Guainía.

Capital	Puerto Inírida.
Superficie	70.691 km ²
Población	43.194 habitantes
Principales actividades Económicas	Minería, agricultura y ganadería.
Principales productos Mineros	Oro.

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Barranco minas, Cacahual y Puerto Colombia. Ver mapa 8.



Mapa 8. Municipios auríferos de Guainía.

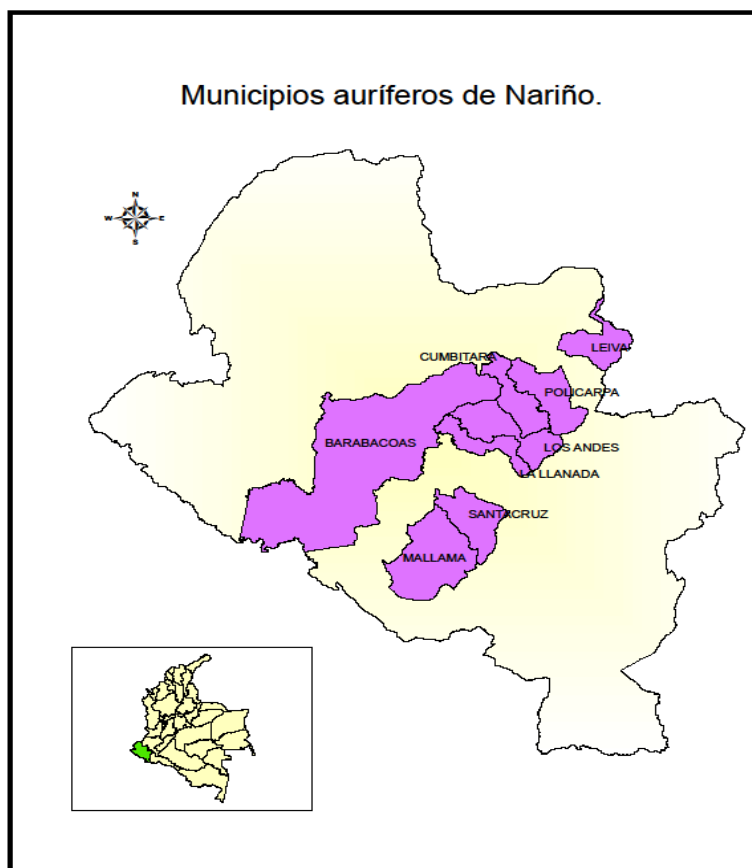
1.2.8. **Departamento de Nariño:** El departamento de Nariño se encuentra al en el extremo suroccidental del país, en la frontera con la República del Ecuador. Su fisiografía abarca una franja del litoral Pacífico colombiano, la zona Andina constituida por las cordilleras Occidental y Centrorienta y una zona del piedemonte Amazónica, circunstancia que genera una importante diversidad de pisos térmicos que se traducen en una gran diversidad biológica, forestal y agrícola. Por igual circunstancia la geología del territorio nariñense es muy variada, incluyendo rocas cristalinas, secuencias sedimentarias, condiciones que propician una diversidad de ambientes metalogenéticos que lo hacen atractivo desde el punto de vista minero, los principales explotaciones son el oro, platino y los materiales para la construcción.

Tabla 8: Datos básicos del Departamento de Nariño.

Capital	Pasto.
Superficie	33.268 km ²
Población	1'775.973 habitantes
Principales actividades Económicas	Agricultura, minería y ganadería.
Principales productos Mineros	Oro, platino y los materiales para la construcción.

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Barbacoas, Cumbitara, La Llanada, Leiva, Los Andes, Mallama, Policarpa y Santacruz. Ver mapa 9.



Mapa 9. Municipios auríferos de Nariño.

1.2.9. **Departamento de Quindío:** El departamento de Quindío se encuentra en el centro - occidental del país, localizado entre los **04°04'41"** y **04°43'18"** de latitud norte y entre los **75°23'41"** y **75°53'56"** de longitud oeste. Atravesado por la cordillera central, formando el volcán del mismo nombre del departamento y a los pies de la cordillera cuenta con colinas suaves y valles ricos en aluviones. Limita por el Norte con los departamentos del Valle del Cauca y Risaralda, por el Este con el departamento del Tolima, por el Sur con los departamentos de Tolima y Valle del Cauca y por el Oeste con el departamento del Valle del Cauca. Sus explotaciones mineras se concentran en Oro, plata, plomo y zinc.

Tabla 9: Datos básicos del Departamento de Quindío.

Capital	Armenia.
Superficie	1.845 km ²
Población	612.719 habitantes
Principales actividades Económicas	Agricultura, minería y ganadería.
Principales productos Mineros	Oro, plata, plomo y zinc.

Fuente: DANE, Censo 2005.

El municipio que realiza explotación aurífera es Cajamarca. Ver mapa 10.



Mapa 10. Municipio aurífero de Quindío.

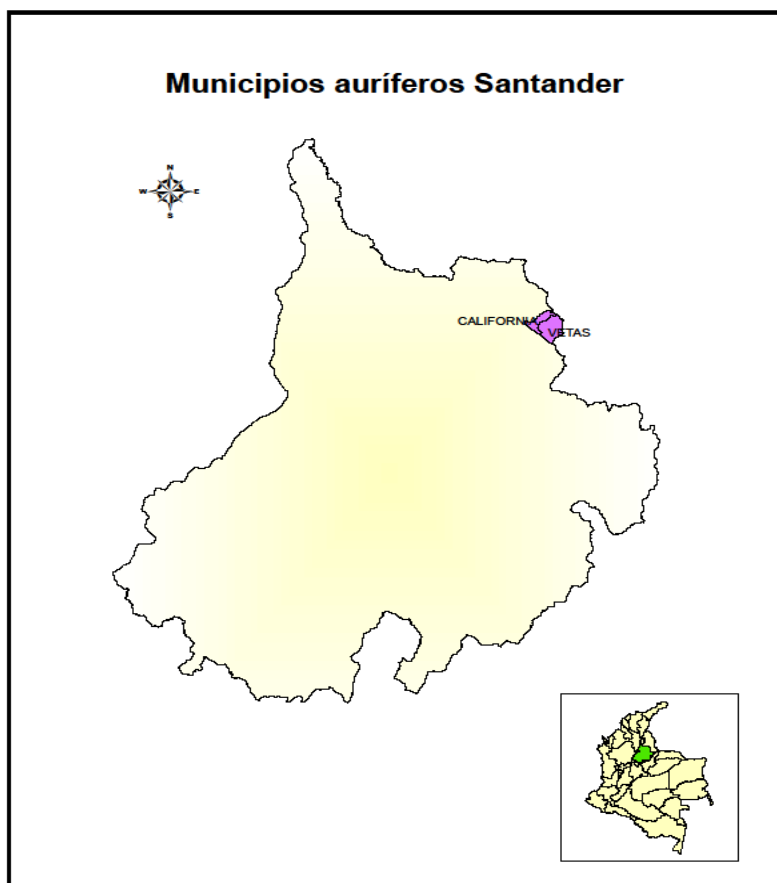
1.2.10. **Departamento de Santander:** El departamento de Santander se encuentra en el noreste del país en la región andina, entre los 05°42'34'' y 08°07'58'' de latitud norte, y los 72°26' y 74°32' de longitud oeste. Su topografía se divide básicamente en dos formaciones la del valle medio del Magdalena que tiene ondulaciones suaves, y el de la cordillera oriental que ocupa la mayor parte del departamento con un relieve es quebrado y de pendientes fuertes con alturas superiores a los 3.000. Limita por el Norte con los departamentos de Cesar y Norte de Santander, por el Este y por el Sur con el departamento de Boyacá y por el Oeste con el río Magdalena que lo separa de los departamentos de Antioquia y Bolívar. En cuanto a la explotación minera que se adelanta son el petróleo, plomo, uranio, fósforo, yeso, caliza, cuarzo, mármol, carbón, oro y cobre.

Tabla 10: Datos básicos del Departamento de Santander.

Capital	Bucaramanga.
Superficie	30.537 km ²
Población	2'086.649 habitantes
Principales actividades Económicas	Agricultura, ganadería, minería.
Principales productos Mineros	Petróleo, plomo, uranio, fósforo, yeso, caliza, cuarzo, mármol, carbón, oro y cobre.

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Vetás y California. Ver mapa 11.



Mapa 11. Municipio aurífero de Santander.

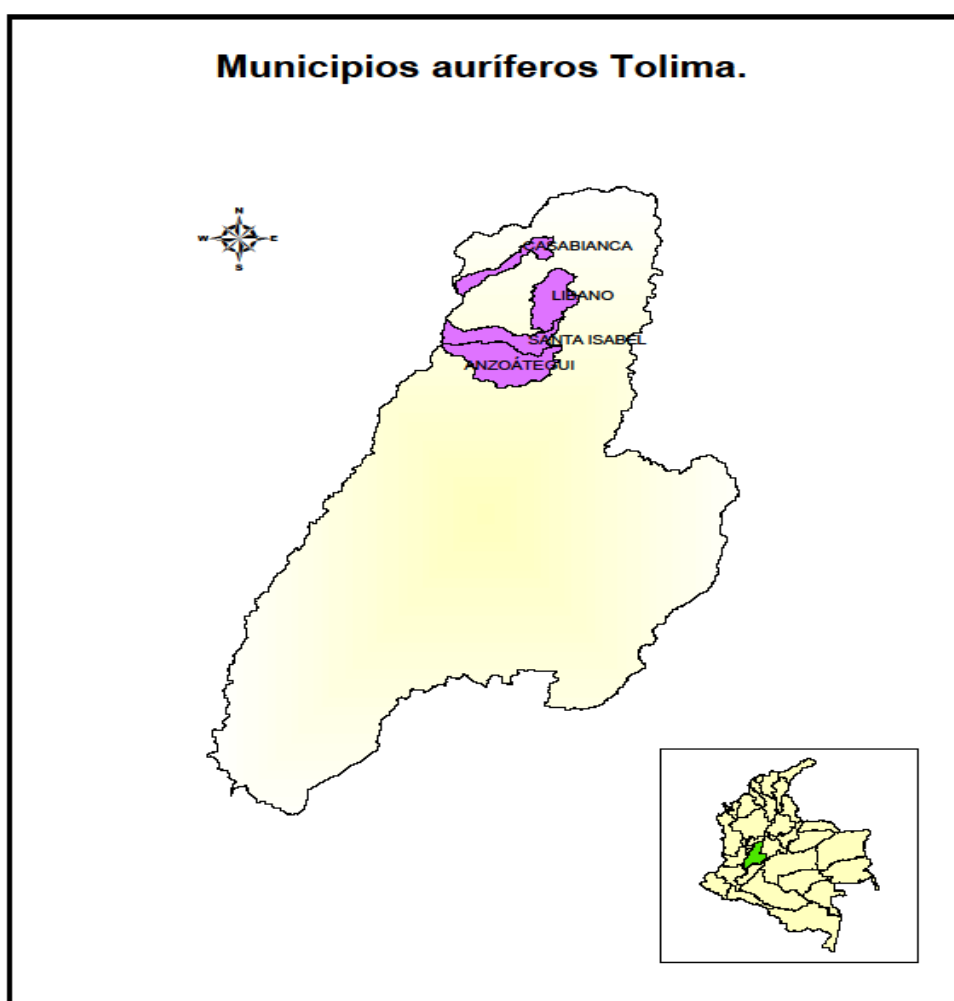
1.2.11. **Departamento de Tolima:** El departamento de Tolima se encuentra en el centro del país, localizado entre los $02^{\circ}52'59''$ y $05^{\circ}19'59''$ latitud norte, y los $74^{\circ}24'18''$ y $76^{\circ}06'23''$ longitud oeste. Cuenta con dos sistemas importantes, el primero es el relieve escarpado con alturas superiores a los 5.000 m.s.n.m., en donde son frecuentes movimientos telúricos de gran magnitud, y el segundo sistema es el piedemonte de la cordillera Central, conformada por extensos depósitos cuyo origen está asociado con eventos volcánicos. Limita por el Norte con el departamento de Caldas, por el Este con el departamento Cundinamarca, por el Sur con los departamentos de Huila y Cauca y por el Oeste con los departamentos de Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. La minería en este departamento se centra en la explotación petrolífera y aurífera.

Tabla 11: Datos básicos del Departamento de Tolima.

Capital	Ibague.
Superficie	23.582 km ²
Población	1'316.053 habitantes
Principales actividades Económicas	Ganadería, agricultura, servicios, industria y minería.
Principales productos Mineros	Petróleo y oro.

Fuente: DANE, Censo 2005.

Los municipios que realizan explotación aurífera son: Anzoateguá, Santa Isabel, Libano y Casabianca. Ver mapa 12.



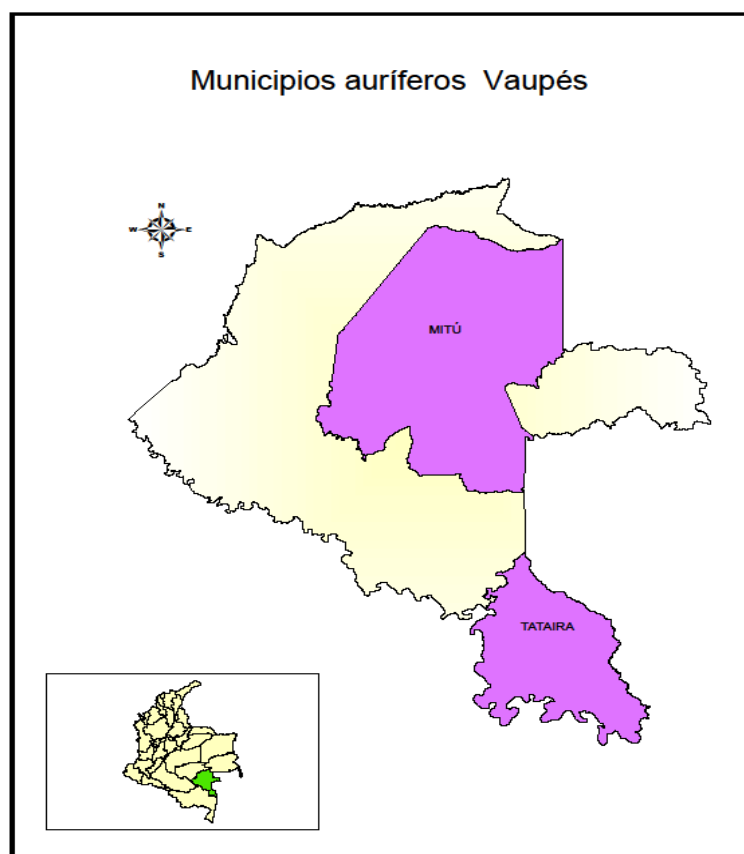
Mapa 12. Municipio aurífero de Tolima.

1.2.12. **Departamento de Vaupés:** El departamento de Vaupés se encuentra en el oriente del país en la región de la Amazonía, comprendido entre los **01°13'28"** de latitud sur y **02°04'55"** de latitud norte, y entre los **69°06'50"** y **72°02'15"** de longitud oeste. Topográficamente se caracteriza por un relieve plano, con pendientes muy bajas y algunos afloramientos rocosos. Sus principales elevaciones no superan los 300 m sobre el nivel del mar. Limita por el Norte con los departamentos de Guaviare y Guainía, por el Este con la República de Brasil, por el Sur con los departamentos de Amazonas y Caquetá y por el Oeste con los departamentos de Caquetá y Guaviare. Sus explotaciones mineras son el oro y la ilmenita.

Tabla 12: Datos básicos del Departamento de Vaupés.

Capital	Mitú.
Superficie	53.190 km ²
Población	33.142 habitantes
Principales actividades Económicas	Agricultura y minería.
Principales productos Mineros	Oro y la ilmenita.

Fuente: DANE, Censo 2005.



Mapa 13. Municipio aurífero de Vaupés.

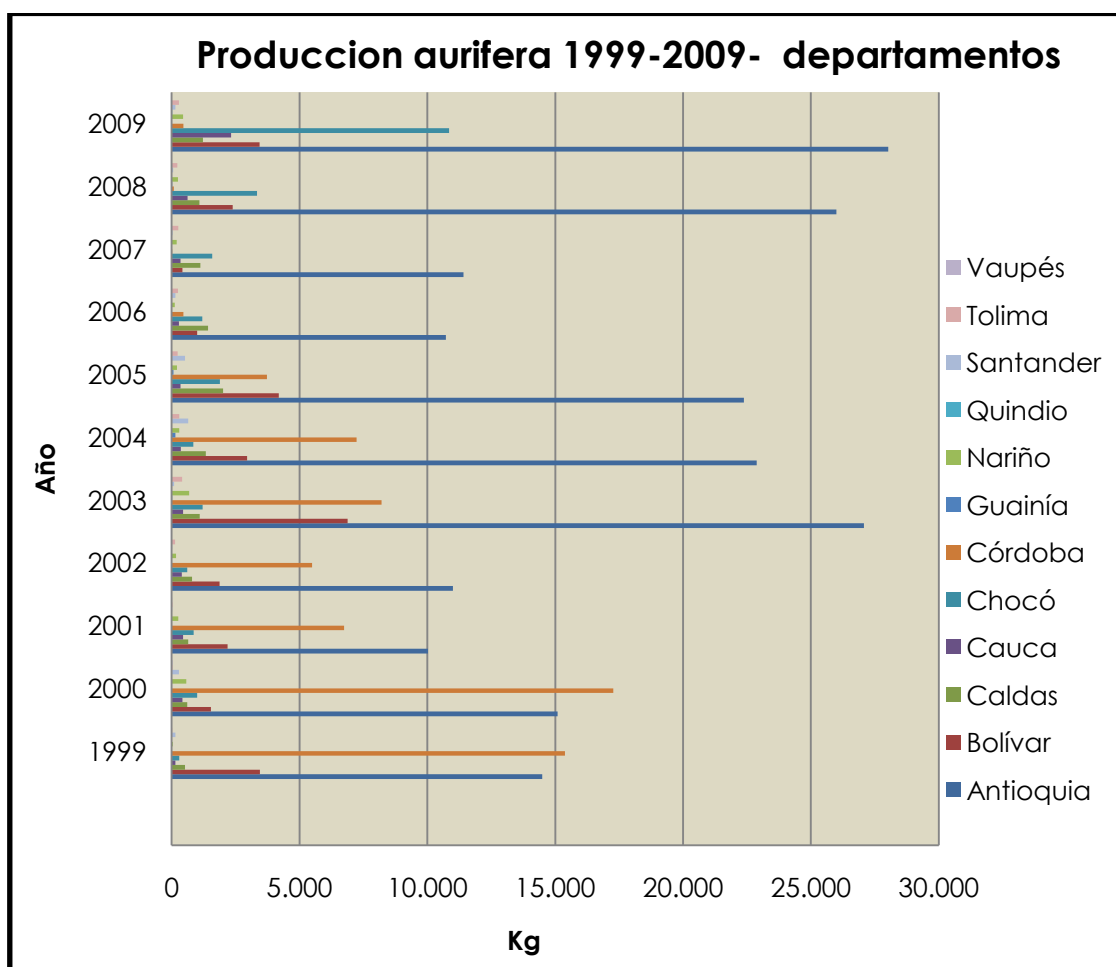
1.3 Última década de explotación aurífera:

Según la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, en el Sistema de Información Minero Colombiano SIMCO, presenta la producción de oro a nivel nacional por departamento, ubicando a los departamentos de Antioquia, Córdoba y Bolívar como los tres mayores productores a nivel nacional, como se demuestra en la tabla 13 y en el gráfico 1.

Tabla 13: Producción de oro década 1999 a 2009.

Departamentos	Kg oro
Antioquia	199.102,47
Bolívar	30.279,39
Caldas	11.840,28
Cauca	6.140,26
Chocó	23.659,11
Córdoba	65.046,04
Guainía	279,73
Nariño	3.231,78
Quindío	26,52
Santander	2.110,91
Tolima	2.148,17
Vaupés	90,69

Fuente: UPME - SIMCO



Gráfica 1: Producción aurífera de 1999 a 2009, por departamentos.

4. Identificación del Peligro

La identificación del peligro es el proceso de determinar si un compuesto químico está vinculado con ciertos efectos a la salud, como pueden ser el desarrollo de cáncer o defectos en el desarrollo, NAS 1983, por lo que este numeral pretende abarcar de manera simplificada la toxicodinamia del mercurio.

2.1 Mercurio:

El mercurio es uno de los metales más antiguos del mundo, su uso en minería aurífera data desde la antes de la época Romana por sus propiedades físicas ya que atrae al oro de la mena húmeda, como lo cita Meech et al. 1998.

El mercurio tiene dos fuentes, las naturales y las antropogénicas; las naturales tienen su origen en la desgasificación de la corteza terrestre mediante movimientos tectónicos, eventos vulcanológicos, yacimientos carboníferos y erosión de rocas, y las fuentes antropogénicas hacen referencia a industrias, agricultura y minería, de estas dos formas ingresa en el medio creando su propio ciclo. Aunque no es esencial para ningún proceso metabólico el mercurio tiene la característica de bioacumularse en la mayoría de los seres vivos, ya que tiene una alta afinidad con la materia orgánica especialmente con las proteínas de los organismos.

El potencial de toxicidad del mercurio fue reportado por primera vez por el famoso médico suizo Paracelsus en el año 1533, en un libro sobre enfermedades laborales, donde analizó el caso de la intoxicación de mineros con mercurio (Veiga y Meech 1995). Es uno de los metales pesados más tóxicos que se conocen, considerado un contaminante a escala global. Este elemento ha dejado huella en la historia de la humanidad, con casos muy conocidos como el de Minamata en Japón, el envenenamiento por mercurio orgánico en Irak, o la exposición a Metilmercurio en el Amazonas, recogidos por Gochfeld (2003). En

Colombia se han realizado varios estudios enfocados en la determinación de concentraciones de mercurio en diferentes muestras ambientales y algunas en muestras humanas, todas como resultado de la extracción de oro en depósitos aluviales, donde se ha evidenciado la bioacumulación y biomagnificación de este elemento en la cadena trófica.

La toxicidad del mercurio depende del estado en que se encuentre o tenga contacto con el hombre, puede encontrarse de manera elemental, inorgánica y orgánica; cada uno con sus características tóxicas pero la más peligrosa es la orgánica formada por las metilaciones, gracias a metabolismos microbianos en los ecosistemas acuáticos, dicha toxicidad se ha comprobado en varios estudios ya que al ir avanzando en la cadena trófica los niveles de mercurio son mayores (biomagnificación). El mercurio una vez ingresado al organismo del hombre con concentraciones altas y exposición continua, trabaja como una neurotoxina causando graves daños al sistema nervioso central, genera reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, dolor de cabeza, temblores, cambios de visión, sordera, incoordinación de músculos, pérdida de memoria, salivación excesiva, pérdida del apetito, inflamación de boca y encías, vómitos, diarreas, dificultad para respirar, entre otros.

2.2 Ciclo mercurio:

Partiendo del hecho que el mercurio es un elemento, tiene como característica que no se puede ni descomponer ni degradar en sustancias inofensivas por lo tanto cada una de las variaciones o transformaciones que sufre en el ciclo genera probabilidad de riesgo tanto para el hombre como para el medio.

Independiente de la fuente de liberación del mercurio, se ve envuelto en procesos de oxidación-reducción que lo hacen moverse por los diferentes componentes. Con la volatilización se moviliza por la

atmosfera donde gracias a factores como el ozono, humedad y rayos solares es oxidado y precipitado de manera húmeda por medio de la lluvia en zonas climáticamente húmedas, una vez es depositado tanto en biomasa como en suelo se genera acumulación y adsorción en materia orgánica, allí puede formar compuestos orgánicos como el Metilmercurio (HgCH_3) e inorgánicos como el Sulfuro de Mercurio (HgS). En este punto es movilizadado mediante la lixiviación de la escorrentía hacia una fuente de agua más próxima, en donde mediante procesos de oxido reducción y con la presencia de actividad microbiana se generan metilaciones o desmetilaciones, que pueden permanecer como sólidos suspendidos, o depositarse en sedimentos orgánicos y materiales arcillosos e ingresar a la cadena trófica bioacumulando y biomagnificándose en peces predadores.

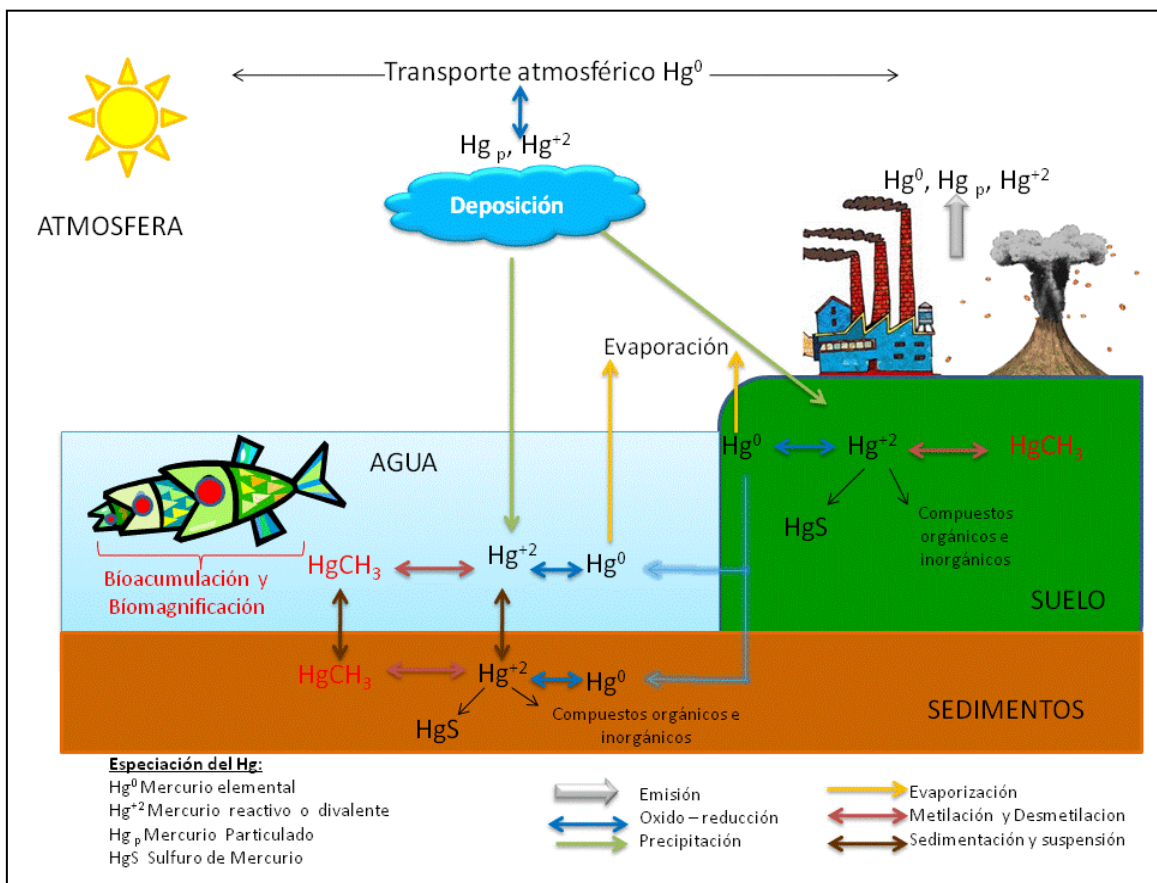


Figura 1: Ciclo del Mercurio.

Se hace evidente que el mercurio tiene una gran movilidad circular entre la atmosfera, el agua y la superficie terrestre, de esta manera se considera que los suelos superficiales de la tierra, las aguas y los

sedimentos de fondo son los principales depósitos biosféricos de mercurio, como se establece en la Evaluación Mundial sobre el mercurio del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNMUA.

4.2.1 **Especiación y movilidad del mercurio:** Como se evidencia en el ciclo del mercurio, este elemento sufre una serie de transformaciones que le permite movilizarse en los diferentes componentes hasta llegar a hacer parte de la cadena trófica, a estas transformaciones o formas de mercurio se le denomina especies, término que suele usarse para determinar la presencia de mercurio en los compuestos orgánicos o inorgánicos que forme, por lo que las principales especies del mercurio son el mercurio elemental y sus formas orgánicas e inorgánicas.

De esta manera diversos estudios han podido determinar que el vapor de mercurio elemental se transporta a escala hemisférica, mientras que el mercurio divalente se mueve en suelos y aguas de las proximidades de donde es liberado, creando así un ciclo local o regional.

a) En la **A**tmosfera, la especiación cumple una importante función de transporte de mercurio a largas distancias así como en los mecanismos de transferencia de masa con los otros componentes suelo y agua, ya que recibe el mercurio en fase gaseosa que se ve envuelto en procesos físicos como la adsorción en material particulado del aire y en procesos químicos de oxidación-reducción por la presencia de fase acuosa como gotitas de niebla o nubes y la presencia de oxígeno generando la transformación de mercurio elemental (Hg^0) a mercurio divalente (Hg^{+2}) que es el que finalmente se deposita en suelos o agua.

b) En el **A**gua, la transformación más importante que presenta el mercurio es la especie del Metilmercurio, que se forma por la presencia de procesos abióticos y bióticos mas la suma de condiciones específicas como temperatura, pH, potencial redox y la presencia de agentes complejantes orgánicos e inorgánicos. Los procesos bióticos hacen referencia a bacterias que aunque no usan como alimento el mercurio, es ingresado a su sistema por la adsorción del mismo en las partículas en suspensión del agua o sustancias orgánicas

disueltas y como herramienta de desintoxicación los microorganismos metilan el mercurio. Como resultado de este proceso biótico se genera el Metilmercurio que es liberado en el agua y bioacumulado en organismos vivos. El Dimetilmercurio que es evaporado e ingresado nuevamente a la atmosfera.

c) En el **S**uelo, las condiciones generalmente son favorables para formar compuestos orgánicos como inorgánicos, en general gran parte del mercurio que se encuentra en el suelo está unido a la materia orgánica, solo cuando esta unido a las primeras capas de suelo puede ser lixiviado por escorrentía. Por estas razones el mercurio tiene largo tiempo de permanencia en el suelo y su acumulación generará liberación por largos periodos de tiempo en flujos de agua cercanos.

4.2.2 Evidencia toxicológica:

Como se ha mencionado, el mercurio tiene efectos negativos comprobados en la salud del hombre, efectos que dependen tanto de la especie de mercurio como su forma y tiempo de contacto. Diversos bioensayos con animales y seguimientos ocupacionales pueden establecer los efectos que genera el mercurio, como se establece a continuación:

El Vapor de mercurio cuando ingresa al pulmón, atraviesa la membrana alveolar, pasa a la sangre e ingresa al cerebro y se deposita en tejidos, (se absorbe 80% de lo inhalado), ocasionando pérdida de memoria, falta de concentración, insomnio, temblores, infección renal y urinaria, excesiva salivación, anorexia, fiebre, anomalías cardíacas, Anemia, problemas digestivos, dolor abdominal, reacciones alérgicas y muerte. El Metilmercurio se ingiere con pescado o granos contaminados, ocasiona daño cerebral y a fetos entrando a la placenta. Se absorbe en menor proporción, un 10%, y ataca principalmente el cerebro, pulmones y riñón, como se describe en la Evaluación mundial sobre el mercurio del año 2002, realizada por el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR y OCDE.

A continuación se relaciona la vida media del mercurio en órganos y tejidos, datos comprobados por la Organización mundial de la Salud en el año 2004.

Tabla 14: Vida media del mercurio.

Forma de mercurio	Vida media en organismo	Vida media en órganos y tejidos.
Hg inorgánico	Mujeres: 29 a 41 días Hombres: 32 a 60 días	Sangre: 20 a 28 días
Hg elemental	35 a 90 días	Pulmón: 1.7 días Riñón: 64 días Cerebro : 1 año
Metilmercurio	110 a 190 días	Sangre: 70 días Cerebro: 240 días

Fuente: OMS, 2004

Cabe anotar que el presente trabajo centrará su evaluación en la exposición que se genera con Metilmercurio por ingestión de peces y con vapor de mercurio por inhalación ya que los muestreos recopilados bibliográficamente se han centrado en estas dos rutas y de lo que se discutirá en el siguiente capítulo.

4.2.3 **Mercurio elemental**: CASRN 7439-97-6, para el Sistema Integrado de Información de Riesgos (IRIS), de la EPA, no dispone en la actualidad de información para la Dosis de Referencia por exposición oral, mientras que por la Dosis de Referencia por inhalación está fijado en $3E^{-4}$ mg Hg/m³. De igual forma está clasificado como no cancerígeno para humanos (Clase D), sin que eso signifique que otras especies del mercurio lo sean.

Para el sistema de Información de la Evaluación de Riesgos (RAIS), establece como Dosis de Referencia Oral igual a $3E^{-4}$ mg/Kg- día.

4.2.4 **Metilmercurio**: CASRN 22967-92-6, en el IRIS presenta una dosis de Referencia Oral de $1E^{-4}$ mg/Kg- día, Dosis de referencia que fue estudiada en el Informe de estudios de Mercurio al congreso de los Estados Unidos en 1997, para la Dosis de Referencia en inhalación no cuenta con información disponible en la actualidad, y clasifica al Metilmercurio como posible cancerígeno humano (Clase C) sobre los datos de estudios realizados tanto en animales como seguimientos de personas expuestas, donde se evidencio mayor incidencia en tumores renales y la confirmación de genotoxicidad que presenta el Metilmercurio.

Para la RAIS caracteriza al Metilmercurio como un compuesto neurotóxico generando deterioro de funciones motoras y cognitivas en recién nacidos de madres que expuestas y comparte la misma Dosis de Referencia oral de IRIS.

3. Evaluación de exposición:

Este capítulo evalúa la exposición con el fin de estimar el tipo y magnitud del contacto que un ser humano pueda tener con el mercurio usado en la minería aurífera artesanal de Colombia, siguiendo los parámetros establecidos por la Agencia de medio ambiente de los Estados Unidos - EPA, en los capítulos de Asesoramiento en la Evaluación del Riesgo Ambiental - RAGS.

3.1 **Caracterización de los sitios de exposición:** Las características geográficas de cada uno de los 12 departamentos de mayor producción aurífera en Colombia incluidos para la evaluación de riesgos, fueron relacionadas en cada uno de sus numerales, aun así vale la pena recalcar que los departamentos están ubicados en inmediaciones de la cordillera de los andes que en Colombia se ramifica en tres vertientes la oriental, la central y la occidental bañadas por los ríos Magdalena y Cauca, gozan de unas características medio ambientales muy especiales ya que las cordilleras generan a lo largo del país diferentes pisos térmicos que van desde el nivel del mar hasta las nieves perpetuas, por lo tanto la diversidad biológica que se presenta en estas regiones es muy alta.

La minería ilegal en Colombia se genera por dos razones, una por que hace parte de su tradición cultural y la segunda porque las condiciones socioeconómicas a las que se ve expuesta la mayoría de la población son precarias, por lo tanto prima la necesidad de subsistencia sobre cualquier tipo de protección incluyendo la personal, problema que va de la mano con la baja escolarización y con territorios tan grandes que dificulta la vigilancia gubernamental.

3.2 **Poblaciones en riesgo:** Evidentemente la población relacionada a la explotación minera presentan una alta exposición con la manipulación del mercurio, dentro de esta población a las personas que hacen las quemadas de amalgamas en talleres que por lo general se ubican en el pueblo más cercano y que en la mayoría de las ocasiones no cuentan

con el equipamiento adecuado para reciclar el mercurio extendiendo el riesgo a los vecinos de los talleres donde se realiza la quema. Otra de las poblaciones en riesgo son las que consumen peces contaminados con Metilmercurio, podrán ser pescadores y sus familias o pueblos que basan su consumo de la pesca de ríos contaminados con mercurio. Este trabajo evaluará a estas poblaciones en condiciones adultas ya que se pudo evidenciar la ausencia de información que caracterice los hábitos de los menores de edad, sin duda se convertirá en una línea investigativa.

3.3 Rutas de Exposición: La capacidad de una sustancia para causar riesgo tiene dos componentes: la toxicidad de la sustancia involucrada y el grado de exposición que la población de interés tiene a esa sustancia. Si no existe exposición a una sustancia (contacto con ella), por más tóxica que ésta sea, no existe riesgo. La exposición se define por el contacto de una sustancia con el cuerpo (piel, orificios como la boca, fosas nasales) EPA, 1992, de esta manera este trabajo evaluará una exposición crónica, ya que las poblaciones mineras dedican más de 40 años en esta labor. La evaluación de la exposición es el proceso de medir o estimar la intensidad, frecuencia, ruta y duración de la exposición o la estimación de la exposición que pudiera ocurrir por la liberación al ambiente de sustancias tóxicas, McKone y Daniels, 1991; para este caso el mercurio, para lo cual se seguirán los siguientes pasos:

a) *Fuente origen y fuente principal:*

Fuente origen:	✓ Minería aurífera artesanal
Fuente principal:	✓ Amalgama oro-mercurio. ✓ Quema de amalgama. ✓ Derrames en la manipulación.

Tabla 15. Rutas de Exposición – Fuentes

Las fuentes principales, hacen referencia a los procesos mineros artesanales en los que se utiliza el mercurio, como recolector de partículas de oro.

b) *Mecanismos de liberación:*

		Mecanismos de liberación.
Fuente principal	✓ Amalgama oro-mercurio.	Escorrentía de aguas superficiales
	✓ Quema de amalgama.	Volatilización
	✓ Derrames en la manipulación.	Lixiviación

Tabla 16. Rutas de Exposición – Mecanismos.

La Escorrentía, la volatilización y la lixiviación son los mecanismos por los cuales el mercurio queda libre en el medio generando su ciclo local.

c) *Medios de transporte:*

<i>Mecanismos de liberación.</i>	Medios de Transporte
Escorrentía de aguas superficiales	✓ Lamina de agua ✓ Sedimentos ✓ Peces
Volatilización	Aire
Lixiviación	Suelo

Tabla 17. Rutas de Exposición – Medios

La movilidad del mercurio se genera en cuerpos de agua, su deposición en los sedimentos, y la interacción bacteriana permite la metilación del mercurio en la lamina del agua, de esta forma el Metilmercurio contenido en las bacterias puede ser consumido por el siguiente eslabón en la cadena, o ser excretado al agua donde puede ser fácilmente absorbido por el plancton, que a la vez puede ser alimento para especies de mayor rango en la cadena trófica (peces iliofagos que consumen materia orgánica contenida en sedimentos, peces detritívoros que se alimentan de los restos orgánicos de otros animales, peces fitoplanctonicos, peces carnívoros).

La movilidad en aire y suelo fue contemplada en el numeral 2.2.1 Especiación y movilidad del mercurio.

d) *Rutas de Exposición:*

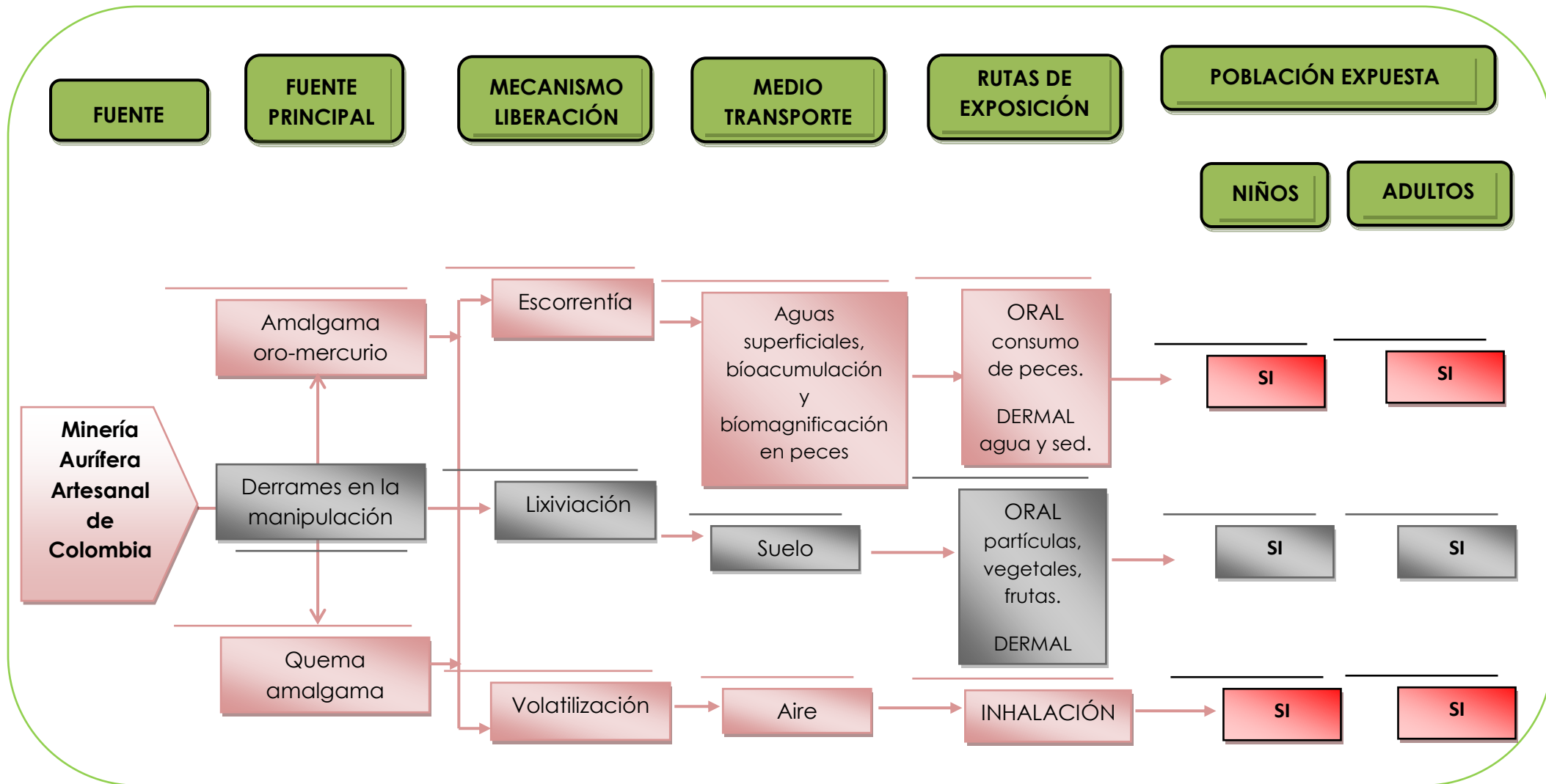
<i>Medios de Transporte</i>	Rutas de exposición
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lamina de agua ✓ Sedimentos ✓ Peces 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dermal ✓ Oral
Aire	Inhalación
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dermal ✓ Oral

Tabla 18. Rutas de Exposición - Rutas

Las rutas de exposición del mercurio con el hombre contempladas por el medio de transporte agua, hacen referencia a el contacto dermal que pueda tener una persona con el cuerpo de agua y sedimentos contaminados con mercurio. La exposición por el medio de transporte aire, hacen referencia a la inhalación de vapores de mercurio en la quema de la amalgama mercurio-oro. Y por ultimo por el medio de transporte suelo, indica el posible contacto dermal que una persona pueda tener con un suelo contaminado con mercurio, la exposición oral será la que tenga lugar por consumo de vegetales o plantas que crezcan en suelos contaminados.

