



## CDA CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL NORTE Y ORIENTE AMAZÓNICO

### DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MERCURIO Y CADMIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS, PLANTAS Y PECES RECOLECTADOS EN RÍO TARAIRA, ATABAPO, INÍRIDA, GUAINÍA, ISANA Y CUYARI

INÍRIDA, GUAINÍA

INFORME TÉCNICO

AGOSTO, SEPTIEMBRE, OCTUBRE, NOVIEMBRE, 2021



**INFORME**  
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MERCURIO Y CADMIO**  
**EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS, PLANTAS Y PECES**  
**RECOLECTADOS EN RÍO ATABAPO, INÍRIDA, ISANA, CUYARI,**  
**TARAIRA Y GUAINÍA**

**CDA CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL**  
**NORTE Y ORIENTE AMAZÓNICO**



**INFORME TÉCNICO**

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	OBJETIVOS .....	18
2.1	Objetivo general .....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	PARÁMETROS ACREDITADOS DE METALES Y MÉTODOS ANALÍTICOS DE ENSAYO.....	19
4	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DE MUESTREO .....	20
4.1	Procedimiento empleado para muestreo.....	20
4.2	Lugar y fecha monitoreo 1 .....	20
4.3	Descripción del área de monitoreo: .....	23
4.4	Lugar y fecha monitoreo 2.....	23
4.5	Tipo de muestras.....	23
4.6	Descripción del área de monitoreo: .....	25
4.7	Lugar y fecha monitoreo 3.....	25
4.8	Tipo de muestras.....	25
4.9	Descripción del área de monitoreo: .....	27
4.10	Lugar y fecha monitoreo 4.....	27
4.11	Tipo de muestras.....	27
4.12	Descripción del área de monitoreo: .....	30
4.13	Lugar y fecha monitoreo 5.....	30
4.14	Tipo de muestras.....	30
5	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD .....	34
6	RESULTADOS .....	35
6.1	Mercurio en sedimentos recolectados en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí, Inírida y Guainía .....	35
6.2	Mercurio en peces recolectados en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí, Inírida y Guainía.....	40
6.3	Mercurio en plantas recolectadas en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	45
6.4	Cadmio en sedimentos recolectados en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía.....	50
6.5	Cadmio en peces recolectadas en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía.....	56

6.6	Cadmio en plantas recolectadas en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía.....	61
6.7	Comparativa del grado de contaminación encontrado en muestras de sedimentos, peces, plantas recolectadas en río Atabapo, Isana, Cuyarí, Taraira, Inírida y Guainía. ....	67
7	CONCLUSIONES.....	70
8	BIBLIOGRAFÍA.....	71
9	ANEXOS .....	72

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Métodos analíticos desarrollados para la determinación de Hg en agua y límites de detección alcanzados .....	14
<b>Tabla 2.</b> Condiciones de medición de Hg .....	17
<b>Tabla 3.</b> Métodos analíticos de ensayo y parámetros acreditados para determinación de metales totales según Resolución de acreditación N°0244 emitida por IDEAM otorgada al laboratorio Asinal SAS. ....	19
<b>Tabla 4.</b> Concentración de mercurio en muestras de sedimentos recolectadas en Río Taraira, Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí y Guainía .....	35
<b>Tabla 5.</b> Continuidad de tabla 4. Concentración de mercurio en muestras de sedimentos recolectadas en Río Taraira, Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí y Guainía .....	36
<b>Tabla 6.</b> Concentración de mercurio en muestras de peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	41
<b>Tabla 7.</b> Continuidad tabla 6 de Concentración de mercurio en muestras de peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	41
<b>Tabla 8.</b> Concentración de mercurio en plantas recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	46
<b>Tabla 9.</b> Continuidad tabla 8. Concentración de mercurio en plantas recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	47
<b>Tabla 10.</b> Concentración de cadmio en muestras de sedimentos recolectadas en Río Taraira, Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí y Guainía .....	51
<b>Tabla 11.</b> Continuidad tabla 10. Concentración de cadmio en muestras de sedimentos recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía. ....	52
<b>Tabla 12.</b> Concentración de cadmio en peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	57
<b>Tabla 13.</b> Continuidad tabla 12. Concentración de cadmio en peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	57
<b>Tabla 14.</b> Concentración de cadmio en peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	62
<b>Tabla 15.</b> Continuidad tabla 14. Concentración de cadmio en plantas recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía .....	63

**Tabla 16.** Concentración de Hg promedio en muestras de sedimentos,  
suelos, peces, plantas recolectados en Río Atabapo, Isana,  
Taraira, Cuyarí Inírida y Guainía ..... 67

## 1 INTRODUCCIÓN

El mercurio es un metal pesado, altamente tóxico, de baja biodegradabilidad, persistencia en el medio ambiente y que se transfiere a las cadenas alimenticias. Se encuentra en la corteza terrestre como mineral y se transfiere a los ecosistemas acuáticos por erosión natural o bien como resultado de actividades antrópicas como minería. El mercurio existe en la naturaleza en tres estados de oxidación: metálico  $\text{Hg}^0$ , mercurioso  $\text{Hg}^{+1}$  y mercúrico  $\text{Hg}^{+2}$ , puede formar sales inorgánicas como: cloruros, nitratos, sulfatos, y compuestos organometálicos.

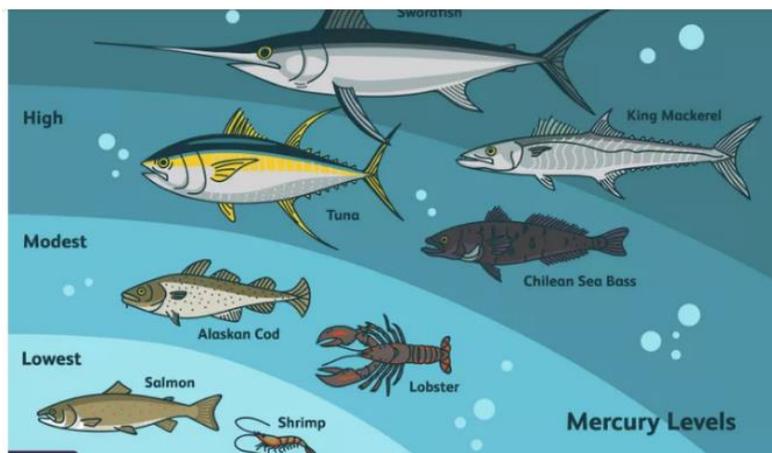
Los compuestos de Hg más comunes en el medio ambiente son: (a) las especies inorgánicas de Hg como cloruro mercurioso ( $\text{HgCl}_2$ ), dihidróxido de mercurio  $\text{Hg}(\text{OH})_2$  y sulfuro de mercurio ( $\text{HgS}$ ), (b) los compuestos orgánicos de metilmercurio como:  $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{HgOH}$  y (c) en menor proporción compuestos orgánicos como dimetilmercurio ( $\text{CH}_3\text{HgCH}_3$ ) y fenilmercurio ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}$ ). De los compuestos inorgánicos más comunes de Hg, el  $\text{HgCl}_2$  es muy soluble en agua, mientras que el  $\text{HgS}$  es insoluble. Los compuestos orgánicos de Hg son insolubles, no reaccionan con ácidos o bases débiles, sin embargo, el  $\text{CH}_3\text{HgOH}$  es muy soluble por el grupo hidroxilo.

El mercurio en forma inorgánica puede combinarse fácilmente con cloro, azufre y otros elementos donde pueden meteorizarse para formar sales inorgánicas. Estas sales de mercurio se pueden transportar en el agua o en el suelo. A lo anterior, el polvo que contienen estas sales puede ingresar al aire desde los depósitos mineros de minerales que contienen mercurio. Las emisiones de mercurio elemental pueden ocurrir a partir de centrales eléctricas alimentadas con carbón, quema de desechos médicos y municipales, y de fábricas que utilizan mercurio. El mercurio inorgánico también puede ingresar al agua o al suelo a partir de la meteorización de rocas que contienen sales de mercurio inorgánico y de fábricas o instalaciones de tratamiento de agua que liberan agua contaminada con mercurio.

Ya que el mercurio existe en diferentes formas, se encuentra un punto relevante y es al hablar del metilmercurio, el cual se encuentra cuando las sales inorgánicas se logran adherir al aire, donde a medida que circulan entre la atmósfera, el suelo y la tierra, el mercurio tiene una serie de transformaciones químicas y físicas de alta complejidad ya que puede estar cambiando el mercurio de forma inorgánica a orgánica. El metilmercurio además es el compuesto orgánico más encontrado en el medio ambiente y de alta toxicidad.

Entre los efectos negativos ambientales del metilmercurio es que se bioacumula en pescados grandes ya que comen pescados más pequeños y como posee una gran solubilidad en lípidos tienen la facilidad de absorberse en el torrente sanguíneo y se acumula en el sistema nervioso central; igualmente el sistema nervioso periférico y los riñones pueden verse afectados.

Por ejemplo, los ríos son los ecosistemas que más se afectan por la presencia de mercurio y esta concentración se incrementa por los procesos de re-suspensión de los sedimentos en época de inundación y además pasan a la biota acuática, en especial a los peces. También los ecosistemas acuáticos son afectados por las actividades agropecuarias y quemas de cobertura vegetal realizados en suelos contaminados por mercurio, así como se muestra en la figura 1 con los diferentes niveles de mercurio.



**Figura 1.** Nivel de mercurio en peces.

El mercurio tiende a acumularse (bioacumularse), transferirse (biotransferencia) y magnificar su concentración dentro de los ecosistemas al incrementar el nivel trófico. Este aspecto tiende a ser más importante cuando en las regiones los peces representan la base proteica de la dieta de los pueblos que consumen elevadas cantidades de pescado diariamente.

Respecto a la cuantificación el método 245.7 Mercurio en agua por espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (MDL) y el nivel mínimo de cuantificación (ML) se utiliza principalmente como un procedimiento que depende del nivel de interferencias más que de las limitaciones instrumentales. El MDL determinado a partir de estudios de validación de un solo laboratorio y entre laboratorios es de 1,8 ng/L y el NM se ha establecido en 5,0 ng/L.

### **CONVENIO MINAMATA**

MINAMATA es una bahía en Japón que da la imagen de un sitio idílico, aunque no fue siempre así, el memorial elegido a pocos metros de la costa ha servido como recordatorio de la comunidad local que fue envenenada por mercurio al final de 1950.

Los objetivos de este convenio son:

- La salud humana y medio ambiente de las emisiones antropogénicas de las emisiones y liberación del mercurio y compuestos de mercurio.

- Evaluar todo el ciclo de la vida del mercurio, incluyendo controles en el suministro y comercialización de este, los productos y procesos donde se usa, las emisiones y liberación del mercurio y manejo de residuos.
- Soporte a las diferentes partes involucradas para que logren cumplir sus obligaciones.
- Medidas para mejorar el conocimiento e información.
- Evaluación periódica de la efectividad de los programas.
- Apoyo en las partes científicas, evaluaciones ambientales.
- Seguimiento de los niveles de mercurio y sus compuestos en la biota y población vulnerable.
- Apoyo a las partes en su evaluación de la eficiencia de los programas y el establecimiento de nuevos y más avanzados.
- Dentro de las evaluaciones y programas, se contemplan las evaluaciones de los compuestos en otras matrices: aire, biota, humanos, estos contemplan: programas monitoreo, guía para la selección de sitios monitoreo, muestreos y métodos de medición, control de calidad y aseguramiento de la calidad, colecta de datos, manejo, análisis y evaluación.
- La colección de datos, análisis estadísticos y manejo de estos datos como modelos estadísticos, cambios en los niveles de mercurio, medio ambiente y las afectaciones al ser humano.

El “mercurio” elemental Hg (0), CAS No 7439-97-6 – Los compuestos del mercurio son cualquier sustancia que se compone de átomos de mercurio elemental y uno o más de otros elementos que puedan separarse en diferentes compuestos por reacciones químicas.

Este tratado hace referencia al mercurio, el cual incluye mezclas de este elemento con otras sustancias, incluyendo aleaciones de mercurio, con concentraciones de al menos del 95% peso y otros compuestos; como cloruro de mercurio, conocido como “calomel”. óxido de mercurio (II), sulfato de mercurio (II), nitrato de mercurio (II), cinnabar y sulfuro de mercurio.

De manera natural, se encuentran trazas de mercurio en productos como minerales, rocas, carbón y otros compuestos derivados de materiales y trazas de residuos químicos.

La Convención de Minamata sobre el Mercurio, ha fijado una alarma de catástrofes similares que se han venido presentando a través de los años en el contexto mundial, para establecer el tema tan crítico que representa el mercurio a nivel global con la afectación debido a las emisiones y liberación al ambiente de este compuesto.

Cada año más de 9000 toneladas de mercurio y compuestos de mercurio son liberados a la atmósfera, a las aguas y a la tierra.

Las mayores fuentes de emisiones son del origen artesanal y actividades a pequeña escala de actividades de oro, seguido de combustión del carbón, producción de metales no ferrosos y cemento.

En la actualidad se encuentra mercurio en productos comerciales como baterías, lámparas fluorescentes, cosméticos, pesticidas, termómetros y amalgamas dentales. De esta manera se pueden presentar en cantidades apreciables produciendo daños neurológicos de forma permanente.

La convención de Minamata entró con fuerza en agosto 2017, la cual produce un poderoso impacto a nivel mundial en los esfuerzos para reducir y eliminar el uso del mercurio, a nivel mundial se trabaja en forma permanente para impulsar la SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS, que promueven los propósitos de prosperidad y bienestar de los humanos y el planeta.

Una clave para el futuro es disminuir las inversiones en industrias contaminadoras con el uso del mercurio y aumentar las inversiones en energías renovables, estas fueron las postulaciones en el 2017 durante la conferencia de Minamata en Ginebra.

Se llevó más de 6 años y muchos esfuerzos para que UNEPM en 2009 en su 25 sesión lanzará las negociaciones para la convención global del mercurio. Estas negociaciones se prepararon por la UNEP de la división química.

En enero 2013, se llegó a un acuerdo con la Convención de Minamata sobre el mercurio., la cual posteriormente se afianzó con otras convenciones como la de Basilea, Rotherdam y Stockholm y se establecieron las bases de obligatoriedad para todos los países y su implementación en los países en desarrollo, paralelo a ello se fue estableciendo las condiciones para el manejo de sustancias químicas y residuos peligrosos.

En 2001, El Consejo de Gobierno de las Naciones Unidas, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP) propuso el desafío global de control del mercurio y sus compuestos, para reducir los impactos y el riesgo sobre la salud humana y medio ambiente.

A los gobiernos se les propuso estrategias para la reducción de las emisiones de mercurio y para tal caso la UNEP, lanzo programas de asistencia técnica para mejorar las capacidades y lograr estos objetivos, esto debido a los efectos adversos del mercurio sobre la salud humana en las áreas neurológicas y la salud en general, en particular en los infantes y recién nacidos.

## MONITOREO MATRICES

La preocupación es enorme por la problemática del mercurio debido a su amplia posibilidad de transporte, persistencia en el ambiente, la habilidad para biomagnificarse y bioacumularse, conllevando a efectos adversos en la salud y medio ambiente

- Aire: Los niveles de mercurio en el aire, están asociados a las emisiones de fuentes naturales y antropogénicas.

- Biota: El mercurio liberado al ambiente, puede convertirse en otras formas como methylmercurio y acumularse en los peces y en vida silvestre; puede además afectar la salud humana y animal por el consumo de alimentos contaminados con mercurio; puede verse afectada la vida animal y la biodiversidad.
- Monitoreo humano: El ser humano puede verse negativamente impactado con la exposición del mercurio: en mercurio elemental e inorgánico y posiciones ocupacionales – ASGM, dentistería, contacto con ciertos productos: amalgamas dentales, cremas de la piel bulbos fluorescentes, y otros residuos y la contaminación del ambiente y con el mercurio orgánico de dietas: pescados, ostras, mamíferos marinos, contaminados con methylmercurio HgMe.
- También se encuentran otras matrices aguas frescas, sedimentos, vegetación, suelos, océanos.