De las anteriores posibles rutas de exposición, para este trabajo solo se contemplaran las concernientes al consumo de peces contaminados con Metilmercurio y la inhalación de vapores de mercurio en la quema de amalgamas, con exposición crónica, ya que la información bibliográfica de muestreos existentes a la fecha en Colombia ha sido enfocada en estos dos escenarios y no existen datos cuantitativos relacionados a las demás rutas ni a poblaciones menores de edad. Es de aclarar que esta selección no indica que no exista riesgo por las demás rutas de exposición expuestas, pero si será una de las incertidumbres del trabajo y una nueva ruta de investigación.

3.4 Modelo conceptual:



Evaluación probabilística de riesgos por exposición a mercurio en la minería aurífera artesanal de Colombia

3.5 Cuantificación de la exposición:

El objetivo de este numeral es cuantificar la magnitud, frecuencia y duración de la exposición de las rutas evaluadas en el numeral anterior, mediante un análisis de riesgos probabilístico. A continuación se describen las variables de las ecuaciones que se utilizaran en la evaluación del riesgo.

3.5.1. **Exposición oral** : Peces contaminados con Metilmercurio

- i. **Concentración de exposición:** Las concentraciones que a continuación se relacionan son el resultado de una búsqueda bibliográfica que se realizó de los diferentes muestreos que se han hecho en el país en los últimos años y se aclara que la variación en ellas depende específicamente de los lugares de tomas de muestras, de esta manera se pudo evidenciar que las concentraciones más altas pertenecen a zonas cercanas de explotación aurífera artesanal.

Departamento.	Concentraciones MeHg en peces (mg/Kg).	Referencias.
Antioquia	0.5 0.85 3.2 0.75 0.5 0.45 3.3	<ul style="list-style-type: none"> * Secretaria de productividad y competitividad de Antioquia DIAGNÓSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL EN EL DISTRITO MINERO SEGOVIA – REMEDIOS, 2006. * Mercurio, el nudo en Remedios y Segovia, 2008. * Unidad de planeación minero energética (UPME). ALTERACIONES NEUROCOMPORTAMENTALES EN PERSONAS EXPUESTAS A MERCURIO EN LA ACTIVIDAD MINERA DEL ORO EN EL MUNICIPIO DE SEGOVIA (ANTIOQUIA) 2005. * AGUDELO A. Comparación de las respuestas bioeléctricas de grupos de dos y cuatro ejemplares de <i>Carassius auratus</i>, sometidos a tres concentraciones subletales de mercurio. [Trabajo de grado] Medellín: Facultad de Ciencias, Universidad de Antioquia; 1991.
Santander	0.05 0.16 1.7 0.22	<ul style="list-style-type: none"> * Cala (2001) * Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia
Nariño	0.026 0.37 0.115	<ul style="list-style-type: none"> * GTZ/CORPONARIÑO/P-Consult. Mitigación de emisiones de mercurio en la pequeña minería aurífera de Nariño.

	0.83	Bogotá (Colombia); 1992.
Cauca	0.16 0.23 0.5 0.36	* Olivero et al. (2001) * Olivero y Solano (1998)
Caldas	0.03 0.12 0.8 0.4	* Gómez y Martínez (1993), * Gómez et al. (1995)
Guainía	0.17 0.43	* Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera de Guainía. 2001 * Cala (2001)
Vaupés	0.17 0.43	* Diagnostico, base de producción limpia y programa de capacitación en la explotación aurífera. 1998 * Cala (2001)
Quindío	0.2 0.3 0.65 0.43	* Gómez y Martínez (1993), * Gómez et al. (1995)
Bolívar	0.085 0.708 0.135 0.5 0.3 0.05 2.55 0.24 1.4 0.363 0.08 2.92 0.001	* Documentos sobre economía regional. La Mojana: riqueza natural y potencial económico. 2004 * Methylmercury contamination levels in "La Mojana", Año 2000. * Programa de desarrollo sostenible de la región de La Mojana" Colombia informe final de consultoría. 2002 * El Lado Gris de la minería del oro: contaminación con mercurio en el norte de Colombia, 2002.
Chocó	0.026 0.83 0.115 0.37 1.341	* Mosquera-Lozano et al. (2005) * Incidencia del mercurio por la explotación minera en algunas especies de peces en el río Condoto, Chocó-Colombia. 2008
Córdoba	0.13 0.277 0.315 0.33 0.401 2.8 0.504 0.423 0.346 0.288 0.261 0.184	* Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga del ayapel en Colombia. 2007 * Niveles totales de mercurio en peces del embalse de la hidroeléctrica de Urrá, Colombia. 2006 * ancera-Rodríguez, Álvarez-León Estado del conocimiento de las concentraciones de metales pesados en los peces dulceacuícolas de Colombia. 2007
Tolima	0.05 0.07 0.12 0.14 1.78 0.132 0.12 0.12 0.05	* Gómez y Martínez (1993), * Gómez et al. (1995) * Ruíz et al. (1996)

Tabla 19. Concentraciones de Metilmercurio en peces.

Como es evidente la serie de datos recopilada por departamentos es muy limitada, de esta manera la media aritmética de las concentraciones estadísticamente puede estar en cualquiera de estos valores, por lo tanto las referencias citadas se trabajaron como valores promedios y se seleccionaron estos valores de forma equiprobable sobre los datos iniciales. Naturalmente la distribución de la media deberá tener menor variabilidad que los datos reducidos que se pudo disponer para el presente trabajo. El haber utilizado estos datos como valores de la media nos sitúa en ámbito más desfavorable de exposición por lo tanto el tratamiento es de tipo conservador.

ii. **Tasa de consumo:** Los doce departamentos serán agrupados por consumo en Kilogramos de peces al día, estimación realizada por Eruch Gómez, FAO-2007, y Jesús Olivero, FAO-2002, para personas adultas ya que el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE, quien realiza los censos nacionales carece de esta información.

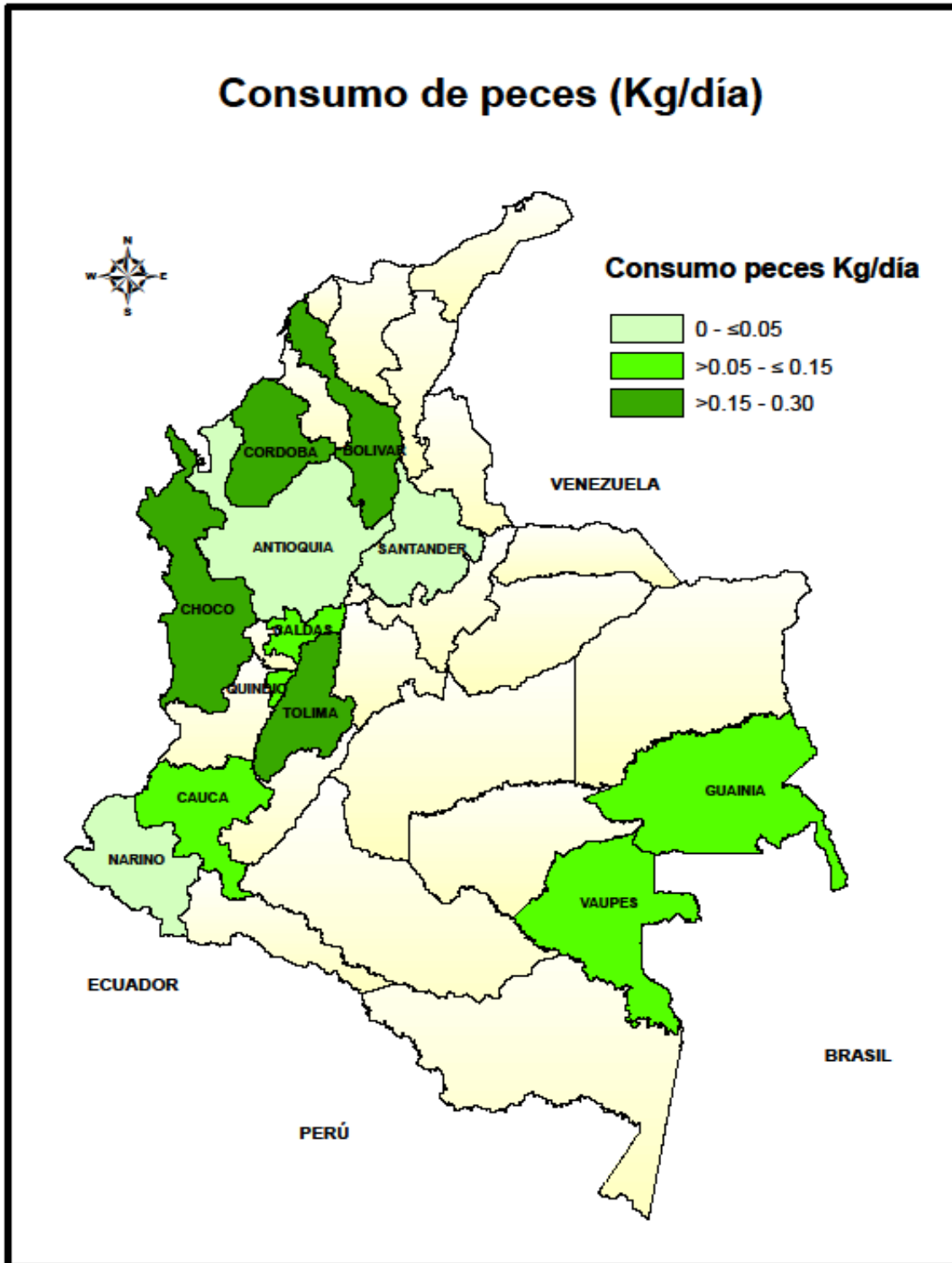
Clasificación	Departamentos	Rango de consumo Kg/día	Peces de mayor consumo
A	Antioquia	0 a 0.050	Bocachico, Doncella, carachaza, Mojarrita, Tilapia, Nicuro.*
	Santander		Bagre, Corvina, pez gato, Sabaleta, Nicuro.*
	Nariño		Corvina, pez gato, Carpa, Trucha.*
B	Cauca	0.050 a 0.150	Bocachico, Doncella, Arenca, Corvina, Bagre, Nicuro.*
	Caldas		Bagre, Bocachico, Nicuro, Sabaleta, Tilapia.*
	Guainía		Bocachico, Bagre, Mojarra amarilla, Doncella.*
	Vaupés		Mojarra amarilla, Bagre,

			arenca, Mohino.*
	Quindío		Bagre, mojarra amarilla, Bocachico.*
C	Bolívar	0.150 a 0.300	Doncella, Bocachico, Vizcaína, Arenca, Acara azul, Mojarra amarilla, Corvina, Picuda.*
	Chocó		Arenca, Doncella, Bocachico, Cuabina, Bagre, Corvina, Picuda.*
	Córdoba		Bocachico, Doncella, Mojarra amarilla, Corvina, Capaz, Moncholo.*
	Tolima		Bocachico, Bagre, Mojarra amarilla, Corvina, Capaz, Jacho, Moncholo.*

Tabla 20. Adultos Consumo de Peces

*Entre otros.

El Metilmercurio cuenta con en la actualidad (junio de 2010) con una dosis de referencia **RfD = 1E-4 mg/Kg- día., IRIS, EPA**



Mapa 14. Ratio de ingesta de peces Departamentos auríferos de Colombia.

- iii. **Ecuaciones exposición Oral:** En el capítulo 6 de la evaluación de riesgos RAGS parte A, de la EPA, en el anexo 6-17 determina la ecuación para

una exposición residencial por ingestión de peces contaminados, como se presenta a continuación:

$$\text{DOSIS (mg MeHg/kg *día)} = \frac{\text{CF *IR*FI*EF*ED}}{\text{BW*AT}}$$

Ecuación 1. Dosis de consumo

Donde:

CF: Concentración de Metilmercurio en el pez. (mg/kg).

IR: Tasa de ingesta de peces. (Kg/día).

FI: Fracción de ingesta de la vía contaminada. (Sin unidades).

Las variables EF y ED se utilizan para estimar el tiempo total de la exposición, por lo que son datos específicos para cada evaluación de riesgo, y sus unidades son:

EF: Frecuencia de exposición.(Días/año).

ED: Frecuencia de Duración. (Años).

BW: Peso corporal medio durante el tiempo de exposición. (kg)

AT: Tiempo medio de exposición en función de la toxicidad del mercurio. (Días)

Valores utilizados		Fuente
CF	Distribución uniforme de las concentraciones recopiladas bibliográficamente por departamento con el programa R, que es un sistema de análisis estadísticos y gráficos. La distribución se realizó en 100mil valores.	Citadas en la bibliografía.
IR	Como se citó el consumo varía entre 0 a 0.050Kg/día, 0.050 a 0.150 Kg/día y de 0.150 a 0.30 Kg/día. Con el programa R, se realizó una distribución uniforme entre los rangos de consumo.	Gómez, FAO-2007, y Jesús Olivero, FAO-2002
FI	=1. Sin unidades.	Exposure Factors USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03)
EF	= 350 días/año. Según la revisión bibliográfica se pudo	Proyecto mercurio 2.

	establecer que gran parte de los mineros que están organizados tienen 15 días de vacaciones en el año mientras que los mineros que trabajan por su cuenta no realizan vacaciones programadas, valor que coincide con el que la EPA establece como estándar para la frecuencia de exposición.	ONU Exposure Factors, USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03).
ED	= 50 años. (Adulto). La esperanza de vida para Colombia según la OMS es de 75 años, para la determinación de la duración de la exposición por riesgo sistémico se redondea el valor de la diferencia de esta con la mayoría de edad que es de 18 años, valor y estimación que coincide con la EPA.	Informe Estadístico sobre la Salud en el Mundo de la OMS, 2009. Esperanza de vida en Colombia. Exposure Factors, USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03) Exposure Factors Handbook, USEPA 1997.
BW	= 72 Kg (Adulto).	Arístizabal y Restrepo, 2007. Evaluación de la composición corporal de adultos sanos por antropometría en Colombia.
AT	= 365 días*ED.	RAGS(Part A), USEPA 1989 (EPA/540/1-89/002)

Tabla 21. Factores Dosis de Ingesta.

Para la caracterización del riesgo por consumo de peces se empleará la ecuación de cociente de peligrosidad para compuestos no cancerígenos, del RAGS A, capítulo 8, de la EPA, de la siguiente manera:

$$HI = \frac{\text{Dosis}}{RfD}$$

Ecuación 2. Caracterización del riesgo

Donde:

HI: Cociente de peligrosidad, Adimensional.

Dosis: de consumo, mg MeHg/kg *día.

RfD: Valor de toxicidad por consumo de Metilmercurio, (mg/kg*día).

iv. **Calculo de las dosis suministradas por Ingesta de peces y caracterización del Riesgo:** Para la determinación de las dosis por esta vía, se utilizo el programa estadístico R de la siguiente manera:

"EVALUACION DE RIESGOS POR INGESTA DE PECES CON MeHG"

"ECUACIÓN INGESTA: DOSIS (I)=CF*IR*FI*EF*ED/(BW*AT)"

"I= DOSIS"

"CF= CONCENTRACION MeHg EN PEZ"

"IR= TASA DE INGESTA DE PECES"

"FI= FRACCION DE INGESTA"

"EF= FRECUENCIA DE EXPOSICIÓN"

"ED= FRECUENCIA DE DURACIÓN"

"BW= PESO MEDIO CORPORAL"

"AT= TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN"

IF<-1

EF<-350

ED<-50

BW<-72

AT<-(365*ED)

RfD<-1e-04

a<-file.choose()

b<-read.csv2(a,h=T)

summary(b)

	ANTIOQUIA(mg/Kg)	SANTANDER(mg/Kg)	NARIÑO(mg/Kg)
Min.	0.450	0.0500	0.02600
1st Qu.	0.500	0.1325	0.09275
Median	0.750	0.1900	0.24250
Mean	1.364	0.5325	0.33525
3rd Qu.	2.025	0.5900	0.48500
Max.	3.300	1.7000	0.83000

	CAUCA(mg/Kg)	CALDAS(mg/Kg)	GUAÍNIA(mg/Kg)	VAUPES(mg/Kg)	QUINDIO(mg/Kg)
Min.	0.1600	0.0300	0.170	0.170	0.2000
1st Qu.	0.2125	0.0975	0.235	0.235	0.2750
Median	0.2950	0.2600	0.300	0.300	0.3650
Mean	0.3125	0.3375	0.300	0.300	0.3575
3rd Qu.	0.3950	0.5000	0.365	0.365	0.4475
Max.	0.5000	0.8000	0.430	0.430	0.5000

	BOLIVAR(mg/Kg)	CHOCO(mg/Kg)	CORDOBA(mg/Kg)	TOLIMA(mg/Kg)
Min.	0.0010	0.0260	0.1300	0.0500
1st Qu.	0.0850	0.1150	0.2730	0.0700
Median	0.3000	0.3700	0.3225	0.1200
Mean	0.7178	0.5364	0.5216	0.2869
3rd Qu.	0.7080	0.8300	0.4065	0.1320
Max.	2.9200	1.3410	2.8000	1.7800

attach(b)

★ **Antioquia (ant)**

lant<-numeric()

for (i in 1:100000){

lant [i]<-sample(ANTIOQUIA[!is.na(ANTIOQUIA)],1)*runif(1,0,0.050)* IF*EF*ED/(BW*AT)}

summary(lant)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
2.774e-09	1.237e-04	2.496e-04	4.543e-04	4.800e-04	2.197e-03

Hlant<- lant/RfD

summary(Hlant)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
2.774e-05	1.237	2.496	4.543	4.800	21.97

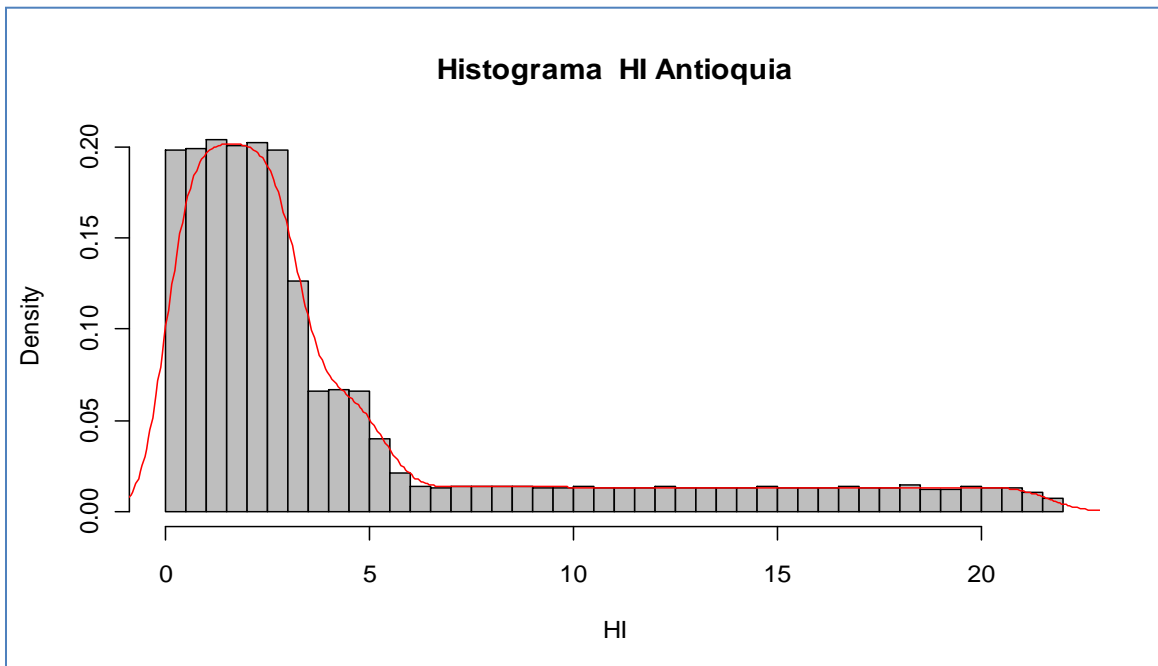
quantile(Hlant,0.95)

17.80896

length(Hlant [Hlant>1])/length(Hlant)

0.79818

```
hist(HIant,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Antioquia",xlab="HI",col="grey")  
lines(density(HIant,bw=0.5),col="red")
```



SOLO EL 20.19% DE LOS DATOS SON MENORES O IGUALES A 1, YA QUE DESDE ANTES DEL PRIMER CUARTIL DE LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Santander** (*sant*)

```
Isant<-numeric()  
for (i in 1:100000){  
Isant[i]<-sample(SANTANDER[!is.na(SANTANDER)],1)*runif(1,0,0.050)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

summary(Isant)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
4.733e-10	2.128e-05	5.872e-05	1.769e-04	1.295e-04	1.132e-03

HI<- Isant/RfD

summary(HI)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
4.733e-06	2.128e-01	5.872e-01	1.769	1.295	11.32

quantile(HI,0.95)

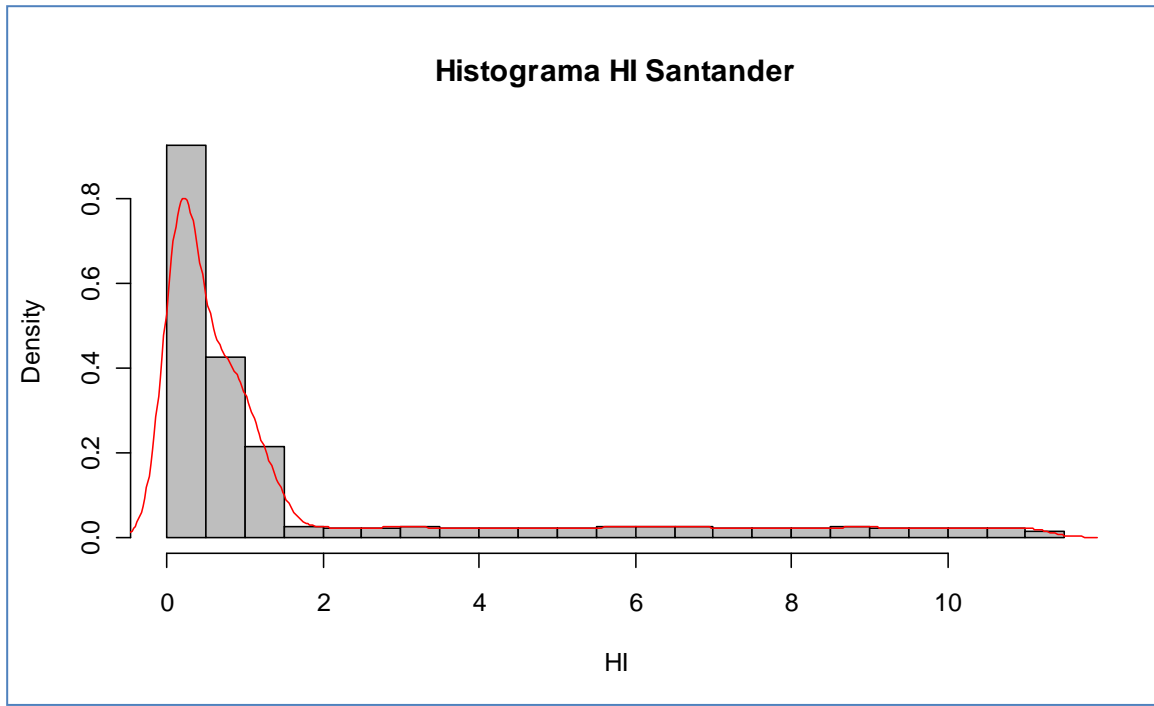
9.01765


```
length(HI[HI>1])/length(HI)
```

```
0.32163
```

```
hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Santander",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.2),col="red")
```



EL 67.84% DE LOS DATOS SON MENORES O IGUALES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE ANTES DEL TERCER CUARTIL DE LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Nariño** (*nar*)

```
Inar<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
Inar[i]<-sample(NARIÑO[!is.na(NARIÑO)],1)*runif(1,0,0.050)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(Inar)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.007e-10	1.304e-05	5.304e-05	1.118e-04	1.708e-04	5.527e-04

HI<- Inar/RfD

summary(HI)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.007e-06	1.304e-01	5.304e-01	1.118	1.708	5.527

quantile(HI,0.95)

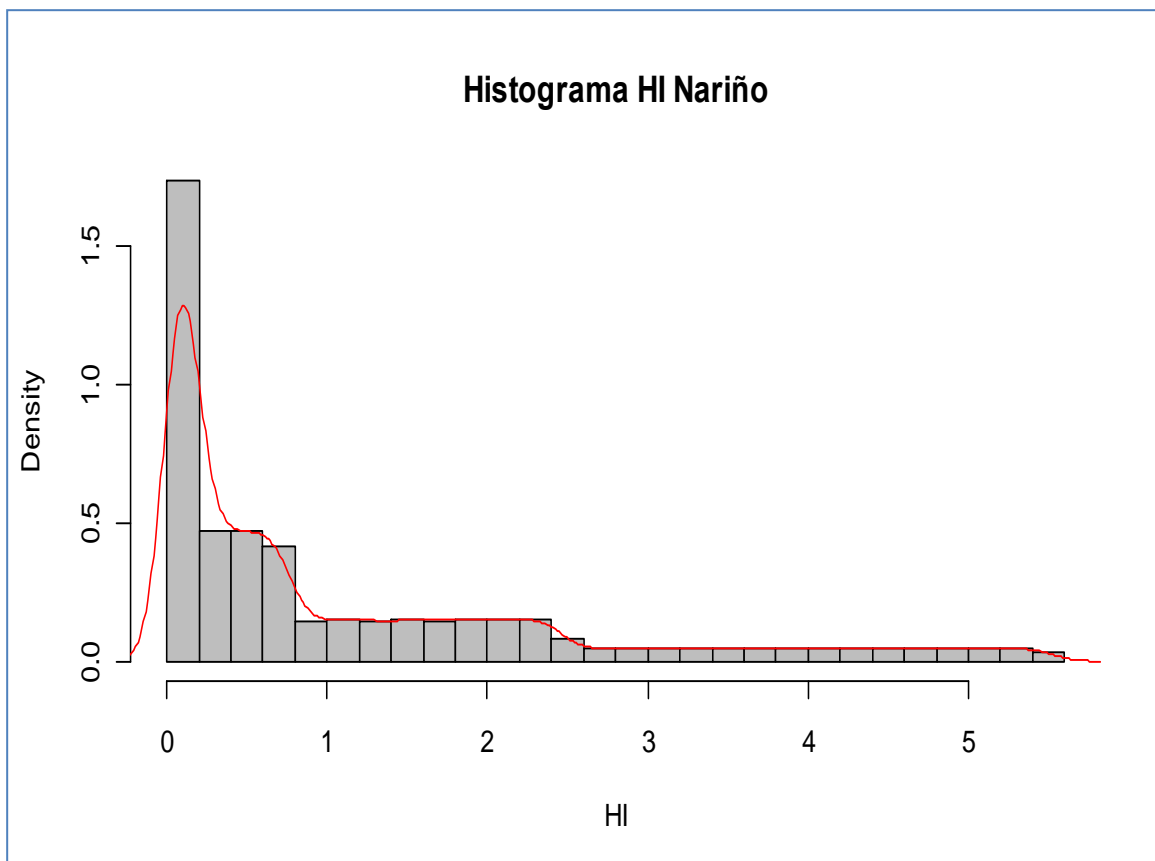
4.416675

length(HI[HI>1])/length(HI)

0.35326

hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Nariño",xlab="HI",col="grey")

lines(density(HI,bw=0.1),col="red")



EL 64.9% DE LOS DATOS SON MENORES O IGUALES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE ANTES DEL TERCER CUARTIL DE LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ *Cauca (cau)*

lcau<-numeric()

```
for (i in 1:100000){
```

```
lcau[i]<-sample(CAUCA[!is.na(CAUCA)],1)*runif(1,0.050,0.15)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(lcau)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0001065	0.0002494	0.0003641	0.0004168	0.0005585	0.0009988

```
HI<-lcau/RfD
```

```
summary(HI)
```

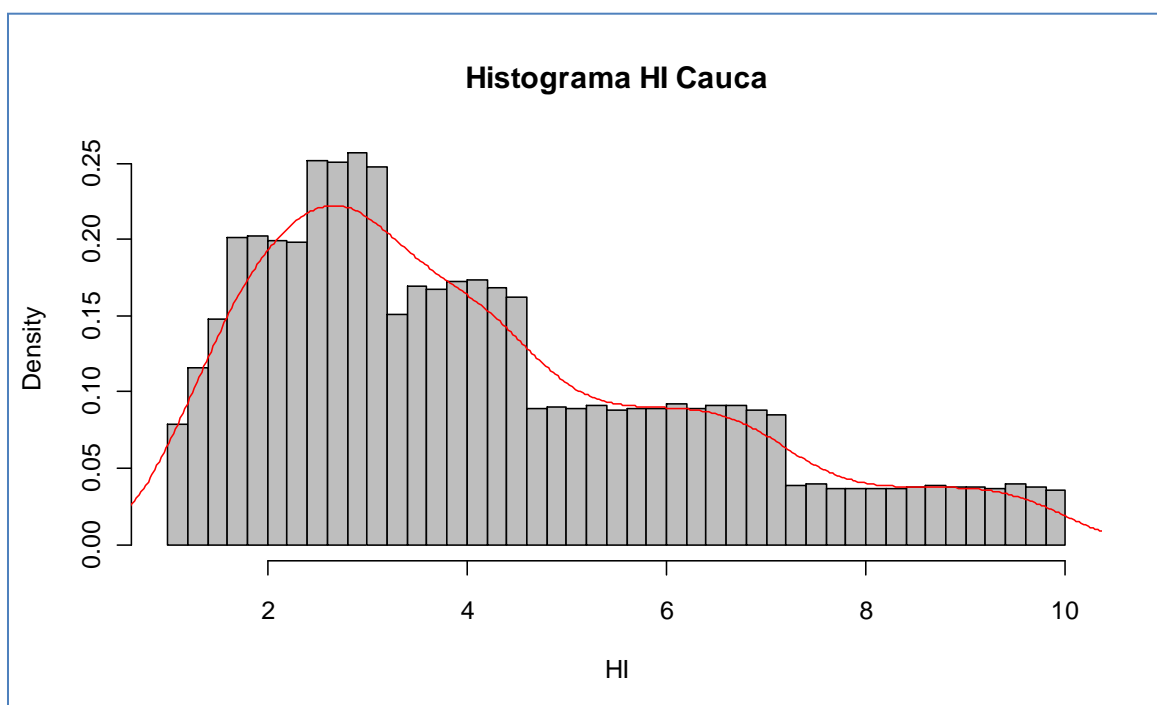
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.065	2.494	3.641	4.168	5.585	9.988

```
quantile(HI,0.95)
```

```
8.670192
```

```
hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Cauca",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.5),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE EL VALOR MINIMO DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Caldas (cal)**

```
lcal<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
lcal[i]<-sample(CALDAS[!is.na(CALDAS)],1)*runif(1,0.050,0.15)*IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

summary(lcal)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.998e-05	8.161e-05	2.706e-04	4.526e-04	7.135e-04	1.598e-03

```
HI<-lcal/RfD
```

summary(HI)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.1998	0.8161	2.7060	4.5260	7.1350	15.9800

```
quantile(HI,0.95)
```

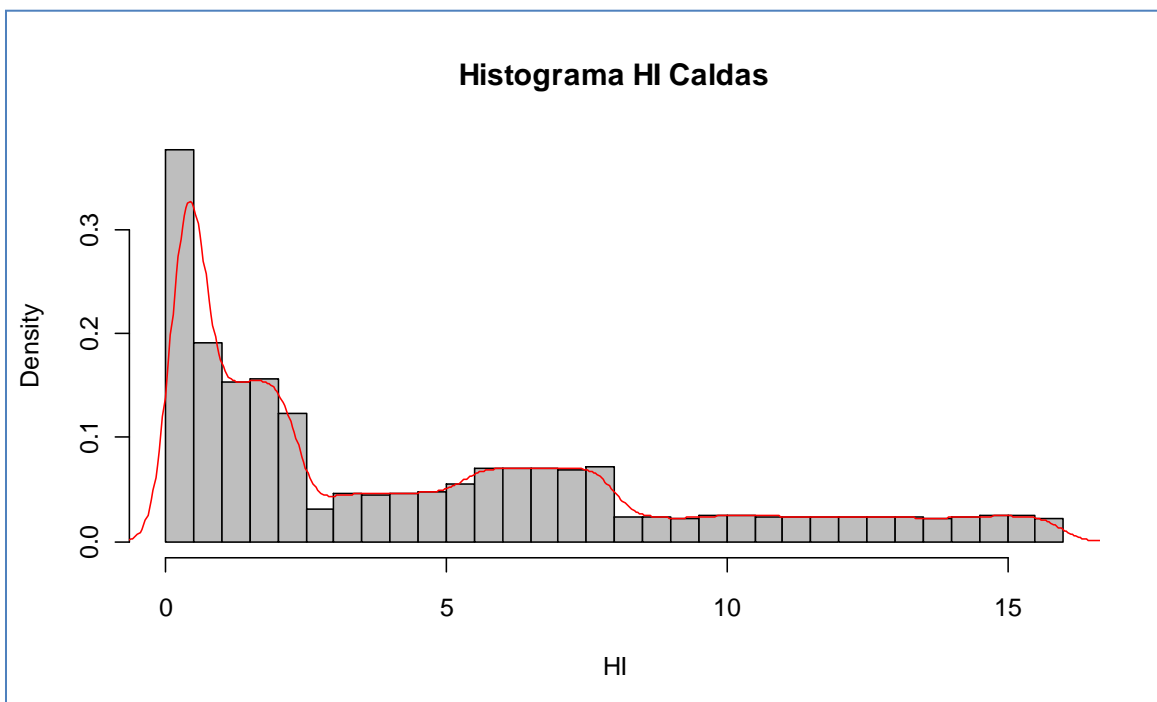
13.89611

```
length(HI[HI>1])/length(HI)
```

0.72096

```
hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Caldas",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.3),col="red")
```



EL 27.91% DE LOS DATOS SON MENORES O IGUALES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE ANTES DE LA MEDIANA DE LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Guainia** (*gua*)

```
lgua<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
lgua[i]<-sample(GUAINIA[!is.na(GUAINIA)],1)*runif(1,0.050,0.15)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(lgua)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0001132	0.0002274	0.0003250	0.0004008	0.0005752	0.0008590

```
HI<-lgua/RfD
```

```
summary(HI)
```

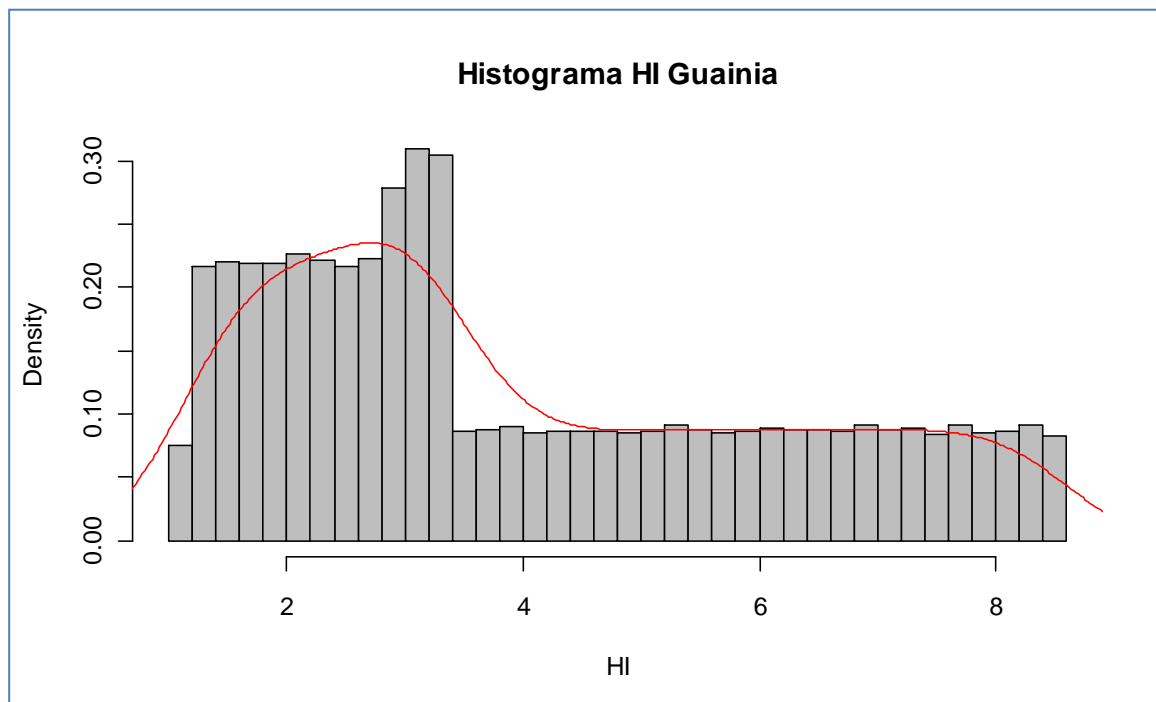
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.132	2.274	3.250	4.008	5.752	8.590

```
quantile(HI,0.95)
```

```
8.021851
```

```
hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Guainia",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.5),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE EL VALOR MINIMO DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Vaupés (vau)**

```
lvau<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
lvau[i]<-sample(VAUPES[!is.na(VAUPES)],1)*runif(1,0.050,0.15)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(lvau)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0001132	0.0002278	0.0003262	0.0004009	0.0005730	0.0008590

```
HI<-lvau/RfD
```

```
summary(HI)
```

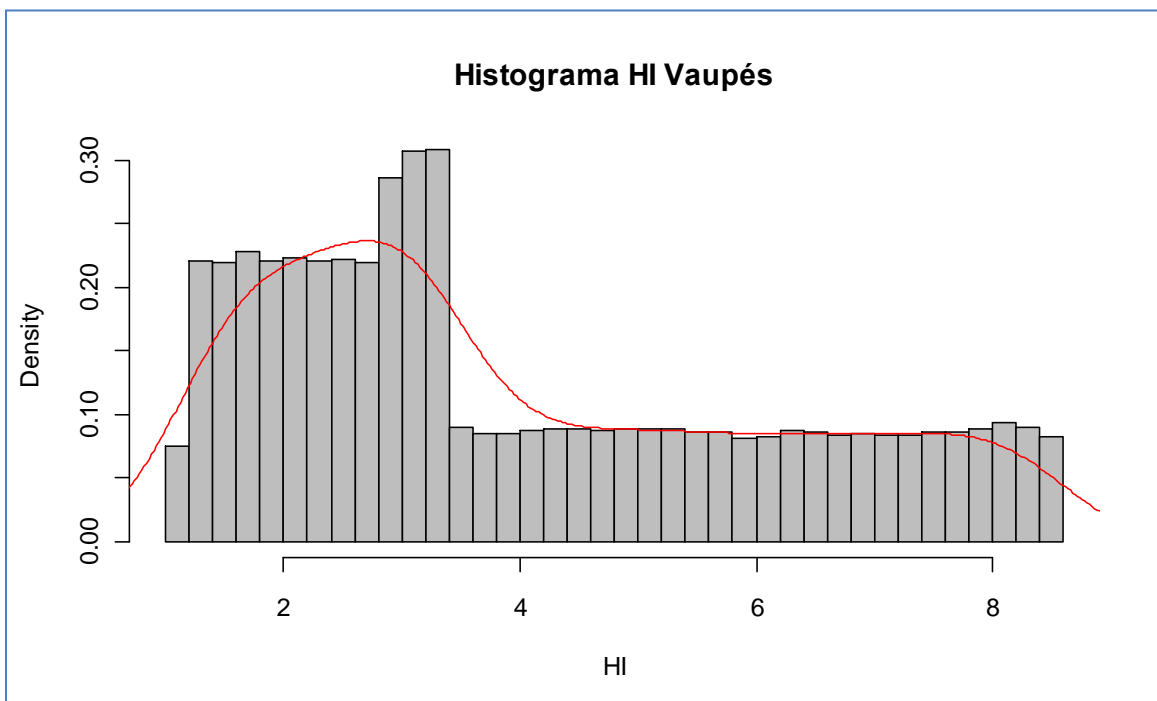
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.132	2.278	3.262	4.009	5.730	8.590

```
quantile(HI,0.95)
```

```
8.020684
```

```
hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Vaupés",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.5),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE EL VALOR MINIMO DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Quindío** (*qui*)

```
lqui<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
lqui[i]<-sample(QUINDIO[!is.na(QUINDIO)],1)*runif(1,0.050,0.15)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(lqui)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0001332	0.0003115	0.0004325	0.0004750	0.0006137	0.0009989

```
HI<-lqui/RfD
```

```
summary(HI)
```

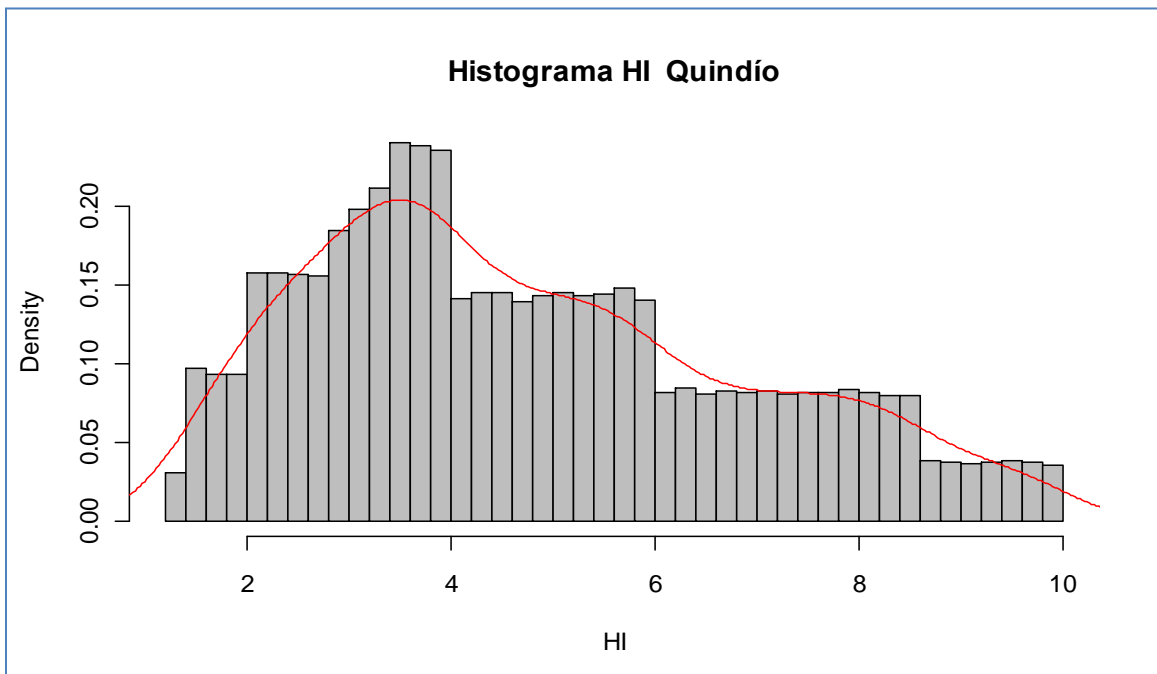
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.332	3.115	4.325	4.750	6.137	9.989

```
quantile(HI,0.95)
```

8.642023

```
hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Quindío",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.5),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE EL VALOR MINIMO DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Bolivar** (*bol*)

```
lbol<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
lbol[i]<-sample(BOLIVAR[!is.na(BOLIVAR)],1)*runif(1,0.15,0.30)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(lbol)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.998e-06	2.675e-04	8.778e-04	2.140e-03	2.464e-03	1.167e-02

```
HI<-lbol/RfD
```

```
summary(HI)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.019	2.675	8.778	21.400	24.640	116.700

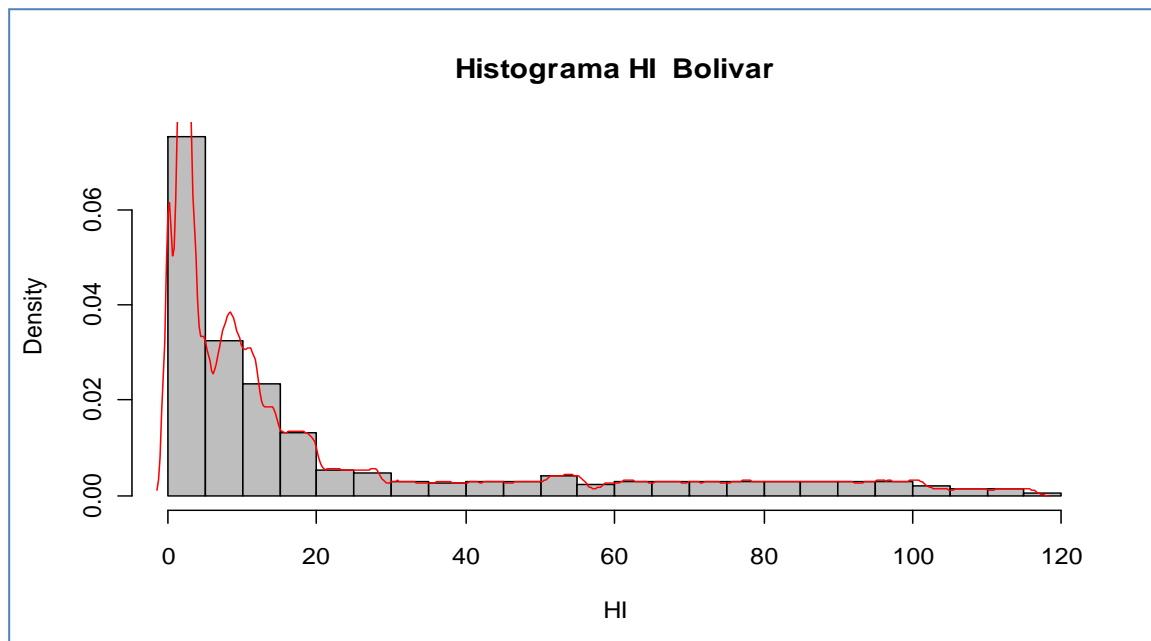
```
quantile(HI,0.95)
```

```
90.53496 length(HI[HI>1])/length(HI)
```

```
0.92324
```

```
hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Bolivar",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.5),col="red")
```



EL 7.68% DE LOS DATOS, SON MENORES O IGUALES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE ANTES DEL PRIMER CUARTIL DE LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Chocó** (cho)

```
lcho<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
lcho[i]<-sample(CHOCO[!is.na(CHOCO)],1)*runif(1,0.15,0.30)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(lcho)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
5.194e-05	2.874e-04	1.117e-03	1.611e-03	2.825e-03	5.358e-03

```
HI<-lcho/RfD
```

```
summary(HI)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.5194	2.874	11.170	16.110	28.250	53.580

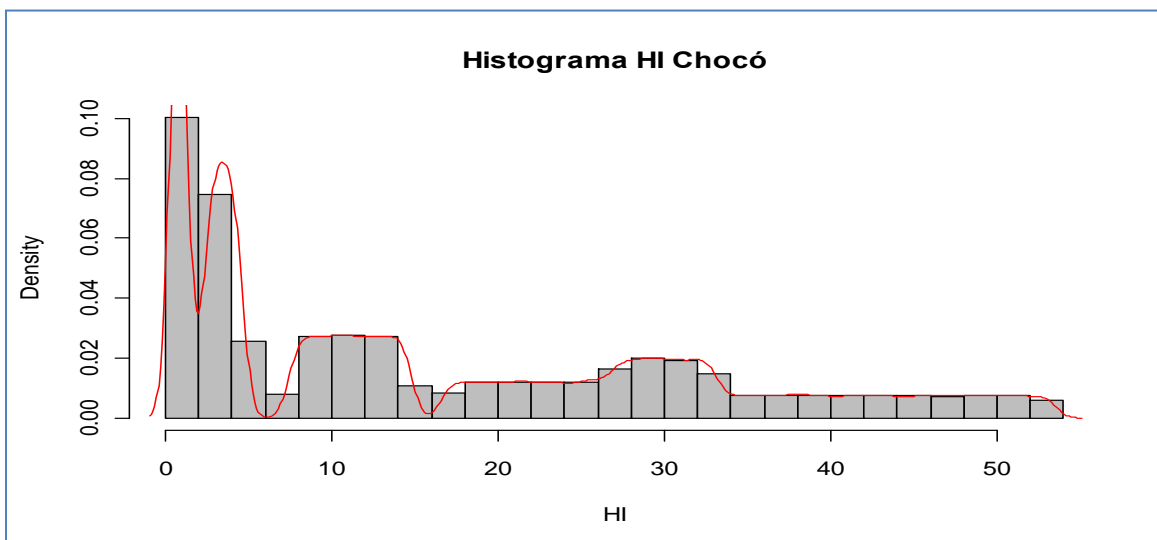
```
quantile(HI,0.95)
```

```
46.94948 length(HI[HI>1])/length(HI)
```

```
0.81627
```

```
hist(HI,prob=T,breaks=25,main="Histograma HI Chocó",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.5),col="red")
```



EL 18.38% DE LOS DATOS, SON MENORES O IGUALES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE ANTES DEL PRIMER CUARTIL DE LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ *Córdoba(cor)*

```
lcor<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
lcor[i]<-sample(CORDOBA[!is.na(CORDOBA)],1)*runif(1,0.15,0.30)* IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(lcor)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0002597	0.0007063	0.0009641	0.0015650	0.0012540	0.0111900

```
HI<-lcor/RfD
```

```
summary(HI)
```

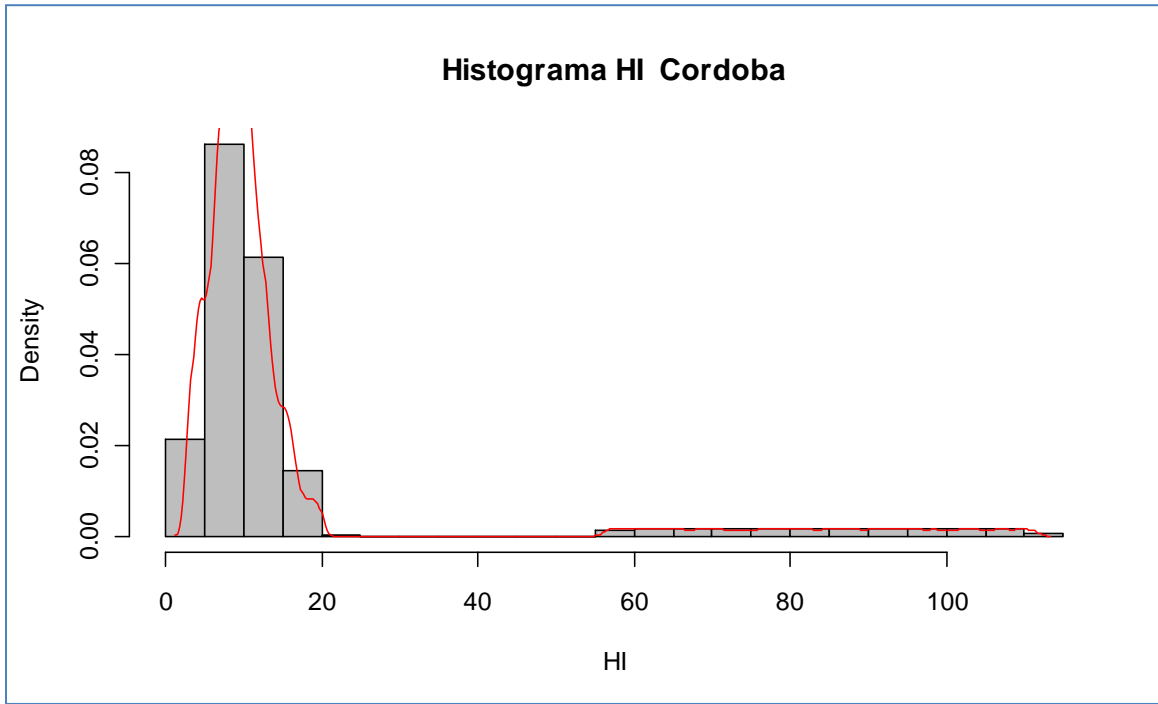
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
2.597	7.063	9.641	15.650	12.540	111.900

```
quantile(HI,0.95)
```

```
78.35724
```

```
hist(HI,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Cordoba",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.5),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE EL VALOR MINIMO DE DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Tolima** (*tol*)

```
Itol<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
Itol[i]<-sample(TOLIMA[!is.na(TOLIMA)],1)*runif(1,0.15,0.30)*IF*EF*ED/(BW*AT)}
```

```
summary(Itol)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
9.989e-05	1.934e-04	3.268e-04	8.625e-04	4.407e-04	7.112e-03

```
HI<-Itol/RfD
```

```
summary(HI)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.998	1.934	3.268	8.625	4.407	71.120

```
quantile(HI,0.95)
```

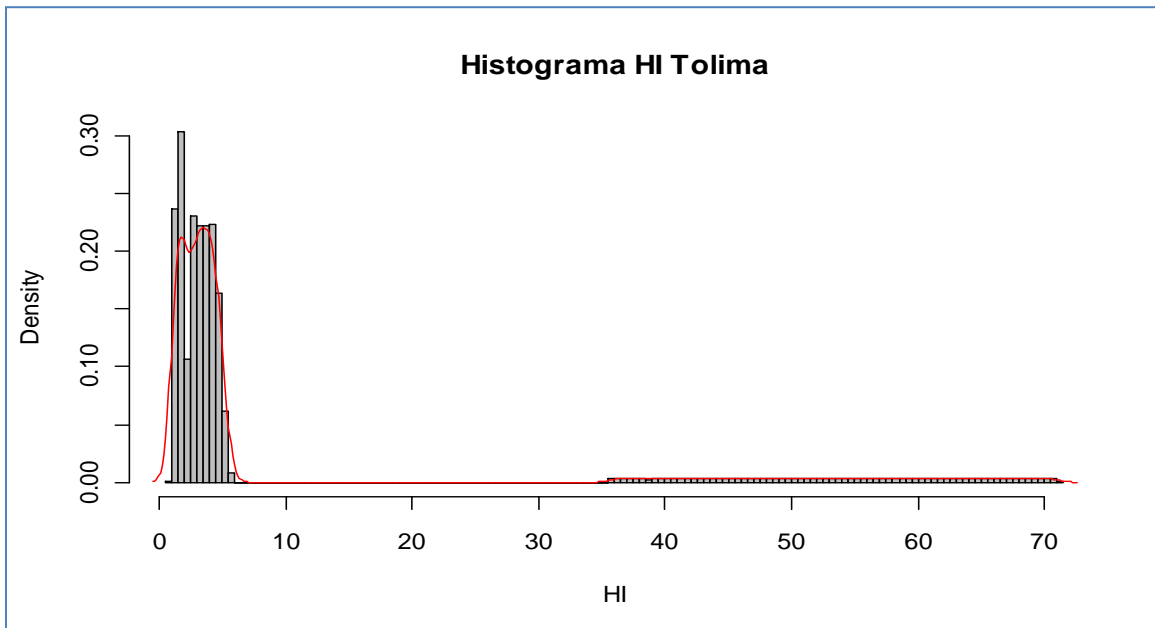
```
56.12576
```

```
length(HI[HI>1])/length(HI)
```

```
0.99977
```

```
hist(HI,prob=T,breaks=235,main="Histograma HI Tolima",xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HI,bw=0.5),col="red")
```



EL 99.97% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE ANTES DEL PRIMER CUARTIL DE LA DISTRIBUCIÓN UNIFORME REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

En general se evidencia que las graficas obtenidas demuestran el comportamiento de los datos originales disponibles.

3.5.2 Exposición por inhalación: En el capítulo 3 de la evaluación de riesgos RAGS parte F, de la EPA, presenta las rutas para la caracterización del riesgo por inhalación de contaminantes, de esta manera para la evaluación de riesgos que tiene como objeto este trabajo se realizara en dos aspectos uno ocupacional para un trabajador que está expuesto a jornadas laborales de 8 horas de lunes a sábado y su presencia en un segundo escenario en sus horas de descanso de 16 horas al día por 6 días de la semana más el día de descanso, exposición determinada por la Secretaria de productividad y competitividad de Antioquia en su Diagnostico para la implementación de sistemas de gestión ambiental, 2006. Por lo tanto se determinará con la Ecuación 2, la sumatoria de la exposición en los dos escenarios como microambientes.

El fin de evaluar estos microambientes (Talleres y calles) se realiza con el objetivo de determinar el riesgo sistémico al que puede estar expuesto una persona que trabaje en la minería artesanal de oro, pero que también vive en municipios donde se realizan las quemas de las amalgamas y que en sus aires se encuentra vapor de mercurio.

De igual forma se pretende realizar la evaluación exposición para las personas residentes de las poblaciones donde se midió la concentración de mercurio en el aire.

i. **Concentración de exposición**: las concentraciones de vapor de mercurio que a continuación se relacionan son parte del Proyecto Mercurio en Colombia por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial -ONUDI-, en la zona de mayor influencia aurífera del país en los municipios de Remedios, Segovia, Zaragoza, Caucasia del departamento de Antioquia, de igual forma se relacionan muestreos de la Corporación autónoma regional de Antioquia en el municipios de El Bagre.

Zaragoza Talleres	Zaragoza Calle
0,0025	0,00004
0,005	0,001
0,006	0,0008
	0,00005
	0,003
	0,002
	0,001
	0,0009

Caucasia Talleres	Caucasia Calles
0,01	0,00003
0,02	0,004
	0,005
	0,00004
	0,005

Bagre Talleres	Bagre Calle
0,019	0,012
0,02	0,009
0,023	0,009
0,027	0,004
0,03	0,01
0,021	0,008
0,045	0,004
0,049	0,006
0,004	0,004
0,013	0,004
0,006	0,004
0,017	0,0004
0,009	0,007
0,063	0,01
0,006	0,005
0,016	0,011
0,008	0,006
0,012	0,006
0,007	0,0011
0,018	0,009
0,012	0,011
0,158	
0,006	
0,014	
0,008	
0,021	
0,165	
0,004	
0,027	
0,18	

CONCENTRACIONES EN mg/m³

Remedios Talleres	Remedios Calle
0,005	0,00001
0,06	0,00002
0,143	0,00003
0,239	0,00004
0,435	0,005
0,203	0,00002
0,171	0,00003
0,011	0,005
0,024	0,008
0,054	0,01
0,021	0,00005
0,013	0,00009
0,065	0,001
0,082	0,002
0,119	0,003
0,1	0,012
0,054	0,004
0,068	0,003
0,288	0
0,017	0
0,013	0
0,021	0
0,601	0
0,336	0
0,081	0
0,052	0,013
0,013	0,016
0,009	0,004
0,238	0,011
0,027	0,008
0,04	0,014
0,151	0,006
0,429	0,009
0,115	0
0,38	0,01
0,253	0,004
0,494	0,004
0,356	0,005

0,215	0,215
0,643	0,643
0,643	0,643
0,652	0,652
0,189	0,189
0,136	0,136
0,118	0,118
0,084	0,084
0,123	0,123
0,107	0,107
0,09	0,09
0,258	0,258
0,411	0,411
0,448	0,448
0,589	0,589
0,447	0,447
0,195	0,195
0,131	0,131
0,199	0,199
0,032	0,032
0,033	0,033
0,025	0,025
0,098	0,098
0,027	0,027
0,276	0,276
0,114	0,114
0,057	0,057
0,178	0,178
0,107	0,107
0,079	0,079
0,052	0,052
0,038	0,038
0,048	0,048
0,043	0,043
0,032	0,032
0,039	0,039
0,037	0,037
0,032	0,032
0,033	0,033

0,328	0,011
0,263	0,005
0,127	0
0,051	0,008
0,058	0,006
0,052	0,004
0,083	0
0,043	0,004
0,035	0,007
0,033	0,004
0,026	0,003
0,126	
0,049	
0,039	
0,073	
0,068	
0,039	
0,113	
0,094	
0,191	
0,073	
0,127	
0,147	
0,261	
0,405	
0,207	
0,156	
0,297	
0,083	
0,131	
0,135	
0,159	
0,116	
0,098	
0,151	
0,117	
0,144	
0,15	
0,205	
0,232	
0,355	
0,247	
0,093	
0,093	
0,078	
0,104	
0,112	

0,035	0,035
0,029	0,029
0,04	0,04
0,039	0,039
0,074	0,074
0,036	0,036
0,25	
0,058	
0,073	
0,043	
0,073	
0,437	
0,175	
0,08	
0,08	
0,087	
0,083	
0,127	
0,045	

0,122	
Segovia Talleres	Segovia Calle
0,015	0,063
0,08	0
0,943	0,079
0,02	0,005
0,04	0,004
0,06	0,003
0,1	0,004
0,616	0,003
0,02	0
0,03	0
0,033	0
0,023	0,009
0,044	0,017
0,081	0,005
0,102	0,007
0,161	0,006
0,183	0
0,17	0
0,141	0,046
0,205	0
0,208	0
0,212	0
0,429	0
0,128	0
0,147	0
0,059	0,003
0,052	0,004
0,058	0,007
0,085	0
0,127	0
0,104	0
0,146	0
0,167	0,056
0,152	0,007
0,241	0,142
0,262	0,02
0,156	0,127
0,036	0,052
0,235	0,008
0,081	0,004
0,072	0,014
0,118	0
0,066	0,006
0,645	0
0,191	0

0,553	0,013
0,435	0
0,271	0,014
0,136	0
0,166	0
0,683	0,0001
0,307	0,0005
0,228	0,005
0,22	0,0002
0,174	0,005
0,194	0,0005
0,251	0,001
0,358	0,012
0,434	0,004
0,486	0,003
0,348	0
0,424	0
0,144	0
0,088	0
0	0
0,008	0
0,999	0
0,048	0,013
0,061	0,016
0,084	0,004
0,058	0,011
0,056	0,008
0,049	0,014
0,049	0,006
0,067	0,009
0,089	0
0,078	0,01
0,098	0,004
0,072	0,004
0,044	0,005
0,049	0,011
0,068	0,005
0,09	0
0,174	0,008
0,194	0,006
0,247	0,004
0,285	0,005
0,375	0
0,377	0
0,202	0,003
0,275	0,0004

0,126	0,005
0,134	0,007
0,389	0,004
0,216	0,011
0,179	0,012
0,213	0,01
0,251	0,004
0,235	0,006
0,276	0
0,219	0,005
0,221	0,005
0,181	0,007
0,193	0,007
0,167	0,005
0,182	0,005
0,252	0
0,177	0,003
0,851	0,004
0,335	0,006
0,286	0
0,318	0
0,336	0
0,336	0,004
0,28	0
0,39	0,004
0,16	0
0,368	0,004
0,54	0,004
0,558	0,004
0,17	0
0,135	0,003
0,13	0
0,218	0,008
0,204	0,004
0,147	0,005
0,135	0,005
0,321	0,005
0,257	0,008
0,098	0
0,136	0
0,102	0,004
0,075	0,007
0,239	0,004
0,058	
0,051	
0,055	
0,061	

0,378	0,005
0,026	0,003
0,029	0,004
0,04	0,0003
0,051	0,01
0,053	0,0009
0,062	0,0008
0,041	0,0007
0,035	0,003
0,026	0,002
0,038	
0,048	
0,108	
0,8	
0,083	
0,058	
0,141	
0,128	
0,13	
0,153	
0,313	
0,218	
0,208	
0,187	
0,202	
0,232	
0,197	
0,156	
0,284	
0,264	
0,253	
0,251	
0,217	
0,194	
0,203	
0,18	
0,169	
0,2	
0,186	
0,33	
0,201	
0,181	
0,023	
0,06	
0,08	
0,063	
0,105	

0,437	
0,158	
0,059	
0,056	
0,076	
0,078	
0,088	
0,085	
0,253	
0,256	
0,494	
0,532	
0,289	
0,101	
0,01	
0,009	
0,014	
0,019	
0,01	
0,009	
0,01	
0,012	
0,019	
0,007	
0,106	
0,107	
0,138	
0,022	
0,085	
0,064	
0,024	
0,061	
0,042	
0,049	
0,032	
0,047	
0,046	
0,058	
0,059	
0,037	
0,068	
0,043	
0,043	
0,084	
0,071	
0,075	
0,127	

0,122	
0,118	
0,115	
0,115	
0,115	
0,055	
0,142	
0,052	
0,083	
0,048	
0,141	
0,069	
0,072	
0,074	
0,044	
0,127	
0,129	
0,136	
0,146	
0,148	
0,221	
0,174	
0,146	
0,227	
0,14	
0,134	
0,125	
0,16	
0,103	
0,036	
0,072	
0,043	
0,053	
0,066	
0,042	
0,082	
0,061	
0,065	
0,06	
0,101	
0,119	
0,045	
0,004	
0,01	
0,357	
0,999	
0,428	

0,11	
0,081	
0,367	
0,156	
0,125	
0,126	
0,098	
0,155	
0,131	
0,999	
0,051	
0,143	
0,179	
0,16	
0,191	
0,282	
0,211	
0,265	
0,727	
0,717	
0,999	
0,124	
0,047	
0,151	
0,306	
0,221	
0,322	
0,999	
0,007	
0,127	
0,045	
0,004	
0,01	
0,357	
0,999	
0,428	
0,483	
0,389	
0,398	
0,003	
0,031	
0,029	
0,217	
0,005	
0,127	
0,016	
0,037	

0,483	
0,389	
0,398	
0,42	
0,421	
0,428	
0,472	
0,434	
0,355	
0,278	
0,053	
0,015	
0,12	
0,204	
0,103	
0,168	
0,132	
0,238	
0,612	
0,519	
0,129	
0,24	
0,075	
0,122	
0,087	
0,073	
0,131	
0,092	
0,093	
0,2	
0,378	
0,397	
0,139	
0,281	
0,999	
0,537	
0,099	
0,024	
0,05	

0,038	
0,095	
0,058	
0,435	
0,037	
0,162	
0,028	
0,062	
0,016	
0,04	
0,008	
0,013	
0,017	
0,045	
0,032	

tabla 22. Concentraciones de vapor de mercurio en el departamento de Antioquia.

De acuerdo a los informes de la ONUDI las mediciones se realizaron con dos espectrómetros portátiles el LUMEX y Jerome.

Al igual que los datos del Metilmercurio, la serie de datos de vapor de mercurio es limitada, por esta razón el tratamiento estadístico será el mismo, utilizándolos como valores promedios y aplicando una distribución uniforme, con el programa Statistics R, seleccionando estos valores de forma equiprobable.

Naturalmente la distribución de la media deberá tener menor variabilidad que los datos dispone esta sección. Como en la anterior evaluación el haber utilizado estos datos como valores de la media nos sitúa en ámbito más desfavorable de exposición por lo tanto el tratamiento es de tipo conservador.

ii. **Ecuación Dosis de inhalación para trabajadores mineros:** En el capítulo 3 de la caracterización de la exposición RAGS parte F, de la EPA, determina la para determinar la exposición de vapores en diferentes ambientes promediando el tiempo en cada uno de las atmosferas en que se mueva el individuo y en el capítulo 5 determina la estimación del riesgo por lo que unificando las dos ecuaciones se tendría la Ecuación No 2 que es con la que se trabajara , así:

$$EC \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{\sum (CA * ET * EF) * ED}{AT}$$

Ecuación 3. Concentración de exposición.

Donde:

EC: Concentración de exposición, mg/m³.

CA: Concentración de mercurio en aire en taller y calle, (mg/m³).

ET: Tiempo de exposición en taller y calle, (Horas/día).

EF: Frecuencia de exposición en taller, en la calle se asume los días laborales en que está en la calle mas el día festivo), (Días/año).

ED: Duración de la exposición, (años).

AT: Tiempo medio de exposición, (ED *365 días/año* 24 horas/día).

Valores utilizados		Fuente
CA	Distribución uniforme realizada con el programa estadístico R	Citadas en la bibliografía.
ET	Taller: 8 horas diarias. Calle: 16 horas diarias Hace referencia a las horas que pasa un individuo en los dos ambientes estudiados: Taller y Calle, según la fuente bibliográfica.	Secretaria de productividad y competitividad de Antioquia en su Diagnostico para la implementación de sistemas de gestión ambiental, 2006
EF	En Taller, días laborales 6 a la semana, total al año de 312 días, menos 12 días laborales de vacaciones. = 300 días/año. En calle, 6 días a la semana más el día festivo, serian al año 312 días más los domingos de descanso 52. Menos vacaciones, con el supuesto que salen del municipio en sus vacaciones. =350 días/año.	Secretaria de productividad y competitividad de Antioquia en su Diagnostico para la implementación de sistemas de gestión ambiental, 2006
ED	= 45 años Tiempo medio desarrollando la actividad.	Guevara Arizmendi , et al, 2009, PERFIL HEMATOLÓGICO DE LOS TRABAJADORES DE LA MINERÍA DEL ORO EXPUESTOS A VAPORES DE MERCURIO METÁLICO EN EL MUNICIPIO DE AMALFI - ANTIOQUIA
AT	= ED *365 días/año* 24 horas/día	Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human

		Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment). 2003
--	--	---

Tabla 23. Factores concentración de exposición.

Para la caracterización del riesgo se empleara la ecuación que el RAGS F, capítulo 5 de la EPA, ver ecuación 4.

$$HI = \frac{EC}{RfC}$$

Ecuación 4. Caracterización del riesgo

Donde:

HI: Coeficiente de riesgo, adimensional.

EC: Concentración de exposición, mg/m³.

RfC: Valor de toxicidad por inhalación, para un escenario de exposición crónica. (mg/m³).

Como es sabido para todas las rutas de exposición, existen dos enfoques para derivar los factores de toxicidad, uno de ellos implica la derivación de un valor de referencia, que para efectos de nuestros objetivos se refiere al RfC, y el otro consiste en derivar un cálculo que determine el riesgo para elementos y compuestos cancerígenos, este no es el caso del mercurio. Para la vía de inhalación, estos enfoques se basan en la Metodología de la Dosimetría para Inhalación de la EPA mediante la extrapolación de concentraciones experimentales en bioensayos o en concentraciones ocupacionales. El resultado de los valores toxicológicos por inhalación han sido determinados por diferentes modelos farmacocinéticos y ajustes dosimétricos de animales a humanos identificando los organismos más sensibles a la exposición, estos procedimientos son realizados por el departamento de química de IRIS, por los toxicólogos evaluadores de riesgos por inhalación del Centro Norteamericano de Medio Ambiente (NCEA'S) y por el Centro de Soporte Técnico de riesgo a la Salud de Estados

Unidos (STSC), es por esta razón que para la determinación del riesgo por inhalación en la minería artesanal de Colombia se usara el RfC que IRIS

presenta en su listado toxicológico, para el mes de julio de 2010..

iii. **C**alculo de las dosis suministradas por inhalación y caracterización del Riesgo para trabajadores minería:

"Evaluación de Riesgo por inhalación de vapor de Mercurio"

$$"EC= (CA*ET*EF)TALLER+(CA*ET*EF)CALLE)*ED/AT"$$

$$ET_{TII} < 8/24$$

$$EF_{TII} < 300$$

$$ET_{CII} < 16/24$$

$$EF_{CII} < 350$$

$$ED < 45$$

$$AT < -(ED*365*24)$$

"Caracterización del riesgo"

$$"HI=EC/RfC"$$

$$RfC < 3E-4$$

a<-file.choose()

b<-read.csv2(a)

summary(b)

	Remedios.Talleres	Remedios.Calle
Min. :	0.0050	0.000e+00
1st Qu.:	0.0485	0.000e+00
Median :	0.1000	4.000e-03
Mean :	0.1476	4.024e-03
3rd Qu.:	0.1930	6.000e-03
Max. :	0.6520	1.600e-02

	Caucasia.Talleres	Caucasia.Calles
Min. :	0.0100	3.000e-05
1st Qu.:	0.0125	4.000e-05
Median :	0.0150	4.000e-03
Mean :	0.0150	2.814e-03
3rd Qu.:	0.0175	5.000e-03
Max. :	0.0200	5.000e-03

	Zaragoza.Talleres	Zaragoza.Calle
Min. :	2.50e-03	4.000e-05
1st Qu.:	3.75e-03	6.125e-04

	Segovia.Talleres	Segovia.Calle
Min. :	0.000e+00	0.000e+00
1st Qu.:	0.0590	0.000e+00

Median :	5.00e-03	9.500e-04
Mean :	4.50e-03	1.099e-03
3rd Qu.:	5.50e-03	1.250e-03
Max. :	6.00e-03	3.000e-03

Median :	0.1290	4.000e-03
Mean :	0.1829	7.633e-03
3rd Qu.:	0.2280	6.750e-03
Max. :	0.9990	1.420e-01

	Bagre.Talleres	Bagre .Calle
Min. :	4.00e-03	4.00e-04
1st Qu.:	8.25e-03	4.00e-03
Median :	1.75e-02	6.00e-03
Mean :	3.36e-02	6.69e-03
3rd Qu.:	2.70e-02	9.00e-03
Max. :	1.80e-01	1.20e-02

★ **Remedios (Reme)**

```
Remedios.Talleres<-b$Remedios.Talleres [!is.na(b$Remedios.Talleres )]
```

```
Remedios.Calle<-b$Remedios.Calle[!is.na(b$Remedios.Calle)]
```

```
ECReme<-numeric()
```

```
for(i in 1:100000){
```

```
ECReme[i]<-
```

```
((mean(sample((Remedios.Talleres),length(Remedios.Talleres),replace=T))*(ETtll)*(EFtll))+
(mean(sample((Remedios.Calle),length(Remedios.Calle),replace=T))*(ETcll)*(EFcll)))*(ED)/(AT) }
```

```
summary(ECReme)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.001241	0.001700	0.001789	0.001792	0.001881	0.002410

```
HIReme<-ECReme/RfC
```

```
summary(HIReme)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
4.135	5.668	5.964	5.975	6.271	8.034

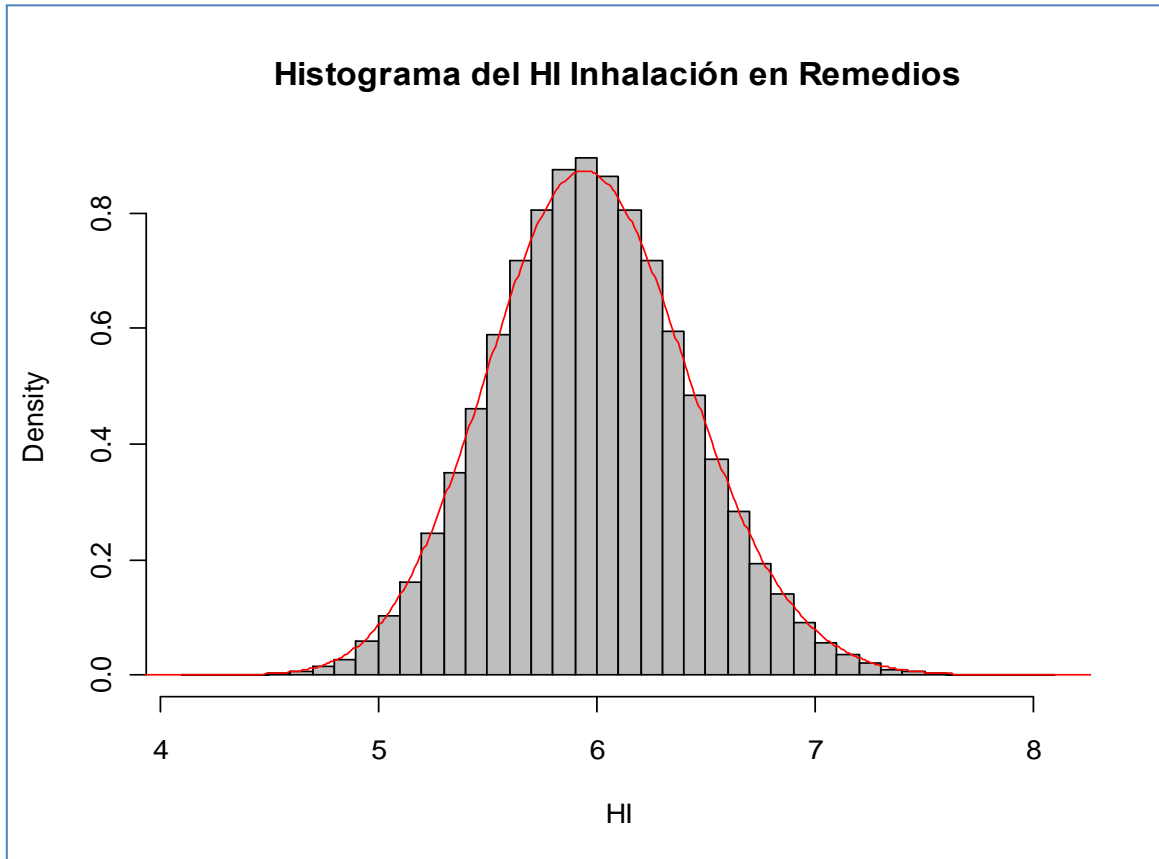
```
quantile(HIReme,0.95)
```

95%

6.728157

```
hist(HIReme,prob=T,breaks=35,main="Histograma del HI Inhalación en Remedios",
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HIReme,bw=0.1),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE EL VALOR MINIMO DE DISTRIBUCIÓN REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Segovia**(Sego)

```
Segovia.Talleres<-b$Segovia.Talleres
```

```
Segovia.Calle<-b$Segovia.Calle[!is.na(b$Segovia.Calle)]
```

```
ECSego<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
ECSego[i]<-
```

```
((mean(sample((Segovia.Talleres),length(Segovia.Talleres),replace=T))*(ETtll)*(EFtll))+
(mean(sample((Segovia.Calle),length(Segovia.Calle),replace=T))*(ETcll)*(EFcll)))*(ED)/(AT))
```

```
summary(ECSego)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.001786	0.002210	0.002288	0.002291	0.002369	0.002886

```
HISeگو<-ECSeگو/RfC
```

```
summary(HISeگو)
```

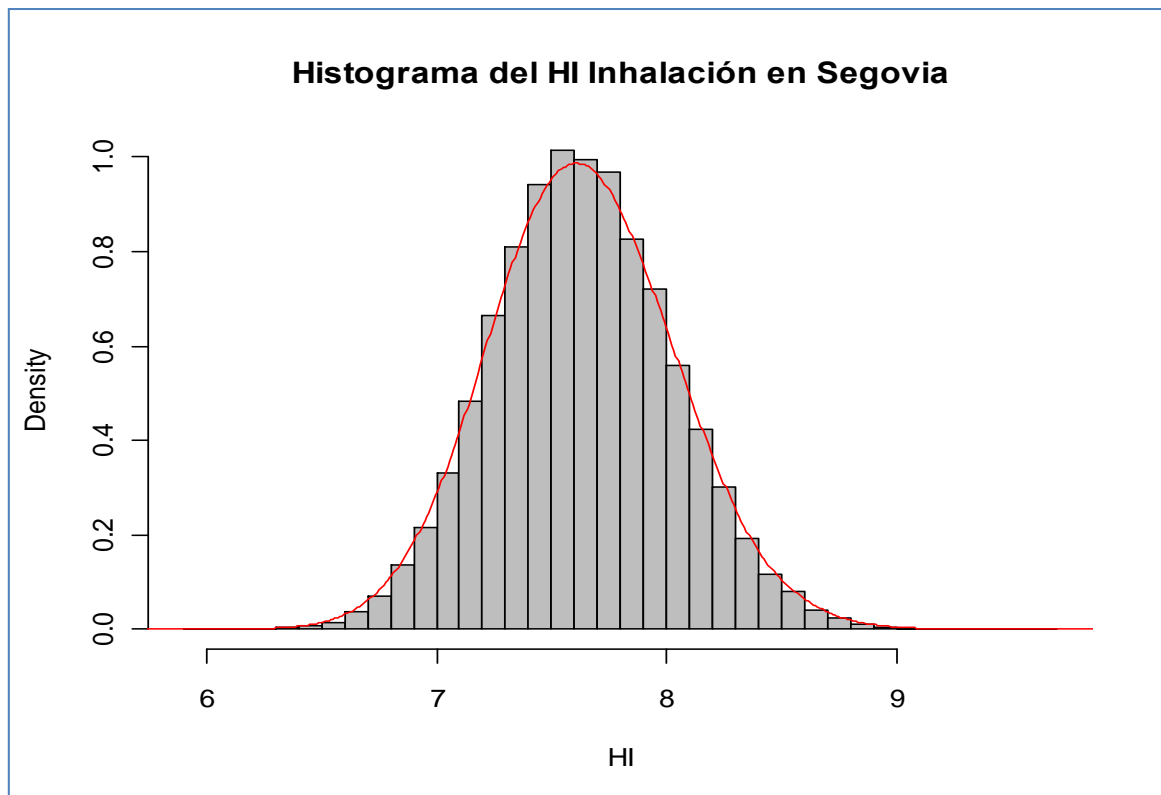
Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
5.955	7.367	7.627	7.636	7.897	9.618

```
quantile(HISeگو,0.95)
```

```
8.28933
```

```
hist(HISeگو,prob=T, breaks=35,main="Histograma del HI Inhalación en Segovia",  
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HISeگو,bw=0.1),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, SE EVIDENCIA QUE DESDE EL VALOR MINIMO DE DISTRIBUCIÓN REALIZADA LOS VALORES SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Zaragoza** (Zara).

```
Zaragoza.Talleres<-b$Zaragoza.Talleres [!is.na(b$Zaragoza.Talleres )]
```

```
Zaragoza.Calle<-b$Zaragoza.Calle[!is.na(b$Zaragoza.Calle)]
```

```
ECZara<-numeric()
```

```
for(i in 1:100000){
```

```
ECZara[i]<-
(sample(Zaragoza.Talleres,1)*(ETtII)*(EFtII)+sample(Segovia.Calle,1)*(ETcII)*(EFcII))*(ED)/(AT)}
```

```
summary(ECZara)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
2.854e-05	6.849e-05	1.484e-04	2.555e-04	2.283e-04	3.851e-03

```
HIZara<-ECZara/RfC
```

```
summary(HIZara)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.09513	0.22830	0.49470	0.85180	0.76100	12.84000

```
quantile(HIZara,0.95)
```