Para estos monitoreos de mercurio existe una guía y soporte de evaluación de la efectividad de la convención MINAMATA, entre ellos esta:

- Material para evaluar la salud asociado a los métodos artesanales de extracción.
- Evaluaciones ambientales y su efecto en mujeres y niños.
- Entrenamiento a mineros artesanales.
- Bioacumulación del mercurio en el medio ambiente, alimentos.
- Consumo de productos pescado y ostras contaminados con mercurio.
- Efectos negativos: Disturbios visuales, temor en los músculos, desórdenes en los movimientos, pérdida de la audición, deterioro mental, parálisis y muerte, toxicidad fetal, etc.

## MERCURIO EN AGUA

La mayoría de los estudios sobre el ciclo del Hg en medio acuático se han desarrollado en ecosistemas de agua dulce, en la Figura 2 se representa como el Hg ingresa a los ecosistemas acuáticos por deposición húmeda y seca sobre la superficie del agua o por escorrentía de las cuencas. Al igual que en los sistemas terrestres, la deposición es predominantemente como  $Hg^{+2}$ . Todas las transformaciones que sufre el mercurio dependen de diversos factores medioambientales como la actividad microbiana, la temperatura, la disponibilidad de carbono orgánico, la presencia de partículas en suspensión, el oxígeno disuelto y el pH.

Si las condiciones son favorables, cualquier forma de mercurio que entra en las aguas superficiales puede ser convertida a iones metilmercurio  $(CH_3Hg)^+$  principalmente por metabolismo microbiano; las bacterias reductoras del azufre son las responsables de la mayor parte de la metilación de mercurio, viéndose favorecida su actividad en condiciones anaerobias. Levaduras como *Candida Albicans* y *Saccharomyces cerevisiae*, cuyo crecimiento está favorecido por

condiciones de bajo pH, son capaces también de metilar el mercurio y reducir el mercurio iónico a mercurio elemental.

Además, los compuestos de cobalamina metilados producidos por la síntesis bacteriana parecen estar involucrados en la metilación no enzimática de iones inorgánicos de mercurio. Sin embargo, niveles altos de carbono orgánico disuelto (COD), reducen la metilación de mercurio, posiblemente como resultado de la unión de los iones libres de mercurio con el carbono orgánico disuelto, reduciéndose así su disponibilidad para la metilación. Aparte de que el carbono orgánico disuelto inhibe en cierta medida la metilación bacteriana. Los sedimentos de los humedales y lagos son ambientes importantes para la metilación. El metilmercurio generado por estos procesos puede acumularse en los organismos acuáticos y biomagnificarse en la cadena trófica. Este proceso puede generar mayores concentraciones de metilmercurio en peces predadores respecto al agua.

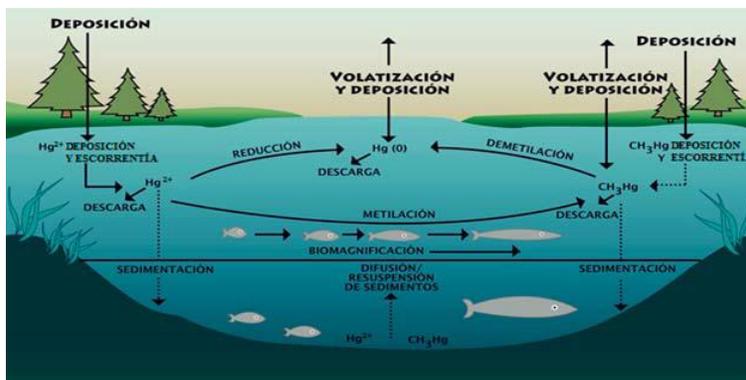


Figura 2. Ciclo del Hg en el medio acuáticos

## MERCURIO EN SUELOS

En suelo la forma más común de encontrar el mercurio es en estado divalente  $Hg^{+2}$ , su reducción a un estado de oxidación  $Hg^{+1}$  tiene un rango de estabilidad limitada, y la forma metálica  $Hg^0$ , es volátil por su presión parcial de vapor. En condiciones naturales el  $Hg^{+2}$  está mayoritariamente adsorbido en minerales y materia orgánica. La coexistencia de especies de mercurio en el suelo, depende de numerosos factores, entre ellos: el tipo de suelo, el contenido de materia orgánica e inorgánica, la profundidad de la capa de suelo, la aireación y humedad de este, el tipo de sedimentos, la concentración de los diferentes ligantes, la evolución de los microorganismos, el pH, el potencial redox, contenido de cloruros, de azufre y el tipo de impacto antropogénico.

Además, la retención del Hg en el suelo varía según la proporción relativa de arcillas (Fe, Al y Mn), óxidos, hidróxidos y materia orgánica y estas proporciones en los componentes del suelo varían según las condiciones geoquímicas. Por otra parte, la materia orgánica en el suelo es determinante en la movilidad, biodisponibilidad y toxicidad del Hg absorbido en los suelos.

El mercurio inorgánico presente en suelos puede ser metilado formando compuestos orgánicos de mercurio, especialmente metilmercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ). En este proceso están involucradas bacterias reductoras de sulfatos y los compuestos de metilcobalamina, responsables de la transferencia de grupo metilo. Los compuestos de metilcobalamina son generados por síntesis bacteriana. En general, esta reacción está mediada por procesos de óxido-reducción dependientes de condiciones estacionales que controlan la concentración de metilmercurio en suelo y agua como efecto neto de los procesos de metilación y desmetilación.

El cloruro de metilmercurio es fuertemente adsorbido en suelos a pH 7, estos compuestos son altamente tóxicos y tienen gran movilidad en suelos. La unión del Hg con los ácidos húmicos del suelo se establece a través de los grupos sulfhídricos y una vez se saturan estos ligantes, entonces la unión se da a través de los ligantes tipo carboxilo.

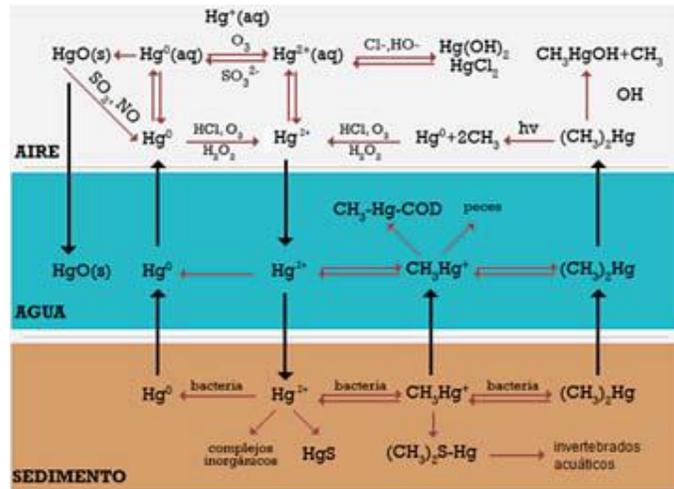


Figura 3. Transformación en el ciclo biogeoquímico del Hg

### Mercurio en Biota

Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos acuáticos y ascender por la cadena alimenticia. De las diferentes formas de mercurio que pueden bioacumularse, el monometilmercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) es una de las que se absorbe y acumula con mayor facilidad.

Los ríos son los ecosistemas que más se afectan por la presencia del mercurio, debido a la formación de rutas de transporte hacia las llanuras aluviales de la cuenca, produciendo un incremento de la concentración en las zonas bajas, además de potencializar los procesos de re-suspensión de los sedimentos en

cada período de inundación, permitiendo su ingreso en la biota acuática, en especial en los peces.

En general, cuando los organismos están expuestos a la contaminación por mercurio, se surte un proceso de biomagnificación, considerando que el consumo mundial de pescado *per cápita* se acerca a los 20 kg.año, los estudios enfocados en la detección y cuantificación de este metal y sus especies toma cada vez mayor relevancia.

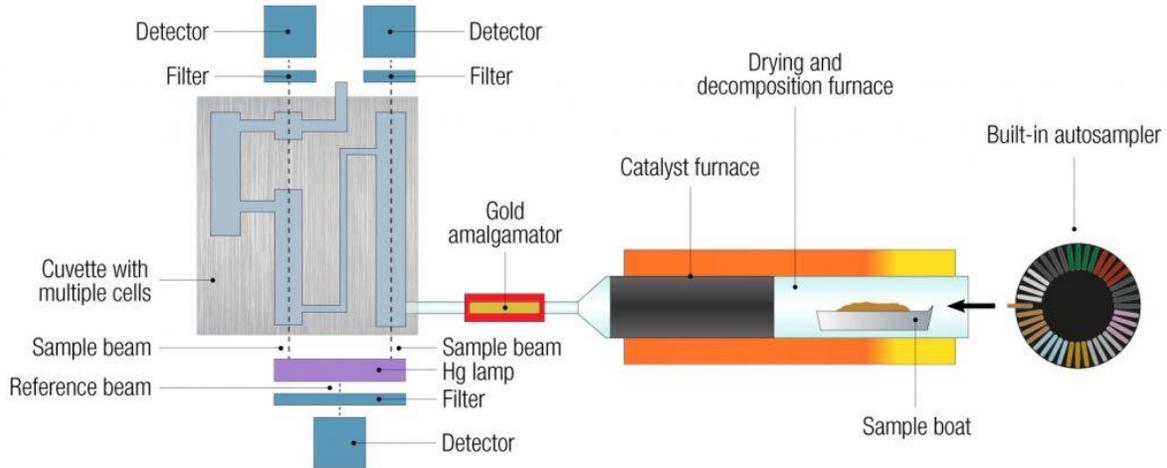
### Métodos de determinación de Hg

Los estudios enfocados a la detección de Hg a nivel de trazas, así como el desarrollo de metodologías para realizar la especiación de Hg, según su estado de oxidación o tipo de compuesto orgánico e inorgánico, toma cada vez mayor relevancia. Esto considerando que la información sobre el tipo de especies y su abundancia, resulta muy relevante para los estudios toxicológicos. Varios métodos han sido desarrollados acoplado tecnologías. Los métodos incluyen determinación por espectrometría de absorción atómica (AAS), fluorescencia de rayos X, espectrometría de masas, entre muchos otros. De los métodos disponibles, el vapor frío (CVAAS) es el más utilizado. En la Tabla 1 se presentan algunos métodos empleados para la cuantificación de mercurio y sus límites de detección.

**Tabla 1.** Métodos analíticos desarrollados para la determinación de Hg en agua y límites de detección alcanzados

Abreviación	Método	Límite de detección reportado (ng ml <sup>-1</sup> )
HPLC-ICP-MS	Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente - Cromatografía líquida de alto desempeño- Espectrometría de Masas	0,000016
ICP-MS	Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente – Espectrometría de Masas	0,000042
CVAAS	Vapor frío – Espectrometría de absorción atómica	0,0001
FIA-AFS	Análisis de inyección de flujo – Espectroscopia de fluorescencia atómica	0,00008
CVAFS	Vapor frío – Espectroscopia de fluorescencia atómica	0,00005
CVAES	Vapor frío – Espectrometría de emisión atómica	0,00008
UV-Vis	Espectrofotometría de Ultra Violeta - Visible	0,056
XRF	Fluorescencia de rayos X	0,064

FI CVAAS	Inyección de flujo – vapor frío- Espectroscopia de absorción atómica	0,0024
AFS	Espectroscopia de fluorescencia atómica	0,012



**Figura 4.** Schematic of DMA-80 sample processing.

El análisis de mercurio en muestras ambientales y biológicas usualmente procede mediante la reducción de todo el mercurio a su estado elemental antes del análisis. Este procedimiento no sería apropiado cuando se requiere realizar análisis de especiación de Hg. Por otra parte, algunos métodos requieren la predigestión antes de la reducción. Lo que es cierto es que durante todas las etapas de análisis, independiente de la metodología, se debe tener precaución para evitar pérdidas o contaminación de la muestra.

En el laboratorio ASINAL SAS la técnica empleada para medir Hg es la absorción atómica mediante generación de vapor frío. Esta técnica es una variante a la absorción atómica de llama, la cual se emplea para la determinación de algunos elementos volátiles y semi-volátiles, cuya sensibilidad es muy baja para ser determinada por llama directa. La generación de vapor aumenta la sensibilidad de la técnica de absorción atómica, especialmente en estos elementos que tienen importancia como contaminantes ambientales o en toxicología.

Adicional los equipos que se utilizaron para los análisis de laboratorio en Asinal SAS se presentan en la figura



**Figura 5.** Perkinelmer b3140760 mhs-15 mercurio hidruro sistema



**Figura 6.** MHS-15 sistema de mercurio-hidruro.

El sistema de mercurio/hidruro MHS-15 es un accesorio manual para la determinación de alta sensibilidad de elementos formadores de mercurio e hidruro

El Hg es un metal volátil y puede cuantificarse de esta forma mediante la técnica del vapor frío. El Hg enlazado orgánicamente debe ser previamente digerido con una mezcla de  $\text{KMnO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ . El mercurio es el único elemento que a temperatura ambiente es capaz de generar átomos en estado fundamental que son las especies requeridas para la absorción atómica.

El método consiste, primero, en reducir los iones Hg a Hg metálico con el cloruro de estaño o borohidruro de sodio en medio de HCl. El Hg metálico en estado de vapor es transportado después por un gas de arrastre hasta la celda cerrada de cuarzo, donde se mide su absorción. Las condiciones de medición se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Condiciones de medición de Hg

Condiciones	
Elemento	Hg
Longitud de onda (nm)	253,7
Intensidad de lámpara (mA)	8
Slit (nm)	0,7
Combustible	No
Oxidante	No
Reductor	$\text{SnCl}_2$ $\text{NaBH}_4$

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

- Determinar la concentración de Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) en muestras de sedimentos, peces y plantas recolectadas en los departamentos de Guainía, y Vaupés (ríos Atabapo, Inírida, Guainía, Isana, Taraira y Cuyari), de acuerdo con el objeto del contrato 175 de 2021 celebrado entre la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico y Asinal SAS.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de Mercurio y Cadmio en sedimentos, peces y plantas empleando el método estándar acreditado.
- Capacitar en toma de muestras al personal de la Corporación CDA que hace parte del proyecto, para garantizar la cadena de custodia de las muestras.
- Realizar el transporte de 410 muestras recolectadas dese Inírida y Mitú, así como el retorno de los elementos de contención de estas.
- Presentar los resultados de laboratorio certificados de análisis de cada una de las muestras tomadas por la Corporación CDA.
- Presentar informe técnico y de análisis de laboratorio respecto a las matrices requeridas por la Corporación (plantas, peces y sedimentos).

### 3 PARÁMETROS ACREDITADOS DE METALES Y MÉTODOS ANALÍTICOS DE ENSAYO

**Tabla 3.** Métodos analíticos de ensayo y parámetros acreditados para determinación de metales totales según Resolución de acreditación N°0244 emitida por IDEAM otorgada al laboratorio Asinal SAS.

METAL	TÉCNICA	MÉTODO	UNIDADES	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN
Aluminio (Al)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa óxido nitroso - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 D	mgAl/Kg	100
Antimonio (Sb)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa aire - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 B	mgSb/Kg	100
Arsénico (As)	Espectrofotometría de Absorción atómica Generación de hidruros	USEPA 3050 B SM 3114 B , C modificado	mgAs/Kg	0,2
Berilio (Be)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa óxido nitroso - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 D	mgBe/Kg	5
Cadmio (Cd)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa aire - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 B	mgCd/Kg	3
Cobalto (Co)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa aire - Acetileno	USEPA 3050 B AA SM 3111 B	mgCo/Kg	20
Hierro (Fe)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa aire - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 B	mgFe/Kg	30
Magnesio (Mg)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa aire - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 B	mgMg/Kg	100
Manganeso (Mn)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa aire - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 B	mgMn/Kg	10
Mercurio (Hg)	Espectrofotometría de Absorción atómica Vapor frío	USEPA 7471B	mgHg/Kg	0,1
Molibdeno (Mo)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa óxido nitroso - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 D	mgMo/Kg	100
Níquel (Ni)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa aire - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 B	mgNi/Kg	20
Plomo (Pb)	Espectrofotometría de Absorción atómica llama Directa aire - Acetileno	USEPA 3050 B SM 3111 B	mgPb/Kg	10

## 4 DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DE MUESTREO

### 4.1 Procedimiento empleado para muestreo

En los muestreos realizados se siguió el mismo procedimiento en función del tipo de muestra a recolectar.