95%

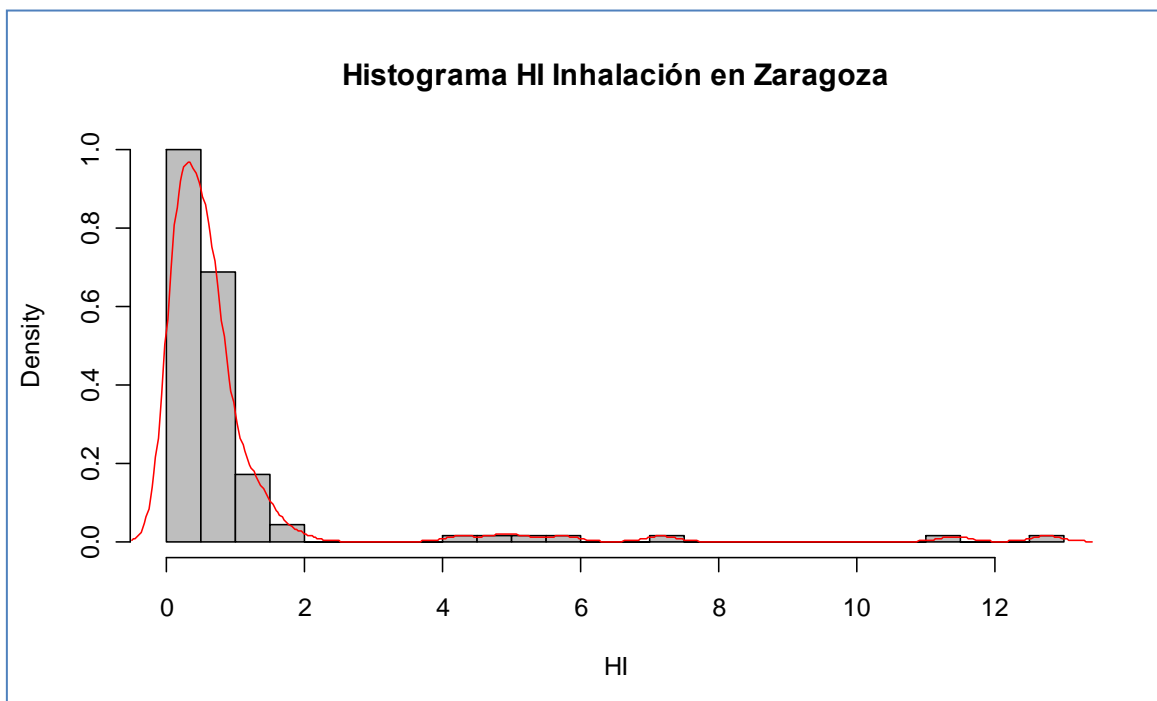
2.004059

```
length(HIZara[HIZara1])/length(HIZara)
```

0.15654

```
hist(HIZara,prob=T, breaks=35,main="Histograma HI Inhalación en Zaragoza",
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HIZara,bw=0.2),col="red")
```



EL 15.65% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, TENIENDO QUE EN LA DISTRIBUCION REALIZADA EL 84.35% NO SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **C**ucasia (Cauc).

```
Caucasia.Talleres<-b$Caucasia.Talleres [!is.na(b$Caucasia.Talleres )]
```

```
Caucasia.Calle<-b$Caucasia.Calles[!is.na(b$Caucasia.Calles)]
```

```
ECCauc<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
ECCauc[i]<-
```

```
(sample(Caucasia.Talleres,1)*(ETtll)*(EFtll)+sample(Caucasia.Calle,1)*(ETcll)*(EFcll))*(ED)/(AT) }
```

```
summary(ECCauc)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.0001150	0.0002207	0.0002473	0.0002458	0.0003349	0.0003615

```
HICauc<-ECCauc/RfC
```

```
summary(HICauc)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.3832	0.7357	0.8245	0.8192	1.1160	1.2050

```
quantile(HICauc,0.95)
```

```
95%
```

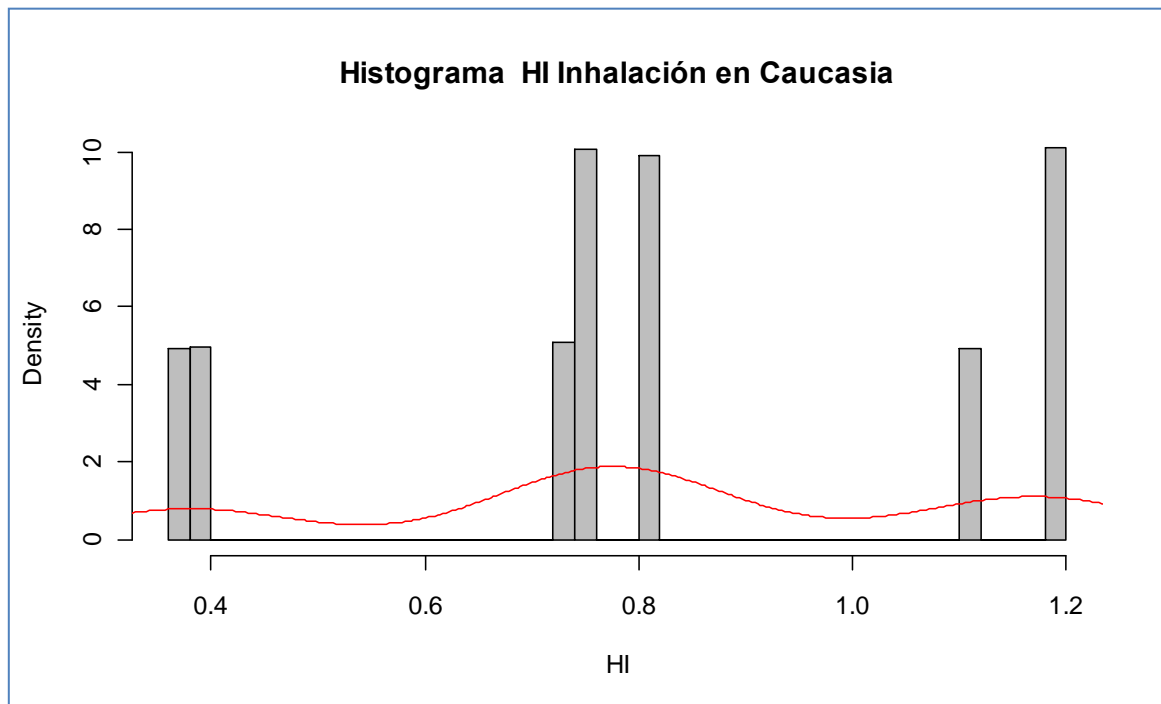
```
1.204972
```

```
length(HICauc[HICauc1])/length(HICauc)
```

```
0.2989146
```

```
hist(HICauc,prob=T, breaks=35,main="Histograma HI Inhalación en Caucasia",  
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HICauc,bw=0.1),col="red")
```



EL 29.89% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, TENIENDO QUE EN LA DISTRIBUCION REALIZADA EL 70.11% NO SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **B**agre(Bagre)

```
Bagre.Talleres<-b$Bagre.Talleres[!is.na(b$Bagre.Talleres)]
```

```
Bagre.Calle<-b$Bagre.Calle[!is.na(b$Bagre.Calle)]
```

```
ECBagre<-numeric()
```

```
for(i in 1:100000){
```

```
ECBagre[i]<-
```

```
(sample(Bagre.Talleres,1)*(ETtll)*(Eftll)+sample(Bagre.Calle,1)*(ETcll)*(EFcll))*(ED)/(AT) }
```

```
summary(ECBagre)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
5.632e-05	2.816e-04	3.767e-04	5.619e-04	5.327e-04	2.374e-03

```
HIBagre<-ECBagre/RfC
```

```
summary(HIBagre)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.1877	0.9386	1.2560	1.8730	1.7760	7.9150

```
quantile(HIBagre,0.95)
```

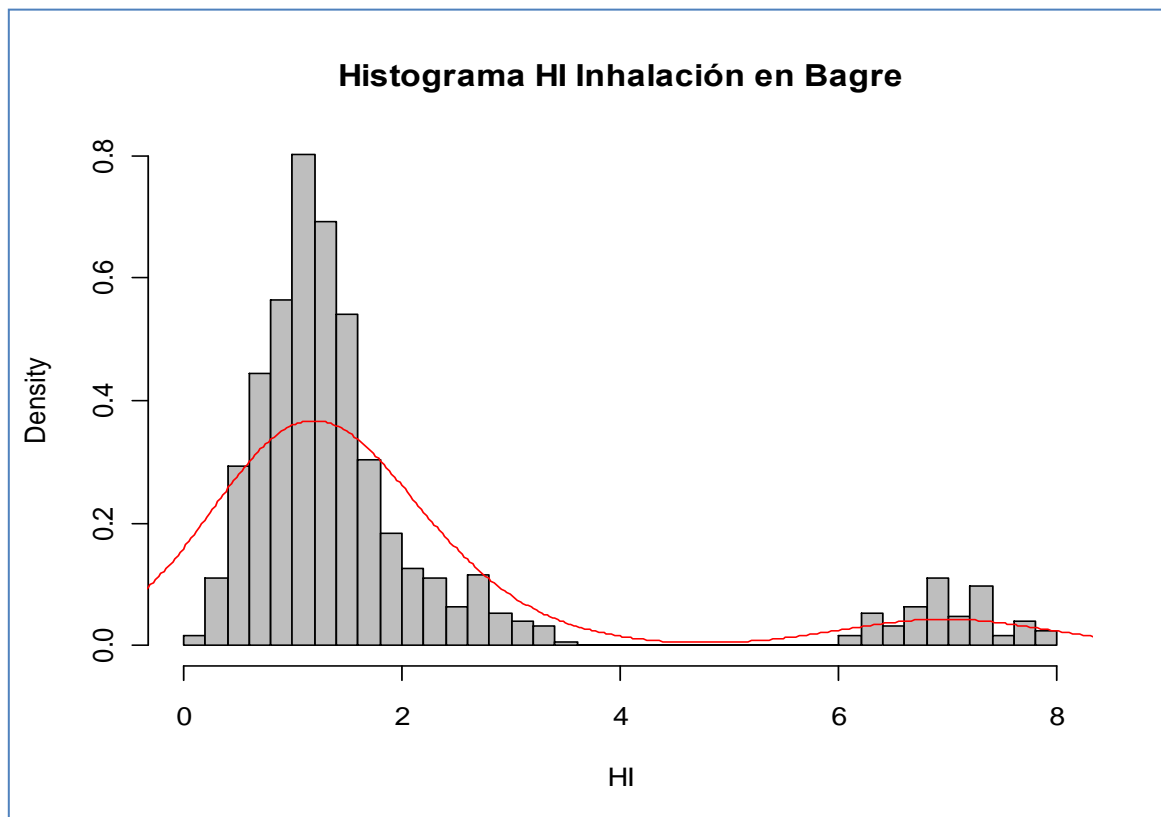
```
6.946981
```

```
length(HIBagre[HIBagre1])/length(HIBagre)
```

```
0.71447
```

```
hist(HIBagre,prob=T, breaks=35,main="Histograma HI Inhalación en Bagre", xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HIBagre,bw=0.8),col="red")
```



EL 71.44% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, TENIENDO QUE EN LA DISTRIBUCION REALIZADA SOLO EL 28.56% NO SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

En general se evidencia que las graficas obtenidas en las distribuciones son de carácter multimodal ya que reflejan los datos base de la distribución uniforme.

iv. **Ecuación Dosis de inhalación para residentes:** se usara la ecuación del capítulo 3 de la caracterización de la exposición RAGS parte F, de la EPA, con el fin de poder cuantificar el riesgo al que está expuesta la población que no está vinculada en ninguno de los procesos de la minería aurífera artesanal, pero que si se encuentra en los municipios donde se realizan las quemas de las amalgamas.

$$EC (mg/m^3) = \frac{CA * ET * EF * ED}{AT}$$

Ecuación 5. Concentración de exposición.

Donde:

EC: Concentración de exposición, mg/m³.

CA: Concentración de mercurio en aire de calle, (mg/m³).

ET: Tiempo de exposición en calle, (Horas/día).

EF: Frecuencia de exposición en la calle (Días/semana).

ED: Duración de la exposición, (años).

AT: Tiempo medio de exposición, (ED *365 días/año* 24 horas/día).

Valores utilizados		Fuente
CA	Distribución uniforme realizada con el programa estadístico R	Citadas en la bibliografía.
ET	Calle: 16 horas diarias	Secretaria de productividad y competitividad de Antioquia en su Diagnostico para la implementación de sistemas de gestión ambiental, 2006
EF	=350 días/año. Se asumen 15 días al año de vacaciones	Proyecto mercurio 2. ONUDI Exposure Factors, USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03).
ED	= 50 años Tiempo medio de vida adulta en los municipios, determinado al deducir la esperanza de vida que para Colombia son 75 años y la mayoría de edad(18años), y siguiendo las recomendaciones del Handbook se establece este con el fin de redondear la cifra y representar de manera significativa las poblaciones estudiadas.	Informe Estadístico sobre la Salud en el Mundo de la OMS, 2009.Esperanza de vida en Colombia. Exposure Factors, USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03) Exposure Factors Handbook, USEPA 1997.
AT	= ED *365 días/año* 24 horas/día	Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment), 2003

Tabla 24. Factores concentración de exposición.

Para la caracterización del riesgo se empleara la ecuación que el RAGS F, capitulo 5 de la EPA, ver ecuación 4:

$$HI = \frac{EC}{RfC}$$

Ecuación 6. Caracterización del riesgo

Donde:

HI: Coeficiente de riesgo, adimensional.

EC: Concentración de exposición, mg/m³.

RfC: Valor de toxicidad por inhalación, para un escenario de exposición crónica. (mg/m³).

v. **C**alculo de las dosis suministradas por inhalación y caracterización del Riesgo para residentes no trabajadores en minería:

"Evaluación de Riesgo por inhalación de vapor de Mercurio Residentes"

"EC= CA*ET*EF*ED/AT"

ET<-16/24

EF<-350

ED<-50

AT<-(ED*365*24)

"Caracterización del riesgo"

"HI=EC/RfC"

RfC<-3E-4

a<-file.choose()

b<-read.csv2(a)

summary(b)

	Remedios.Calle
Min. :	0.000000
1st Qu.:	0.000000
Median :	0.004000
Mean :	0.004024
3rd Qu.:	0.006000
Max. :	0.016000

	Segovia .Calle
Min. :	0.000000
1st Qu.:	0.000000
Median :	0.004000
Mean :	0.007633
3rd Qu.:	0.006750
Max. :	0.142000

	Caucasia .Calles
Min. :	3.000e-05
1st Qu.:	4.000e-05
Median :	4.000e-03
Mean :	2.814e-03
3rd Qu.:	5.000e-03
Max. :	5.000e-03

	Zaragoza .Calle
Min. :	4.000e-05
1st Qu.:	6.125e-04
Median :	9.500e-04
Mean :	1.099e-03
3rd Qu.:	1.250e-03
Max. :	3.000e-03

	Bagre.Calle
Min. :	4.00e-04
1st Qu.:	4.00e-03
Median :	6.00e-03
Mean :	6.69e-03
3rd Qu.:	9.00e-03
Max. :	1.20e-02

★ **Remedios (Reme)**

```
Remedios.Calle<-b$Remedios.Calle[!is.na(b$Remedios.Calle)]
```

```
ECReme<-numeric()
```

```
for(i in 1:100000){
```

```
ECReme[i]<- (mean(sample((Remedios.Calle),length(Remedios.Calle),replace=T))*ET*EF*ED)/(AT)}
```

```
summary(ECReme)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
6.616e-05	9.986e-05	1.072e-04	1.072e-04	1.143e-04	1.553e-04

```
HIReme<-ECReme/RfC
```

```
summary(HIReme)
```

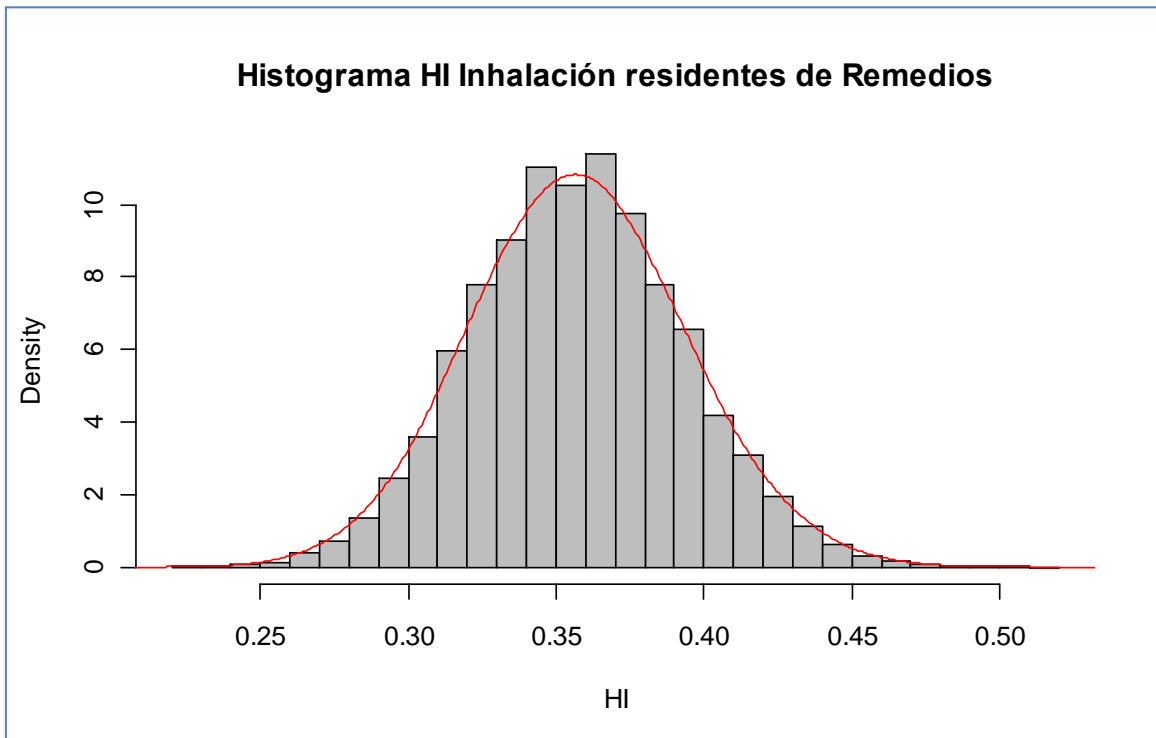
Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.2205	0.3329	0.3572	0.3573	0.3809	0.5176

```
quantile(HIReme,0.95)
```

```
0.4168097
```

```
hist(HIReme,prob=T, breaks=35,main="Histograma HI Inhalación residentes de Remedios",  
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HIReme,bw=0.01),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS NO SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Segovia (Sego)**

```
Segovia.Calle<-b$Segovia.Calle[!is.na(b$Segovia.Calle)]
```

```
ECSego<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
ECSego[i]<- (mean(sample((Segovia.Calle),length(Segovia.Calle),replace=T))*ET*EF*ED)/(AT)}
```

```
summary(ECSego)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
7.748e-05	1.740e-04	2.001e-04	2.032e-04	2.291e-04	4.209e-04

```
HISego<-ECSego/RfC
```

```
summary(HISego)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.2583	0.5800	0.6671	0.6774	0.7638	1.4030

```
quantile(HISego,0.95)
```

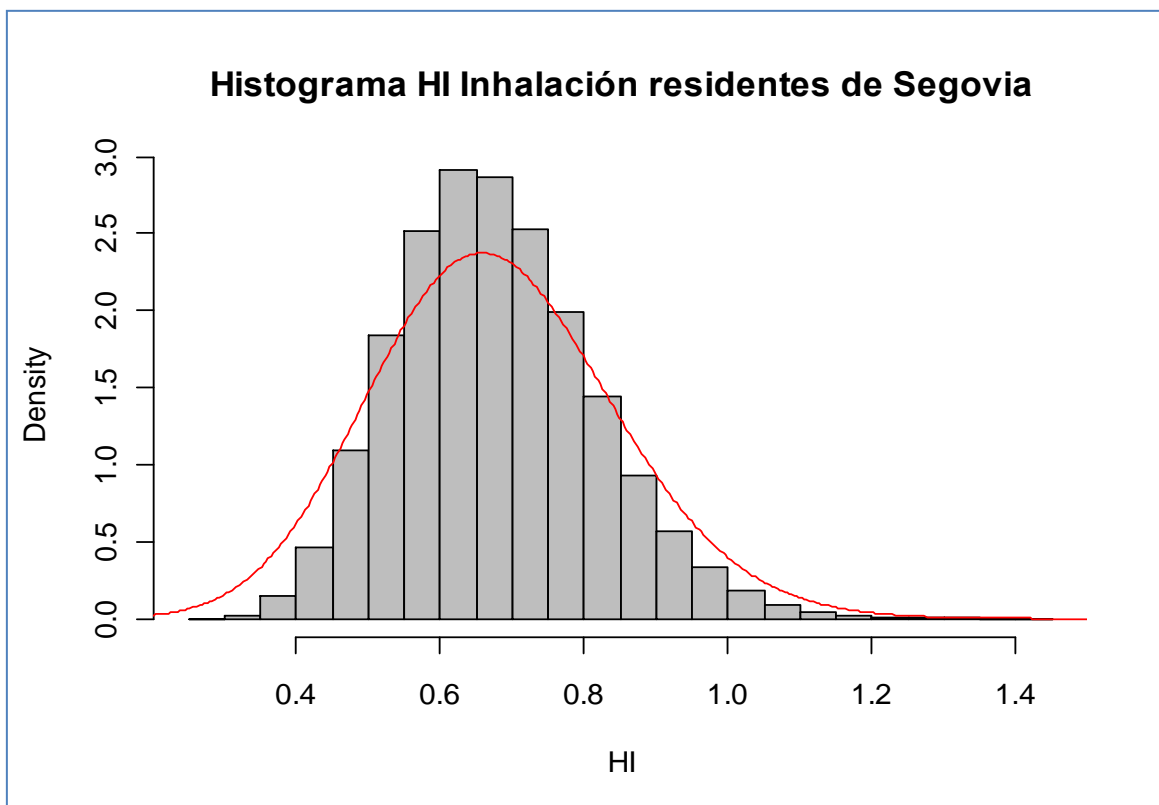
```
0.9188281
```

```
length(HISego[HISego1])/length(HISego)
```

```
0.01735
```

```
hist(HISego,prob=T, breaks=35,main="Histograma HI Inhalación residentes de Segovia",
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HISego,bw=0.2),col="red")
```



EL 1.73% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, TENIENDO QUE EN LA DISTRIBUCION REALIZADA EL 98.27% NO SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **Zaragoza** (Zara).

```
Zaragoza.Calle<-b$Zaragoza.Calle[!is.na(b$Zaragoza.Calle)]
```

```
ECZara<-numeric()
```

```
for(i in 1:100000){ ECZara[i]<-(sample(Zaragoza.Calle,1)*ET*EF*ED)/(AT)}
```

```
summary(ECZara)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.065e-06	2.131e-05	2.397e-05	2.919e-05	2.664e-05	7.991e-05

```
HIZara<-ECZara/RfC
```

```
summary(HIZara)
```

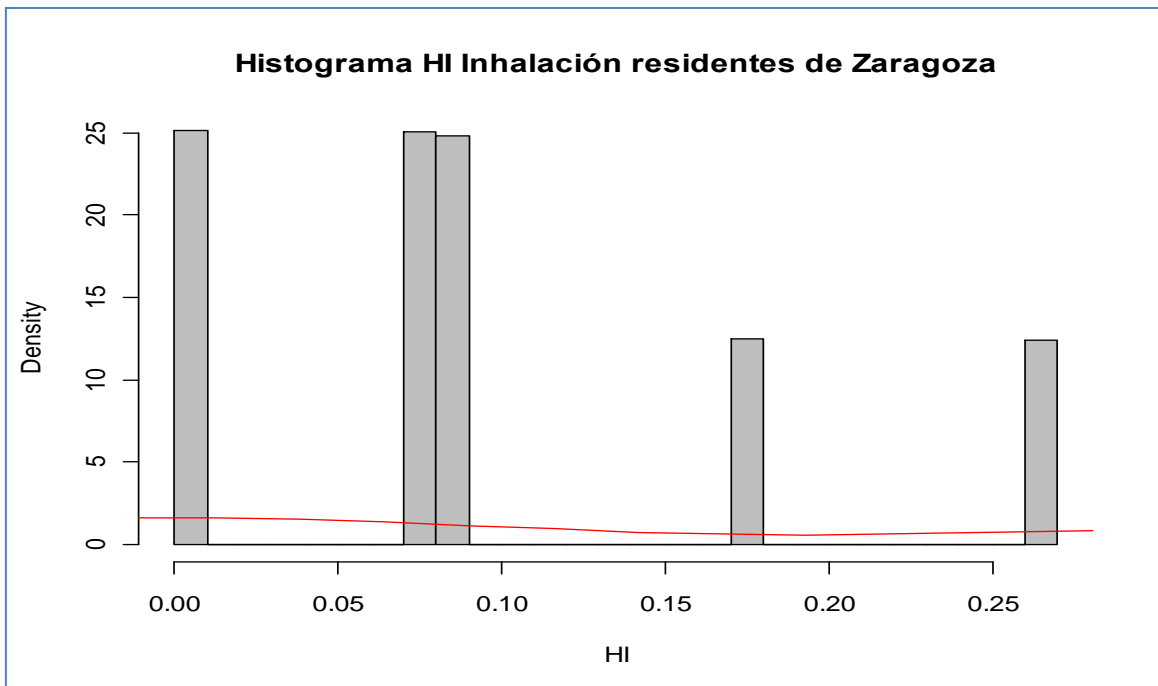
Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.003551	0.071030	0.079910	0.097300	0.088790	0.266400

```
quantile(HIZara,0.95)
```

```
0.2663623
```

```
hist(HIZara,prob=T, breaks=35,main="Histograma HI Inhalación residentes de Zaragoza",  
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HISege,bw=0.09),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS NO SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **C**aucasia (Cauc).

```
Caucasia.Calle<-b$Caucasia.Calles[!is.na(b$Caucasia.Calles)]
```

```
ECCauc<-numeric()
```

```
for (i in 1:100000){
```

```
ECCauc[i]<-(sample(Caucasia.Calle,1)*ET*EF*ED)/(AT)}
```

```
summary(ECCauc)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
7.991e-07	1.065e-06	1.065e-04	7.507e-05	1.331e-04	1.332e-04

```
HICauc<-ECCauc/RfC
```

```
summary(HICauc)
```

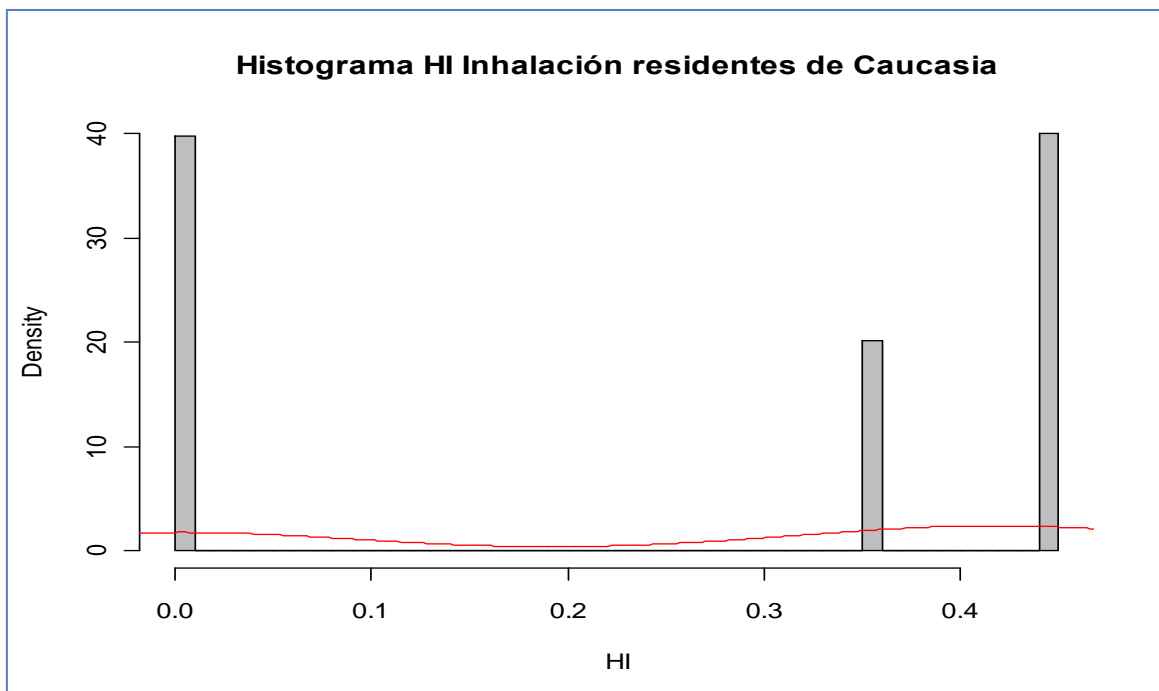
Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.002664	0.003551	0.355100	0.250200	0.442	0.444

```
quantile(HICauc,0.95)
```

0.443

```
hist(HICauc,prob=T,breaks=35,main="Histograma HI Inhalación residentes de Caucasia",  
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(HICauc,bw=0.09),col="red")
```



EL 100% DE LOS DATOS NO SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

★ **B**agre (Bagre).

```
Bagre.Calle<-b$Bagre.Calle[!is.na(b$Bagre.Calle)]
```

```
ECBagre<-numeric()
```

```
for(i in 1:100000){ECBagre[i]<-(sample(Bagre.Calle,1)*ET*EF*ED)/(AT)}
```

```
summary(ECBagre)
```

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1.065e-05	1.065e-04	1.598e-04	1.783e-04	2.397e-04	3.196e-04

HIBagre<-ECBagre/RfC

summary(HIBagre)

Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.03551	0.35510	0.53270	0.59440	0.79910	1.06500

quantile(HIBagre,0.95)

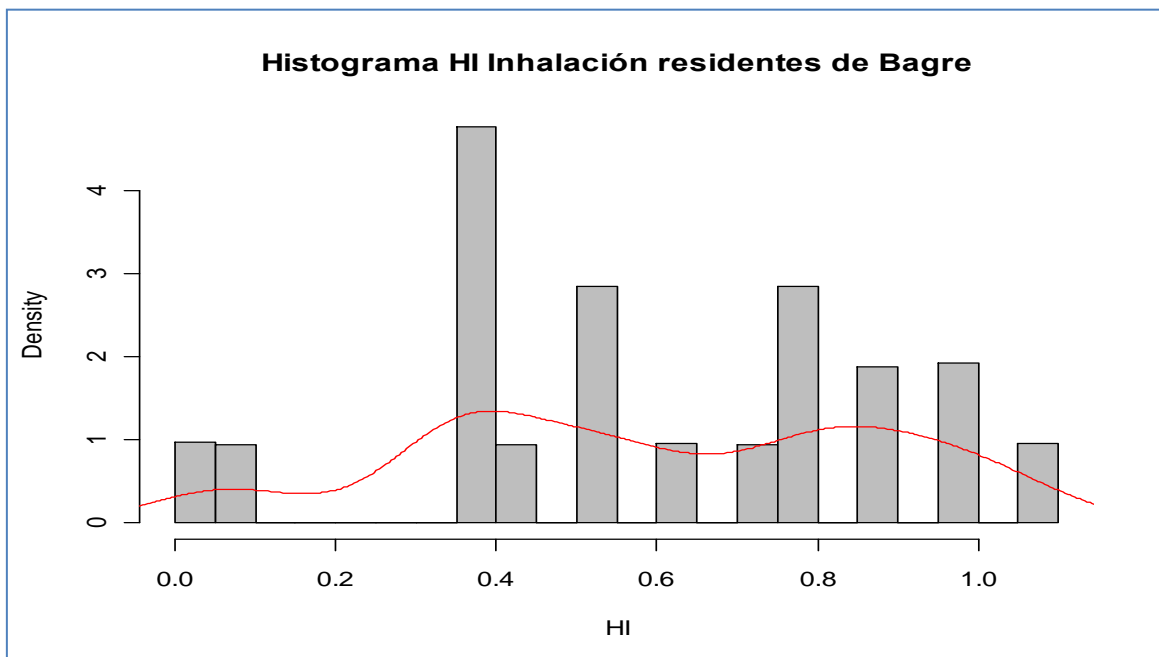
0.9766616

length(HIBagre[HIBagre>1])/length(HIBagre)

0.04769

hist(HIBagre,prob=T, breaks=35,main="Histograma HI Inhalación residentes de Bagre",
xlab="HI",col="grey")

lines(density(HIBagre,bw=0.09),col="red")



EL 4.76% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1, TENIENDO QUE EN LA DISTRIBUCION REALIZADA EL 95.24% NO SUPERAN EL INDICE DE PELIGRO.

3.6 Sumatoria de riesgos por diferentes rutas de exposición:

La sumatoria de riesgos solo es posible para el departamento de Antioquia, tomando de manera representativa los muestreos realizados para la determinación de vapor de mercurio y de Metilmercurio en peces, así siguiendo las directrices del RAGS A, capítulo 8, Caracterización del Riesgo, se sumaran los riesgos crónicos evaluados para el departamento

de Antioquia, para las poblaciones estudiadas mediante las distribuciones realizadas. Para esto se tomaran los índices de riesgos obtenidos de las evaluaciones respectivas, mediante el programa estadístico R y se aplicará las ecuaciones 8 y 9 según sea el caso. De esta manera se podrá evidenciar de manera global como se supera la unidad de riesgo en las poblaciones estudiadas.

$$\text{Exposición total Antioquia}_{\text{mineros}} = \text{HI consumo de peces} + \text{HI inhalación trabajadores.}$$

Ecuación 7. Sumatoria de riesgos población minera.

$$\text{Exposición total Antioquia}_{\text{residentes}} = \text{HI consumo de peces} + \text{HI inhalación residentes.}$$

Ecuación 8. Sumatoria de riesgos residentes.

“Sumatoria de riesgos por diferentes rutas de exposición”

v. HI de consumo peces Antioquia:

summary(HIant)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
2.774e-05	1.237	2.496	4.543	4.800	21.97

vi. HI de Inhalación trabajadores de municipios Antioqueños:

Se reúnen los índices de riesgo de trabajadores mineros de los municipios antioqueños, tomado cantidades proporcionales al número de mineros de cada municipio, obtenidos del Censo minero de la Secretaría de Productividad y Competitividad de la Gobernación de Antioquia de Octubre de 2007, tomando como valor referente la población minera del municipio de Segovia, de esta manera se saca una muestra de la mixtura de las distribuciones de riesgos de la población minera por municipios de Antioquia.

Municipio	Censo minero Antioquia 2007
Remedios	2732 mineros
Segovia	5401 mineros
Zaragoza	1952 mineros
Caucasia	890 mineros
El Bagre	1479 mineros

Hlinhaltrab<-

c(sample(HIReme,50583),sample(HISego,100000),sample(HIZara,36141),sample(HICauc ,16478),
sample(HIBagre ,27383))

summary(Hlinhaltrab)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.09513	1.205	6.293	5.038	7.561	12.84000

HI de Inhalación residentes municipios Antioqueños:

Se reúnen los índices de riesgo de habitantes de los municipios antioqueños, tomado cantidades proporcionales por número de habitantes de cada municipio, obtenidas de la proyección de población municipal por área del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE para los años 2005 a 2009, tomando como valor referente la población urbana del municipio de Caucasia, de esta manera se saca una muestra de la mixtura de las distribuciones de riesgos de la población urbana por municipios de Antioquia.

Municipio	Proyección poblacional 2005 - 2009
Remedios	9091 habitantes urbanos
Segovia	30266 habitantes urbanos
Zaragoza	13127 habitantes urbanos
Caucasia	78576 habitantes urbanos
El Bagre	25156 habitantes urbanos

HlinhalRES <-c(sample(HIReme,11569),sample(HISego,35818),sample(HIZara,16706),
sample(HICauc ,100000), sample(HIBagre ,32014))

summary(HlinhalRES)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.002664	0.177600	0.362900	0.394900	0.568900	1.362000

vii. Sumatoria de riesgos

➤ Exposición total Antioquia_{mineros}

ExpototalAntiMINE<-Hlant+Hlinhaltrab

summary(ExpototalAntiMINE)

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.09748	3.06600	7.09800	8.00000	10.39000	33.76000

quantile(ExpototalAntiMINE,0.95)

95%

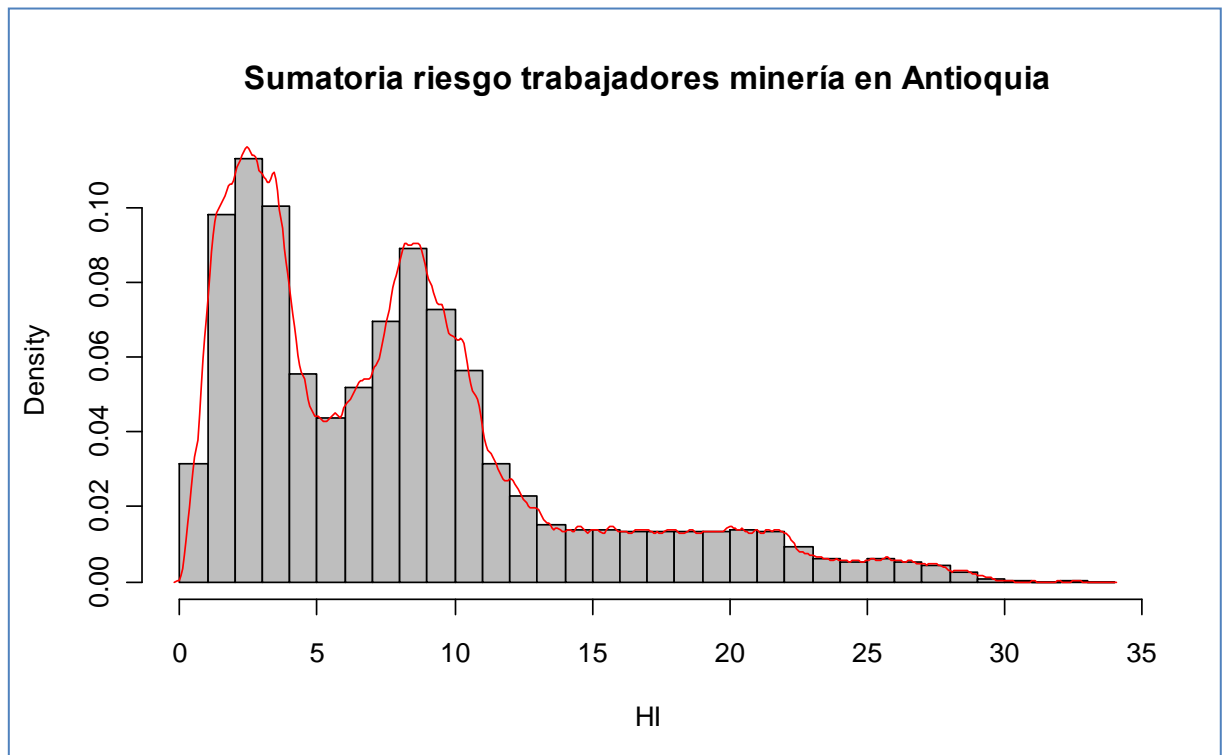
21.29242

length(ExpototalAntiMINE[ExpototalAntiMINE >1])/length(ExpototalAntiMINE)

[1] 0.96832

hist(ExpototalAntiMINE,prob=T, breaks=35,main="Sumatoria riesgo trabajadores minería en Antioquia", xlab="HI",col="grey")

lines(density(ExpototalAntiMINE,bw=0.09),col="red")



El 96,83% de los datos usados para realizar la sumatoria de riesgos para trabajadores que manipulan mercurio en la minería aurífera del

departamento de Antioquia, superan la unidad de riesgo, tan solo un 3,17% son menores que 1. La grafica obtenida sumatoria de distribuciones de riesgos es de carácter multimodal y refleja los datos base de la distribución uniforme.

➤ Exposición total Antioquia_{residentes}

```
ExpototalAntiRES <- Hlant+HlinhalRES
```

```
summary(ExpototalAntiRES)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.002944	1.642000	2.881000	4.936000	5.199000	22.990000

```
quantile(ExpototalAntiRES,0.95)
```

```
95%
```

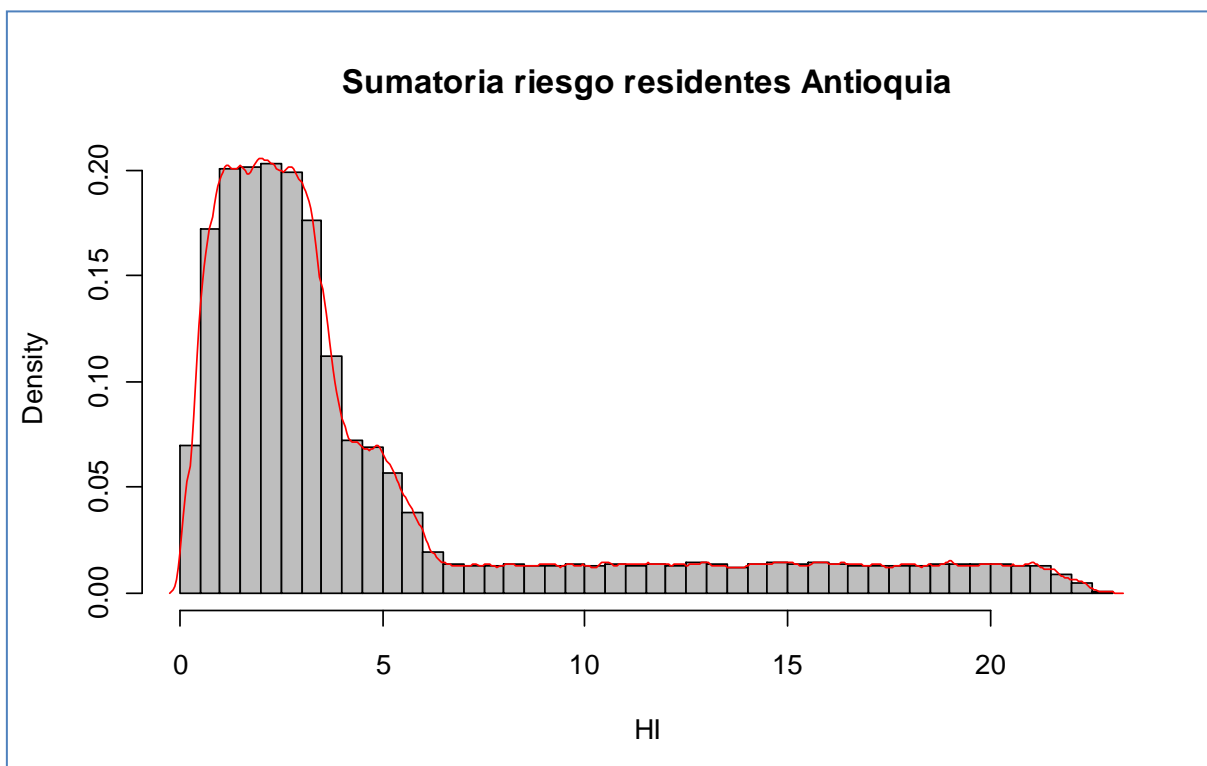
```
18.20817
```

```
length(ExpototalAntiRES[ExpototalAntiRES>1])/length(ExpototalAntiRES)
```

```
[1] 0.87888
```

```
hist(ExpototalAntiRES,prob=T, breaks=35,main="Sumatoria riesgo residentes Antioquia",
xlab="HI",col="grey")
```

```
lines(density(ExpototalAntiRES,bw=0.09),col="red")
```



El 87,88% de los datos usados para realizar la sumatoria de riesgos para residentes no trabajadores en la minería en el departamento de Antioquia, superan la unidad de riesgo, tan solo un 12,12% son menores que 1.

Claramente las dos poblaciones evaluadas superan el índice de peligrosidad de manera ostensible. Como se esperaba los procesos mineros que involucran mercurio hacen que la distribución del riesgo sea más alta cuando se suma con el consumo de peces contaminados con Metilmercurio. Para la población residente de los municipios antioqueños donde se desarrollan quemas de amalgamas la situación no es favorable ya que aunque no estén inmersos en la producción aurífera artesanal de la región, las malas prácticas si los afectan al punto que tan solo hay un 10% de diferencia entre los datos que sobrepasan el índice de riesgos para las dos poblaciones afectadas, de esta manera la población, se puede decir que corre prácticamente el mismo riesgo que un trabajador de la minería sumandos las rutas de exposición.

3.7 Evaluación y presentación de las incertidumbres:

En concordancia con el capítulo 8, Caracterización de Riesgo, del RAGS A, de la EPA, se determina que para un análisis de riesgo de tipo probabilístico no es practico ni necesario realizar la evaluación de las incertidumbres del análisis de riesgo, ya que los resultados son productos de distribuciones probabilísticas que están sujetas a los valores asignados de las variables usadas y que como en todas las evaluaciones de riesgo ambientales, se sabe que la incertidumbre sobre los resultados numéricos es generalmente grande (p. ej., sobre al menos una orden de magnitud o mayor).

Por consiguiente, es más importante identificar las variables claves relacionadas con el lugar estudiado y las suposiciones que contribuyen a la incertidumbre que precisar el grado de incertidumbre en la evaluación de riesgo.

En concordancia con lo anterior para la evaluación de riesgos probabilístico por exposición a mercurio en la minería artesanal de Colombia se presentan las variables y suposiciones usadas que pueden generar incertidumbre en la evaluación realizada:

- ★ Como se ha mencionado, las concentraciones utilizadas para determinar las dosis de consumo de peses y las concentraciones de exposición por inhalación, tienen como fuente la investigación bibliográfica de diferentes estudios que se han realizado al respecto en Colombia que varían las fechas de elaboración.
- ★ Las concentraciones obtenidas de diferentes estudios fueron cortas por lo que se usó la distribución probabilística de las mismas para poder, con base a ellas, generar un espacio muestral de 100 mil valores. El uso de la distribución probabilística claramente nos enfoca en un estudio netamente conservador ya que todas las variables de la distribución tienen la misma probabilidad de representar el valor medio de la misma.
- ★ En la caracterización de las poblaciones estudiadas para la ruta de inhalación, se asume que el periodo en el que las poblaciones toman sus vacaciones se ausentan del municipio donde residen, ya que es difícil establecer un comportamiento único en este aspecto.
- ★ Los dos escenarios evaluados, de consumo e inhalación, no son los únicos a los que se puede estar expuesto a mercurio en el proceso minero artesanal, de esta manera otras vías no contempladas por escasas bibliográficas abren una nueva línea investigativa complementaria.
- ★ Se hace evidente la necesidad de caracterizar hábitos de las poblaciones a nivel gubernamental como el consumo de peces, ya que el departamento estadístico de Colombia no posee datos oficiales y los realizados por diferentes investigaciones son centrados en poblaciones adultas.

5. Discusión de resultados:

Evidentemente las malas prácticas en la minería aurífera artesanal en Colombia tienen consecuencias no solo ambientalmente si no sobre la salud de los habitantes de las regiones donde se hace la extracción y en la de los propios mineros. Muchos estudios han comprobado la toxicidad crónica sistémica que posee el mercurio en el hombre, el más famoso, el caso de Minamata en Japón, ciudad de la que recibe el nombre la enfermedad que produce el envenenamiento con mercurio, en este lugar se vertieron 81 toneladas del metal pesado en la bahía que era la principal fuente de abastecimiento de peces y mariscos, causando graves daños neurológicos permanentes, con síntomas como ataxia, alteración sensorial en manos y pies, deterioro de los sentidos de la vista y el oído, debilidad y, en casos extremos, parálisis y muerte; de igual forma se pudo establecer su potencial genotóxico donde las madres que no presentaban síntomas de la enfermedad dieron a luz hijos gravemente afectados.

En el año 2008 la ASGM (Artisanal Small-Scale Gold Mining ó Extracción del oro artesanal a pequeña escala) estimó que Colombia usa aproximadamente 75 Ton Hg/año, sumado a esto como lo establece el Ministerio de Minas y Energía del país, la extracción aurífera en la actualidad es una actividad que se encuentra en crecimiento por las altas inversiones extranjeras y por su alta retribución en los grandes mercados, haciendo que este tipo de actividad sea cada vez más deseada.

Si 81 toneladas de mercurio en Japón dejó más de 900 muertos y más de 2000 afectados, es evidente que las poblaciones expuestas al mercurio y sus transformaciones en la minería aurífera artesanal de Colombia, conviven con un gran riesgo, claro está dependiendo sus hábitos. Muestra de la influencia del mercurio en personas, es el programa de Vigilancia y Control Epidemiológica de departamento de Antioquia que desde el año 1998 evidencia cientos de casos por intoxicación con mercurio, indicando así que estas poblaciones superaron los límites de mercurio en orina, cabello y sangre ($35\mu\text{g/L}$, $7\mu\text{g/g}$ y $20\mu\text{g/L}$ respectivamente, OMS) y sus posibles efectos neurocomportamentales que se describen en "ALTERACIONES NEUROCOMPORTAMENTALES EN PERSONAS EXPUESTAS A MERCURIO EN LA ACTIVIDAD MINERA DEL ORO EN EL MUNICIPIO DE

SEGOVIA (ANTIOQUIA) 2005", de la unidad Minero energética del Ministerio de minas y energía.

Este trabajo evidencia el alto riesgo a que están expuestas las poblaciones que consumen peces contaminados con Metilmercurio y/o inhalan vapor de mercurio.

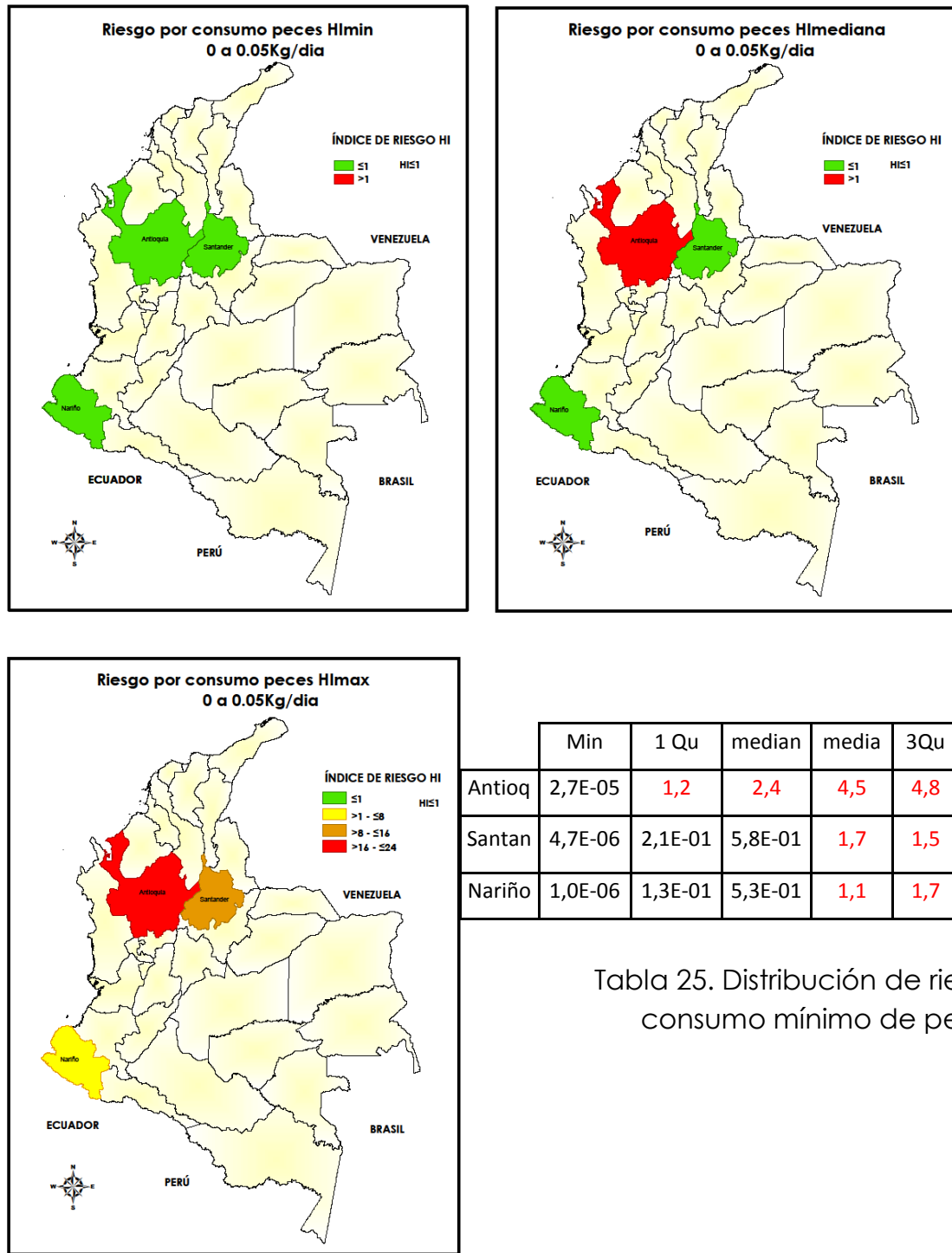
5.1 Evaluación de riesgos por consumo de Metilmercurio en peces: Las pérdidas o disposiciones finales de mercurio en los ecosistemas acuáticos se evidencian claramente en la bioacumulación de este metal en los peces de las regiones donde se hace la explotación minera, como se estableció bibliográficamente. La evaluación de riesgos por la ruta de ingesta de peces, demuestra que no hay ningún departamento de los evaluados que no tenga riesgo de generar respuestas sistémicas, y se evidencia el peso que tiene la relación de las concentraciones de Metilmercurio con la tasa de ingesta, dado que son directamente proporcionales y su valor se refleja como un parámetro que en ocasiones minimiza el riesgo al que las poblaciones expuestas pero en otros casos lo potencializa.

5.1.1 Riesgos por Rangos de Consumo:

Los departamentos que tienen un consumo mínimo, (entre 0 y 0.05 Kg/día), son Antioquia, Santander y Nariño, evidencian que el bajo consumo es un factor a favor frente a concentraciones altas muestreadas por diferentes investigadores. En el caso concreto del departamento de Antioquia, que es la zona de mayor producción y explotación minera aurífera del país, la distribución probabilística del riesgo muestra que aunque la tasa de consumo es baja, la unidad de riesgo es superada desde el antes del primer cuartil duplicándolo, en la mediana lo triplica y en el valor máximo de la distribución el riesgo es superado en más de 20 veces.

Para los departamentos de Santander y Nariño el índice de riesgo es superado desde antes del tercer cuartil, y en el valor máximo de la distribución de riesgo, la unidad es superada por más de 10 veces en

Santander y en Nariño más de 5 veces. Las distribuciones obtenidas mediante el programa Statistics R se recopilan en la tabla 25 y se presentan gráficamente con la ayuda del programa ArcGis 9.0, en el mapa 15.

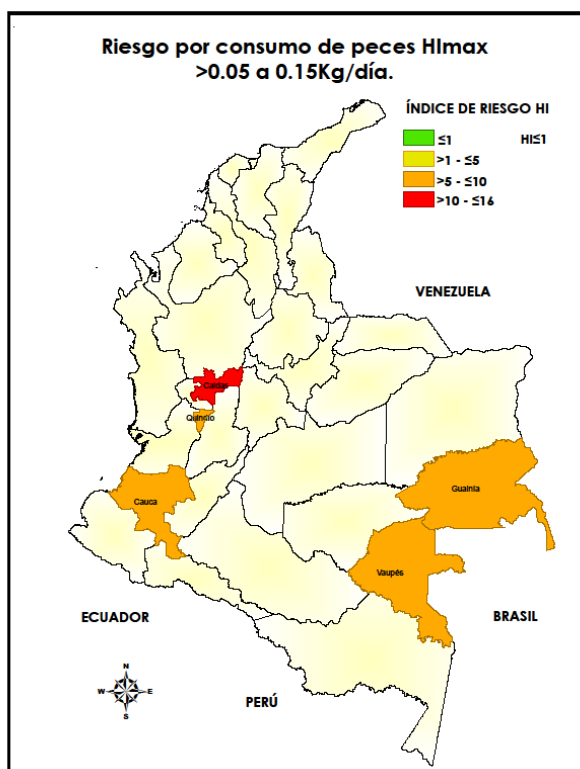
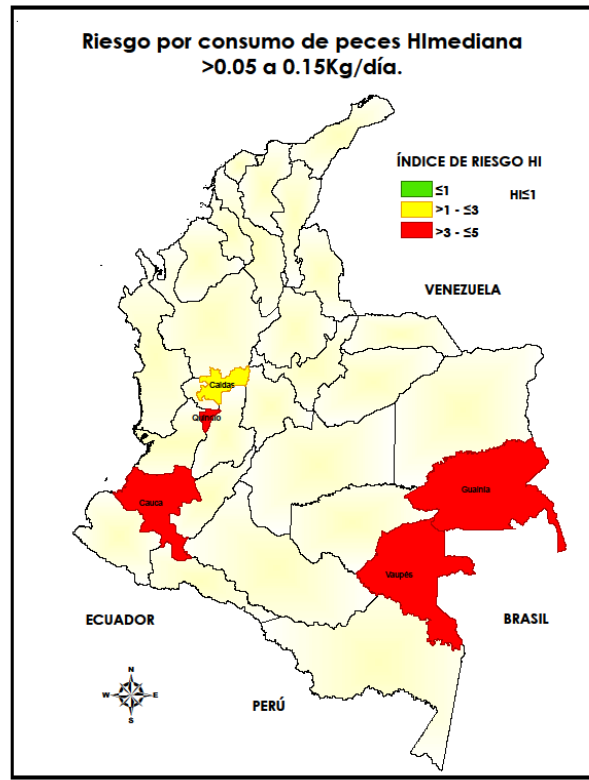
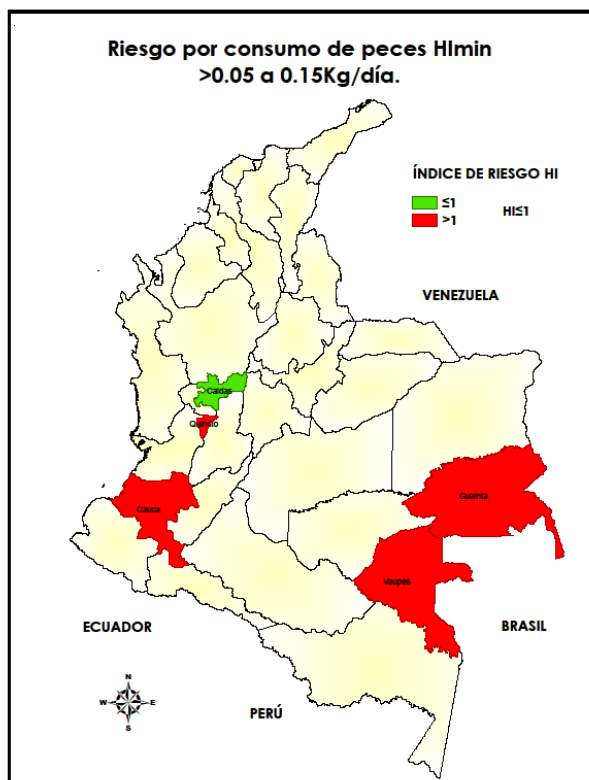


Mapa 15. Distribución riesgo por consumo mínimo de peces.

El consumo medio (≥ 0.05 a 0.15Kg/día), fue evaluado en los departamentos: Cauca, Caldas, Guainía, Vaupés y Quindío. A excepción

de Caldas, todos los departamentos superan la unidad de riesgo desde el valor mínimo de la distribución probabilística de riesgos, triplicando y cuadruplicando el HI en la mediana de los datos y en el valor máximo de la distribución superándolo el índice desde 7 a más de 14 veces la unidad de riesgo. Este grupo permite evidenciar la relación entre las variables de concentración y tasas de consumo, y que aunque sobrepasan ostensiblemente la unidad de riesgo la probabilidad de generar efectos negativos en su salud por esta ruta puede aumentar si el rango de consumo crece o las medidas de disposición de mercurio en los ecosistemas acuáticos no son controladas.

Estos hallazgos se resumen en la tabla 26 y en el mapa 16.



	min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Cauca	1,06	2,494	3,641	4,168	5,585	8,670	9,988
Caldas	0,1998	0,8161	2,706	4,526	7,135	13,896	15,890
Guainía	1,132	2,274	3,250	4,008	5,752	8,021	8,590
Vaupés	1,132	2,278	3,262	4,009	5,730	8,020	8,590
Quindío	1,332	3,115	4,325	4,750	6,137	8,642	9,989

Tabla 26. Distribución de riesgo por consumo medio de peces.

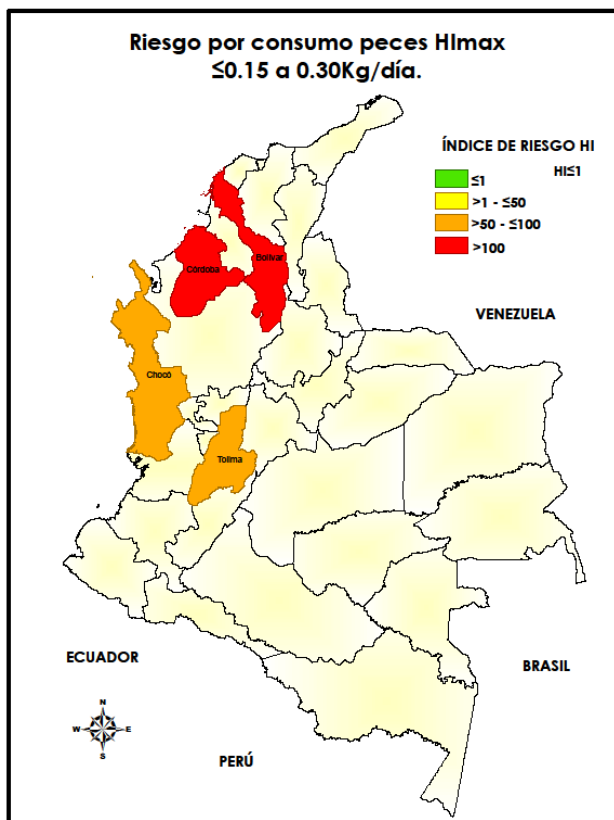
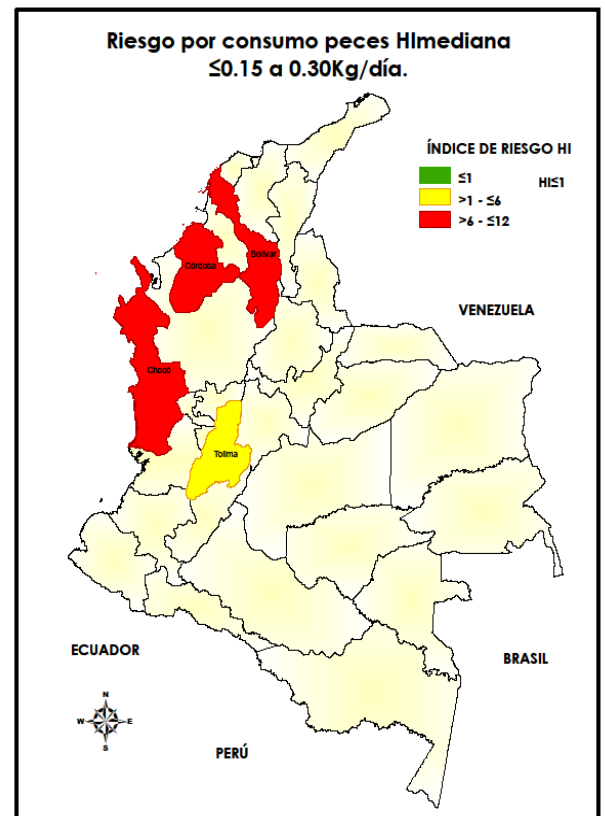
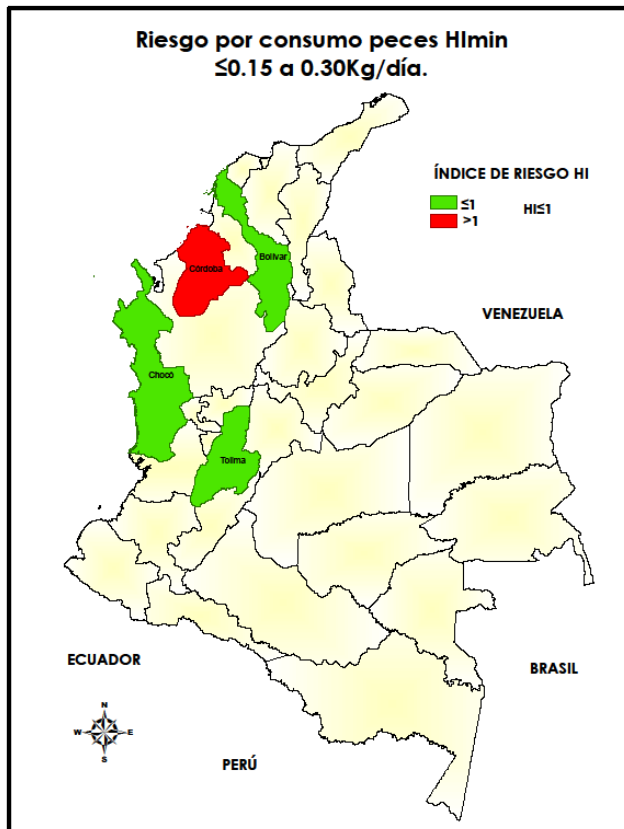
Mapa 16. Distribución riesgo por consumo medio de peces.

El consumo máximo (≥ 0.15 a 0.30 Kg/día), los departamentos evaluados con esta característica fueron: Bolívar, Chocó, Córdoba y Tolima. El departamento de Córdoba duplica desde el valor mínimo de la

distribución la unidad de riesgo, en la mediana lo supera por más de 8 veces y en el último cuartil la unidad del riesgo es superada por más de 110 veces. El departamento de Bolívar en el primer cuartil duplica la unidad de riesgo, en la mediana es superada por más de 7 veces y el valor máximo de la distribución sobrepasa índice de riesgo por más de 115 veces. El Departamento de Tolima en la mediana triplica la unidad de riesgo, en el tercer cuartil lo sobrepasa por más de 11 veces y en el valor máximo de la distribución realizada lo supera por más de 70 veces y por último el departamento de Chocó en el tercer cuartil supera el índice de riesgo por más de 27 veces y en el valor máximo de la distribución lo sobrepasa por más de 52 veces.

Es evidente que los departamentos evaluados en este rango de consumo presentan mayor exposición por sus hábitos alimenticios.

Estos hallazgos se resumen en la tabla 27 y en el mapa 17.

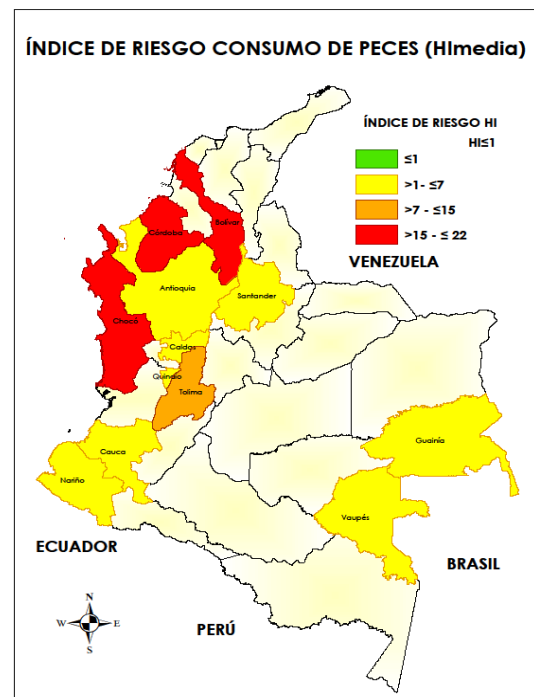
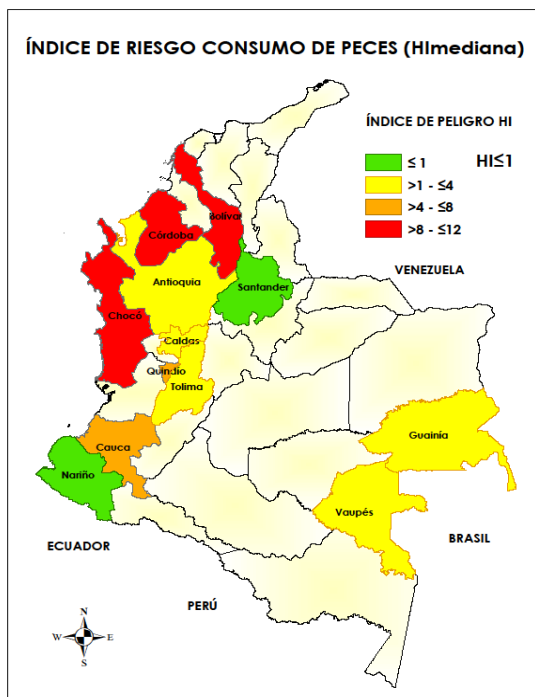
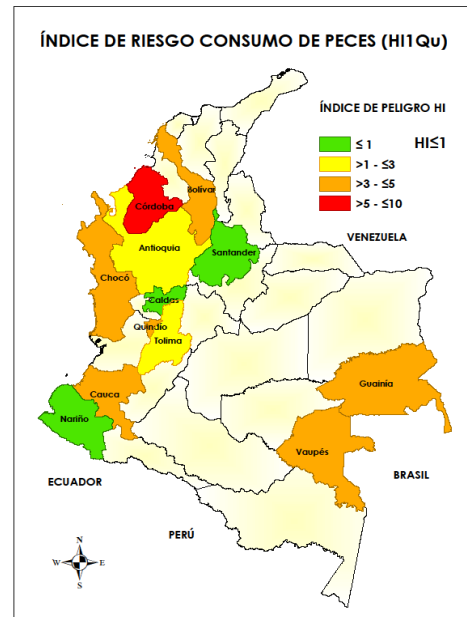
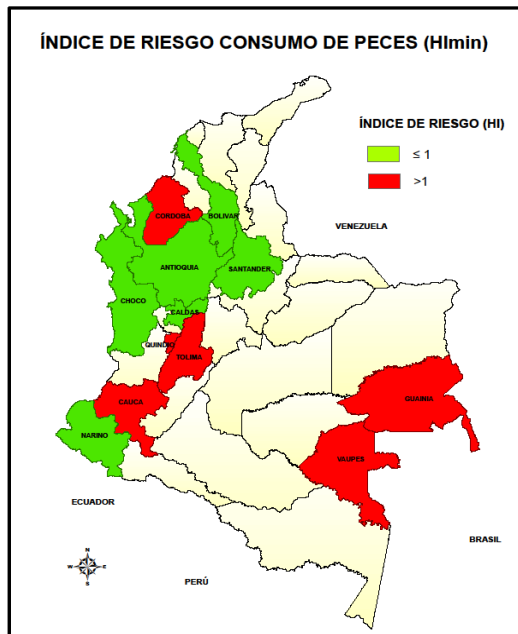


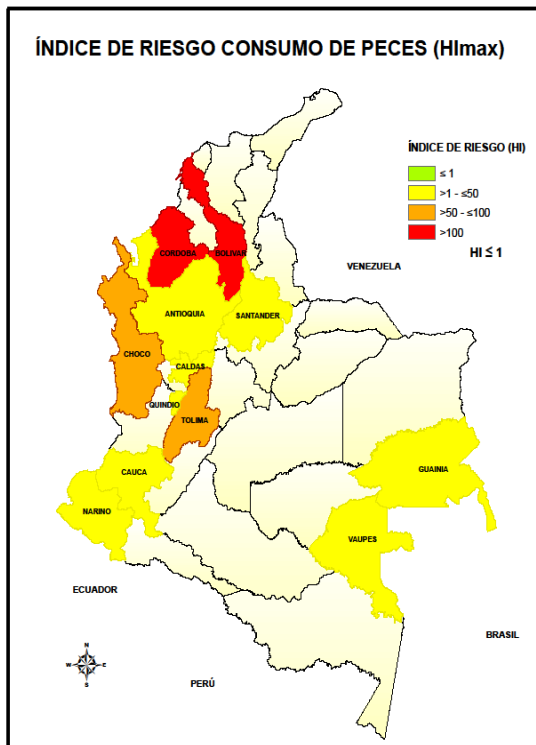
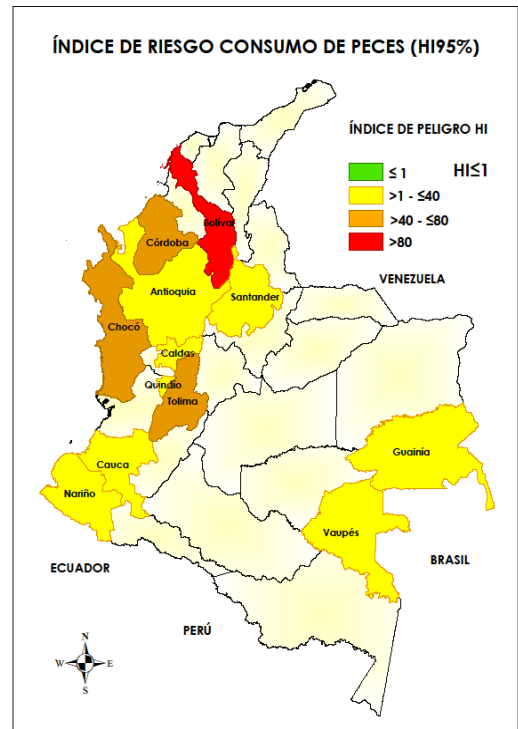
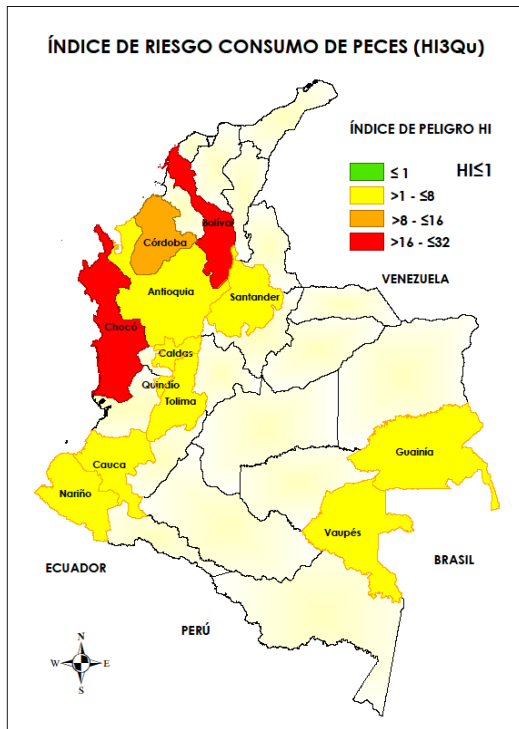
	min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Bolívar	0,019	2,675	8,778	21,40	24,64	90,534	116,7
Chocó	0,519	2,874	11,170	16,11	28,25	46,940	53,5
Córdoba	2,597	7,063	9,641	15,65	12,54	78,357	111,9
Tolima	0,998	1,934	3,268	8,625	4,407	56,125	71,1

Tabla 27. Distribución de riesgo por consumo máximo de peces.

Mapa 17. Distribución riesgo por consumo máximo de peces.

A continuación se representa las distribuciones del riesgo por consumo de peces contaminados con Metilmercurio, a nivel nacional se podrá evidenciar de manera global la distribución de todos los departamentos:





Mapa 18. Índice de riesgo por consumo de peces con Metilmercurio en Colombia

La evaluación probabilística de riesgos por consumo de peces contaminados con Metilmercurio en Colombia, demuestra que las poblaciones evaluadas se encuentran expuestas a un riesgo inaceptable, dados sus hábitos alimenticios y las malas prácticas

industriales en el desarrollo de la extracción aurífera artesanal, haciendo necesario tomar medidas que mitiguen, corrijan, eduquen, informen y conciencien a los mineros artesanales y a las comunidades que consumen peces afectados por esta actividad.

5.2 Evaluación de riesgos por inhalación de Vapor de mercurio: Las poblaciones evaluadas de los municipios de Antioquia se establecieron separando a las personas que desarrollan actividades minería y están en contacto con mercurio y las personas que no hacen parte del proceso productivo pero que viven en los municipios auríferos y que están expuestos a los vapores de mercurio que se emiten en la quema de las amalgamas mercurio – oro. Las concentraciones de vapor de mercurio con las que se realizó la evaluación probabilística de riesgos, se tomaron bibliográficamente de estudios recientes tanto de la ONUDI, como de entidades gubernamentales del departamento, esto hace que el número de los muestreos varié en gran medida entre ellos por lo tanto los datos fueron tratados dependiendo del número de muestreos disponibles, de esta manera los municipios de Remedios y Segovia que poseen más de 100 muestras tanto para los ambientes de talleres y calles, se realizó la distribución uniforme en 100 mil datos sobre su valor medio; y para los municipios restantes que poseen menos de 30 muestras, se realizó una distribución uniforme de los datos en 100 mil valores, como se explicó en el capítulo 4 al trabajar con series limitadas la media aritmética de las concentraciones estadísticamente puede estar en cualquiera de estos valores, haciendo que la distribución de la media tenga menor variabilidad que los datos iniciales por lo tanto la evaluación realizada es de tipo conservador.

5.2.1 Riesgo en trabajadores de minería: Esta evaluación probabilística de riesgo, se centra en aquellos trabajadores mineros que están en contacto con el mercurio, en especial aquellos que queman las amalgamas y los que comparten este microambiente. Se pudo establecer en el municipio de Remedios que la unidad de riesgo fue superada por más de 3 veces

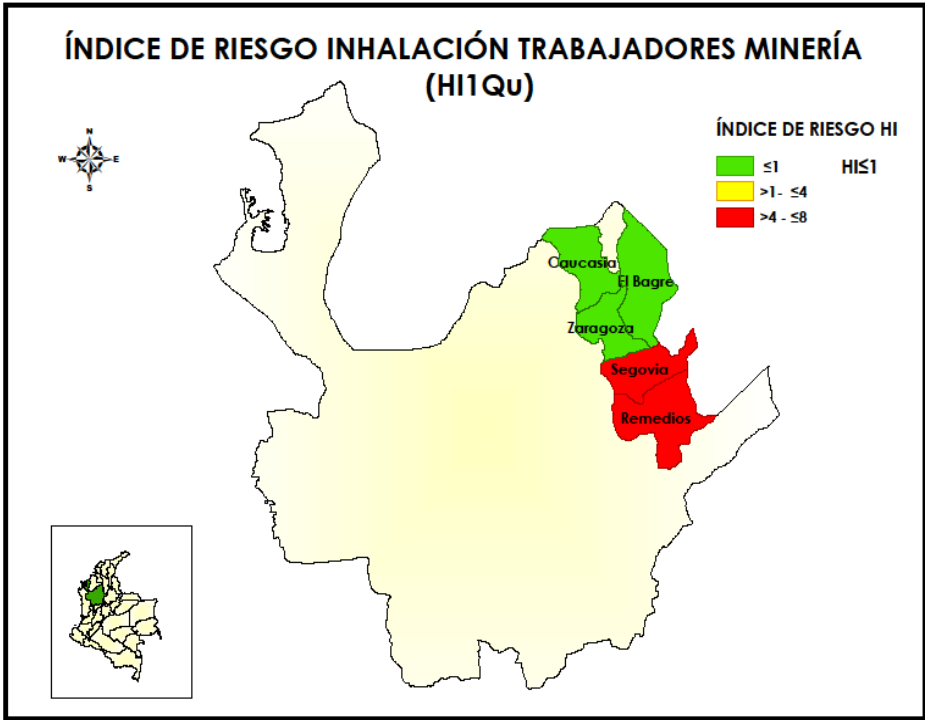
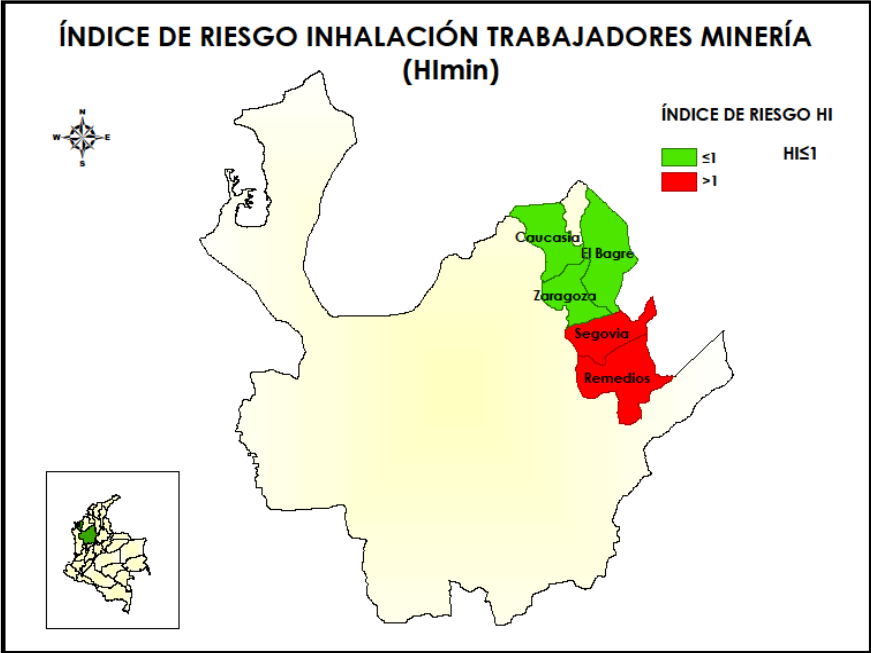
desde el primer cuartil de la distribución realizada, en el 3 cuartil fue sobrepasado por más de 5 veces y en el valor máximo de la distribución arroja que el índice de riesgo es superado más de 7 veces, el histograma de la distribución de HI por inhalación es de carácter normal, ya que como se explicó anteriormente la distribución uniforme se realizó sobre los valores de la media de las concentraciones del municipio. El límite TLV (Valor límite umbral) general establecido por la ACGIH de $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ son sobrepasados entre el primer percentil y la mediana de las concentraciones corroborando el riesgo sistémico laboral por inhalación de vapor de mercurio.

Segovia supera el índice desde el valor mínimo de la distribución en más de 4 veces y en el valor máximo lo sobrepasa por más de 8 veces. Zaragoza sobrepasa el índice de peligrosidad antes del percentil 95 por más del doble y en el valor máximo de la distribución lo supera por más de 11 veces.

Caucasia supera la unidad de riesgo desde antes del tercer cuartil por un poco más de la unidad al igual que el valor máximo de la distribución. Finalmente para el municipio de El Bagre el índice de riesgo es superado en la mediana y en el valor máximo lo sobrepasa por más de 6 veces.

Se hace evidente el riesgo inaceptable para esta población trabajadora que no solo está expuesta a los vapores de los talleres en los que trabaja si no a los dispuestos en el ambiente de los municipios. Se hace necesario que sean más drásticas las medidas implementadas para minimizar y reducir las emisiones del mercurio sobre todo las que provienen de la quema de la amalgama, combinadas con ámbitos educativos, informativos, apoyados por las entidades gubernamentales de la región con el seguimiento apropiado.