- **Sedimentos:**

El muestreo se realizó mediante lanzamientos sucesivos de una draga, hasta completar el número de muestras determinado, usando la técnica de cuarteo. Los sedimentos se almacenaron en viales y se rotularon siguiendo los procedimientos de custodia. Una vez en el laboratorio se les asignó un código. Cada muestra se homogenizó antes de realizar procedimiento de digestión y se le determinó el contenido de la humedad.

- **Peces**

Se tomaron un número representativo de ejemplares de peces y en campo se tomaron tejidos para completar 5 muestras de peces, se almacenaron en viales color ambar y se mantuvieron bajo refrigeración.

- **Plantas**

Para la colecta de las plantas o macrófitas acuáticas se trazó un cuadrante en el que se seleccionaron tres especies de las macrófitas dominante. Las muestras de plantas se almacenaron en prensa botánica, aisladas de luz. Se rotularon siguiendo procedimientos de custodia. Se les asignó un código en el laboratorio.

### 4.2 Lugar y fecha monitoreo 1

**Lugar:** río Taraira un afluente del río Caquetá, forma parte del límite internacional que separa el estado de Amazonas en Brasil del departamento de Vaupés en Colombia.

**Fecha:** 2021-08-12

#### Tipo de muestras

- **Tipo de Muestreo:** Puntual
- Se recolectaron muestras de sedimentos, peces, plantas para los puntos seleccionados del río Taraira como el Remanso, playa, orilla y comunidad Bocon. A continuación, se detalla el tipo de muestra, cantidad y código asignado.

- **Sedimentos**

Se tomaron 40 muestras de sedimentos. Una vez en el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1130569 Sedimento 1
- ✓ 1130570 Sedimento 2
- ✓ 1130571 Sedimento 3
- ✓ 1130572 Sedimento 4
- ✓ 1130573 Sedimento 5
- ✓ 1130574 Sedimento 6
- ✓ 1130575 Sedimento 7
- ✓ 1130576 Sedimento 8
- ✓ 1130577 Sedimento 9
- ✓ 1130578 Sedimento 10
- ✓ 1130579 Sedimento 11
- ✓ 1130580 Sedimento 12
- ✓ 1130581 Sedimento 13
- ✓ 1130582 Sedimento 14
- ✓ 1130583 Sedimento 15
- ✓ 1130584 Sedimento 16
- ✓ 1130585 Sedimento 17
- ✓ 1130586 Sedimento 18
- ✓ 1130587 Sedimento 19
- ✓ 1130588 Sedimento 20
- ✓ 1130589 Sedimento 21
- ✓ 1130590 Sedimento 22
- ✓ 1130591 Sedimento 23
- ✓ 1130592 Sedimento 24
- ✓ 1130593 Sedimento 25
- ✓ 1130594 Sedimento 26
- ✓ 1130595 Sedimento 27
- ✓ 1130596 Sedimento 28
- ✓ 1130597 Sedimento 29
- ✓ 1130598 Sedimento 30
- ✓ 1130599 Sedimento 31
- ✓ 1130600 Sedimento 32
- ✓ 1130601 Sedimento 33
- ✓ 1130602 Sedimento 34
- ✓ 1130603 Sedimento 35
- ✓ 1130604 Sedimento 36
- ✓ 1130605 Sedimento 37
- ✓ 1130606 Sedimento 38
- ✓ 1130607 Sedimento 39
- ✓ 1130608 Sedimento 40

- **Peces**

Se tomaron 16 muestras de sedimentos. Una vez en el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1130536 Peces 1
- ✓ 1130537 Peces 2
- ✓ 1130538 Peces 3
- ✓ 1130539 Peces 4
- ✓ 1130540 Peces 5
- ✓ 1130541 Peces 6
- ✓ 1130542 Peces 7
- ✓ 1130543 Peces 8
- ✓ 1130544 Peces 9
- ✓ 1130545 Peces 10
- ✓ 1130546 Peces 11
- ✓ 1130547 Peces 12
- ✓ 1130548 Peces 13
- ✓ 1130549 Peces 14
- ✓ 1130550 Peces 15
- ✓ 1130551 Peces 16
- ✓ 1130552 Peces 17

- **Plantas**

Se recolectaron 16 muestras de plantas y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1130553 Plantas 1
- ✓ 1130554 Plantas 2
- ✓ 1130555 Plantas 3
- ✓ 1130556 Plantas 4
- ✓ 1130557 Plantas 5
- ✓ 1130558 Plantas 6
- ✓ 1130559 Plantas 7
- ✓ 1130560 Plantas 8
- ✓ 1130561 Plantas 9
- ✓ 1130562 Plantas 10
- ✓ 1130563 Plantas 11
- ✓ 1130564 Plantas 12
- ✓ 1130565 Plantas 13
- ✓ 1130566 Plantas 14
- ✓ 1130567 Plantas 15
- ✓ 1130568 Plantas 16

### 4.3 Descripción del área de monitoreo:

El primer monitoreo fue realizado en el río Taraira para 40 muestras de sedimentos, 17 de peces y 16 de plantas.

### 4.4 Lugar y fecha monitoreo 2

**Lugar:** río Atabapo (ruta Inírida – comunidad Chaquita) que delimita la frontera entre Venezuela y Colombia dentro de la cuenca del río Orinoco. Este río nace en la selva sur, Estado Federal de Amazonas de Venezuela.

**Fecha:** 2021-09-28

### 4.5 Tipo de muestras

- **Muestreo:** Puntual  
Se recolectaron muestras de sedimentos, peces, plantas para los puntos seleccionado del río Atabapo como la ribera del río y la cuenca. A continuación, se detalla el tipo de muestra, cantidad y código asignado.

- **Sedimentos**

Se recolectaron 20 muestras de sedimentos y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

✓ 1131209	Sedimento 1
✓ 1131210	Sedimento 2
✓ 1131211	Sedimento 3
✓ 1131212	Sedimento 4
✓ 1131213	Sedimento 5
✓ 1131214	Sedimento 6
✓ 1131215	Sedimento 7
✓ 1131216	Sedimento 8
✓ 1131217	Sedimento 9
✓ 1131218	Sedimento 10
✓ 1131219	Sedimento 11
✓ 1131220	Sedimento 12
✓ 1131221	Sedimento 13
✓ 1131222	Sedimento 14
✓ 1131223	Sedimento 15
✓ 1131224	Sedimento 16
✓ 1131225	Sedimento 17
✓ 1131226	Sedimento 18
✓ 1131227	Sedimento 19
✓ 1131228	Sedimento 20

- **Peces**

Se recolectaron 16 muestras de peces y una vez en el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1131193 Peces 1
- ✓ 1131194 Peces 2
- ✓ 1131195 Peces 3
- ✓ 1131196 Peces 4
- ✓ 1131197 Peces 5
- ✓ 1131198 Peces 6
- ✓ 1131199 Peces 7
- ✓ 1131200 Peces 8
- ✓ 1131201 Peces 9
- ✓ 1131202 Peces 10
- ✓ 1131203 Peces 11
- ✓ 1131204 Peces 12
- ✓ 1131205 Peces 13
- ✓ 1131206 Peces 14
- ✓ 1131207 Peces 15
- ✓ 1131208 Peces 16

- **Plantas**

Se tomaron 16 muestras de plantas y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1131229 Plantas 1
- ✓ 1131230 Plantas 2
- ✓ 1131231 Plantas 3
- ✓ 1131232 Plantas 4
- ✓ 1131233 Plantas 5
- ✓ 1131234 Plantas 6
- ✓ 1131235 Plantas 7
- ✓ 1131236 Plantas 8
- ✓ 1131237 Plantas 9
- ✓ 1131238 Plantas 10
- ✓ 1131239 Plantas 11
- ✓ 1131240 Plantas 12
- ✓ 1131241 Plantas 13
- ✓ 1131242 Plantas 14
- ✓ 1131243 Plantas 15
- ✓ 1131244 Plantas 16

#### 4.6 Descripción del área de monitoreo:

Se realiza monitoreo en río Atabapo para 20 muestras de sedimentos, 16 de peces y 16 de plantas.

#### 4.7 Lugar y fecha monitoreo 3

**Lugar:** Río Isana y Cuyarí, pertenecen a la cuenca del río Negro-Amazonas, el río Isana es el más afluente del río Amazonas, surge en el departamento del Guainía y forma parte de la frontera entre Colombia y Brasil.

**Fecha:** 2021-09-30

#### 4.8 Tipo de muestras

- **Muestreo:** Puntual

Se recolectaron muestras de sedimentos, peces y plantas para el punto seleccionado del río Isana y Cuyarí pertenecientes a la cuenca del río Negro-Amazonas. A continuación, se detalla el tipo de muestra, cantidad y código asignado.

- **Sedimentos**

Se recolectaron 28 muestras de sedimentos y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

✓ 1131403	Sedimentos 1
✓ 1131404	Sedimentos 2
✓ 1131405	Sedimentos 3
✓ 1131406	Sedimentos 5
✓ 1131407	Sedimentos 6
✓ 1131408	Sedimentos 7
✓ 1131409	Sedimentos 8
✓ 1131410	Sedimentos 9
✓ 1131411	Sedimentos 10
✓ 1131412	Sedimentos 11
✓ 1131413	Sedimentos 12
✓ 1131414	Sedimentos 13
✓ 1131415	Sedimentos 15
✓ 1131416	Sedimentos 1
✓ 1131417	Sedimentos 2
✓ 1131418	Sedimentos 3
✓ 1131419	Sedimentos 4
✓ 1131420	Sedimentos 5
✓ 1131421	Sedimentos 6
✓ 1131422	Sedimentos 7
✓ 1131423	Sedimentos 8

- ✓ 1131424 Sedimentos 9
- ✓ 1131425 Sedimentos 10
- ✓ 1131426 Sedimentos 11
- ✓ 1131427 Sedimentos 12
- ✓ 1131428 Sedimentos 13
- ✓ 1131429 Sedimentos 14
- ✓ 1131430 Sedimentos 15

- **Peces**

Se recolectaron 15 muestras de peces, una vez en el laboratorio ASINAL SAS, se les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1131372 Peces 1
- ✓ 1131373 Peces 2
- ✓ 1131374 Peces 3
- ✓ 1131375 Peces 4
- ✓ 1131376 Peces 5
- ✓ 1131377 Peces 6
- ✓ 1131378 Peces 7
- ✓ 1131379 Peces 8
- ✓ 1131380 Peces 9
- ✓ 1131381 Peces 1
- ✓ 1131382 Peces 2
- ✓ 1131383 Peces 3
- ✓ 1131384 Peces 4
- ✓ 1131385 Peces 5
- ✓ 1131386 Peces 6

- **Plantas**

Se recolectaron 16 muestras de plantas y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1131387 Planta 49
- ✓ 1131388 Planta 50
- ✓ 1131389 Planta 51
- ✓ 1131390 Planta 52
- ✓ 1131391 Planta 53
- ✓ 1131392 Planta 54
- ✓ 1131393 Planta 55
- ✓ 1131394 Planta 56
- ✓ 1131395 Planta 58
- ✓ 1131396 Planta 59
- ✓ 1131397 Planta 60
- ✓ 1131398 Planta 61
- ✓ 1131399 Planta 62
- ✓ 1131400 Planta 63
- ✓ 1131401 Planta 64
- ✓ 1131402 Planta 65

#### 4.9 Descripción del área de monitoreo:

Se realiza monitoreo en río Isana y Cuyarí para 28 muestras de sedimentos, 15 de peces y 16 de plantas.

#### 4.10 Lugar y fecha monitoreo 4

**Lugar:** Río Guainía (ruta San Felipe – Puerto Colombia) se encuentra ubicado en zona fronteriza entre Colombia y Venezuela y se une al río Casiquiare cerca de San Carlos de río Negro.

**Fecha:** 2021-10-12

#### 4.11 Tipo de muestras

- **Muestreo:** Puntual

Se recolectaron muestras de sedimentos, peces y plantas para el punto seleccionado del río Guainía, municipio de Inírida. A continuación, se detalla el tipo de muestra, cantidad y código asignado.

- **Sedimentos**

Se recolectaron 74 muestras de sedimentos y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

✓ 1132007	Sedimentos	21
✓ 1132008	Sedimentos	22
✓ 1132009	Sedimentos	23
✓ 1132010	Sedimentos	24
✓ 1132011	Sedimentos	25
✓ 1132012	Sedimentos	26
✓ 1132013	Sedimentos	27
✓ 1132014	Sedimentos	28
✓ 1132015	Sedimentos	29
✓ 1132016	Sedimentos	30
✓ 1132017	Sedimentos	31
✓ 1132018	Sedimentos	32
✓ 1132019	Sedimentos	33
✓ 1132020	Sedimentos	34
✓ 1132021	Sedimentos	35
✓ 1132022	Sedimentos	36
✓ 1132023	Sedimentos	37
✓ 1132024	Sedimentos	38
✓ 1132025	Sedimentos	39
✓ 1132026	Sedimentos	40
✓ 1132027	Sedimentos	41

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE MERCURIO Y CADMIO EN MUESTRAS DE  
SEDIMENTOS, PLANTAS Y PECES RECOLECTADOS EN RÍO ATABAPO, INÍRIDA, GUAINÍA, TARAIRA,  
ISANA Y CUYARI

---

✓	1132028	Sedimentos	42
✓	1132029	Sedimentos	43
✓	1132030	Sedimentos	44
✓	1132031	Sedimentos	45
✓	1132032	Sedimentos	46
✓	1132033	Sedimentos	47
✓	1132034	Sedimentos	48
✓	1132035	Sedimentos	49
✓	1132036	Sedimentos	50
✓	1132037	Sedimentos	51
✓	1132038	Sedimentos	52
✓	1132039	Sedimentos	53
✓	1132040	Sedimentos	54
✓	1132041	Sedimentos	55
✓	1132042	Sedimentos	56
✓	1132043	Sedimentos	57
✓	1132044	Sedimentos	58
✓	1132045	Sedimentos	59
✓	1132046	Sedimentos	60
✓	1132047	Sedimentos	61
✓	1132048	Sedimentos	62
✓	1132049	Sedimentos	63
✓	1132050	Sedimentos	64
✓	1132051	Sedimentos	65
✓	1132052	Sedimentos	66
✓	1132053	Sedimentos	67
✓	1132054	Sedimentos	68
✓	1132055	Sedimentos	69
✓	1132056	Sedimentos	70
✓	1132057	Sedimentos	71
✓	1132058	Sedimentos	72
✓	1132059	Sedimentos	73
✓	1132060	Sedimentos	74
✓	1132061	Sedimentos	75
✓	1132062	Sedimentos	76
✓	1132063	Sedimentos	77
✓	1132064	Sedimentos	78
✓	1132065	Sedimentos	79
✓	1132066	Sedimentos	80
✓	1132067	Sedimentos	81
✓	1132068	Sedimentos	82
✓	1132069	Sedimentos	83
✓	1132070	Sedimentos	84
✓	1132071	Sedimentos	85
✓	1132072	Sedimentos	86
✓	1132073	Sedimentos	87
✓	1132074	Sedimentos	88
✓	1132075	Sedimentos	89
✓	1132076	Sedimentos	90
✓	1132077	Sedimentos	91
✓	1132078	Sedimentos	92

- ✓ 1132079 Sedimentos 93
- ✓ 1132080 Sedimentos 94

- **Peces**

Se recolectaron 19 muestras de peces, una vez en el laboratorio ASINAL SAS, se les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1131972 Peces 17
- ✓ 1131973 Peces 18
- ✓ 1131974 Peces 19
- ✓ 1131975 Peces 20
- ✓ 1131976 Peces 21
- ✓ 1131977 Peces 22
- ✓ 1131978 Peces 23
- ✓ 1131979 Peces 24
- ✓ 1131980 Peces 25
- ✓ 1131981 Peces 26
- ✓ 1131982 Peces 27
- ✓ 1131983 Peces 28
- ✓ 1131984 Peces 29
- ✓ 1131985 Peces 30
- ✓ 1131986 Peces 31
- ✓ 1131987 Peces 32
- ✓ 1131988 Peces 64
- ✓ 1131989 Peces 65
- ✓ 1131990 Peces 66

- **Plantas**

Se recolectaron 16 muestras de plantas y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1131991 Planta 1
- ✓ 1131992 Planta 2
- ✓ 1131993 Planta 3
- ✓ 1131994 Planta 4
- ✓ 1131995 Planta 5
- ✓ 1131996 Planta 6
- ✓ 1131997 Planta 7
- ✓ 1131998 Planta 8
- ✓ 1131999 Planta 9
- ✓ 1132000 Planta 10
- ✓ 1132001 Planta 11
- ✓ 1132002 Planta 12
- ✓ 1132003 Planta 13
- ✓ 1132004 Planta 14
- ✓ 1132005 Planta 15
- ✓ 1132006 Planta 16

#### 4.12 Descripción del área de monitoreo:

Se realiza monitoreo en río Guainía, municipio Inirida para 74 muestras de sedimentos, 19 de peces y 16 de plantas.

#### 4.13 Lugar y fecha monitoreo 5

Se realizaron muestreos en los dos siguientes ríos:

Río Inírida (ruta Inírida – comunidad Morroco) se encuentra entre los cerros de Mavicure, Pajarito y es uno de los tres ríos que conforman la estrella fluvial de Inírida.

Se realiza un segundo monitoreo en el Río Atabapo (ruta Inírida – comunidad Chaquita) que delimita la frontera entre Venezuela y Colombia dentro de la cuenca del río Orinoco. Este río nace en la selva sur, Estado Federal de Amazonas de Venezuela.

**Fecha:** 2021-11-27

#### 4.14 Tipo de muestras

- **Muestreo:** Puntual  
Se recolectaron muestras de sedimentos, peces y plantas para el punto seleccionado del río Atabapo y río Inírida. A continuación, se detalla el tipo de muestra, cantidad y código asignado.

- **Sedimentos**

Se recolectaron 60 muestras de sedimentos y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

✓	1132305	Sedimentos	95
✓	1132306	Sedimentos	96
✓	1132307	Sedimentos	97
✓	1132308	Sedimentos	98
✓	1132309	Sedimentos	99
✓	1132310	Sedimentos	100
✓	1132311	Sedimentos	101
✓	1132312	Sedimentos	102
✓	1132313	Sedimentos	103
✓	1132314	Sedimentos	104
✓	1132315	Sedimentos	105
✓	1132316	Sedimentos	106
✓	1132317	Sedimentos	107

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE MERCURIO Y CADMIO EN MUESTRAS DE  
SEDIMENTOS, PLANTAS Y PECES RECOLECTADOS EN RÍO ATABAPO, INÍRIDA, GUAINÍA, TARAIRA,  
ISANA Y CUYARI

---

✓	1132318	Sedimentos	108
✓	1132319	Sedimentos	109
✓	1132320	Sedimentos	110
✓	1132321	Sedimentos	111
✓	1132322	Sedimentos	112
✓	1132323	Sedimentos	113
✓	1132324	Sedimentos	114
✓	1132325	Sedimentos	127
✓	1132326	Sedimentos	128
✓	1132327	Sedimentos	129
✓	1132328	Sedimentos	130
✓	1132329	Sedimentos	131
✓	1132330	Sedimentos	132
✓	1132331	Sedimentos	133
✓	1132332	Sedimentos	134
✓	1132333	Sedimentos	135
✓	1132334	Sedimentos	136
✓	1132335	Sedimentos	137
✓	1132336	Sedimentos	138
✓	1132337	Sedimentos	139
✓	1132338	Sedimentos	140
✓	1132339	Sedimentos	141
✓	1132340	Sedimentos	142
✓	1132341	Sedimentos	143
✓	1132342	Sedimentos	144
✓	1132343	Sedimentos	145
✓	1132344	Sedimentos	146
✓	1132345	Sedimentos	147
✓	1132346	Sedimentos	148
✓	1132347	Sedimentos	149
✓	1132348	Sedimentos	150
✓	1132349	Sedimentos	151
✓	1132350	Sedimentos	152
✓	1132351	Sedimentos	153
✓	1132352	Sedimentos	154
✓	1132353	Sedimentos	115
✓	1132354	Sedimentos	116
✓	1132355	Sedimentos	117
✓	1132356	Sedimentos	118
✓	1132357	Sedimentos	119
✓	1132358	Sedimentos	120
✓	1132359	Sedimentos	121
✓	1132360	Sedimentos	122
✓	1132361	Sedimentos	123
✓	1132362	Sedimentos	124
✓	1132363	Sedimentos	125
✓	1132364	Sedimentos	126

- **Peces**

Se recolectaron 24 muestras de peces, una vez en el laboratorio ASINAL SAS, se les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1132244 Peces 33
- ✓ 1132245 Peces 34
- ✓ 1132246 Peces 35
- ✓ 1132247 Peces 36
- ✓ 1132248 Peces 37
- ✓ 1132249 Peces 38
- ✓ 1132250 Peces 39
- ✓ 1132251 Peces 40
- ✓ 1132252 Peces 41
- ✓ 1132253 Peces 42
- ✓ 1132254 Peces 43
- ✓ 1132255 Peces 44
- ✓ 1132256 Peces 45
- ✓ 1132257 Peces 46
- ✓ 1132258 Peces 47
- ✓ 1132259 Peces 48
- ✓ 1132260 Peces 67
- ✓ 1132261 Peces 68
- ✓ 1132262 Peces 69
- ✓ 1132263 Peces 70
- ✓ 1132264 Peces 71
- ✓ 1132265 Peces 72
- ✓ 1132266 Peces 73
- ✓ 1132267 Peces 74

- **Plantas**

Se recolectaron 37 muestras de plantas y el laboratorio ASINAL SAS les asignó un código único de la siguiente manera:

- ✓ 1132268 Plantas 26
- ✓ 1132269 Plantas 27
- ✓ 1132270 Plantas 28
- ✓ 1132271 Plantas 29
- ✓ 1132272 Plantas 30
- ✓ 1132273 Plantas 31
- ✓ 1132274 Plantas 32
- ✓ 1132275 Plantas 33
- ✓ 1132276 Plantas 34
- ✓ 1132277 Plantas 35
- ✓ 1132278 Plantas 36
- ✓ 1132279 Plantas 37
- ✓ 1132280 Plantas 38

- ✓ 1132281 Plantas 39
- ✓ 1132282 Plantas 40
- ✓ 1132283 Plantas 41
- ✓ 1132284 Plantas 42
- ✓ 1132285 Plantas 43
- ✓ 1132286 Plantas 44
- ✓ 1132287 Plantas 45
- ✓ 1132288 Plantas 46
- ✓ 1132289 Plantas 47
- ✓ 1132290 Plantas 48
- ✓ 1132291 Plantas 64
- ✓ 1132292 Plantas 65
- ✓ 1132293 Plantas 66
- ✓ 1132294 Plantas 67
- ✓ 1132295 Plantas 68
- ✓ 1132296 Plantas 69
- ✓ 1132297 Plantas 70
- ✓ 1132298 Plantas 71
- ✓ 1132299 Plantas 72
- ✓ 1132300 Plantas 73
- ✓ 1132301 Plantas 74
- ✓ 1132302 Plantas 75
- ✓ 1132303 Plantas 76
- ✓ 1132304 Plantas 77

#### 4.15 Descripción del área de monitoreo:

Se realiza monitoreo en los ríos Inírida y Atabapo, para 60 muestras de sedimentos, 24 de peces y 37 de plantas.

#### 4.16 Muestras recibidas en cumplimiento del contrato 175 de 2021

<b>Sedimentos</b>	218
<b>Peces</b>	91
<b>Plantas</b>	101
<b>Total</b>	<b>410</b>

## 5 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro de absorción atómica, marca Perkin Elmer, técnica de vapor frío (USEPA 7471 B, revisión 2, febrero de 2007).

El programa de aseguramiento y control de la calidad del laboratorio Asinal SAS consiste en los siguientes elementos:

CONTROL DE CALIDAD	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	ACCIONES CORRECTIVAS
<b>Curva de calibración</b>	Coeficiente de correlación $r \geq 0.995$ . Compare los puntos de la curva de la siguiente manera: %Diferencia de los estándares, hasta el doble del LRM $\pm 50\%$ , entre 3 y 5 veces el LRM $\pm 20\%$ y más de 5 veces el LRM $\pm 10\%$ .	Con cada lote de muestras	Repetir si no se cumplen los criterios de la verificación inicial de la calibración
<b>Muestra adicionada y adicionada por duplicado (LFM / LFMD)</b>	La recuperación debe estar entre 70 -130% y la diferencia porcentual entre duplicados debe ser $\leq 20\%$ .	Cada lote de muestras y/o cada 10 muestras	Recalibre la curva, repita el proceso de adición de matriz y los duplicados
<b>Muestra control de laboratorio (LCS)</b>	Al menos cuatro LCS o estándares consecutivos con niveles aceptables de precisión establecidos por el laboratorio. (Recuperación entre el 85 - 115 %)	Cada lote de muestras	Recalibre la curva de calibración o prepare nuevamente los estándares
<b>Blanco del método (MB)</b>	Agua destilada tratada exactamente igual que las muestras (Reactivos, digestión y lectura). $\leq \frac{1}{2}$ LR.	Cada lote de muestras	Recalibre la curva, eliminación de la fuente de contaminación
<b>Blanco fortificado de laboratorio (LFB)</b>	Rotar las concentraciones para cubrir diferentes partes del rango de calibración (Recuperación entre el 85 - 115 %)	Cada lote de muestras.	Recalibre la curva de calibración o prepare nuevamente el estándar.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Mercurio en sedimentos recolectados en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí, Inírida y Guainía

En la **Tabla 4**. Se presentan los resultados de contenido de mercurio (Hg) en las 218 muestras de sedimentos recolectadas en los monitoreos de río Atabapo, Inírida, Taraira, Isana, Cuyarí y Guainía.

**Tabla 4.** Concentración de mercurio en muestras de sedimentos recolectadas en Río Taraira, Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí y Guainía

Análisis de mercurio en sedimentos							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1130569	<0,100	1131209	<0,100	1132007	1,04416	1132326	0,583
1130570	<0,100	1131210	<0,100	1132008	0,60478	1132327	0,117
1130571	0,254	1131211	<0,100	1132009	1,47121	1132328	0,656
1130572	<0,100	1131212	<0,100	1132010	0,63199	1132329	<0,100
1130573	0,102	1131213	<0,100	1132011	0,20369	1132330	1,655
1130574	<0,100	1131214	<0,100	1132012	0,27364	1132331	0,386
1130575	<0,100	1131215	<0,100	1132013	0,47414	1132332	0,326
1130576	<0,100	1131216	<0,100	1132014	0,2515	1132333	0,584
1130577	<0,100	1131217	<0,100	1132015	0,31866	1132334	0,555
1130578	<0,100	1131218	<0,100	1132016	0,80163	1132335	<0,100
1130579	0,142	1131219	0,275	1132017	1,01908	1132336	0,743
1130580	0,314	1131220	<0,100	1132018	<0,100	1132337	0,533
1130581	0,184	1131221	13,266	1132019	1,35364	1132338	0,295
1130582	0,250	1131222	<0,100	1132020	0,74188	1132339	0,381
1130583	0,166	1131223	0,103	1132021	3,29426	1132340	0,293
1130584	0,114	1131224	0,143	1132022	0,97399	1132341	0,374
1130585	0,422	1131225	0,792	1132023	0,48608	1132342	<0,100
1130586	0,163	1131226	<0,100	1132024	0,90187	1132343	0,520
1130587	0,127	1131227	<0,100	1132025	0,52676	1132344	0,162
1130588	0,104	1131228	<0,100	1132026	0,41071	1132345	0,770
1130589	0,113	1132305	1,296	1132027	0,9961	1132346	47,202
1130590	0,167	1132306	0,813	1132028	1,59542	1132347	<0,100
1130591	0,335	1132307	0,381	1132029	0,88363	1132348	0,105
1130592	0,218	1132308	0,691	1132030	0,62	1132349	1,533
1130593	0,248	1132309	1,888	1132031	0,55362	1132350	0,150
1130594	0,166	1132310	0,141	1132032	73,4934	1132351	0,479
1130595	0,170	1132311	0,231	1132033	0,29529	1132352	0,538

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE MERCURIO Y CADMIO EN MUESTRAS DE  
SEDIMENTOS, PLANTAS Y PECES RECOLECTADOS EN RÍO ATABAPO, INÍRIDA, GUAINÍA, TARAIRA,  
ISANA Y CUYARI

Análisis de mercurio en sedimentos							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1130596	0,453	1132312	0,460	1132034	0,79529	1132353	<0,100
1130597	0,308	1132313	0,142	1132035	0,36685	1132354	0,463
1130598	0,255	1132314	<0,100	1132036	0,37033	1132355	0,162
1130599	<0,100	1132315	0,127	1132037	1,14048	1132356	<0,100
1130600	0,258	1132316	<0,100	1132038	0,42646	1132357	0,745
1130601	0,140	1132317	<0,100	1132039	1,13738	1132358	0,227
1130602	0,106	1132318	0,565	1132040	0,30757	1132359	1,119
1130603	<0,100	1132319	0,127	1132041	1,55294	1132360	1,262
1130604	0,260	1132320	3,293	1132042	0,67897	1132361	1,870
1130605	0,165	1132321	<0,100	1132043	0,29372	1132362	1,230
1130606	<0,100	1132322	0,151	1132044	0,47735	1132363	0,184
1130607	0,214	1132323	0,308	1132045	0,96977	1132364	1,883
1130608	0,234	1132324	1,007	1132046	1,53522	Promedio	2,063
Promedio	0,212	1132325	<0,100	1132047	0,73494	V. Máximo	47,202
V. Máximo	0,453	Promedio	1,247	1132048	0,52727		
		V. Máximo	13,266	1132049	1,28931		

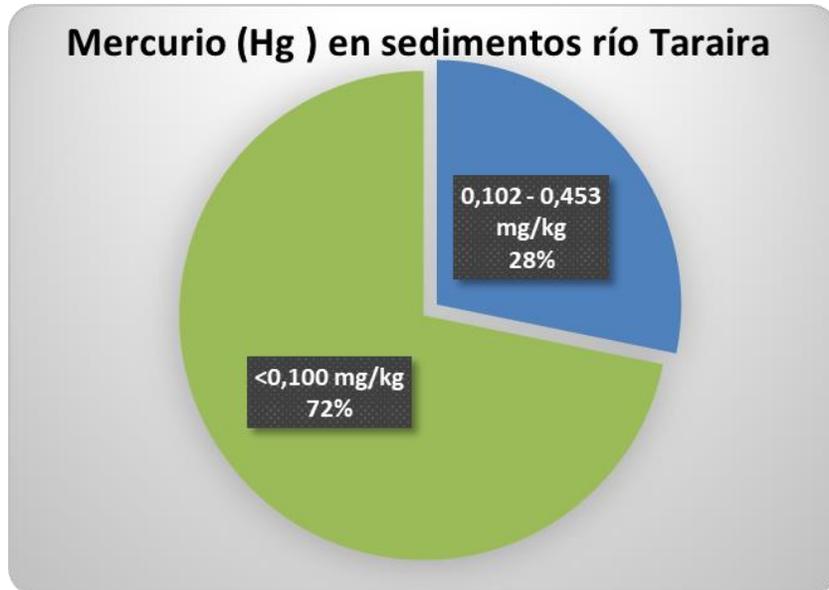
**Tabla 5.** Continuidad de tabla 4. Concentración de mercurio en muestras de sedimentos recolectadas en Río Taraira, Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí y Guainía