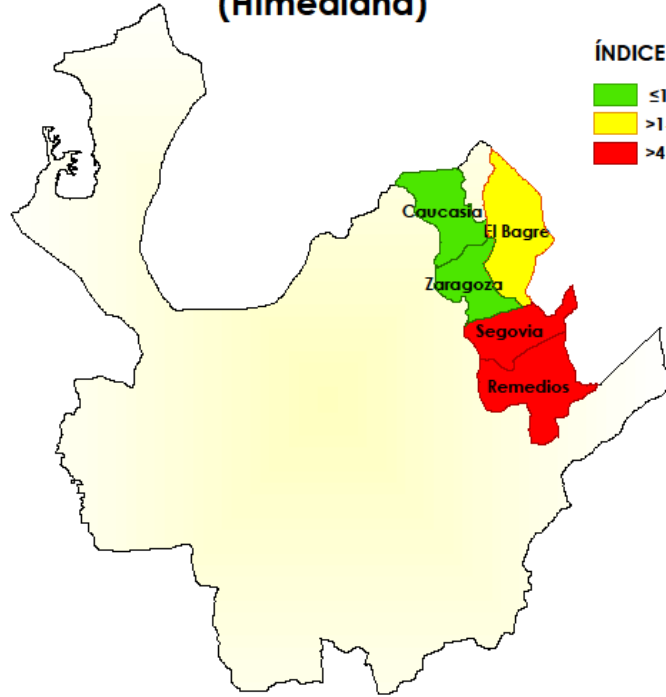
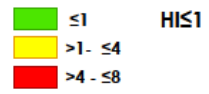
A continuación se presenta el resumen de las distribuciones realizadas para calcular el riesgo, mediante la tabla 28 y el mapa 19.



ÍNDICE DE RIESGO INHALACIÓN TRABAJADORES MINERÍA (Hlmediana)



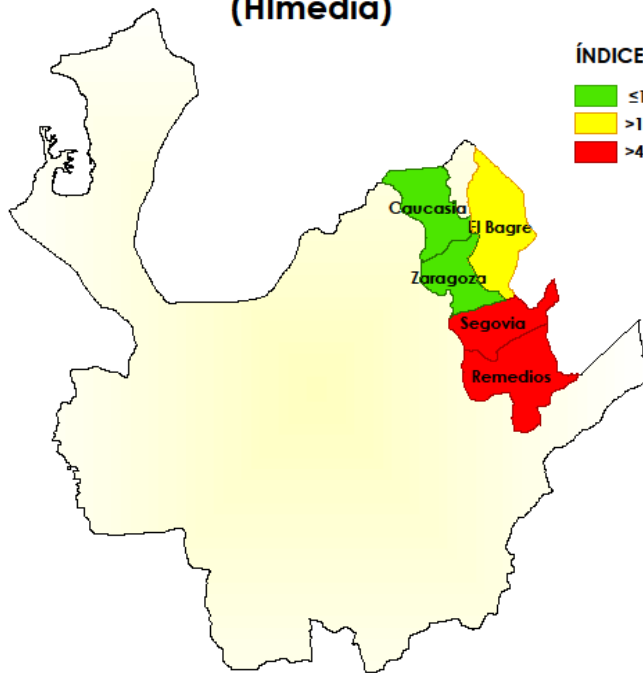
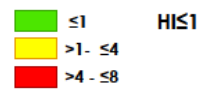
ÍNDICE DE RIESGO HI

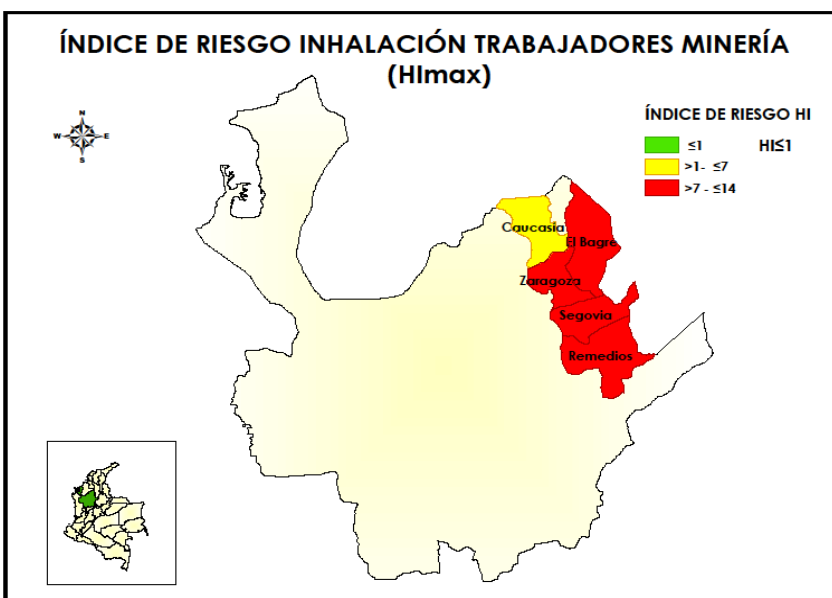
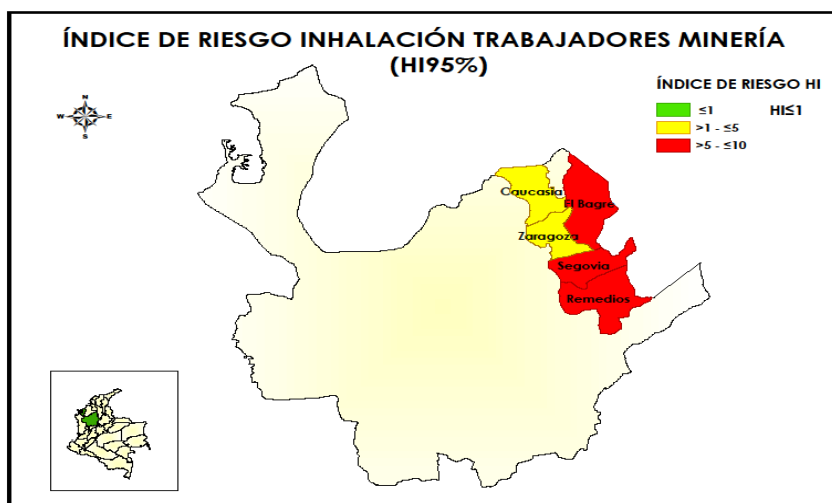
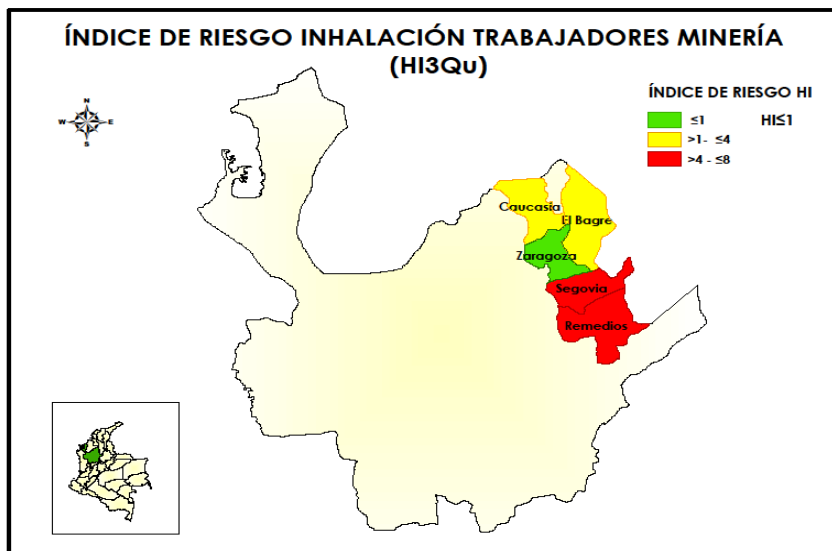


ÍNDICE DE RIESGO INHALACIÓN TRABAJADORES MINERÍA (Hlmedia)



ÍNDICE DE RIESGO HI





Mapa19. Índice de riesgo por inhalación de vapor de mercurio, trabajadores minería

	min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Remedios	4,135	5,668	5,964	5,975	6,271	6,728	8,034
Segovia	5,955	7,367	7,627	7,636	7,897	8,289	9,618

Zaragoza	0,095	0,228	0,497	0,851	0,761	2,004	12,840
Caucasia	0,383	0,736	0,824	0,819	1,116	1,204	1,205
El Bagre	0,187	0,938	1,256	1,873	1,776	6,946	7,915

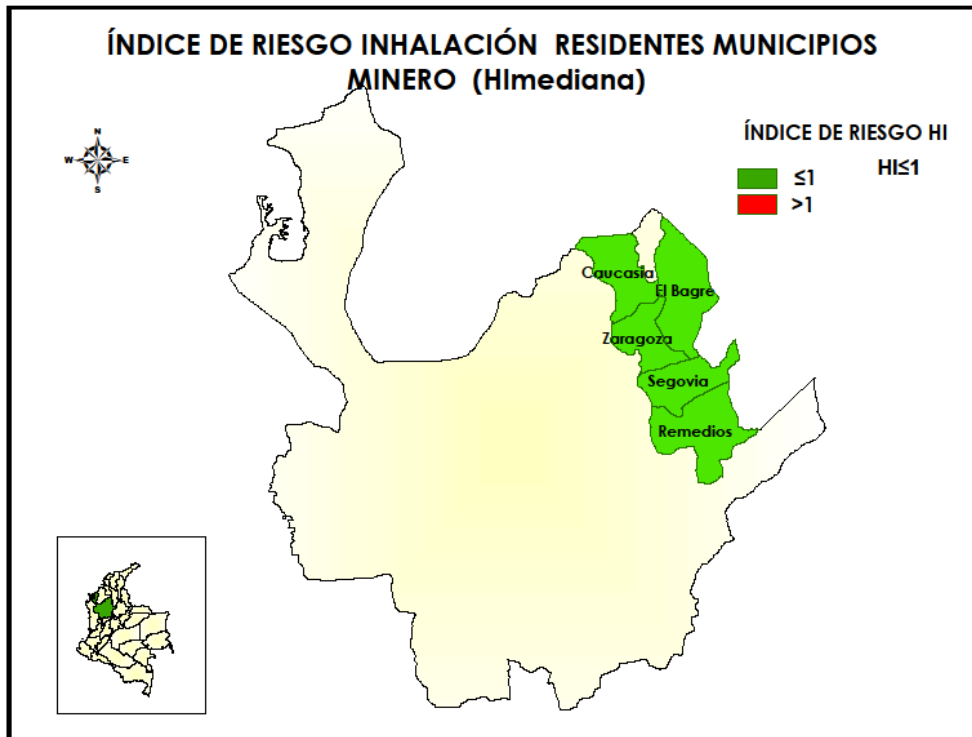
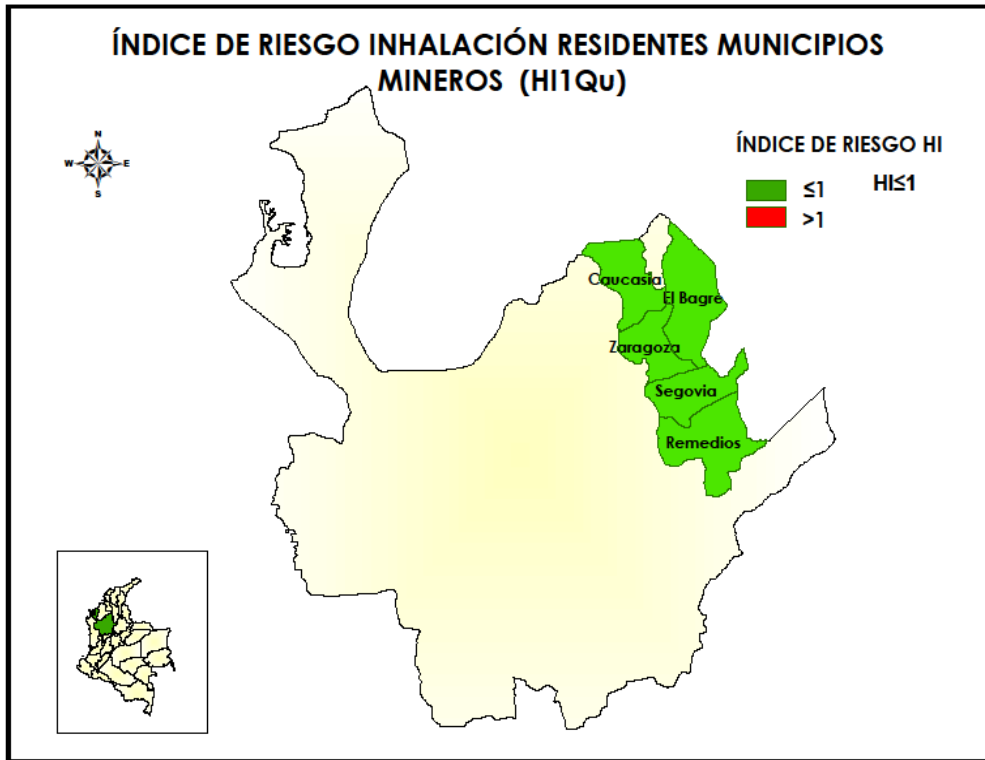
Tabla 28. Índice de riesgo por inhalación de vapor de mercurio, trabajadores minería.

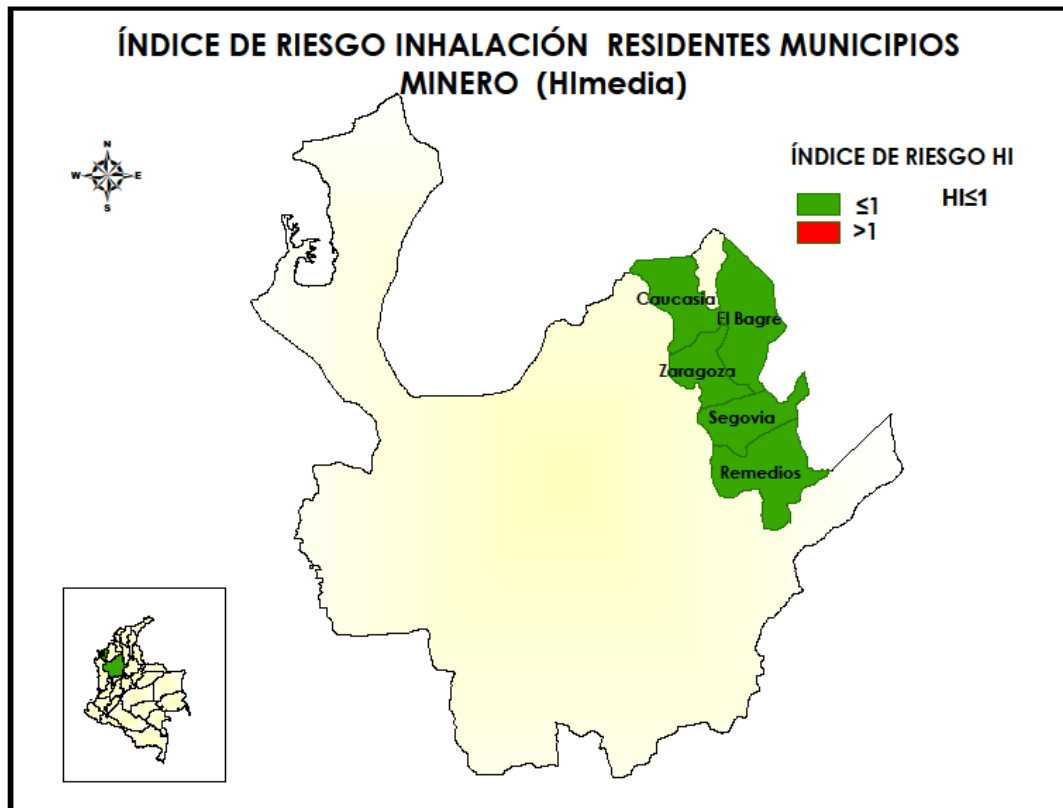
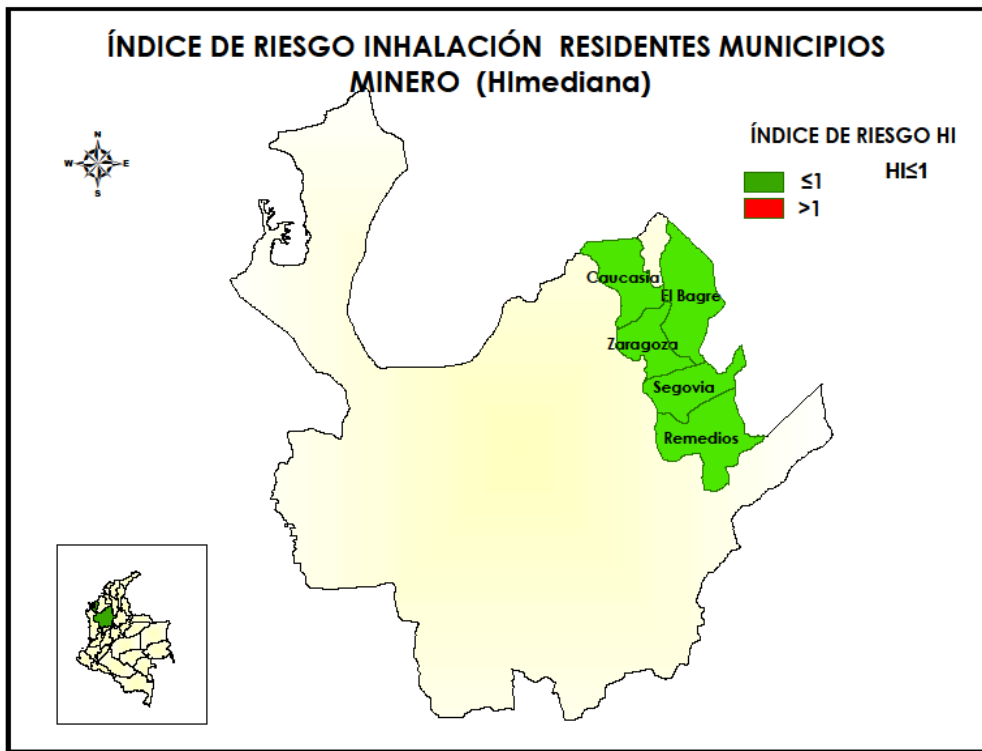
Es innegable la presencia de vapor de mercurio en sus ambientes y que la exposición a jornadas de 8 horas de trabajo, 6 días de la semana más las concentración del aire de las calles no dejan exenta a esta población de presentar efectos sistémicos por inhalación de vapores de mercurio generando un riesgo inaceptable.

5.2.2 Riesgo por inhalación de vapores de mercurio población no trabajadora en minería artesanal: Se evaluó el riesgo al que está expuesto la población que no trabaja en minería artesanal pero que si vive en los municipios donde se realizan las quemas de las amalgamas se puede concluir que estas personas no están exentas a desarrollar efectos sistémicos por la ruta de inhalación, en menor proporción claro está que los trabajadores mineros.

Tres municipios no superaron la unidad de riesgo en la distribución para la ruta de inhalación de vapores, fueron Remedios, Zaragoza y Caucasia, mientras que Segovia lo supera en el nivel máximo de la distribución al igual que El Bagre.

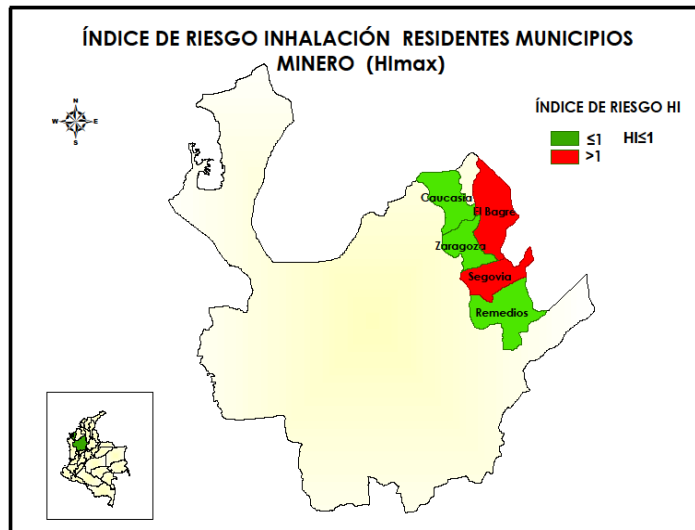
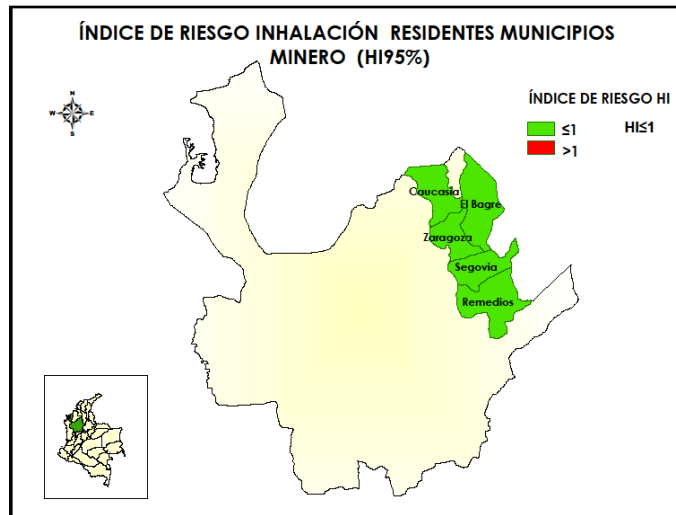
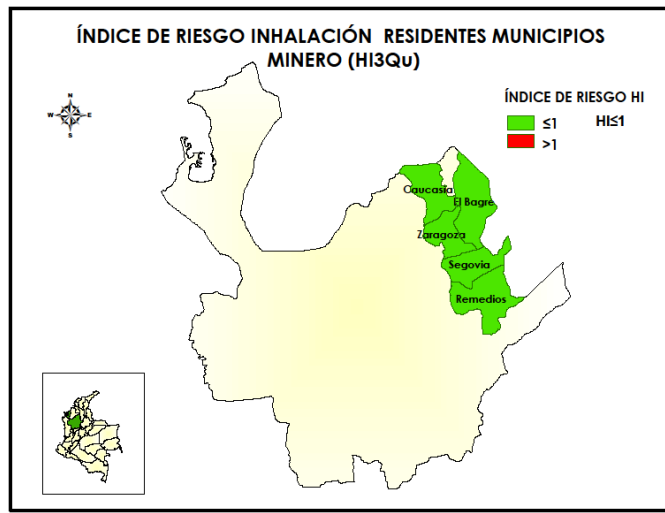
A continuación se presenta el resumen de las distribuciones realizadas para calcular el riesgo, mediante la tabla 29y el mapa 20.





Mapa Índice riesgo

20. de por



inhalación de vapor de mercurio, residentes municipios mineros.

	min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Remedios	0,220	0,332	0,357	0,357	0,380	0,416	0,517
Segovia	0,258	0,580	0,667	0,677	0,763	0,918	1,403
Zaragoza	0,003	0,071	0,079	0,097	0,088	0,266	0,266

Caucasia	0,002	0,003	0,355	0,250	0,442	0,443	0,444
El Bagre	0,035	0,355	0,532	0,594	0,799	0,976	1,065

Tabla 29. Índice de riesgo por inhalación de vapor de mercurio, residentes municipios mineros

Aunque el riesgo es relativamente bajo es indispensable tomar medidas protectoras para esta población, evidentemente el proceso productivos de extracción artesanal de oro debe ser regulado con el fin de minimizar las disposiciones inadecuadas de mercurio, pero también se hace necesario que la quema de las amalgamas se realicen en lugares que recuperen el mercurio y de ser posible no se realice en los cascos urbanos.

5.3 Sumatoria de Riesgos Departamento de Antioquia: Consumo de peces e inhalación.

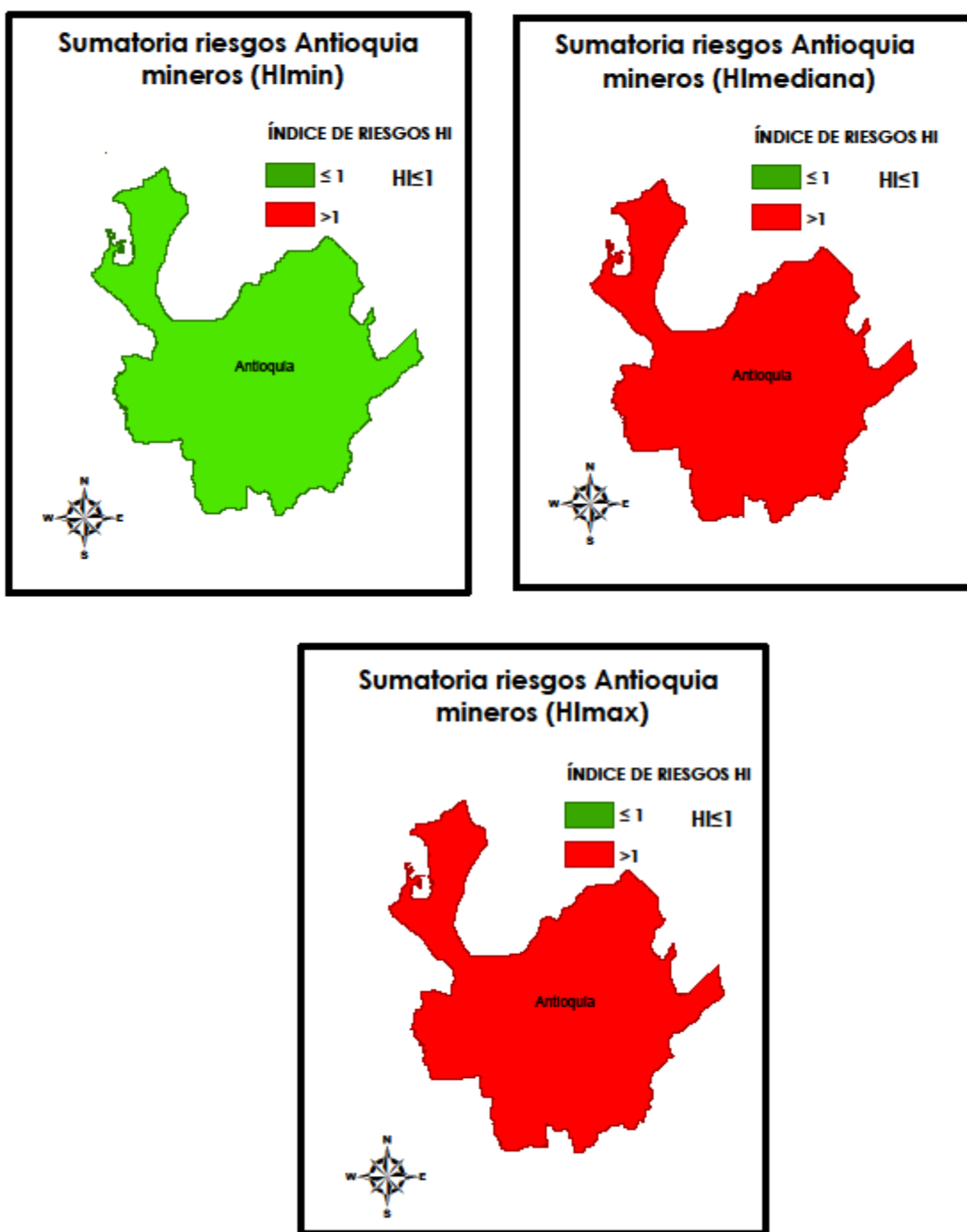
En la sumatoria realizada se caracterizo a las dos poblaciones mencionadas con anterioridad, población minera y población residente.

5.3.1 Exposición Total Antioquia trabajadores mineros: Peces + Inhalación.

De la sumatoria de exposición se evidencia que tan solo un 3% de la población evaluada está por debajo de la unidad de riesgo mientras que más del 96% supera por más de 22 veces el índice de riesgo. Claramente la población minera está expuesta a un riesgo inaceptable por contacto con mercurio en las rutas evaluadas, son indiscutiblemente receptores del mal manejo de sus actividades, potencializando así el desarrollo de los efectos sistémicos del mercurio.

A continuación se presenta la distribución obtenida de la sumatoria en la tabla 30 y gráficamente en el mapa 21.

Sumatoria Riesgos Trabajadores mineros: Ingesta + Inhalación



Mapa 21. Exposición Total Antioquia trabajadores mineros

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	95%	Max.
0,09748	3,06600	7,09800	8,00000	10,39000	21,292	33,7600

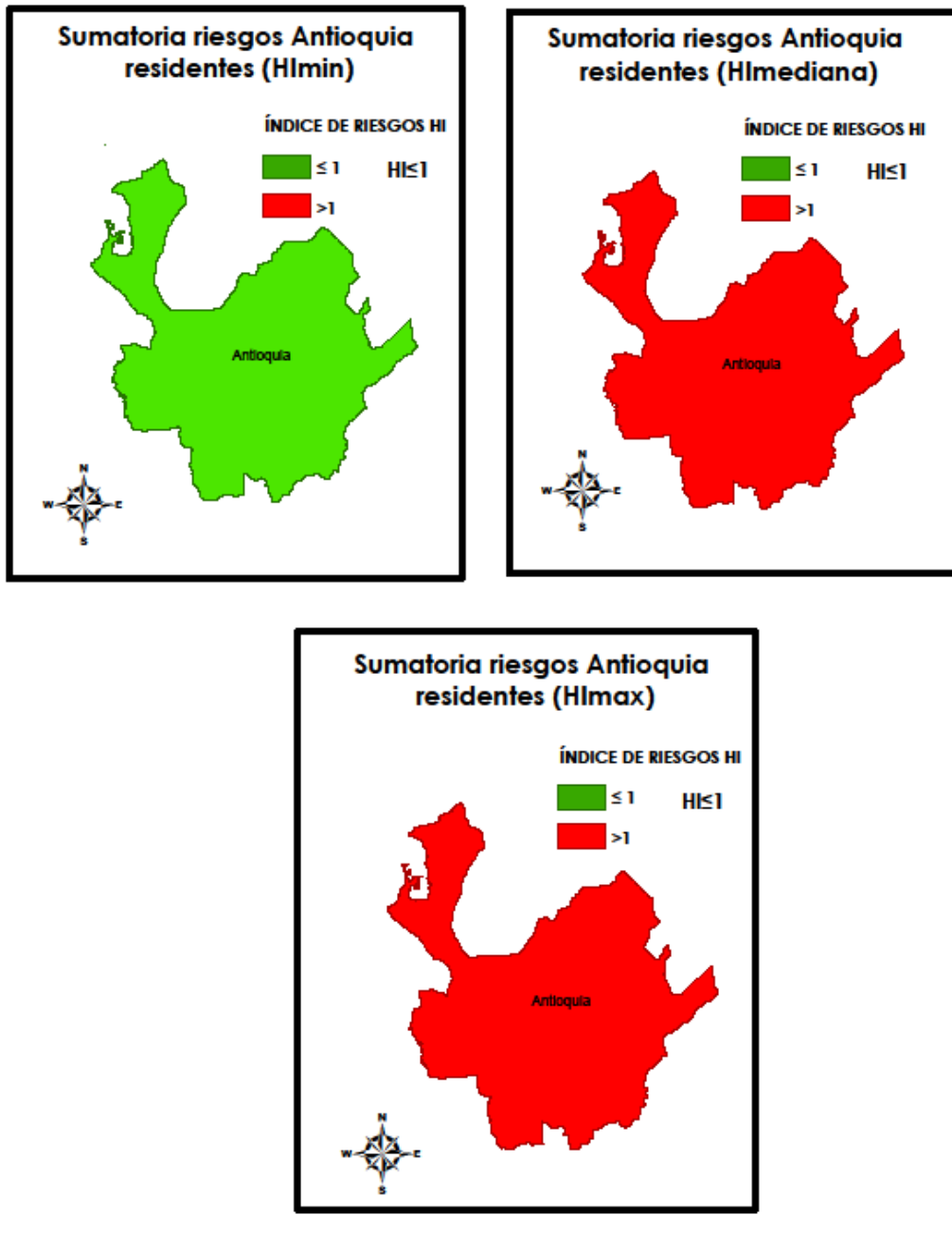
Tabla 30. Índice de riesgos de sumatoria de exposiciones trabajadores.

5.3.2 Exposición Total Antioquia residentes de municipios mineros: Peces + Inhalación.

Tan solo un 12% de los datos evaluados se encuentran por debajo de la unidad de riesgo y más del 86% de los habitantes de municipios auríferos se encuentran en riesgo de desarrollar efectos sistémicos por la exposición evaluada en las dos rutas. Para la población residente de los municipios antioqueños donde se desarrollan quemadas de amalgamas la situación no es favorable ya que aunque no estén inmersos en la producción aurífera artesanal de la región, las malas prácticas sí los afectan al punto que tan solo hay un 10% de diferencia entre los datos que sobrepasan el índice de riesgos para las dos poblaciones afectadas, de esta manera, se puede decir que los residentes corren prácticamente el mismo riesgo que un trabajador de la minería, en la suma de las rutas de exposición.

A continuación se presenta la distribución obtenida de la sumatoria en la tabla 31 y gráficamente en el mapa 22.

Sumatoria Riesgos Residentes Municipios Mineros: Ingesta + Inhalación



Mapa 22. Exposición Total Antioquia Residentes Municipios Mineros

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	95%	Max.
0.002944	1.642000	2.881000	4.936000	5.199000	18.2081	22.990000

Tabla 31. Índice de riesgos de sumatoria de exposiciones residentes.

4.4. Conclusiones

- ✧ Evidentemente el desarrollo productivo de la explotación minera aurífera es obsoleto, incurre en malas prácticas con consecuencias en el hombre y en el medio ambiente.
- ✧ Las dos rutas de exposición evaluadas en este trabajo arrojan riesgo inaceptable en las distribuciones de probabilidad realizada con los muestreos recolectados bibliográficamente.
- ✧ Se evidencia mayor preocupación investigativa, en el muestreo de Metilmercurio bioacumulado y biomagnificado en peces, ya que la toxicidad es mucho mayor que la del mercurio metálico. Por lo que hay más disponibilidad bibliográfica de datos de muestreos de peces a nivel nacional. Es prioritario que se abran líneas investigativas en la ruta de inhalación de vapores de mercurio para el resto de departamentos tomando el ejemplo del departamento de Antioquia que hace parte de la fase del Proyecto Mercurio de la ONUDI, ya que se pudo evidenciar que la suma de riesgos por rutas de exposición tanto de ingesta como de inhalación presenta un panorama poco favorecedor para las poblaciones tanto residentes como las que se encuentran dentro de los procesos mineros expuestas a mercurio.
- ✧ El consumo de peces utilizado para el desarrollo de esta evaluación, evidencia que las costumbres alimenticias varían dependiendo de las regiones evaluadas, que los aspectos culturales y geográficos influyen de manera ostensible en las distribuciones de riesgo. Se establece que las variables de consumo y las de concentraciones de Metilmercurio en peces son determinantes en la evaluación realizada, como ejemplo podemos evidenciar que el departamento de Antioquia se encuentra caracterizado por tener un bajo consumo frente a

concentraciones que en algunos casos superan el valor límite de la OMS de MeHg (0.5mg/Kg), la evaluación de riesgos probabilística evidentemente arroja riesgo inaceptable, pero es claro que podría ser mucho mayor si en el departamento el consumo de peces aumentara. La labor que realiza la Universidad de Cartagena en el departamento de química ambiental, en la caracterización y divulgación de peces contaminados con mercurio por las actividades auríferas de la región, puede ser una buena estrategia informativa en las comunidades de los demás departamentos que desarrollen este tipo de actividad.

- * Se pudo establecer que el uso de mercurio en la minería artesanal del oro en Colombia no solo genera riesgos de producir efectos sistémicos a la población minera, sino que los residentes de los pueblos mineros se ven afectados negativamente por las malas prácticas en los procesos de quema de amalgamas oro – mercurio.

- * Se hace necesario implementar en los lugares de quema de amalgamas mecanismos eficientes que permitan recuperar el oro evaporado y de ser posible ubicar estos lugares fuera de los centros urbanos como medida protectora para los habitantes de los municipios.

- * La ausencia de elementos de protección personal en todo el proceso productivo aumenta el riesgo en los mineros.

5. Bibliografía

- Artisanal an small scale gold mining and mercury pollution ASGM, International response to mercury use in artisanal ans small scale gold mining, 2005.
- Baselize, Análisis de la distribución y el transporte del mercurio en ríos bajo explotación minera con aplicación a la cuenca del Canorí, Universidad Central de Venezuela, 2002.
- Biodiversidad en Colombia <http://www.humboldt.org.co/chmcolombia/biodiversidad.htm>
- Camero, Riesgos de uso de mercurio en la pequeña minería y minería artesanal, III Encuentro de pequeños productores mineros y productores artesanales de la provincia de Quispicanchis Perú, 2009.
- Carmona, Generalidades sobre los metales tóxicos para la vida y la salud de los seres humanos, Informetal Vol. 24, No. 55, pag 9-18, 2006.
- Comité de coordinación de salud ambiental y programas relacionados de Latinoamérica, Apéndice III Evaluación de riesgos asociados con vapor de mercurio de la amalgama dental, 1992.
- Cartografía de Colombia <http://diva-gis.org/user/password>
- Cordy, Patterns of atmospheric mercury contamination in Colombia, UNIDO – United Nations Industrial Development Organization July 2010.
- Corporación autónoma regional del Cauca, Diagnostico geológico, minero, ambiental, social y económico. Distrito minero de las fondas. El Tambo – Cauca, 2003.
- Corporación autónoma regional del Cauca, Contaminación por mercurio y otros, Distrito minero de Bueno Aires -Cauca, 2007
- Corporación autónoma regional del río grande de la Magdalena, Plan de descontaminación en la cuenca del río grande de la Magdalena en relación con el recurso agua, 2007.
- Coyla U, Efectos del mercurio en el medio ambiente y la salud, Proyecto GAMA – COSUDE Perú, 2007.
- De Miguel, La evaluación de riesgos ambientales, E.T.S.I de Minas de Madrid.

- Del Valle, Pequeña minería del oro en Colombia, ¿Pequeña minería, minería artesanal o minería de pequeña escala?, Universidad Nacional de Colombia, Dpto de Geociencias, 2008.
- Departamento administrativo nacional de estadística DANE, Proyecciones de población municipales por área 2005 – 2009, http://www.dane.gov.co/index.php?Itemid=995&id=497&option=com_content§ionid=16&task=category, 18 septiembre 2010.
- Departamento del Vaupés, Diagnostico base de producción limpia y programa de capacitación en la explotación aurífera, 1998.
- Unidades minero energéticas Colombia, Departamentos auríferos Colombianos, producción de oro por departamento. http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=356&Fechainicial=01/01/1990&Fechafinal=31/12/2010 15 de Mayo de 2010
- Smocovich, Emergencias químicas provocadas por mercurio y sus compuestos, prevención y control, Universidad nacional de general San Martín, Argentina, 2000.
- GAMA – COSUDE, Toxicología del mercurio Actualizaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental, Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica, 2001.
- García Rivera, Proyecto Global del Mercurio Fase 2, Introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, 2010.
- Gestión de Conocimientos para una minería artesanal Eco eficiente, Estrategia de reducción de contaminación por mercurio.
- <http://geco.mineroartesanal.com/tiki-index.php?page=Video:+Estrategia+de+reducci3n+de+contaminaci3n+por+mercurio&bl=y>.
- Gobierno de Chile, Plan nacional para la gestión de los riesgos del mercurio, 2009.
- GreenFacts, Consenso científico sobre el mercurio, 2004.
- Guevara et al, PERFIL HEMATOLÓGICO DE LOS TRABAJADORES DE LA MINERÍA DEL ORO EXPUESTOS A VAPORES DE MERCURIO METÁLICO EN

EL MUNICIPIO DE AMALFI - ANTIOQUIA , Universidad de Antioquia, Noviembre 2009.

- Guía de evaluación de riesgos de la Agencia de Protección Ambiental de estado Unidos. EPA – RAGS. <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/pdf/ch6-1.pdf>
- Guía de evaluación de riesgos de la Agencia de Protección Ambiental de estado Unidos. EPA – RAGS. http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsf/pdf/7-partf_200901_ch3.pdf
- Idrovo A., Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía, Instituto nacional de Salud, 2001.
- Instituto de investigaciones ambientales del pacifico, Diagnostico Situacional de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala desarrollada por Afrocolombianos en Territorios Colectivos de Comunidades Negras en el Choco Biogeográfico, 2005.
- Instituto de investigaciones ambientales del pacifico, Diagnostico preliminar de la calidad del aire y el agua en centros de mayor poblamiento humano de la región del Chocó Biogeográfico Colombiano, 2007.
- Jiménez Gómez, Interacción del mercurio con los componentes de aguas residuales, Universidad Nacional de Colombia, 2005.
- Jiménez Delgado, Determinación de la intoxicación por mercurio debida a la actividad minera en Vaupés, 2007.
- Junod, Fuentes de Metilmercurio y su impacro en la biota de los cuerpos de agua dulce, Universidad de Biobío chile, 2005.
- López, Aluviones auríferos en Colombia geología e historia de su exploración y producción, 2009.
- Mancera, Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia, Acta biológica, 2006.
- Márquez y Montes, Localización de depósitos auríferos aluviales en Colombia, 1997.

- Marrugo, Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Universidad de Córdoba, 2001.
- Marrugo, Niveles totales de mercurio en peces del embalse de la hidroeléctrica de Urrá, Colombia Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, México, 2007.
- Ministerio de minas y energía de Colombia, Distritos mineros: Explotaciones e infraestructuras de transporte, 2005.
- Ministerio de minas y energía de Colombia, Sector colombiano de la minería "Realidad y perspectivas para su desarrollo", 2002
- Ministerio de minas y energía y Ministerios del medio ambiente de Colombia, Guía minero ambiental Beneficio y transformación, 2006.
- Maisonet, Exposición al mercurio por exposición de pescado contaminado: cuadro de la carga corporal de niños y mujeres de América latina, 2002.
- Lista de especies de peces dulceacuícolas amenazados de Colombia (Mojica et al. 2002).
<http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=30000119> Julio 2010
- López Villegas, Aluviones auríferos en Colombia, Geología e historia de su exploración y producción, Mineros S.A, 2009.
- Olivero, Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia, 1995.
- Olivero, "PROGRAMA DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA REGION DE LA MOJANA Colombia", TOXICOLOGIA AMBIENTAL, FAO, 2002.
- Olivero, EL LADO GRIS DE LA MINERÍA DEL ORO: LA CONTAMINACIÓN CON MERCURIO EN EL NORTE DE COLOMBIA, 2002.
- Organización mundial de la salud OMS, AIR Quality Guidelines for Europe, 2000.
- Ospina Gustavo, Mercurio, el nudo en Remedios y Segovia, Periódico El Colombiano, publicación 25 Julio 2008.
- Pantoja, Una experiencia de investigación aplicada para mejorar la capacidad técnica de los pequeños mineros de oro en Latinoamérica, 2008.