Análisis de mercurio en sedimentos					
Río Isana		Río Cuyarí		Río Guainía	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1131403	<0,100	1131416	<0,100	1132050	0,563934
1131404	0,184	1131417	<0,100	1132051	0,991496
1131405	<0,100	1131418	<0,100	1132052	1,4382
1131406	<0,100	1131419	<0,100	1132053	1,372081
1131407	<0,100	1131420	<0,100	1132054	1,471366
1131408	<0,100	1131421	<0,100	1132055	1,217433
1131409	<0,100	1131422	<0,100	1132056	0,879867
1131410	<0,100	1131423	<0,100	1132057	1,57969
1131411	<0,100	1131424	<0,100	1132058	0,404233
1131412	<0,100	1131425	<0,100	1132059	1,062168
1131413	<0,100	1131426	<0,100	1132060	1,27336
1131414	<0,100	1131427	<0,100	1132061	1,110059

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE MERCURIO Y CADMIO EN MUESTRAS DE  
SEDIMENTOS, PLANTAS Y PECES RECOLECTADOS EN RÍO ATABAPO, INÍRIDA, GUAINÍA, TARAIRA,  
ISANA Y CUYARI

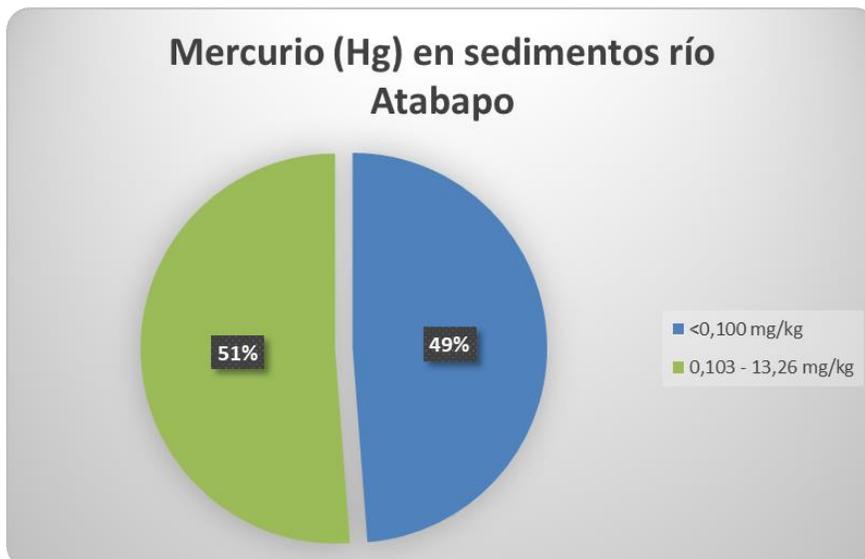
Análisis de mercurio en sedimentos					
Río Isana		Río Cuyarí		Río Guainía	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1131415	<0,100	1131428	<0,100	1132062	1,23113
Promedio	0,184	1131429	<0,100	1132063	0,89434
V. Máximo	0,184	1131430	<0,100	1132064	1,383156
		Promedio	-	1132065	124,1148
		V. Máximo	-	1132066	1,975153
				1132067	0,857616
				1132068	0,527492
				1132069	0,933612
				1132070	1,436144
				1132071	1,481345
				1132072	0,569638
				1132073	0,886941
				1132074	0,689311
				1132075	0,746909
				1132076	0,159146
				1132077	0,319693
				1132078	0,706755
				1132079	1,057912
				1132080	0,871652
				Promedio	3,576
				V. Máximo	124,115

En río Taraira el 72% de las muestras reportaron el límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,100 mg/kg el 72,5% restante reporto concentraciones que oscilan entre 0,102 mg/kg y 0,453 mg/kg, no es posible realizar comparativo normativo ya que no existe normatividad para este tipo de matriz.



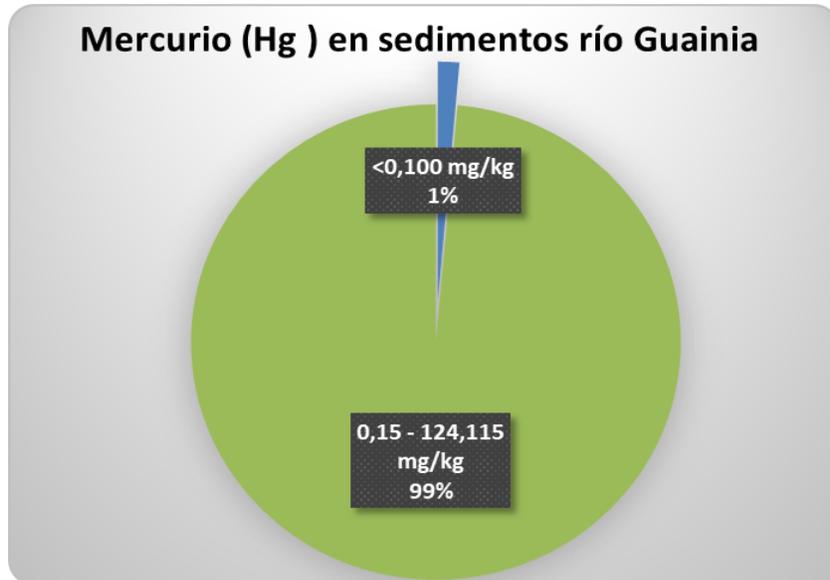
**Figura 7.** Distribución de Hg en sedimentos en río Isana

En río Atabapo el 49% de las muestras reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,100 mg/kg, el 51,21% reportó concentraciones entre 0,103 mg/kg y 13,26 mg/kg.



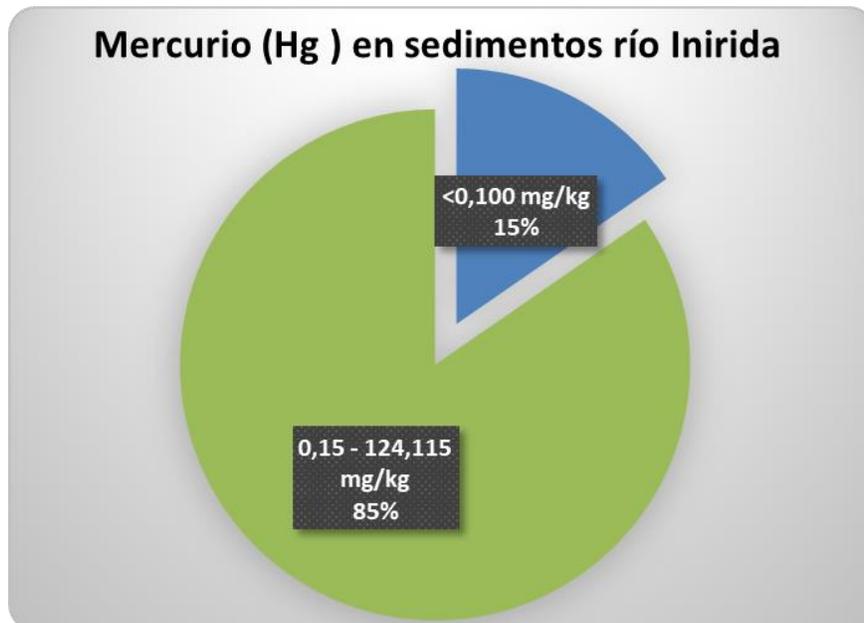
**Figura 8.** Distribución de Hg en sedimentos en río Atabapo

De las 74 muestras de sedimentos tomadas en el río Guainía el 1% reportó un valor inferior al límite de la técnica empleada en el laboratorio <0,100 mg/kg, las muestras restantes las cuales equivalen al 99 % reportaron concentraciones entre 0,15 mg/kg y 124,1 mg/kg, como se menciona anteriormente no es posible realizar comparativo normativo ya que no se cuenta con normatividad para esta matriz.



**Figura 9.** Distribución de Hg en sedimentos en río Guainía

En el río Inírida el 15% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada en el laboratorio  $<0,100 \text{ mg/kg}$ , las muestras restantes equivalentes al 85% reportaron concentraciones entre 0,105 mg/kg y 47,2 mg/kg.

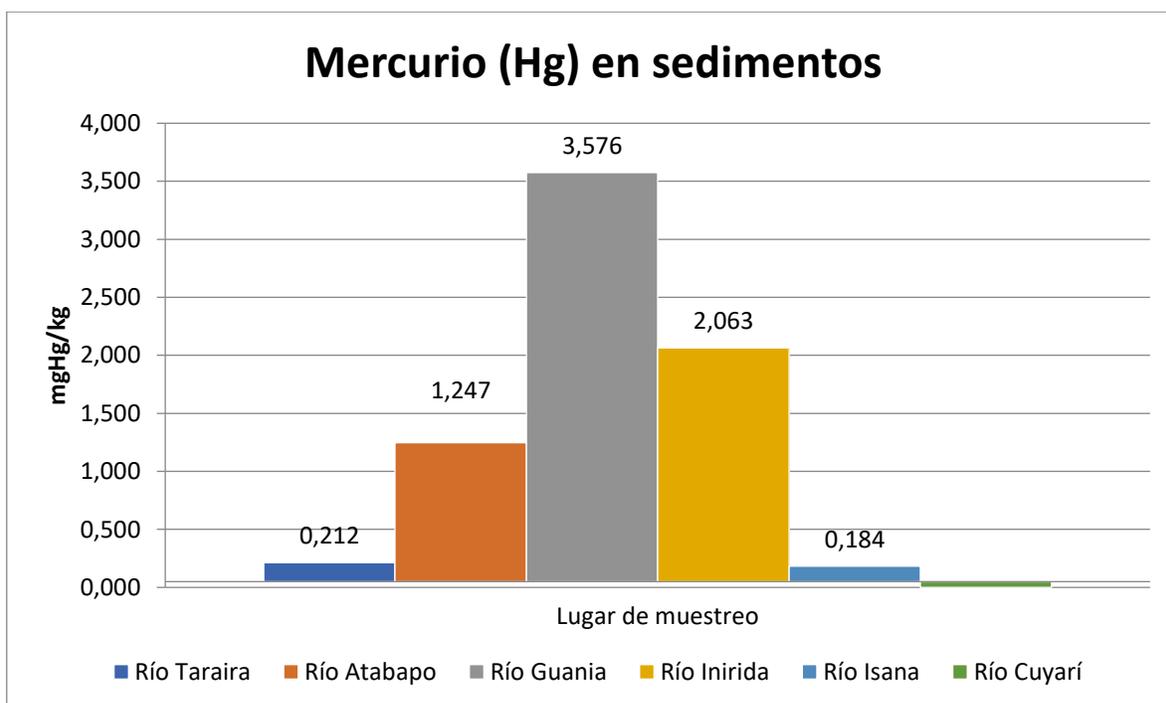


**Figura 10.** Distribución de Hg en sedimentos en río Inírida

En el río Isana el 99% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada en el laboratorio  $<0,100 \text{ mg/kg}$ , la muestra restante equivalente al 1% reportó una concentración de 0,184 mg/kg. Con respecto al río Cuyari se puede mencionar que el 100% de las muestras

reportaron concentraciones inferiores el límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio  $<0,100$  mg/kg

En la **Figura 11**. Se muestra una comparativa de los valores de concentración promedio de mercurio (Hg) determinados en los sedimentos de cada río, dando claridad que el río Guainía es el que presenta el mayor grado de contaminación en sedimentos, con un valor promedio de Hg de 3,576 mgHg/Kg mientras que los demás ríos se mantuvieron en valores promedio por debajo de 2,063 mgHg/kg.



**Figura 11.** Distribución promedio de concentración de Hg en sedimentos de río Atabapo, Taraira, Isana, Inírida, Cuyarí y Guainía

## 6.2 Mercurio en peces recolectados en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí, Inírida y Guainía

En la **Tabla 6**. Se presenta la concentración de mercurio (Hg) en las muestras de 91 peces recolectados en los seis ríos: Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí, Taraira y Guainía. En el río Isana el promedio de la concentración es el más alto que en los otros ríos con un valor de 0,180 mgHg/kg.

**Tabla 6.** Concentración de mercurio en muestras de peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

Análisis de mercurio en peces			
Río Isana		Río Cuyarí	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1131372	0,070	1131381	0,071
1131373	0,240	1131382	<0,010
1131374	0,170	1131383	0,061
1131375	0,330	1131384	<0,010
1131376	0,205	1131385	0,134
1131377	0,220	1131386	0,048
1131378	0,142	Promedio	0,0785
1131379	0,153	V. Máximo	0,134
1131380	0,088		
Promedio	0,180		
V. Máximo	0,330		

**Tabla 7.** Continuidad tabla 6 de Concentración de mercurio en muestras de peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

Análisis de mercurio en peces							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1130536	0,014	1131193	0,177	1131972	0,513	1132244	0,058
1130537	<0,010	1131194	0,078	1131973	0,100	1132245	<0,010
1130538	<0,010	1131195	0,130	1131974	0,145	1132246	<0,010
1130539	0,012	1131196	0,372	1131975	0,151	1132247	0,102
1130540	0,013	1131197	0,360	1131976	0,070	1132248	<0,010
1130541	0,028	1131198	0,113	1131977	<0,010	1132249	<0,010
1130542	<0,010	1131199	0,023	1131978	0,055	1132250	<0,010
1130543	<0,010	1131200	0,130	1131979	0,140	1132251	<0,010
1130544	<0,010	1131201	<0,010	1131980	0,020	1132252	0,048
1130545	<0,010	1131202	<0,010	1131981	<0,010	1132253	<0,010
1130546	<0,010	1131203	0,056	1131982	0,020	1132254	0,074
1130547	0,020	1131204	0,084	1131983	0,020	1132255	0,311
1130548	<0,010	1131205	<0,010	1131984	<0,010	1132256	0,115
1130549	0,022	1131206	<0,010	1131985	<0,010	1132257	<0,010
1130550	<0,010	1131207	0,080	1131986	<0,010	1132258	0,035
1130551	0,011	1131208	0,164	1131987	0,017	1132259	0,023

Análisis de mercurio en peces							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1130552	<0,010	1132260	0,110	1131988	<0,010	Promedio	0,096
Promedio	0,017	1132261	0,110	1131989	0,061	V. Máximo	0,311
V. Máximo	0,028	1132262	0,030	1131990	<0,010		
		1132263	<0,010	Promedio	0,109		
		1132264	<0,010	V. Máximo	0,513		
		1132265	0,022				
		1132266	<0,010				
		1132267	0,036				
		Promedio	0,122				
		V. Máximo	0,372				

En el río Isana la concentración de mercurio (Hg) en los peces varió desde 0,070 a 0,330 mgHg/Kg, con un valor promedio de concentración de 0,180 mgHg/Kg, el cual fue el más alto de los valores respecto a los demás ríos en estudio, es pertinente considerar los requisitos expuestos en la Resolución 122 de 2012 la cual establece, entre otros, la concentración de mercurio en productos de la pesca para consumo humano, siendo la misma de 0,5 mgHg/Kg , artículo 6 Tabla 3 de la mencionada normatividad.

Finalmente, es importante destacar que la concentración máxima detectada fue de 0,513 mgHg/Kg en la muestra identificada con el código 1131972 tomada en el Río Guainía.

En el río Taraira el 59% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada en el laboratorio <0,010 mg/kg, las muestras restantes equivalentes al 41% reportaron concentraciones entre 0,011 mg/kg y 0,028 mg/kg, concentraciones que se encuentran dentro del límite normativo establecido en la Resolución 122 de 2012.

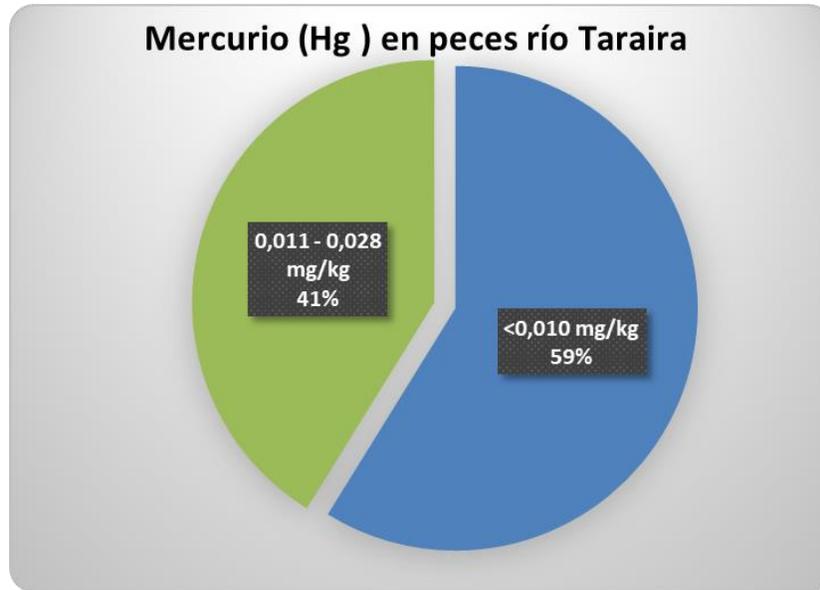


Figura 12. Distribución de Hg en peces en río Taraira

En el río Atabapo el 29% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada en el laboratorio <0,010 mg/kg, las muestras restantes equivalentes al 71% reportaron concentraciones entre 0,022 mg/kg y 0,372 mg/kg, concentraciones que se encuentran dentro del límite normativo establecido en la Resolución 122 de 2012.

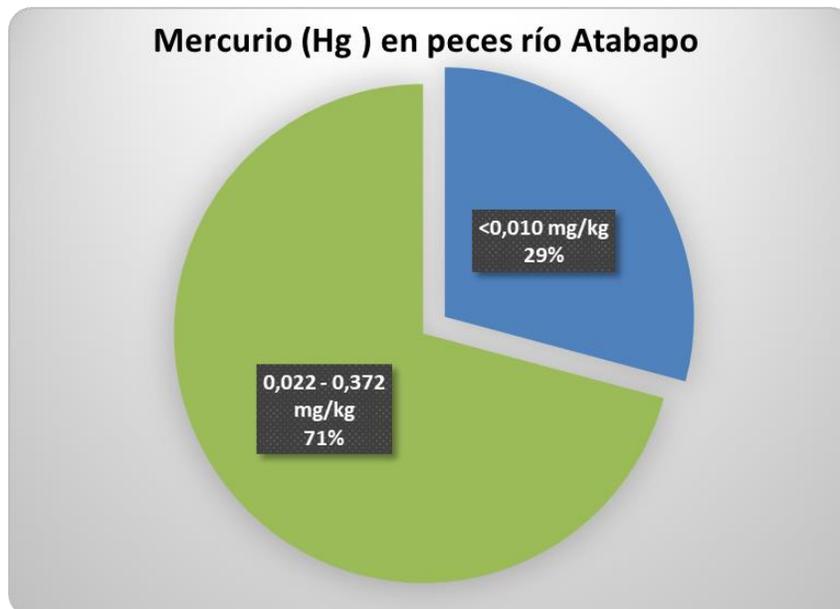
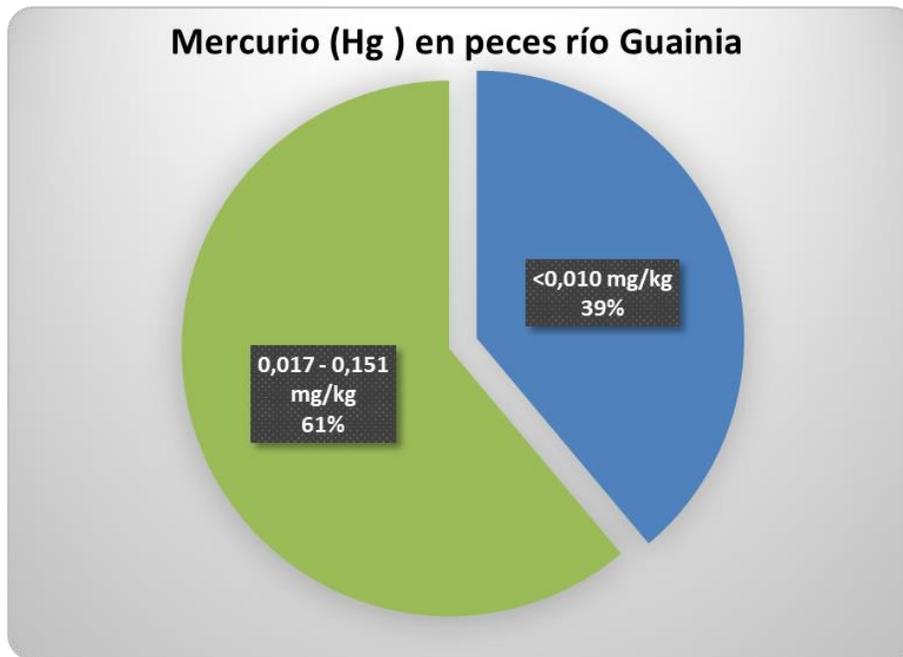


Figura 13. Distribución de Hg en peces en río Atabapo

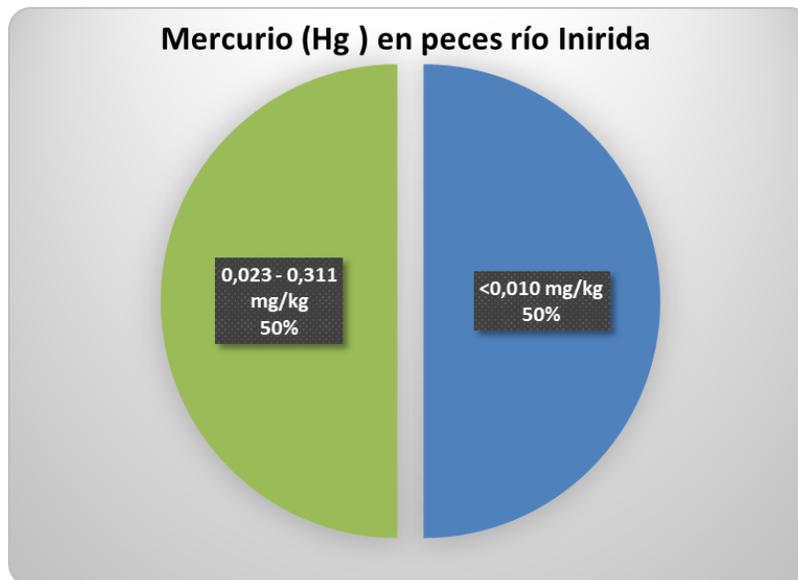
En el río Guainía, el 39% de dieciocho (18) muestras tomadas reportaron un valor inferior al límite de la técnica empleada en el laboratorio <0,010 mg/kg, el 61,1 % reportó concentraciones entre 0,017 mg/kg y 0,151 mg/kg, la muestra identificada con numero 1131972 reportó una concentración que se encuentra por encima del

límite de 0,5 mg Hg/kg establecido en la Resolución 122 de 2012, con un valor de 0,513 mg/kg.



**Figura 14.** Distribución de Hg en peces en río Guainía

En el río Inírida el 50% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada en el laboratorio <0,010 mg/kg, el 50% restante reportó concentraciones entre 0,023 mg/kg y 0,311 mg/kg, concentraciones que se encuentran dentro del límite normativo establecido en la Resolución 122 de 2012.

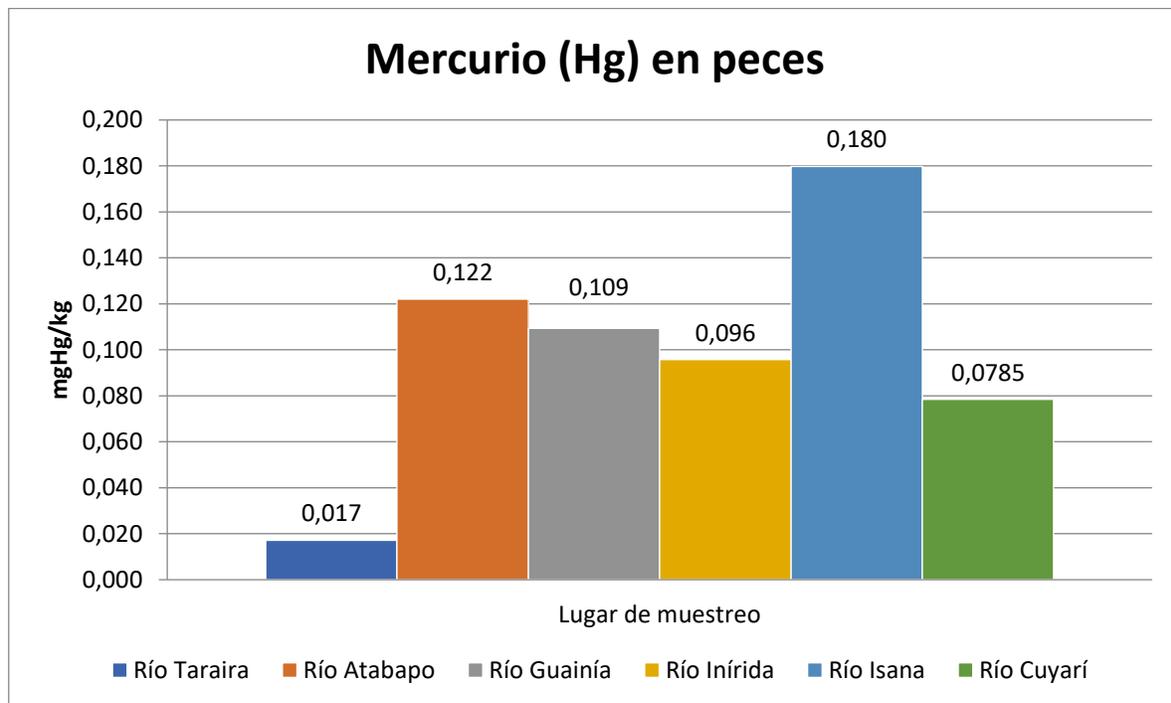


**Figura 15.** Distribución de Hg en peces en río Inírida

En el río Isana la totalidad de las muestras reportaron concentraciones las cuales se encuentran entre 0,070 mg/kg y 0,030 mg/kg, cumpliendo de esta manera con la normatividad establecida.

En el río Cuyari las muestras identificadas con los números 1131382 y 1131384 reportaron concentraciones por debajo del límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio, las muestras restantes reportaron concentraciones entre 0,048 mg/kg y 0,134 mg/kg, dicha concentraciones se encuentran por debajo del límite de 0,5 mg Hg/kg establecido en la Resolución 122 del 2012, expedida por el Ministerio de Salud.

En la **Figura 16**. Se muestra una gráfica que presenta las concentraciones promedio de mercurio (Hg) medidas en los peces de los seis ríos. El análisis comparativo evidencia que la concentración promedio de mercurio de los peces del río Isana es mayor que la medida de concentración de Hg en peces de los demás ríos, los cuales oscilaban en un promedio mínimo de 0,017 mgHg/kg para el río Taraira hasta un valor promedio máximo 0,122 mgHg/kg para el río Atabapo.



**Figura 16.** Distribución promedio de concentración de Hg en peces de río Atabapo, Taraira, Isana, Inírida, Cuyarí y Guainía

### 6.3 Mercurio en plantas recolectadas en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

En la **Tabla 8**. Se presentan las concentraciones de mercurio (Hg) determinadas para las muestras de macrófitas (plantas) que se muestrearon en río Atabapo,

Inírida, Isana, Cuyarí, Taraira y Guainía. De las plantas estudiadas en el río Isana se refleja que fue el que obtuvo el mayor promedio de concentración con un valor de 1,533 mgHg/kg, así mismo, se especifica que tal río llegó a este alto valor de concentración por la muestra 1131392 que fue la que obtuvo una concentración de 7,08 mgHg/kg.

Por otro lado, de los otros cinco ríos, el río Taraira fue el que mantuvo un valor constante en las muestras, tanto así, que la concentración de Hg reportada es de <0,050 mgHg/kg.

**Tabla 8.** Concentración de mercurio en plantas recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

Análisis de mercurio en plantas							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1130553	<0,050	1131229	0,184	1131991	0,120	1132268	0,986
1130554	<0,050	1131230	0,101	1131992	0,132	1132269	0,435
1130555	<0,050	1131231	0,219	1131993	0,146	1132270	0,470
1130556	<0,050	1131232	0,127	1131994	0,222	1132271	0,241
1130557	<0,050	1131233	0,332	1131995	0,074	1132272	0,125
1130558	<0,050	1131234	0,105	1131996	0,141	1132273	0,185
1130559	<0,050	1131235	0,135	1131997	0,391	1132274	0,175
1130560	<0,050	1131236	0,090	1131998	<0,050	1132275	0,107
1130561	<0,050	1131237	0,124	1131999	<0,050	1132276	<0,050
1130562	<0,050	1131238	0,179	1132000	0,113	1132277	0,092
1130563	<0,050	1131239	0,066	1132001	<0,050	1132278	0,064
1130564	<0,050	1131240	0,061	1132002	<0,050	1132279	<0,050
1130565	<0,050	1131241	0,139	1132003	0,057	1132280	<0,050
1130566	<0,050	1131242	0,152	1132004	0,177	1132281	0,052
1130567	<0,050	1131243	<0,050	1132005	0,535	1132282	0,075
1130568	<0,050	1131244	<0,050	1132006	0,052	1132283	0,189
Promedio	-	1132291	0,107	Promedio	0,180	1132284	0,188
V.Máximo	-	1132292	0,223	V.Máximo	0,535	1132285	<0,050
		1132293	0,063			1132286	0,091
		1132294	0,074			1132287	<0,050
		1132295	0,051			1132288	0,132
		1132296	0,192			1132289	0,079
		1132297	0,147			1132290	<0,050
		1132298	0,069			Promedio	0,217
		1132299	0,069			V.Máximo	0,986

Análisis de mercurio en plantas							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
		1132300	<0,050				
		1132301	<0,050				
		1132302	<0,050				
		1132303	0,198				
		1132304	<0,050				
		Promedio	0,134				
		V.Máximo	0,332				

**Tabla 9.** Continuidad tabla 8. Concentración de mercurio en plantas recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

Análisis de mercurio en plantas			
Río Isana		Río Cuyarí	
N° de muestras	[Hg] (mg/kg)	N° de muestras	[Hg] (mg/kg)
1131387	0,366	1131395	0,460
1131388	1,633	1131396	0,446
1131389	0,130	1131397	<0,050
1131390	0,984	1131398	<0,050
1131391	0,318	1131399	0,672
1131392	7,809	1131400	0,218
1131393	0,804	1131401	0,203
1131394	0,223	1131402	0,320
Promedio	1,533	Promedio	0,387
V.Máximo	7,809	V.Máximo	0,672

En el río Taraira el 100% de las muestras reportaron concentraciones por debajo del límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio (<0,050 mg/kg), no se realiza comparativo normativo ya que actualmente no se cuenta con normatividad para este tipo de matriz.