- Perea, Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, 2008.
- Periódico El Tiempo, Enero 2008. Análisis ético y situación actual de la extracción de oro en las localidades de Segovia y Remedios.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, Evaluación mundial sobre el mercurio, 2002.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, 2005.
- Programa de Vigilancia Epidemiológica, Departamento de Antioquia, 1997 a 2008, Incidencia por intoxicación con mercurio.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2005. Alteraciones neurocomportamentales en personas expuestas a mercurio en la actividad minera del oro en el municipio de Segovia (Antioquia).
- Risher, Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Human health aspects, OMS - UNIDO, 2003.
- RISK CHARACTERIZATION HANDBOOK
<http://www.epa.gov/osa/spc/pdfs/rchandbk.pdf> 29 junio de 2010.
- Ruiz C, Medición de las concentraciones de mercurio y controles ambientales en la quema de amalgamas provenientes de la minería, Revista Informetal Vol. 24, No. 55, pag 29-35, 2006.
- Ruiz C, Generalidades sobre la situación actual del municipio de Segovia con relación al consumo de mercurio en el beneficio del oro, Informetal Vol. 24, No. 55, pag 21-26, 2006.
- Sanchez, Análisis comparativo de las causas del deterioro de la calidad de agua en la zona del río Condóto, en el departamento del Chocó, Universidad de Antioquia, 2009.
- Secretaría de Productividad y Competitividad de la Gobernación de Antioquia, Censo minero 2007.
- Sepúlveda, el mercurio sus implicaciones en la salud y en el medio ambiente, Universidad de Caldas, 2006.

- Sistema de información de la Evaluación del riesgo - RAIS, Perfil toxicológico del mercurio.
http://rais.ornl.gov/tox/profiles/mercury_ragsa.html 15 de Mayo de 2010.
- Sistema de información de la Evaluación del riesgo - RAIS, Perfil toxicológico del Metilmercurio.
http://rais.ornl.gov/tox/profiles/methyl_mercury_ragsa.html 15 de Mayo de 2010.
- Sistema integrado de información de riesgos - IRIS, Perfil toxicológico del mercurio.
<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0370.htm> 15 de Mayo de 2010.
- Sistema integrado de información de riesgos - IRIS, Perfil toxicológico del Metilmercurio.
<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0073.htm> 15 de Mayo de 2010.
- Unidad de planeación minero energética – UPME-, Distritos mineros: exportaciones e infraestructura de transporte, 2005.
- United Nations Environment Programme, Study on options for global control of mercury, 2007.
- Universidad de Antioquia, Proyecto de investigación en red sobre la organización e institucionalidad en la minería artesanal y en pequeña escala (caso Colombiano), 2003.
- Universidad Nacional de Colombia, Intoxicación por mercurio, I Congreso internacional de medicina general y social, 2008.
- Veiga Marcello, Antioquia, Colombia: the world's most polluted place by mercury: impressions from two field trips, UNIDO – United Nations Industrial Development Organization , February 2010.
- Villachica, Oro ecológico tecnología para la obtención de oro sin mercurio en la minería de pequeña escala, Smallvill S.A.C, 2007.
- Zero Mercury Working Group, Mercurio en pescado un problema para la salud mundial, 2009.

EVALUACIÓN PROBABILÍSTICA DE RIESGOS POR EXPOSICIÓN A MERCURIO EN LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL DE COLOMBIA

DIANA CLAVIJO* MADRID / ESPAÑA CALLE RIOS ROSAS 21. dianaclavijo@gmail.com

Palabras Clave: Evaluación de riesgos, minería, oro, artesanal, Colombia, mercurio, Metilmercurio, inhalación, consumo.

Keys: Risk assessment, mining, gold, artisanal, Colombia, mercury, methylmercury, intake, inhalation.

1. ABSTRACT

The Colombian territory has favorable metallogenic environment that has allowed the country to establish itself in the worldwide gold mining sector, as established by the " Ministry of Mines and Energy in 2002. The gold mining in Colombia has been exploited since pre-Columbian times; variations with time depend on the extraction of those benefit from large multinationals to small-scale mining has distinguished by the use of mercury to obtain the gold. Nevertheless, the use of mercury is used without any consideration as to how it affects the aquatic ecosystem; the mercury is easily incorporated into the food chain as methyl mercury through fish, thus man will become the final host for mercury. Is also provided as a vapor in the burning of amalgam mercury - gold, affected not only the health of miners themselves, but to the townspeople who are breathing secondhand mercury vapors. For these reasons, probabilistic assessment was conducted to determine the chronic risk to these populations that are exposed by routes fish ingestion contaminated with Methyl mercury and inhalation mercury vapors.

1. RESUMEN.

El territorio colombiano cuenta con ambientes metalogénicos propicios

que le han permitido al país posicionarse en el sector minero del oro a nivel mundial, como lo estableció el Ministerio de minas y energía en el 2002. La minería aurífera en Colombia ha sido explotada desde épocas precolombinas; con el tiempo las variaciones en la extracción dependen de quienes se benefician, desde grandes multinacionales hasta la minería artesanal que tiene como característica el uso de mercurio para la obtención del oro. El mercurio es dispuesto sin ningún tipo de consideración en ecosistemas acuáticos donde se incorpora con facilidad en la cadena alimenticia en los peces en forma de Metilmercurio cuyo residente final es el hombre; también es dispuesto como vapor en la quema de las amalgamas mercurio - oro, afectado no solo la salud de los mineros si no de los residentes de los municipios mineros. Por tales razones se realizó una evaluación probabilística con el fin de determinar el riesgo crónico al que se exponen estas poblaciones por las rutas de consumo de peces contaminados con Metilmercurio e inhalación de vapores de mercurio.

2. INTRODUCCIÓN

Colombia ha sido catalogada, según el estudio de la Organización de la Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial – ONUDI- de Julio de 2010, como el mayor contaminador per cápita con mercurio del mundo, como consecuencia de la minería aurífera artesanal, que se incrementa con rapidez dados los altos precios del oro a nivel mundial. Los mineros han empleado mercurio para separar el oro durante décadas, pero parte de este químico se pierde en el proceso, contaminando ríos, aire y suelos que afectan en última medida a las poblaciones residentes de las zonas donde se desarrolla la minería artesanal y obviamente al minero. El aprovechamiento aurífero ha sido un trabajo que ha pasado de generación en generación, en su mayoría, la práctica de la tradición no es ambientalmente amigable y raya en la ilegalidad del código minero. Estas actividades mineras artesanales, en muchos casos corresponden a actividades satélites, donde el común denominador es la explotación ilegal con carácter transitivo, predominado las invasiones de áreas en explotación con licencias, concesiones o propiedades mineras de mediana y gran escala, (Del Valle, 2008).

Según ASGM (Artisanal Small-Scale Gold Mining ó Extracción del oro artesanal a pequeña escala), en el año 2008, Colombia se ubico en el tercer puesto con el uso de 75 Ton Hg/año para la producción de 35 mil Ton de oro, mientras que Perú con tan solo 30 Ton Hg/año exploto 400 mil Ton de oro. Estas cifras ubican claramente el manejo inadecuado del mercurio en la extracción del oro en Colombia dado que en su gran mayoría no es recuperado ni reutilizado en el proceso de la amalgamación y es dispuesto en el medio sin ningún tipo de consideración.

Por estas razones se desarrollo un análisis de riesgos probabilísticos por el uso de mercurio en la minería aurífera artesanal de Colombia, con el fin

de evaluar la exposición de poblaciones que hacen parte del proceso minero y de las poblaciones residentes de los municipios auríferos.

3. MATERIALES Y METODOS

La metodología utilizada para el desarrollo de la evaluación de riesgos, es la propuesta por la Agencia de protección medioambiental de Estados Unidos EPA, con el fin de determinar el riesgo de exposición a mercurio usado en la minería aurífera artesanal de Colombia por las rutas de ingesta de peces contaminados con Metilmercurio (MeHg) y por inhalación de vapores de mercurio. De esta manera para la ruta de ingesta se evaluó a 12 departamentos auríferos colombianos (Antioquia, Nariño, Santander, Cauca, Caldas, Quindío, Guainía, Vaupés, Bolívar, Córdoba, Chocó y Tolima), y en la ruta de inhalación se evaluó a 5 municipios auríferos del departamento de Antioquia (Remedios, Segovia, Caucasia, Zaragoza y El Bagre) donde se analizó a dos poblaciones: población de trabajadores en minería y la población residente de los municipios auríferos.

Las concentraciones de exposición para las dos rutas evaluadas fueron recopiladas bibliográficamente de diferentes estudios investigativos que se ha desarrollado en Colombia. Las concentraciones de Metilmercurio se encuentran expresadas en mg/Kg y las de vapor de mercurio se expresan en mg/m³. Los datos de exposición, recogidos bibliográficamente varían en tamaño, y en la determinación de la concentración media de exposición se evidencia que este valor estadísticamente puede ser representado por cualquiera de los recopilados, de esta manera se trabajaron como valores promedios de exposición aplicando una distribución uniforme mediante el programa Statistics R seleccionando estos valores de forma equiprobable, así la distribución del valor medio de exposición tendrá menor variabilidad que los datos originales y nos sitúa en un análisis de tipo conservador.

El estudio fue caracterizado con las especificaciones de poblaciones adultas para las variables de las ecuaciones utilizadas, con el fin de determinar el riesgo por exposición crónica dada la particularidad de las mismas.

3.1 Ingesta de peces contaminados

$$\text{DOSIS (mg MeHg/kg * día)} = \frac{\text{CF * IR * FI * EF * ED}}{\text{BW * AT}}$$

$$\text{HI} = \frac{\text{Dosis}}{\text{RfD}}$$

Donde:

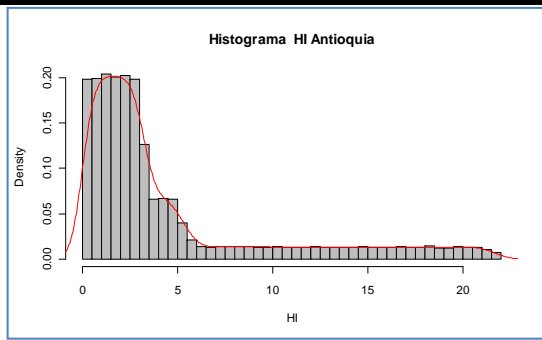
Valores utilizados		Fuente											
CF	Concentración de MeHg. (mg/kg). Distribución uniforme de las concentraciones recopiladas bibliográficamente por departamento con el programa R, que es un sistema de análisis estadísticos y gráficos. La distribución se realizó en 100mil valores.		Distribución uniforme de las concentraciones recopiladas bibliográficamente por departamento con el programa R, que es un sistema de análisis estadísticos y gráficos. La distribución se realizó en 100mil valores.										
		ANTIOQ (mg/Kg)	SANTAN (mg/Kg)	NARIÑO (mg/Kg)	BOLIVA (mg/Kg)	CHOCO (mg/Kg)	CORDOBA (mg/Kg)	TOLIMA (mg/Kg)	CAUCA (mg/Kg)	CALDAS (mg/Kg)	GUAINI (mg/Kg)	VAUPES (mg/Kg)	QUINDI (mg/Kg)
	Min.	0.450	0.0500	0.02600	0.0010	0.0260	0.1300	0.0500	0.1600	0.0300	0.170	0.170	0.2000
	1st Qu.	0.500	0.1325	0.09275	0.0850	0.1150	0.2730	0.0700	0.2125	0.0975	0.235	0.235	0.2750
	Median	0.750	0.1900	0.24250	0.3000	0.3700	0.3225	0.1200	0.2950	0.2600	0.300	0.300	0.3650
	Mean	1.364	0.5325	0.33525	0.7178	0.5364	0.5216	0.2869	0.3125	0.3375	0.300	0.300	0.3575
	3rd Qu.	2.025	0.5900	0.48500	0.7080	0.8300	0.4065	0.1320	0.3950	0.5000	0.365	0.365	0.4475
Max.	3.300	1.7000	0.83000	2.9200	1.3410	2.8000	1.7800	0.5000	0.8000	0.430	0.430	0.5000	
	Fuentes citadas en la bibliografía.												
IR	Tasa de ingesta de peces. (Kg/día).		Gómez, FAO-2007, y Jesús Olivero, FAO-2002										
FI	Fracción de ingesta de la ruta contaminada. (Sin unidades). =1. Sin unidades.		Exposure Factors USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03)										

EF	Frecuencia de exposición.(Días/año). = 350 días/año. Según la revisión bibliográfica se pudo establecer que gran parte de los mineros que están organizados tienen 15 días de vacaciones en el año mientras que los mineros que trabajan por su cuenta no realizan vacaciones programadas, valor que coincide con el que la EPA establece como estándar para la frecuencia de exposición.	Proyecto mercurio 2. ONUDI Exposure Factors, USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03).
ED	Duración de exposición. (Años). = 50 años. (Adulto). La esperanza de vida para Colombia según la OMS es de 75 años, para la determinación de la duración de la exposición por riesgo sistémico se redondea el valor de la diferencia de esta con la mayoría de edad que es de 18 años, valor y estimación que coincide con la EPA.	Informe Estadístico sobre la Salud en el Mundo de la OMS, 2009.Esperanza de vida en Colombia. Exposure Factors, USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03) Exposure Factors Handbook, USEPA 1997.
BW	Peso corporal medio durante el tiempo de exposición = 72 Kg (Adulto).	Arístizabal y Restrepo, 2007. Evaluación de la composición corporal de adultos sanos por antropometría en Colombia.
AT	Tiempo medio de exposición en función de la toxicidad del mercurio. (Días) = 365 días*ED.	RAGS(Part A), USEPA 1989 (EPA/540/1-89/002)
HI	Índice de Riesgo ≤ 1	Exposure Factors USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03)
RfD	Dosis de referencia MeHg =1E-04mg/kg*día	Sistema de información de la Evaluación del riesgo RAIS, y de información de riesgos IRIS. Perfil toxicológico del Metilmercurio. http://rais.ornl.gov/tox/profiles/methyl_mercury_ragsa.html 15/05/10 http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0073.htm 15/05/10.

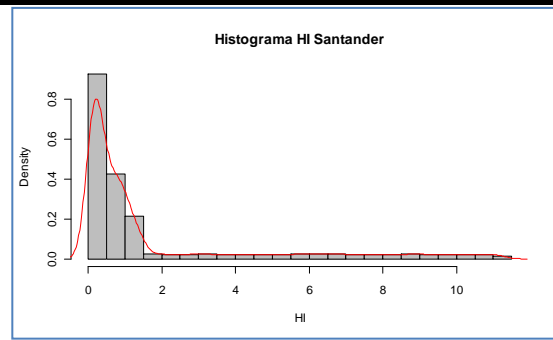
Determinadas las características para la ruta se realizó la distribución y el cálculo tanto de las dosis y su respectivo índice de riesgo mediante el programa Statistics R.

Para la evaluación de riesgo por consumo de peces, se realizó una distribución uniforme en los rangos de consumo con el fin de que sean equiprobables sobre los datos originales, a continuación se presentan los histogramas de la evaluación realizada por departamentos:

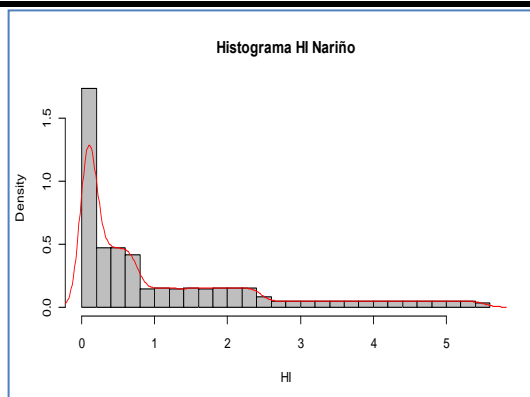
Distribución índice de Riesgo Consumo de peces con MeHg.



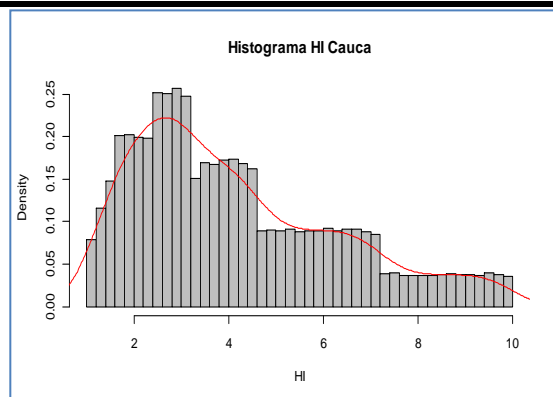
EL 20.19% DE LOS DATOS SON MENORES O IGUALES A 1



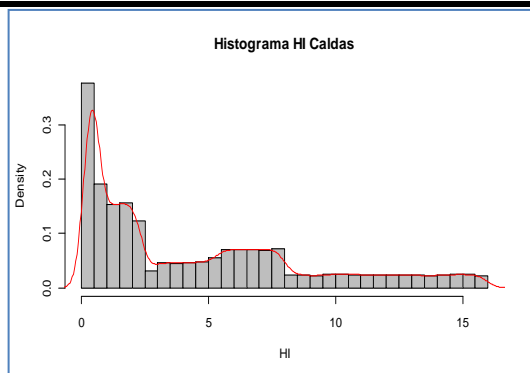
EL 67.84% DE LOS DATOS SON MENORES O IGUALES A 1



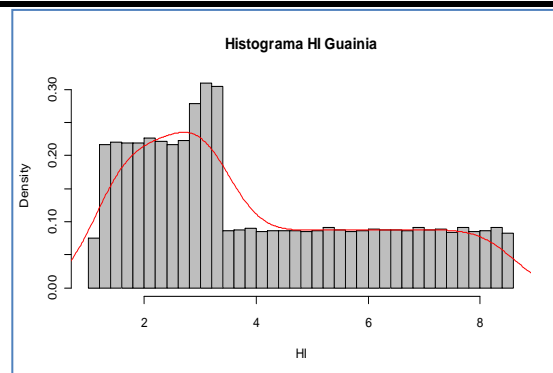
EL 64.9% DE LOS DATOS SON MENORES O IGUALES A 1



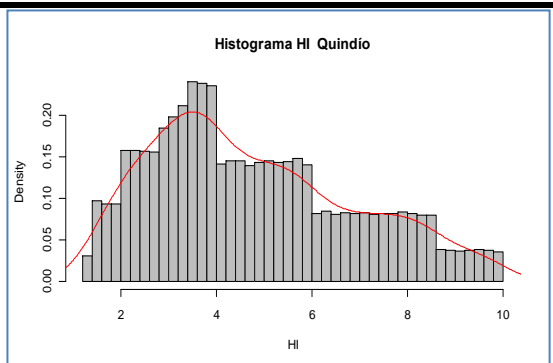
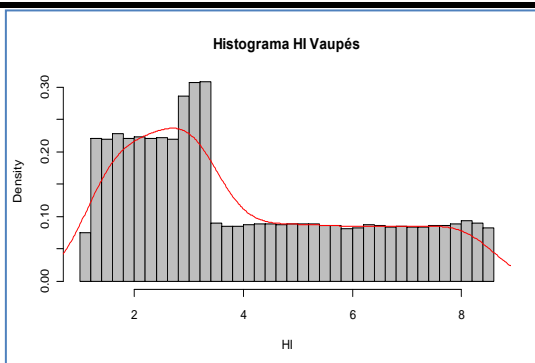
EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1

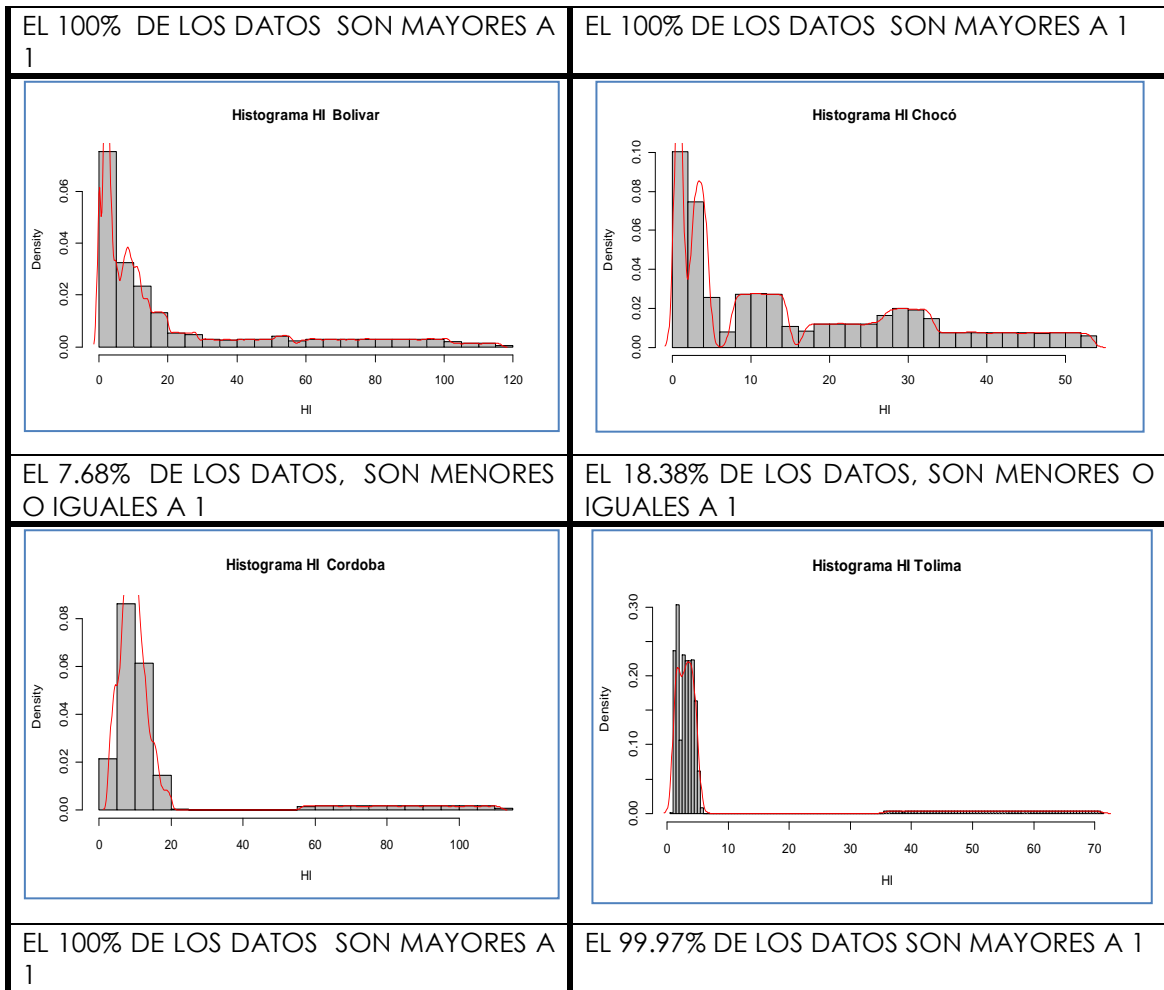


EL 27.91% DE LOS DATOS SON MENORES O IGUALES A 1



EL 100% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1





3.2 *Inhalación de vapores mercurio trabajadores mineros*: La evaluación se realizó siguiendo los pasos del RAGS F de la EPA, contemplando dos microambientes a los que normalmente un trabajador de minería aurífera artesanal estaría expuesto: microambiente de talleres donde se utiliza el mercurio y el microambiente de la calle. Utilizando muestreos de la ONUDI y del gobierno de Antioquia.

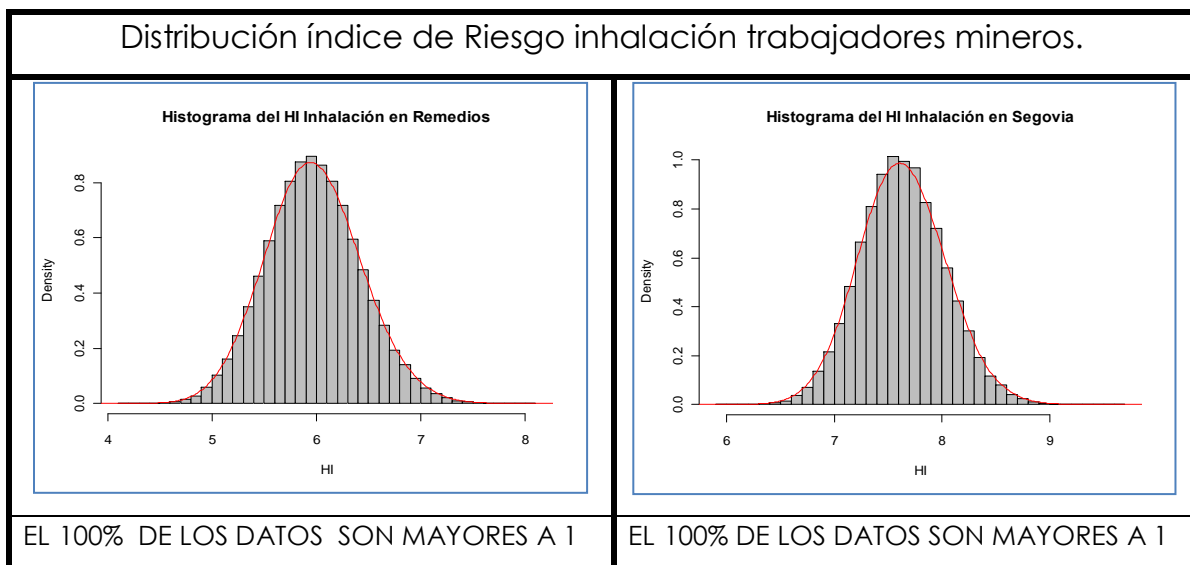
$$\text{Concentración de exposición (EC) (mg/m}^3\text{)} = \frac{\sum (CA * ET * EF) * ED}{AT}$$

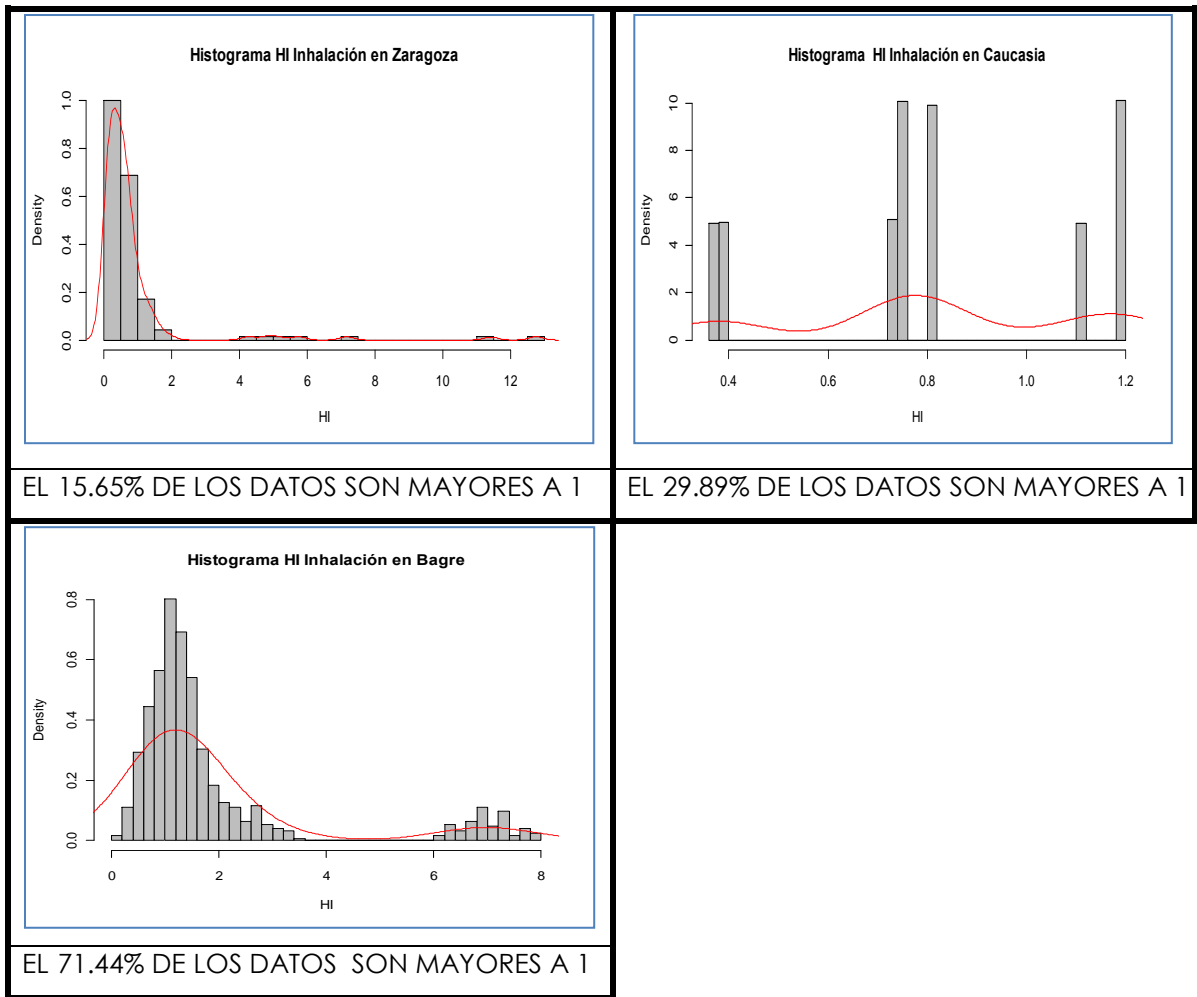
$$HI = \frac{EC}{RfC}$$

Valores utilizados	Fuente																																																																																				
<p>CA Concentración de mercurio en aire en taller y calle, (mg/m³). Distribución uniforme realizada con el programa estadístico R.</p> <table border="1" data-bbox="400 344 1238 539"> <thead> <tr> <th></th> <th>Remedios. Talleres</th> <th>Remedios. Calles</th> <th>Caucasia. Talleres</th> <th>Caucasia. Calles</th> <th>Zaragoza. Talleres</th> <th>Zaragoza. Calle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Min. :</td> <td>0.0050</td> <td>0.000e+00</td> <td>0.0100</td> <td>3.000e-05</td> <td>2.50e-03</td> <td>4.000e-05</td> </tr> <tr> <td>1st Qu.:</td> <td>0.0485</td> <td>0.000e+00</td> <td>0.0125</td> <td>4.000e-05</td> <td>3.75e-03</td> <td>6.125e-04</td> </tr> <tr> <td>Median :</td> <td>0.1000</td> <td>4.000e-03</td> <td>0.0150</td> <td>4.000e-03</td> <td>5.00e-03</td> <td>9.500e-04</td> </tr> <tr> <td>Mean :</td> <td>0.1476</td> <td>4.024e-03</td> <td>0.0150</td> <td>2.814e-03</td> <td>4.50e-03</td> <td>1.099e-03</td> </tr> <tr> <td>3rd Qu.:</td> <td>0.1930</td> <td>6.000e-03</td> <td>0.0175</td> <td>5.000e-03</td> <td>5.50e-03</td> <td>1.250e-03</td> </tr> <tr> <td>Max. :</td> <td>0.6520</td> <td>1.600e-02</td> <td>0.0200</td> <td>5.000e-03</td> <td>6.00e-03</td> <td>3.000e-03</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="541 555 1094 750"> <thead> <tr> <th></th> <th>Segovia. Talleres</th> <th>Segovia. Calle</th> <th>Bagre. Talleres</th> <th>Bagre. Calle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Min. :</td> <td>0.000e+00</td> <td>0.000e+00</td> <td>4.00e-03</td> <td>4.00e-04</td> </tr> <tr> <td>1st Qu.:</td> <td>0.0590</td> <td>0.000e+00</td> <td>8.25e-03</td> <td>4.00e-03</td> </tr> <tr> <td>Median :</td> <td>0.1290</td> <td>4.000e-03</td> <td>1.75e-02</td> <td>6.00e-03</td> </tr> <tr> <td>Mean :</td> <td>0.1829</td> <td>7.633e-03</td> <td>3.36e-02</td> <td>6.69e-03</td> </tr> <tr> <td>3rd Qu.:</td> <td>0.2280</td> <td>6.750e-03</td> <td>2.70e-02</td> <td>9.00e-03</td> </tr> <tr> <td>Max. :</td> <td>0.9990</td> <td>1.420e-01</td> <td>1.80e-01</td> <td>1.20e-02</td> </tr> </tbody> </table> <p>Citadas en la bibliografía.</p>		Remedios. Talleres	Remedios. Calles	Caucasia. Talleres	Caucasia. Calles	Zaragoza. Talleres	Zaragoza. Calle	Min. :	0.0050	0.000e+00	0.0100	3.000e-05	2.50e-03	4.000e-05	1st Qu.:	0.0485	0.000e+00	0.0125	4.000e-05	3.75e-03	6.125e-04	Median :	0.1000	4.000e-03	0.0150	4.000e-03	5.00e-03	9.500e-04	Mean :	0.1476	4.024e-03	0.0150	2.814e-03	4.50e-03	1.099e-03	3rd Qu.:	0.1930	6.000e-03	0.0175	5.000e-03	5.50e-03	1.250e-03	Max. :	0.6520	1.600e-02	0.0200	5.000e-03	6.00e-03	3.000e-03		Segovia. Talleres	Segovia. Calle	Bagre. Talleres	Bagre. Calle	Min. :	0.000e+00	0.000e+00	4.00e-03	4.00e-04	1st Qu.:	0.0590	0.000e+00	8.25e-03	4.00e-03	Median :	0.1290	4.000e-03	1.75e-02	6.00e-03	Mean :	0.1829	7.633e-03	3.36e-02	6.69e-03	3rd Qu.:	0.2280	6.750e-03	2.70e-02	9.00e-03	Max. :	0.9990	1.420e-01	1.80e-01	1.20e-02	
	Remedios. Talleres	Remedios. Calles	Caucasia. Talleres	Caucasia. Calles	Zaragoza. Talleres	Zaragoza. Calle																																																																															
Min. :	0.0050	0.000e+00	0.0100	3.000e-05	2.50e-03	4.000e-05																																																																															
1st Qu.:	0.0485	0.000e+00	0.0125	4.000e-05	3.75e-03	6.125e-04																																																																															
Median :	0.1000	4.000e-03	0.0150	4.000e-03	5.00e-03	9.500e-04																																																																															
Mean :	0.1476	4.024e-03	0.0150	2.814e-03	4.50e-03	1.099e-03																																																																															
3rd Qu.:	0.1930	6.000e-03	0.0175	5.000e-03	5.50e-03	1.250e-03																																																																															
Max. :	0.6520	1.600e-02	0.0200	5.000e-03	6.00e-03	3.000e-03																																																																															
	Segovia. Talleres	Segovia. Calle	Bagre. Talleres	Bagre. Calle																																																																																	
Min. :	0.000e+00	0.000e+00	4.00e-03	4.00e-04																																																																																	
1st Qu.:	0.0590	0.000e+00	8.25e-03	4.00e-03																																																																																	
Median :	0.1290	4.000e-03	1.75e-02	6.00e-03																																																																																	
Mean :	0.1829	7.633e-03	3.36e-02	6.69e-03																																																																																	
3rd Qu.:	0.2280	6.750e-03	2.70e-02	9.00e-03																																																																																	
Max. :	0.9990	1.420e-01	1.80e-01	1.20e-02																																																																																	
<p>ET Tiempo de exposición en taller y calle, (Horas/día). Taller: 8 horas diarias. Calle: 16 horas diarias</p> <p>Hace referencia a las horas que pasa un individuo en los dos ambientes estudiados: Taller y Calle, según la fuente bibliográfica.</p>	<p>Secretaria de productividad y competitividad de Antioquia en su Diagnostico para la implementación de sistemas de gestión ambiental, 2006</p>																																																																																				
<p>EF Frecuencia de exposición en taller, en la calle se asume los días laborales en que está en la calle mas el día festivo), (Días/semana). En Taller, días laborales 6 a la semana, total al año de 312 días, menos 12 días laborales de vacaciones. = 300 días/año.</p> <p>En calle, 6 días a la semana más el día festivo, serían al año 312 días más los domingos de descanso 52. Menos vacaciones, con el supuesto que salen del municipio en sus vacaciones. =350 días/año.</p>	<p>Secretaria de productividad y competitividad de Antioquia en su Diagnostico para la implementación de sistemas de gestión ambiental, 2006</p>																																																																																				
<p>ED Duración de la exposición, (años).=45 años. Tiempo medio desarrollando la actividad.</p>	<p>Guevara Arizmendi , et al, 2009, PERFIL HEMATOLÓGICO DE LOS TRABAJADORES DE LA MINERÍA DEL ORO EXPUESTOS A VAPORES DE MERCURIO METÁLICO EN EL MUNICIPIO DE AMALFI - ANTIOQUIA</p>																																																																																				
<p>AT Tiempo medio de exposición. = ED *365 días/año* 24 horas/día</p>	<p>Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment). 2003</p>																																																																																				
<p>HI Índice de Riesgo ≤1</p>	<p>Exposure Factors USEPA 1991 (OSWER</p>																																																																																				

		No. 9285.6-03)
RfC	Referencia dosimetría de inhalación Hg ⁰ . =3E-04mg/kg*día	Sistema de información de la Evaluación del riesgo - RAIS, Perfil toxicológico del mercurio. http://rais.ornl.gov/tox/profiles/mercury_ragsa.html 15 de Mayo de 2010 Sistema integrado de información de riesgos - IRIS, Perfil toxicológico del mercurio. http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0370.html 15 de Mayo de 2010

La distribución uniforme realizada para los municipios de Remedios y Segovia, se realizo sobre la media de los datos recopilados bibliográficamente ya que disponen de más de 100 muestreos, a diferencia de los demás municipios. Los histogramas producto de la evaluación de riesgo por esta ruta se presentan a continuación:





3.3 *Inhalación de vapores mercurio residentes municipios mineros:* Se evaluó el riesgo a la que está expuesto una persona que no trabaja en la minería pero que si vive en un municipio minero donde se hace la quema de las amalgamas.

$$\text{Concentración de exposición (EC) (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{CA} \cdot \text{ET} \cdot \text{EF} \cdot \text{ED}}{\text{AT}}$$

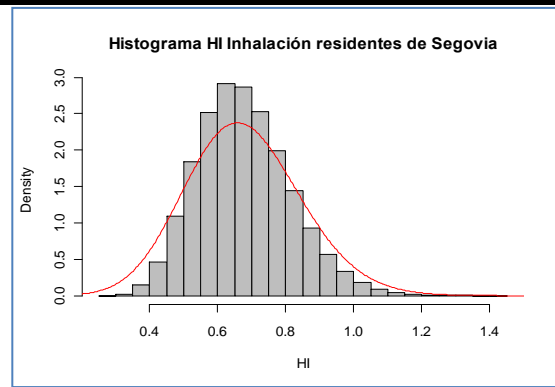
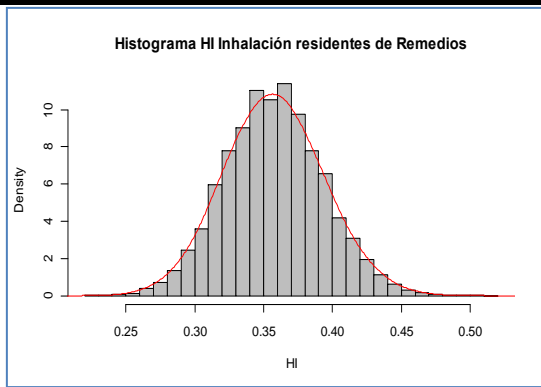
$$\text{HI} = \frac{\text{EC}}{\text{RfC}}$$

Valores utilizados		Fuente				
CA	Concentración de mercurio en aire encalle, (mg/m ³). Distribución uniforme realizada con el programa estadístico R.	Remedios.Calle	Segovia .Calle	Caucasia .Calles	Zaragoza .Calle	Bagre.Calle
	Min. :	0.000000	0.000000	3.000e-05	4.000e-05	4.00e-04
	1st Qu.:	0.000000	0.000000	4.000e-05	6.125e-04	4.00e-03
	Median :	0.004000	0.004000	4.000e-03	9.500e-04	6.00e-03
	Mean :	0.004024	0.007633	2.814e-03	1.099e-03	6.69e-03
	3rd Qu.:	0.006000	0.006750	5.000e-03	1.250e-03	9.00e-03
	Max. :	0.016000	0.142000	5.000e-03	3.000e-03	1.20e-02

	Citadas en la bibliografía.	
ET	Tiempo de exposición en calle, (Horas/día). Calle: 16 horas diarias	Secretaria de productividad y competitividad de Antioquia en su Diagnostico para la implementación de sistemas de gestión ambiental, 2006
EF	Frecuencia de exposición en la calle (Días/semana). =350 días/año. Se asumen 15 días al año de vacaciones.	Proyecto mercurio 2. ONUDI Exposure Factors, USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03).
ED	Duración de la exposición, (años). = 50 años. Tiempo medio de vida adulta en los municipios, determinado al deducir la esperanza de vida que para Colombia son 75 años y la mayoría de edad(18años), y siguiendo las recomendaciones del Handbook se establece este con el fin de redondear la cifra y representar de manera significativa las poblaciones estudiadas.	Informe Estadístico sobre la Salud en el Mundo de la OMS, 2009.Esperanza de vida en Colombia. Exposure Factors, USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03) Exposure Factors Handbook, USEPA 1997.
AT	Tiempo medio de exposición. = ED *365 días/año* 24 horas/día	Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment). 2003
HI	Índice de Riesgo ≤ 1	Exposure Factors USEPA 1991 (OSWER No. 9285.6-03)
RfC	Referencia dosimetría de inhalación Hg ⁰ . =3E-04mg/kg*día	Sistema de información de la Evaluación del riesgo - RAIS, Perfil toxicológico del mercurio. http://rais.ornl.gov/tox/profiles/mercury_ragsa.html 15 de Mayo de 2010 Sistema integrado de información de riesgos - IRIS, Perfil toxicológico del mercurio. http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0370.html 15 de Mayo de 2010

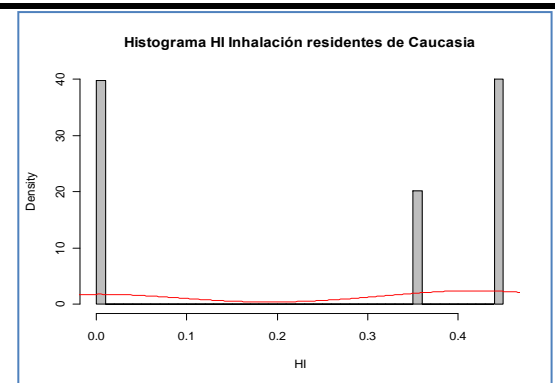
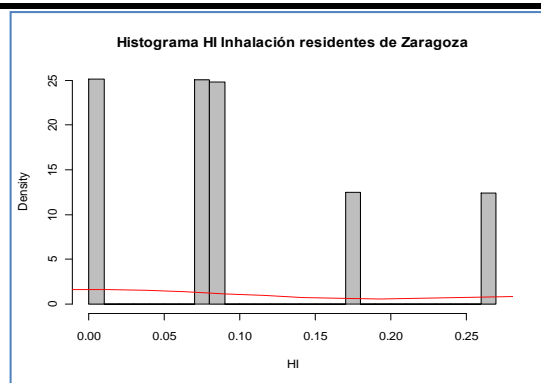
De la misma manera que en la distribución de riesgo para la población minera, para los municipios de Remedios y Segovia, se realizo sobre la media de los datos recopilados bibliográficamente por la cantidad de muestreos recolectados bibliográficamente., a continuación se presentan los histogramas:

Distribución índice de Riesgo inhalación residentes municipios mineros



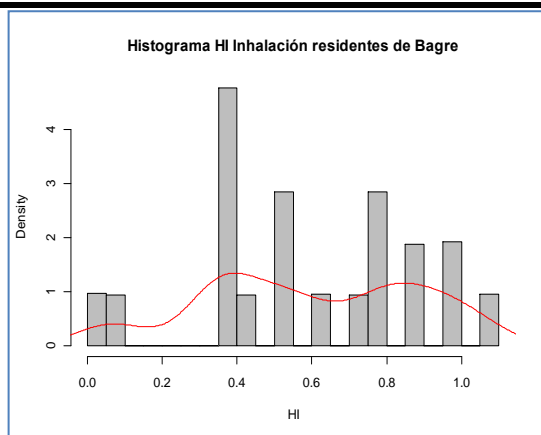
EL 100% DE LOS DATOS NO SUPERAN EL ÍNDICE DE PELIGRO.