En el río Atabapo, el 20% de las muestras reportaron un valor inferior al límite de la técnica empleada en el laboratorio <0,050 mg/kg, el 80% restante reportó concentraciones entre 0,051 mg/kg y 0,332 mg/kg.

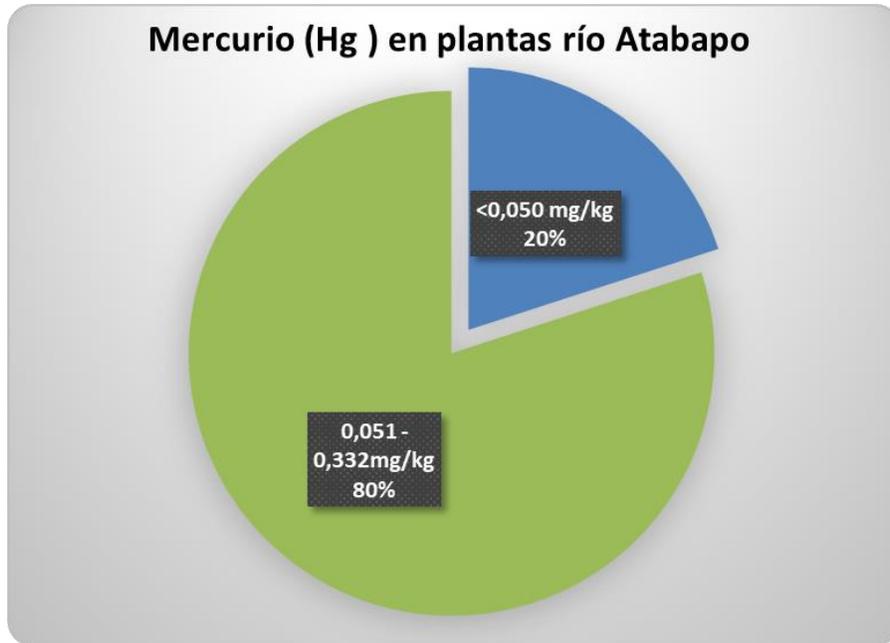


Figura 17. Distribución de Hg en plantas en río Atabapo

En el río Guainía, el 25% de las muestras reportaron un valor inferior al límite de la técnica empleada en el laboratorio  $<0,050 \text{ mg/kg}$ , el 75% restante reportó concentraciones entre  $0,052 \text{ mg/kg}$  y  $0,535 \text{ mg/kg}$ .

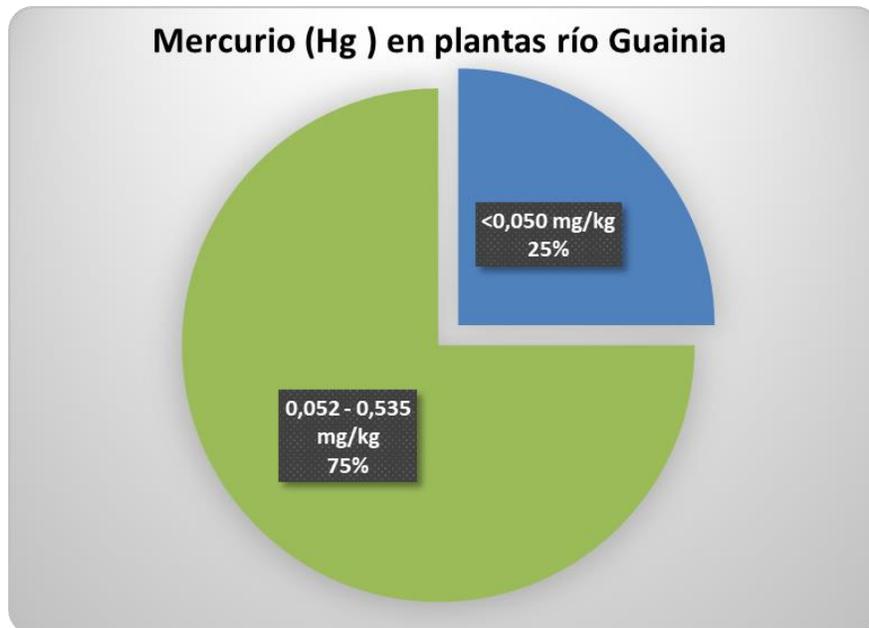
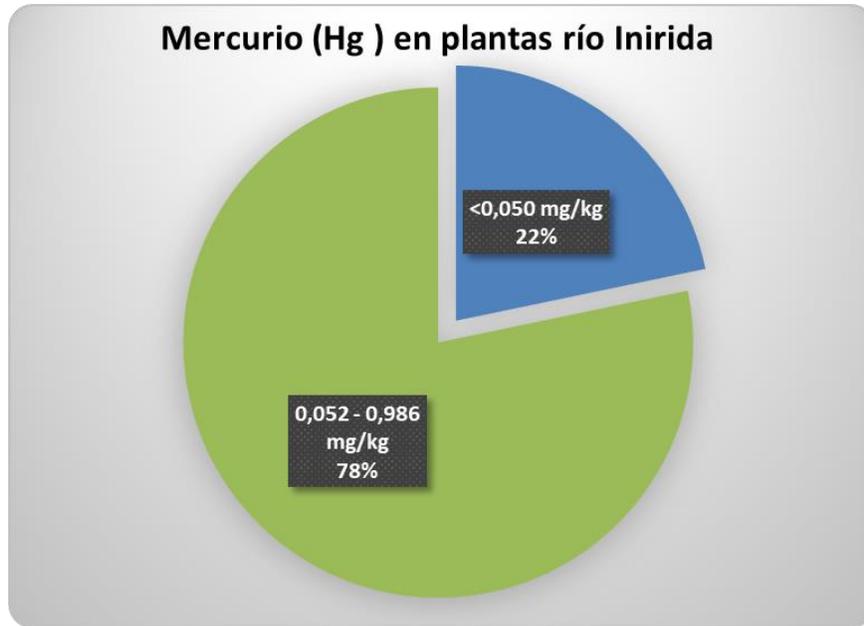


Figura 18. Distribución de Hg en plantas en río Atabapo

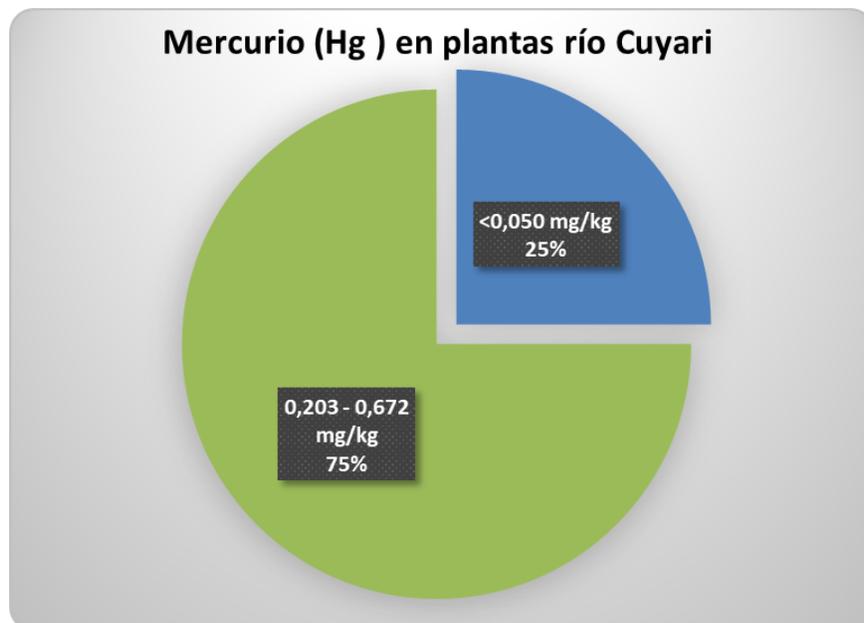
De las 23 muestras tomadas en el río Inírida el 21,75% de las muestras reportaron un valor inferior al límite de la técnica empleada en el laboratorio  $<0,050 \text{ mg/kg}$ , el 78,2% restante reportó concentraciones entre  $0,052 \text{ mg/kg}$  y  $0,986 \text{ mg/kg}$ .



**Figura 19.** Distribución de Hg en plantas en río Inírida

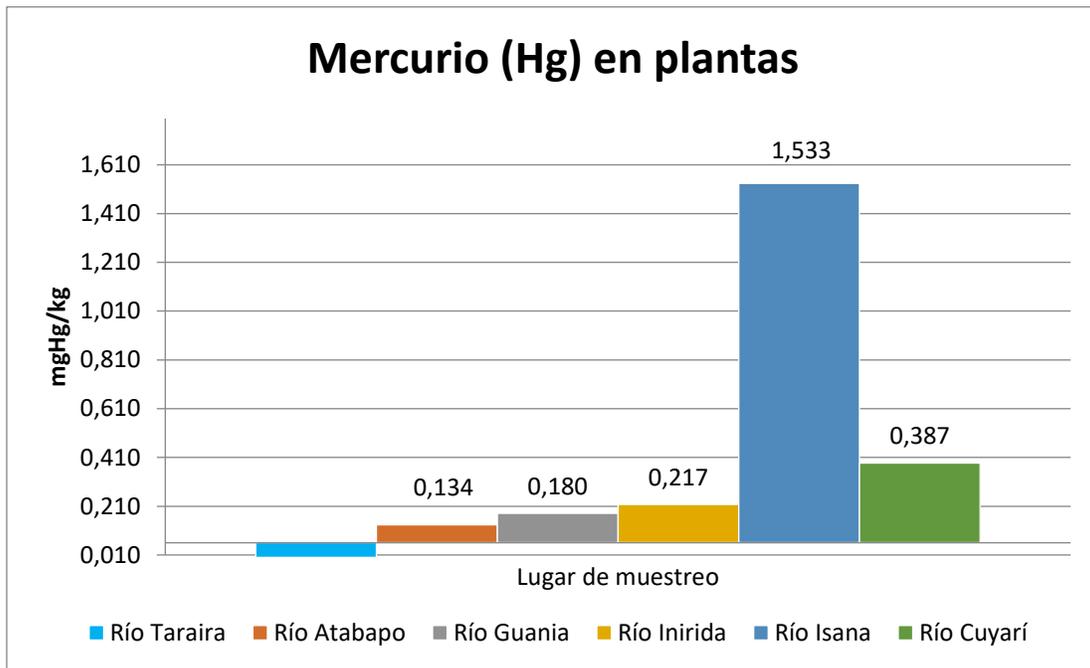
Las muestras tomadas en el río Isana reportaron concentraciones que oscilan entre 0,130 mg/kg y 7,809 mg/kg, con respecto a la normatividad no es posible hacer un juicio normativo ya que no se cuenta con normas para este tipo de matriz.

En el río Cuyari, el 25% de las muestras reportaron un valor inferior al límite de la técnica empleada en el laboratorio  $<0,050 \text{ mg/kg}$ , el 75% restante reportó concentraciones entre 0,203 mg/kg y 0,672 mg/kg.



**Figura 20.** Distribución de Hg en plantas en río Inírida

En la **Figura 21**. Se muestra la comparación de las concentraciones promedio de mercurio (Hg) en plantas recolectadas en los seis ríos de este estudio, demostrando que el valor promedio más alto es del Río Isana con un valor de 1,533 mgHg/kg. Adicional, para los demás cinco ríos con muestreo se denota que la concentración promedio no aumentaba más de un valor de 0,387 mgHg/kg de mercurio que fue el siguiente valor más alto perteneciente al río Cuyarí.



**Figura 21.** Distribución promedio de concentración de Hg en plantas de río Atabapo, Taraira, Isana, Inírida, Cuyarí y Guainía

#### 6.4 Cadmio total en sedimentos recolectados en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

En la **Tabla 10**. Se presentan los resultados de contenido de cadmio total (Cd) en las 218 muestras de sedimentos recolectadas en los monitoreos de río Atabapo, Inírida, Taraira, Isana, Cuyarí y Guainía. Los resultados obtenidos demuestran que el promedio más alto de concentración de cadmio (Cd) es en el Río Taraira con un valor de 0,36 mgCd/kg. Así mismo, el restante de los ríos presentó un rango promedio mínimo de <0,30 mgCd/kg para el Río Isana y máximo de concentración de 0,35 mgCd/kg para el río Atabapo.

**Tabla 10.** Concentración de cadmio en muestras de sedimentos recolectadas en Río Taraira, Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí y Guainía.

Análisis de cadmio en sedimentos							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)
1130569	<0,30	1131209	<0,30	1132007	<0,30	1132326	<0,30
1130570	<0,30	1131210	<0,30	1132008	<0,30	1132327	<0,30
1130571	<0,30	1131211	<0,30	1132009	<0,30	1132328	<0,30
1130572	<0,30	1131212	0,30	1132010	<0,30	1132329	<0,30
1130573	<0,30	1131213	0,30	1132011	<0,30	1132330	<0,30
1130574	<0,30	1131214	0,30	1132012	<0,30	1132331	<0,30
1130575	<0,30	1131215	0,36	1132013	<0,30	1132332	<0,30
1130576	<0,30	1131216	<0,30	1132014	<0,30	1132333	0,37
1130577	0,36	1131217	0,36	1132015	<0,30	1132334	<0,30
1130578	<0,30	1131218	0,30	1132016	<0,30	1132335	<0,30
1130579	<0,30	1131219	<0,30	1132017	<0,30	1132336	<0,30
1130580	<0,30	1131220	<0,30	1132018	<0,30	1132337	<0,30
1130581	<0,30	1131221	<0,30	1132019	<0,30	1132338	<0,30
1130582	<0,30	1131222	<0,30	1132020	<0,30	1132339	<0,30
1130583	<0,30	1131223	<0,30	1132021	<0,30	1132340	<0,30
1130584	<0,30	1131224	<0,30	1132022	0,33	1132341	<0,30
1130585	<0,30	1131225	<0,30	1132023	<0,30	1132342	<0,30
1130586	<0,30	1131226	<0,30	1132024	0,33	1132343	<0,30
1130587	<0,30	1131227	<0,30	1132025	<0,30	1132344	<0,30
1130588	<0,30	1131228	<0,30	1132026	0,33	1132345	<0,30
1130589	0,36	1132305	<0,30	1132027	0,33	1132346	<0,30
1130590	<0,30	1132306	<0,30	1132028	0,40	1132347	<0,30
1130591	<0,30	1132307	<0,30	1132029	0,39	1132348	0,35
1130592	<0,30	1132308	<0,30	1132030	<0,30	1132349	<0,30
1130593	<0,30	1132309	<0,30	1132031	<0,30	1132350	<0,30
1130594	<0,30	1132310	<0,30	1132032	<0,30	1132351	<0,30
1130595	0,36	1132311	<0,30	1132033	<0,30	1132352	<0,30
1130596	0,36	1132312	<0,30	1132034	0,33	1132353	<0,30
1130597	<0,30	1132313	<0,30	1132035	0,40	1132354	<0,30
1130598	<0,30	1132314	<0,30	1132036	<0,30	1132355	<0,30
1130599	0,36	1132315	0,37	1132037	<0,30	1132356	<0,30
1130600	<0,30	1132316	0,42	1132038	0,34	1132357	<0,30
1130601	<0,30	1132317	<0,30	1132039	<0,30	1132358	<0,30
1130602	<0,30	1132318	0,43	1132040	<0,30	1132359	<0,30
1130603	0,36	1132319	<0,30	1132041	<0,30	1132360	<0,30

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE MERCURIO Y CADMIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS, PLANTAS Y PECES RECOLECTADOS EN RÍO ATABAPO, INÍRIDA, GUAINÍA, TARAIRA, ISANA Y CUYARI

Análisis de cadmio en sedimentos							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)
1130604	<0,30	1132320	0,35	1132042	<0,30	1132361	0,31
1130605	<0,30	1132321	0,36	1132043	<0,30	1132362	0,30
1130606	<0,30	1132322	<0,30	1132044	<0,30	1132363	<0,30
1130607	<0,30	1132323	<0,30	1132045	<0,30	1132364	<0,30
1130608	0,37	1132324	0,38	1132046	<0,30	Promedio	0,33
Promedio	0,36	1132325	<0,30	1132047	<0,30	V. Máximo	0,37
V. Máximo	0,37	Promedio	0,35	1132048	<0,30		
		V. Máximo	0,43	1132049	<0,30		

Tabla 11. Continuidad tabla 10. Concentración de cadmio en muestras de sedimentos recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía.