EL 1.73% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1



EL 100% DE LOS DATOS NO SUPERAN EL ÍNDICE DE PELIGRO

EL 100% DE LOS DATOS NO SUPERAN EL ÍNDICE DE PELIGRO



EL 4.76% DE LOS DATOS SON MAYORES A 1

3.4 **Sumatoria de Riesgos para el departamento de Antioquia:** La exposición por consumo de peces y las de inhalación se sumaron con el fin de determinar un riesgo total en el departamento, ya que para la

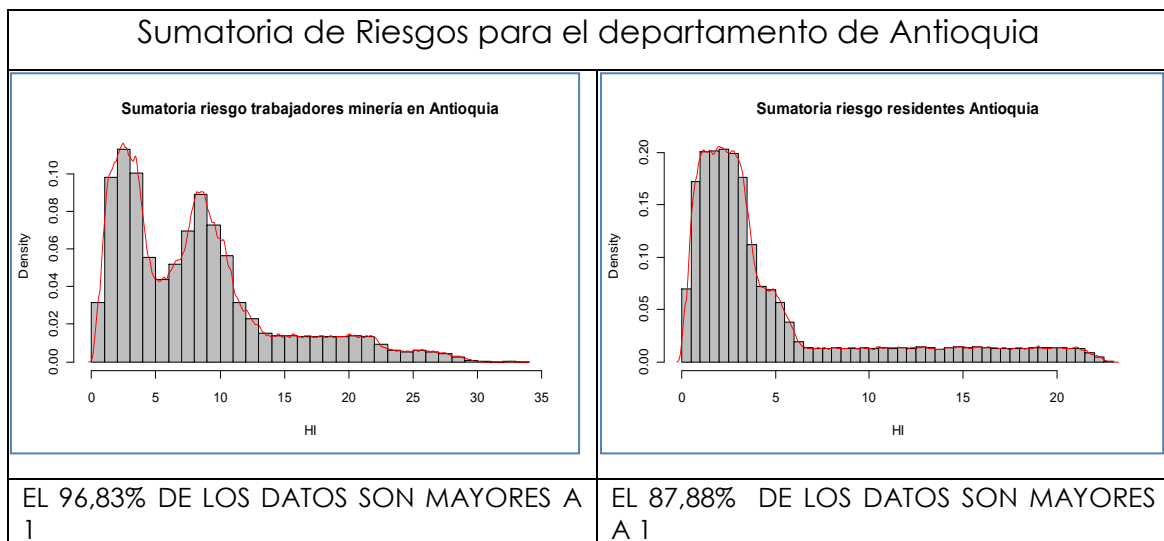
ruta de inhalación solo se dispone de muestreos de municipios de este departamento.

Para esto con las distribuciones obtenidas a nivel municipal se reunieron de manera representativa para el departamento de Antioquia y se sumo con el índice de riesgo que se obtuvo por consumo de peces contaminados con Metilmercurio, siguiendo las ecuaciones planteadas por la EPA, de la siguiente manera:

$$\text{Exposición total Antioquia}_{\text{mineros}} = \text{HI consumo de peces} + \text{HI inhalación trabajadores.}$$

$$\text{Exposición total Antioquia}_{\text{residentes}} = \text{HI consumo de peces} + \text{HI inhalación residentes.}$$

Los histogramas de las distribuciones realizadas fueron los siguientes:



4. RESULTADOS

4.1 Evaluación de riesgos por consumo de Metilmercurio en peces:

- Las pérdidas o disposiciones finales de mercurio en los ecosistemas acuáticos se evidencian claramente en la bioacumulación de este metal en los peces de las regiones donde se hace la explotación minera, como se estableció bibliográficamente.

- La evaluación de riesgos por la ruta de ingesta de peces, demuestra que no hay ningún departamento de los evaluados que no tenga riesgo de generar respuestas sistémicas, y se evidencia el peso que tiene la relación de las concentraciones de Metilmercurio con la tasa de ingesta, dado que son directamente proporcionales y su valor se refleja como un parámetro que en ocasiones minimiza el riesgo al que las poblaciones expuestas pero en otros casos lo potencializa.

- La distribución del riesgo por consumo de peces en el primer rango demuestra que el bajo consumo es un factor a favor frente a las concentraciones altas

Distribución riesgo rango mínimo consumo peces							
	Min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Antioq	2,7E-05	1,2	2,4	4,5	4,8	17,8	21,9
Santan	4,7E-06	2,1E-01	5,8E-01	1,7	1,5	9,0	11,3
Nariño	1,0E-06	1,3E-01	5,3E-01	1,1	1,7	4,4	5,52

muestreadas por diferentes investigadores. Ver tabla

- En la distribución de riesgo por consumo medio, se evidencia la relación entre las variables de concentración y tasas de consumo, y que

Distribución riesgo rango medio consumo peces							
	min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Cauca	1,06	2,494	3,641	4,168	5,585	8,670	9,988
Caldas	0,1998	0,8161	2,706	4,526	7,135	13,896	15,890
Guainía	1,132	2,274	3,250	4,008	5,752	8,021	8,590
Vaupés	1,132	2,278	3,262	4,009	5,730	8,020	8,590
Quindío	1,332	3,115	4,325	4,750	6,137	8,642	9,989

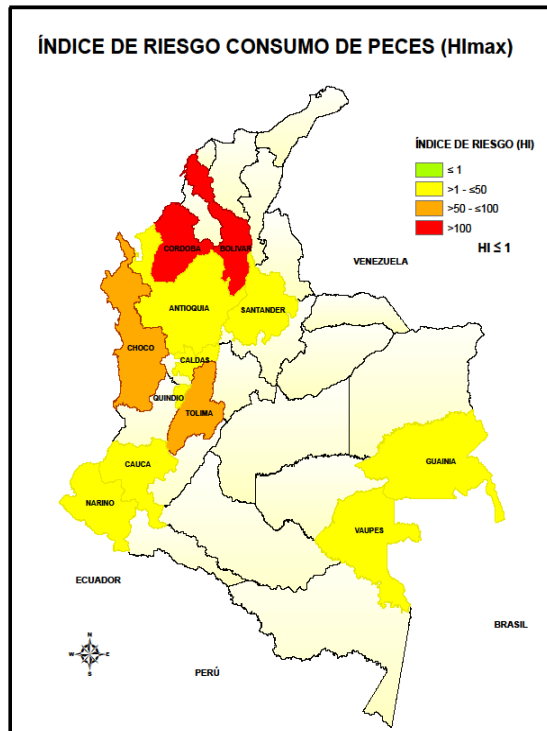
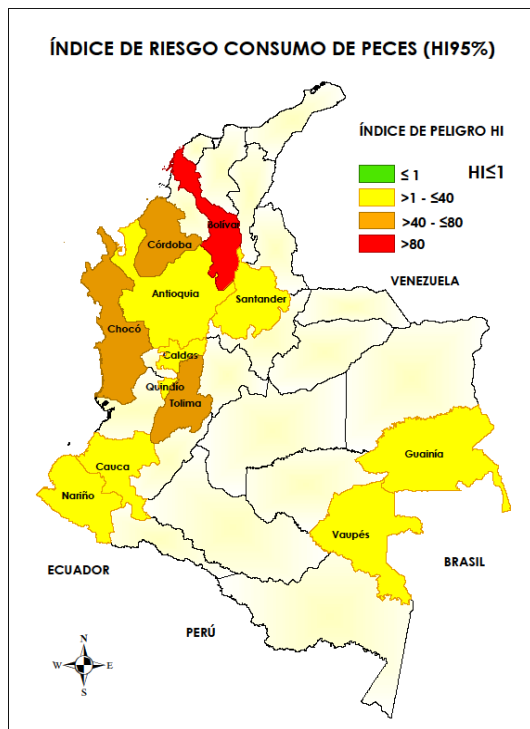
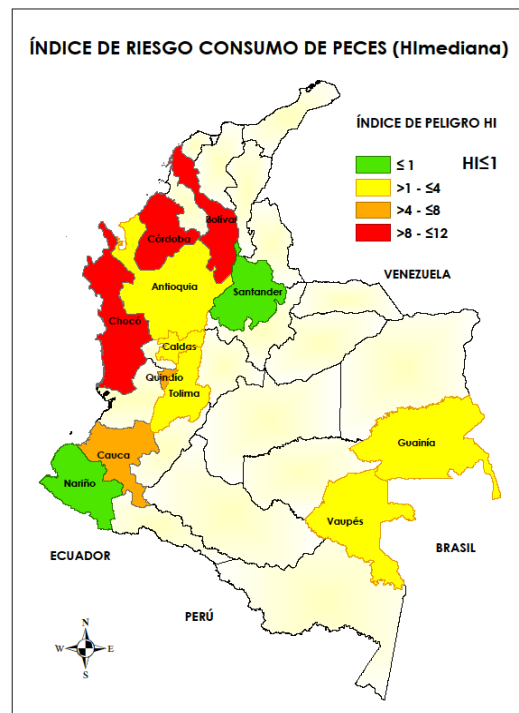
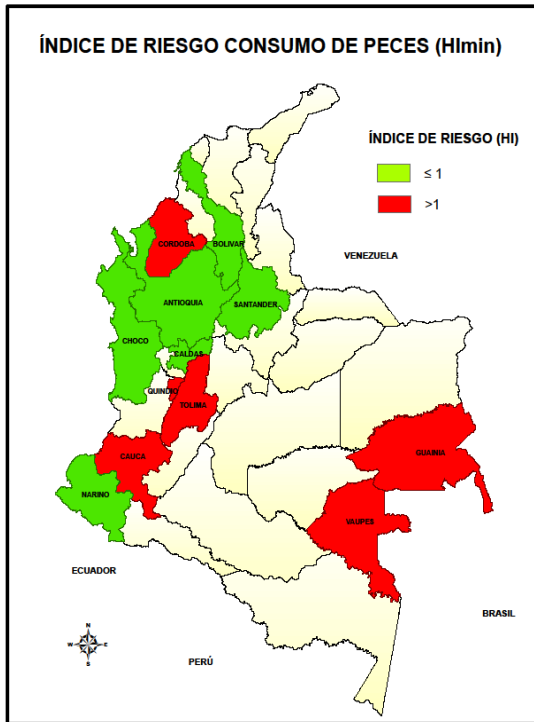
aunque sobrepasan ostensiblemente la unidad de riesgo la probabilidad de generar efectos negativos en su salud por esta ruta puede

aumentar si el rango de consumo crece o las medidas de disposición de mercurio en los ecosistemas acuáticos no son controladas.

- Y en la distribución de riesgo en el rango máximo de consumo de peces, se pudo establecer que departamentos evaluados en este rango de consumo presentan mayor exposición por sus hábitos alimenticios

Distribución riesgo rango máximo consumo peces							
	min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Bolívar	0,019	2,675	8,778	21,40	24,64	90,534	116,7
Chocó	0,519	2,874	11,170	16,11	28,25	46,940	53,5
Córdoba	2,597	7,063	9,641	15,65	12,54	78,357	111,9
Tolima	0,998	1,934	3,268	8,625	4,407	56,125	71,1

A continuación se representa el riesgo por consumo de peces a nivel nacional mediante el programa ArcGis9.0.



Se demuestra que las poblaciones evaluadas se encuentran expuestas a un riesgo inaceptable, dados sus hábitos alimenticios y las malas prácticas industriales en el desarrollo de la extracción aurífera artesanal, haciendo necesario tomar medidas que mitiguen, corrijan,

eduquen, informen y conciencien a los mineros artesanales y a las comunidades que consumen peces afectados por esta actividad.

4.1 **Evaluación de riesgos por inhalación de Vapor de mercurio:**

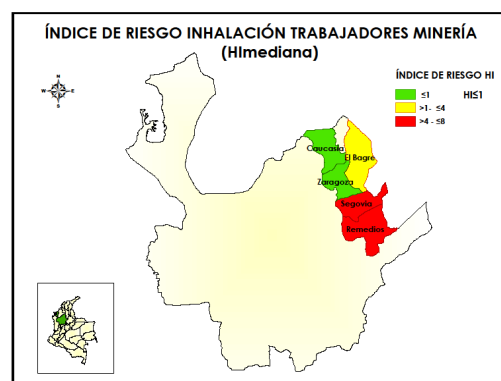
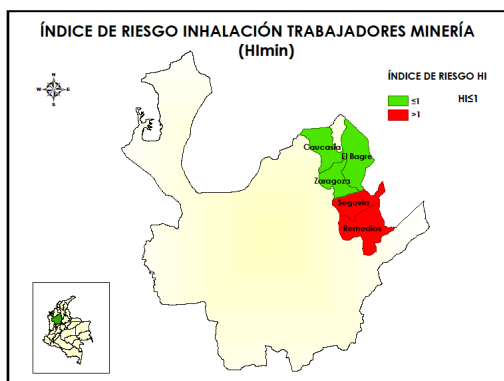
- Se evidencia la ausencia de mecanismos que reciclen el mercurio en la quema de las amalgamas exponiendo la salud no solo del minero o quemador sino de las poblaciones donde se realiza la quema.

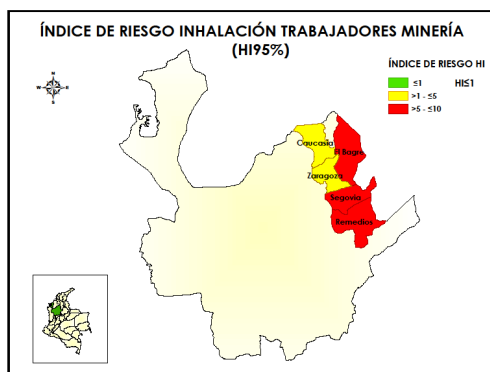
Riesgo en trabajadores de minería: La distribución de riesgos es superada en todos los municipios, presentando así un riesgo inaceptable para esta población trabajadora que no solo está expuesta a los

vapores de los talleres en los que trabaja si no a los dispuestos

	Tabla. Distribución riesgo trabajadores de minería						
	min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Remedios	4,135	5,668	5,964	5,975	6,271	6,728	8,034
Segovia	5,955	7,367	7,627	7,636	7,897	8,289	9,618
Zaragoza	0,095	0,228	0,497	0,851	0,761	2,004	12,840
Caucasia	0,383	0,736	0,824	0,819	1,116	1,204	1,205
El Bagre	0,187	0,938	1,256	1,873	1,776	6,946	7,915

en el ambiente de los municipios. Se hace necesario que sean más drásticas las medidas implementadas para minimizar y reducir las emisiones del mercurio sobre todo las que provienen de la quema de la amalgama, combinadas con ámbitos educativos, informativos, apoyados por las entidades gubernamentales de la región con el seguimiento apropiado. Ver tabla y mapas.





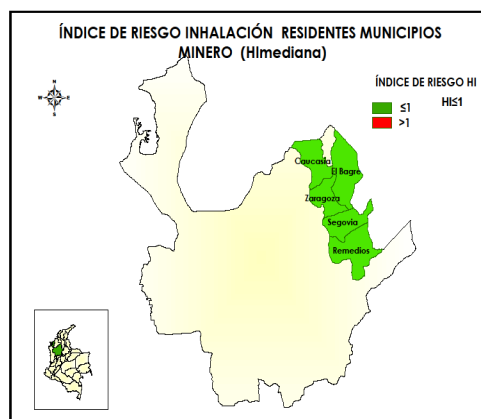
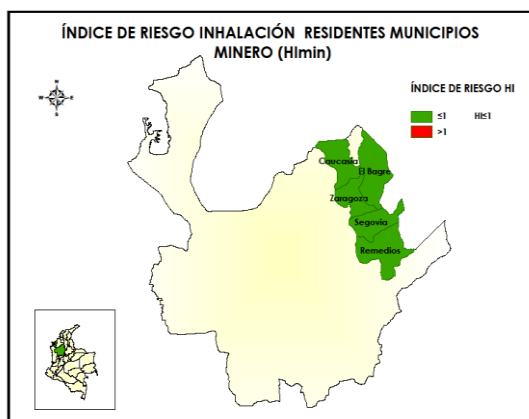
4.2 **Riesgo residentes municipios mineros:** Tres municipios no superaron la unidad de riesgo en la distribución para la ruta de inhalación de vapores, fueron Remedios, Zaragoza y Caucasia, mientras que Segovia lo supera en el

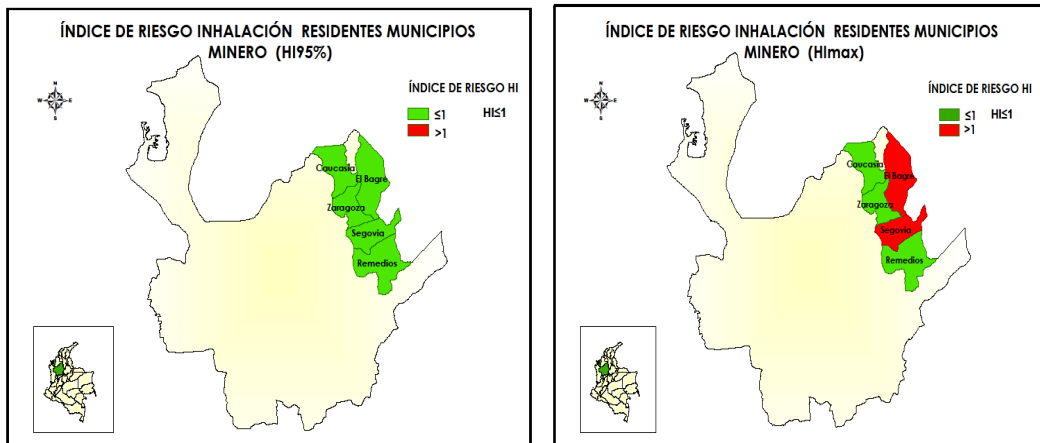
nivel máximo de la distribución al igual que El Bage.

	Distribución riesgo residentes municipios mineros						
	min	1 Qu	median	media	3Qu	95%	Max
Remedios	0,220	0,332	0,357	0,357	0,380	0,416	0,517
Segovia	0,258	0,580	0,667	0,677	0,763	0,918	1,403
Zaragoza	0,003	0,071	0,079	0,097	0,088	0,266	0,266
Caucasia	0,002	0,003	0,355	0,250	0,442	0,443	0,444
El Bage	0,035	0,355	0,532	0,594	0,799	0,976	1,065

Aunque el riesgo

es relativamente bajo es indispensable tomar medidas protectoras para esta población, evidentemente el proceso productivos de extracción artesanal de oro debe ser regulado con el fin de minimizar las disposiciones inadecuadas de mercurio, pero también se hace necesario que la quema de las amalgamas se realicen en lugares que recuperen el mercurio y de ser posible no se realice en los cascos urbanos. Ver tabla y mapas.



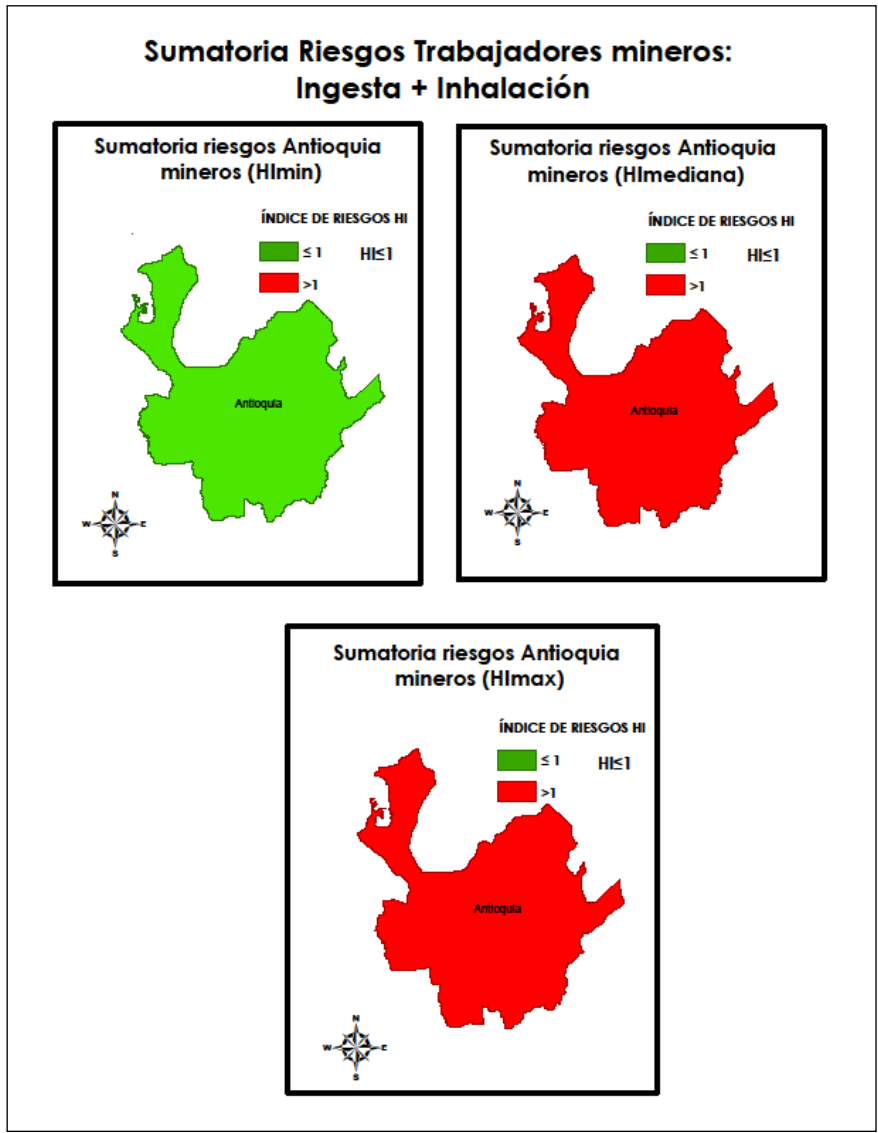


4.3 **Sumatoria de riesgos Antioquia:** La sumatoria de riesgos solo es posible para el departamento de Antioquia, tomando de manera representativa los muestreos realizados para la determinación de vapor de mercurio y de Metilmercurio en peces, así siguiendo las directrices del RAGS A, capítulo 8, Caracterización del Riesgo, se sumaran los riesgos crónicos evaluados para el departamento de Antioquia, para las poblaciones estudiadas mediante las distribuciones realizadas. De esta manera se podrá evidenciar de manera global como se supera la unidad de riesgo en las poblaciones estudiadas

4.3.1 **Exposición Total Antioquia trabajadores mineros: Peces + Inhalación.**

De la sumatoria de exposición se evidencia que tan solo un 3% de la población evaluada está por debajo de la unidad de riesgo mientras que más del 96% supera por más de 32 veces el índice de riesgo. Claramente la población minera está expuesta a un riesgo inaceptable por contacto con mercurio en las rutas evaluadas, son indiscutiblemente receptores del mal manejo de sus actividades, potencializando así el desarrollo de los efectos sistémicos del mercurio. Ver tabla y mapas.

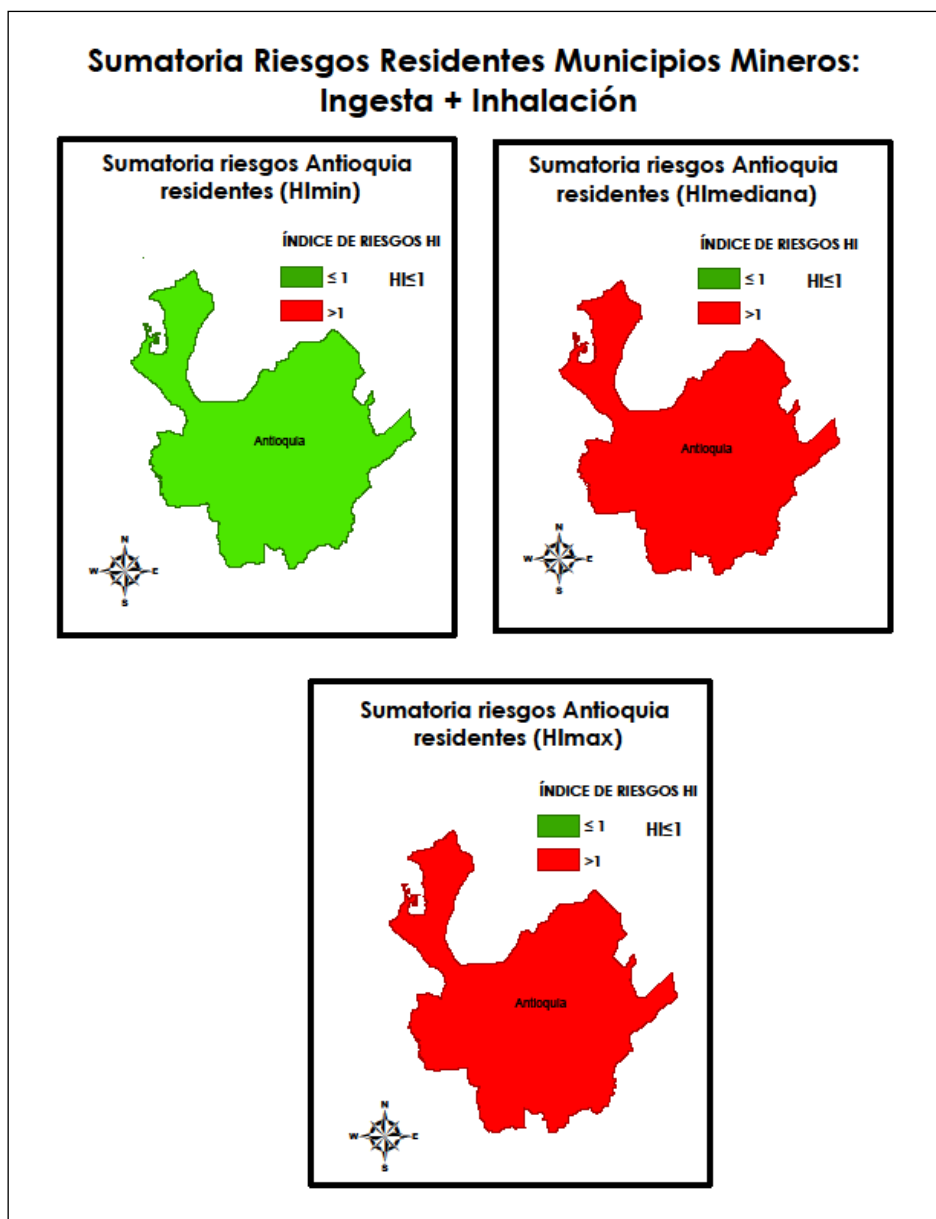
Distribución riesgo total Antioquia trabajadores minería Consumo peces + inhalación						
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	95%	Max.
0,09748	3,06600	7,09800	8,00000	10,39000	21,292	33,7600



4.3.2 **Exposición Total Antioquia residentes municipios mineros: Peces + Inhalación:** Para la población residente de los municipios antioqueños donde se desarrollan quemas de amalgamas la situación no es favorable ya que aunque no estén inmersos en la producción aurífera artesanal de la región, las malas prácticas si los afectan al punto que tan solo hay un 10% de diferencia entre los datos que sobrepasan el índice de riesgos para las dos poblaciones afectadas, de esta manera ,

se puede decir que los residentes corren prácticamente el mismo riesgo que un trabajador de la minería, en la suma de las rutas de exposición. Ver tabla y mapa.

Distribución riesgo total Antioquia residentes municipios mineros Consumo peces + inhalación.						
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	95%	Max.
0.002944	1.642000	2.881000	4.936000	5.199000	18.2081	22.990000



5. CONCLUSIONES

- ★ Evidentemente el desarrollo productivo de la explotación minera aurífera es obsoleto, incurre en malas prácticas con consecuencias en el hombre y en el medio ambiente.

- ★ Las dos rutas de exposición evaluadas en este trabajo arrojan riesgo inaceptable en las distribuciones de probabilidad realizada con los muestreos recolectados bibliográficamente.
- ★ Se evidencia mayor preocupación investigativa, en el muestreo de Metilmercurio bioacumulado y biomagnificado en peces, ya que la toxicidad es mucho mayor que la del mercurio metálico. Por lo que hay más disponibilidad bibliográfica de datos de muestreos de peces a nivel nacional. Es prioritario que se abran líneas investigativas en la ruta de inhalación de vapores de mercurio para el resto de departamentos tomando el ejemplo del departamento de Antioquia que hace parte de la fase del Proyecto Mercurio de la ONUDI, ya que se pudo evidenciar que la suma de riesgos por rutas de exposición tanto de ingesta como de inhalación presenta un panorama poco favorecedor para las poblaciones tanto residentes como las que se encuentran dentro de los procesos mineros expuestas a mercurio.
- ★ El consumo de peces utilizado para el desarrollo de esta evaluación, evidencia que las costumbres alimenticias varían dependiendo de las regiones evaluadas, que los aspectos culturales y geográficos influyen de manera ostensible en las distribuciones de riesgo. Se establece que las variables de consumo y las de concentraciones de Metilmercurio en peces son determinantes en la evaluación realizada, como ejemplo podemos evidenciar que el departamento de Antioquia se encuentra caracterizado por tener un bajo consumo frente a

concentraciones que en algunos casos superan el valor límite de la OMS de MeHg (0.5mg/Kg), la evaluación de riesgos probabilística evidentemente genera riesgo inaceptable, pero es claro que podría ser mucho mayor si en el departamento el consumo de peces fuese mayor. La labor que realiza la Universidad de Cartagena en el departamento de química ambiental, en la caracterización y divulgación de peces contaminados con mercurio por las actividades auríferas de la región, puede ser una buena estrategia informativa en las comunidades de los demás departamentos que desarrollen este tipo de actividad.

- ★ Se pudo establecer que el uso de mercurio en la minería artesanal del oro en Colombia no solo genera riesgos de producir efectos sistémicos a la población minera, sino que los residentes de los pueblos mineros se ven afectados negativamente por las malas prácticas en los procesos de quema de amalgamas oro – mercurio.
- ★ Se hace necesario implementar en los lugares de quema de amalgamas mecanismos eficientes que permitan recuperar el oro evaporado y de ser posible ubicar estos lugares fuera de los centros urbanos como medida protectora para los habitantes de los municipios.
- ★ La ausencia de elementos de protección personal en todo el proceso productivo aumenta el riesgo en los mineros.

6. BIBLIOGRAFIA.

- Alteraciones Neurocomportamentales en personas expuestas a mercurio en la actividad minera del oro en el municipio de Segovia (Antioquia) REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, 2005.
- Artisanal an small scale gold mining and mercury pollution ASGM, International response to mercury use in artisanal ans small scale gold mining, 2005.
- Camero, Riesgos de uso de mercurio en la pequeña minería y minería artesanal, III Encuentro de pequeños productores mineros y productores artesanales de la provincia de Quispicanchis Perú, 2009.
- Comité de coordinación de salud ambiental y programas relacionados de Latinoamérica, Apéndice III Evaluación de riesgos asociados con vapor de mercurio de la amalgama dental, 1992.
- Cartografía de Colombia <http://diva-gis.org/user/password>
- Cordy et al, Patterns of atmospheric mercury contamination in Colombia, UNIDO – United Nations Industrial Development Organization July 2010.
- Corporación autónoma regional del Cauca, Diagnostico geológico, minero, ambiental, social y económico. Distrito minero de las fondas. El Tambo – Cauca, 2003
- Corporación autónoma regional del Cauca, Contaminación por mercurio y otros, Distrito minero de Bueno Aires -Cauca, 2007
- Corporación autónoma regional del río grande de la Magdalena, Plan de descontaminación en la cuenca del río grande de la Magdalena en relación con el recurso agua, 2007.
- Coyla U, Efectos del mercurio en el medio ambiente y la salud, Proyecto GAMA – COSUDE Perú, 2007.
- De Miguel, La evaluación de riesgos ambientales, E.T.S.I de Minas de Madrid.
- Del Valle, Pequeña minería del oro en Colombia, ¿Pequeña minería, minería artesanal o minería de pequeña escala?, Universidad Nacional de Colombia, Dpto de Geociencias, 2008.
- Departamento del Vaupés, Diagnostico base de producción limpia y programa de capacitación en la explotación aurífera, 1998.
- Departamentos auríferos Colombianos, producción de oro por departamento. http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=356&FechaInicial=01/01/1990&FechaFinal=31/12/2010 15 de Mayo de 2010
- Determinación de mercurio en agua y sedimentos por el método de espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío, <http:// analisisdeaguas.blogspot.com/> 20 Mayo de 2010.
- Smocovich, Emergencias químicas provocadas por mercurio y sus compuestos, prevención y control, Universidad nacional de general San Martín, Argentina, 2000.
- Estrategia de reducción de contaminación por mercurio.
- <http://geco.mineroartesanal.com/tiki-index.php?page=Video:+Estrategia+de+reduccion+d e+contaminacion+por+mercurio&bl=y>.
- Evaluación mundial sobre el mercurio, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNMUA, 2002.
- GAMA – COSUDE, Toxicología del mercurio Actualizaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental, Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica, 2001.
- García Rivera, Proyecto Global del Mercurio Fase 2, Introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, 2010.
- Gobierno de Chile, Plan nacional para la gestión de los riesgos del mercurio, 2009.
- GreenFacts, Consenso científico sobre el mercurio, 2004.
- Guevara et al, PERFIL HEMATOLÓGICO DE LOS TRABAJADORES DE LA MINERÍA DEL ORO EXPUESTOS A VAPORES DE MERCURIO METÁLICO EN EL MUNICIPIO DE AMALFI - ANTIOQUIA , Universidad de Antioquia, Noviembre 2009.
- Guía de evaluación de riesgos de la Agencia de Protección Ambiental de estado Unidos. EPA – RAGS. <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/pdf/ch6-1.pdf>
- Guía de evaluación de riesgos de la Agencia de Protección Ambiental de estado Unidos. EPA – RAGS. http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsf/pdf/7-parff_200901_ch3.pdf
- Idrovo A. et al, Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía, Instituto nacional de Salud, 2001.
- Incidencia por intoxicación con mercurio, Programa de Vigilancia

Epidemiológica, Departamento de Antioquia, 1997 a 2008.

- Instituto de investigaciones ambientales del pacifico, Diagnostico Situacional de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala desarrollada por Afrocolombianos en Territorios Colectivos de Comunidades Negras en el Choco Biogeográfico, 2005.

- Instituto de investigaciones ambientales del pacifico, Diagnostico preliminar de la calidad del aire y el agua en centros de mayor poblamiento humano de la región del Chocó Biogeográfico Colombiano, 2007.

- Jiménez Gómez, Interacción del mercurio con los componentes de aguas residuales, Universidad Nacional de Colombia, 2005.

- Jiménez Delgado, Determinación de la intoxicación por mercurio debida a la actividad minera en Vaupés, 2007.

- Junod et al, Fuentes de Metilmercurio y su impacto en la biota de los cuerpos de agua dulce, Universidad de Biobío Chile, 2005.

- López, Aluviones auríferos en Colombia geología e historia de su exploración y producción, 2009.

- Mancera et al, Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia, Acta biológica, 2006.

- Márquez y Montes, Localización de depósitos auríferos aluviales en Colombia, 1997.

- Marrugo et al, Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Universidad de Córdoba, 2001.

- Marrugo, Niveles totales de mercurio en peces del embalse de la hidroeléctrica de Urrá, Colombia Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, México, 2007.

- Ministerio de minas y energía de Colombia, Distritos mineros: Explotaciones e infraestructuras de transporte, 2005.

- Ministerio de minas y energía de Colombia, Sector colombiano de la minería "Realidad y perspectivas para su desarrollo", 2002

- Ministerio de minas y energía y Ministerios del medio ambiente de Colombia, Guía minero ambiental Beneficio y transformación, 2006.

- Maisonet, Exposición al mercurio por exposición de pescado contaminado: cuadro de la carga corporal de niños y mujeres de América latina, 2002.

- Lista de especies de peces dulceacuícolas amenazados de Colombia (Mojica et al. 2002).

- <http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=30000119> Julio 2010

- López Villegas, Aluviones auríferos en Colombia, Geología e historia de su exploración y producción, Mineros S.A, 2009.

- Olivero et al, Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia, 1995.

- Olivero, "PROGRAMA DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA REGION DE LA MOJANA Colombia", TOXICOLOGIA AMBIENTAL, FAO, 2002.

- Olivero et al, EL LADO GRIS DE LA MINERÍA DEL ORO: LA CONTAMINACIÓN CON MERCURIO EN EL NORTE DE COLOMBIA, 2002..

- Organización mundial de la salud OMS, AIR Quality Guidelines for Europe, 2000.

- Ospina Gustavo, Mercurio, el nudo en Remedios y Segovia, Periódico El Colombiano, publicación 25 Julio 2008.

- Pantoja, Una experiencia de investigación aplicada para mejorar la capacidad técnica de los pequeños mineros de oro en Latinoamérica, 2008.

- Perea et al, Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, 2008.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, Evaluación mundial sobre el mercurio, 2002.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, 2005.

- Risher, Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Human health aspects, OMS - UNIDO, 2003.

- RISK CHARACTERIZATION HANDBOOK <http://www.epa.gov/osa/spc/pdfs/rchandbk.pdf> 29 junio de 2010.

- Ruiz C et al, Medición de las concentraciones de mercurio y controles ambientales en la quema de amalgamas provenientes de la minería, Revista Informetal Vol. 24, No. 55, pag 29-35, 2006.

- Ruiz C et al, Generalidades sobre la situación actual del municipio de Segovia con relación al consumo de mercurio en el beneficio del oro, Informetal Vol. 24, No. 55, pag 21-26, 2006.

- Sanchez, Análisis comparativo de las causas del deterioro de la calidad e agua e la zona del río Condoto, en el departamento del Chocó, Universidad de Antioquia, 2009.

- Sepúlveda et al, el mercurio sus implicaciones en la salud y en el medio ambiente, Universidad de Caldas, 2006.

- Sistema de información de la Evaluación del riesgo - RAIS, Perfil toxicológico del mercurio.

- http://rais.ornl.gov/tox/profiles/mercury_ragsa.html 15 de Mayo de 2010
- Sistema de información de la Evaluación del riesgo - RAIS, Perfil toxicológico del Metilmercurio.
http://rais.ornl.gov/tox/profiles/methyl_mercury_ragsa.html 15 de Mayo de 2010
- Sistema integrado de información de riesgos - IRIS, Perfil toxicológico del mercurio.
<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0370.htm> 15 de Mayo de 2010
- Sistema integrado de información de riesgos - IRIS, Perfil toxicológico del Metilmercurio.
<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0073.htm> 15 de Mayo de 2010.
- Unidad de planeación minero energética – UPME-, Distritos mineros: exportaciones e infraestructura de transporte, 2005.
- United Nations Environment Programme, Study on options for global control of mercury, 2007.
- Universidad de Antioquia, Proyecto de investigación en red sobre la organización e institucionalidad en la minería artesanal y en pequeña escala (caso Colombiano), 2003.
- Universidad Nacional de Colombia, Intoxicación por mercurio, I Congreso internacional de medicina general y social, 2008.
- Veiga Marcello, Antioquia, Colombia: the world's most polluted place by mercury: impressions from two field trips, UNIDO – United Nations Industrial Development Organization , February 2010.
- Villachica et al, Oro ecológico tecnología para la obtención de oro sin mercurio en la minería de pequeña escala, Smallvill S.A.C, 2007.
- Zero Mercury Working Group, Mercurio en pescado un problema para la salud mundial, 2009.