Análisis de cadmio en sedimentos					
Río Isana		Río Cuyarí		Río Guainía	
N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)
1131403	<0,30	1131416	<0,30	1132050	<0,30
1131404	<0,30	1131417	<0,30	1132051	<0,30
1131405	<0,30	1131418	<0,30	1132052	<0,30
1131406	<0,30	1131419	<0,30	1132053	<0,30
1131407	<0,30	1131420	<0,30	1132054	<0,30
1131408	<0,30	1131421	0,30	1132055	<0,30
1131409	<0,30	1131422	<0,30	1132056	<0,30
1131410	<0,30	1131423	<0,30	1132057	<0,30
1131411	<0,30	1131424	<0,30	1132058	<0,30
1131412	<0,30	1131425	<0,30	1132059	<0,30
1131413	<0,30	1131426	<0,30	1132060	<0,30
1131414	<0,30	1131427	<0,30	1132061	<0,30
1131415	<0,30	1131428	<0,30	1132062	<0,30
Promedio	-	1131429	<0,30	1132063	<0,30
V. Máximo	0,00	1131430	<0,30	1132064	<0,30
		Promedio	0,30	1132065	<0,30
		V. Máximo	0,30	1132066	<0,30
				1132067	<0,30
				1132068	<0,30
				1132069	<0,30
				1132070	<0,30

Análisis de cadmio en sedimentos					
Río Isana		Río Cuyarí		Río Guainía	
N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)
				1132071	<0,30
				1132072	<0,30
				1132073	<0,30
				1132074	<0,30
				1132075	<0,30
				1132076	<0,30
				1132077	<0,30
				1132078	<0,30
				1132079	<0,30
				1132080	<0,30
				Promedio	0,35
				V. Máximo	0,40

En río Taraira el 18% de las muestras reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,30 mg/kg, el 82% restante reportó concentraciones entre 0,36 mg/kg y 0,37 mg/kg.

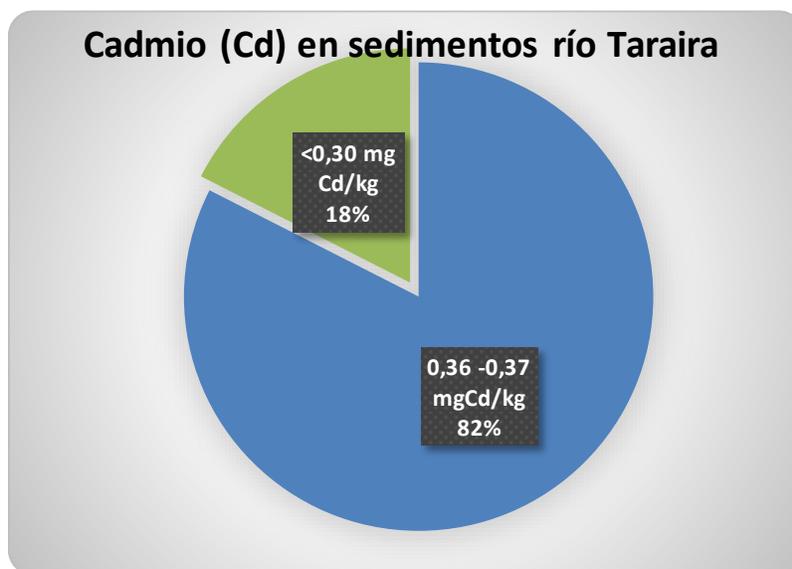


Figura 22. Distribución de Cd en Sedimentos en río Taraira

En río Atabapo el 71% de las muestras reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,30 mg/kg, el 29% reportó concentraciones entre 0,30 mg/kg y 0,43 mg/kg.

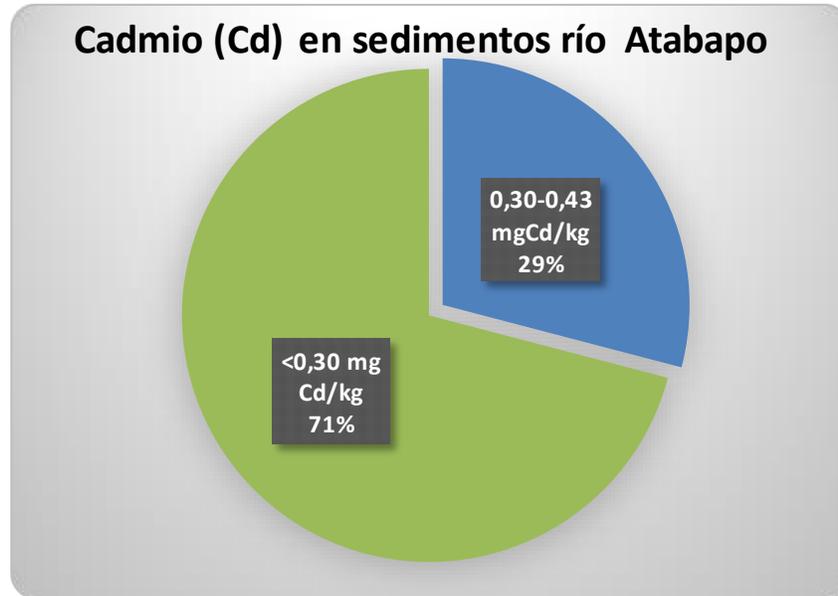


Figura 23 Distribución de Cd en Sedimentos en río Atabapo

En río Cuyarí el 93% de las muestras reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,30 mg/kg, el 7% reportó una concentración de 0,30 mg/kg.

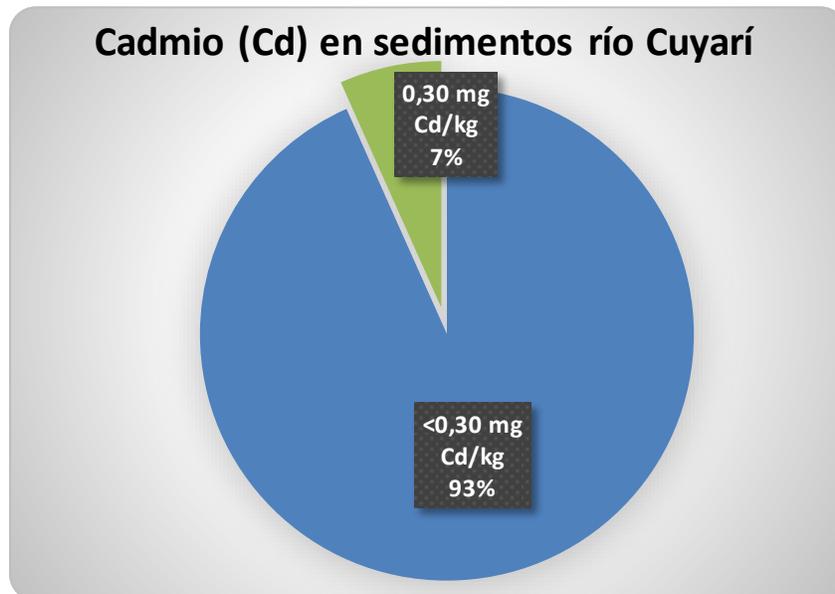


Figura 24. Distribución de Cd en Sedimentos en río Cuyarí

En río Guainía el 88% de las muestras reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,30 mg/kg, y el 12% restante reportó concentraciones de 0,33 mg/kg y 0,40 mg/kg.

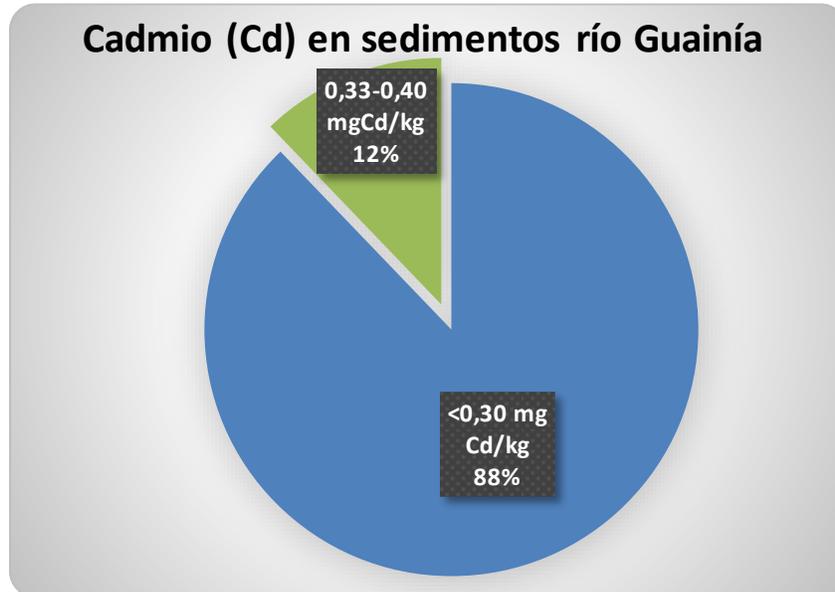


Figura 25. Distribución de Cd en Sedimentos en río Guainía

En río Inírida el 90% de las muestras reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,30 mg/kg, y el 10% restante reportó concentraciones de 0,30 mg/kg y 0,37 mg/kg.

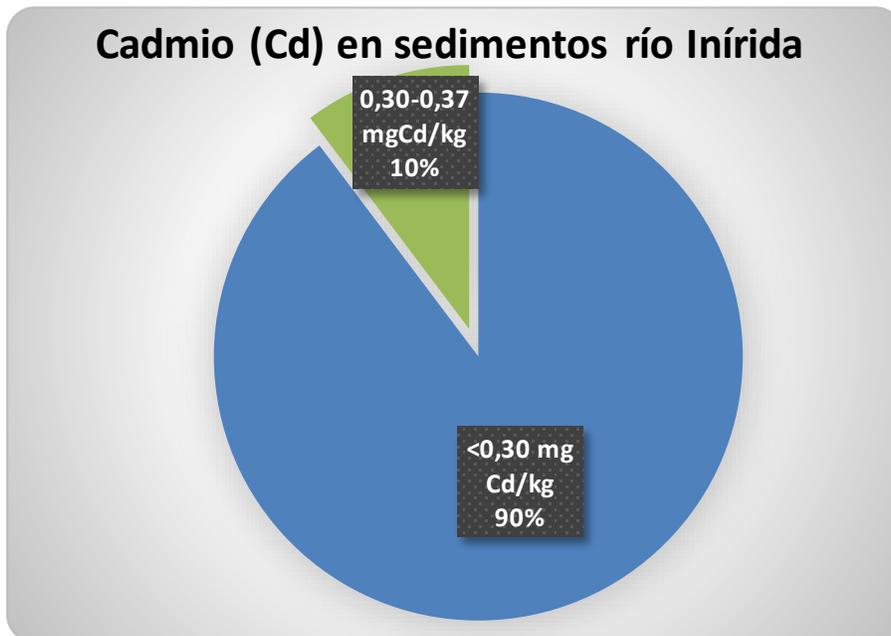
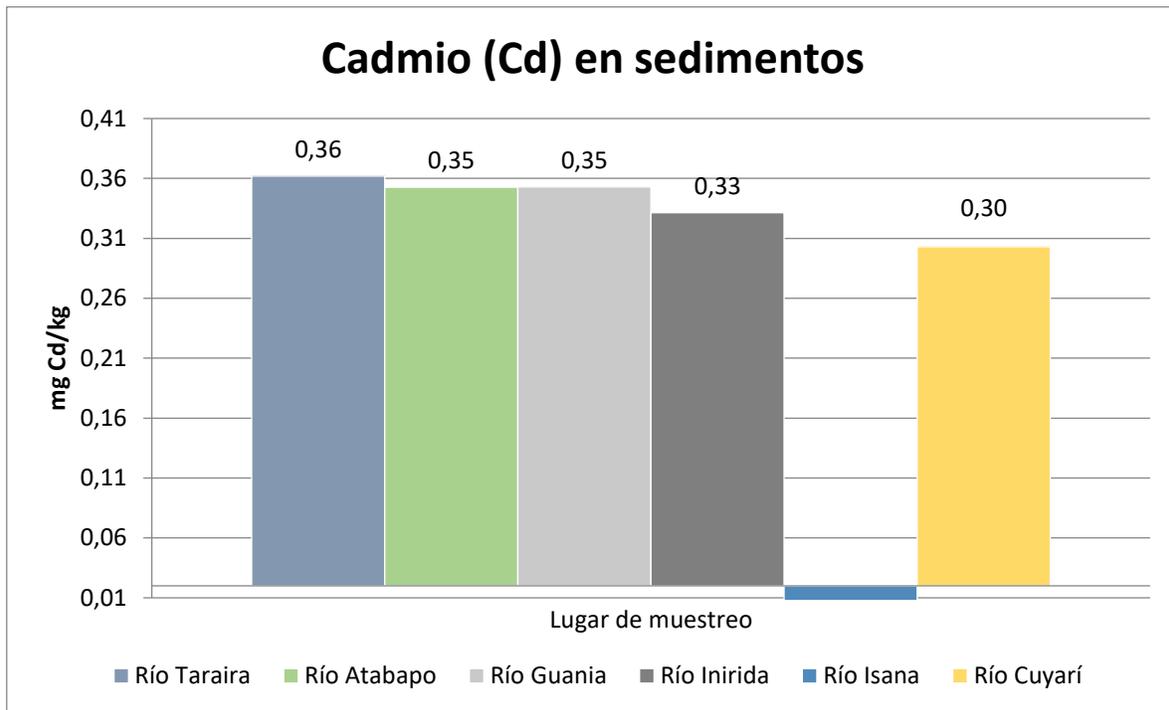


Figura 26. Distribución de Cd en Sedimentos en río Inírida

El río Isana reportó concentraciones inferiores al límite en el 100% de las muestras analizadas, no se realiza juicio normativo ya que no se cuenta con normatividad para este tipo de matriz.

En la **Figura 27**. Se muestra la comparación de las concentraciones promedio de cadmio (Cd) en sedimentos recolectadas en los seis ríos de este estudio, demostrando que el valor promedio más alto es del Río Taraira con un valor de 0,36 mgCd/kg. Adicional, para los otros cuatro ríos (Cuyarí, Atabapo, Inirida y Guainía) la concentración promedio oscila entre 0,30 – 0,35 mgCd/kg. Para el río Isana concentración fue < 0,30 mgCd/Kg.



**Figura 27.** Distribución promedio de concentración de Cd en sedimentos de río Atabapo, Taraira, Isana, Inírida, Cuyarí y Guainía

### 6.5 Cadmio total en peces recolectadas en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

En la **Tabla 12**. Se presenta la concentración de cadmio total (Cd) en las muestras de 91 peces recolectados en los seis ríos: Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí, Taraira y Guainía. En el río Taraira el promedio de la concentración es el más alto, siendo este de 0,14 mgCd/kg, para los demás ríos el valor de Cd oscila entre <0,10 a 0,13 mgCd/kg.

**Tabla 12.** Concentración de cadmio en peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

Análisis de cadmio en peces							
Río Taraira		Río Atabapo		Río Guainía		Río Inírida	
N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)
1130536	0,13	1131193	<0,10	1131972	<0,10	1132244	<0,10
1130537	0,10	1131194	<0,10	1131973	<0,10	1132245	<0,10
1130538	<0,10	1131195	<0,10	1131974	<0,10	1132246	<0,10
1130539	<0,10	1131196	<0,10	1131975	<0,10	1132247	<0,10
1130540	0,13	1131197	<0,10	1131976	<0,10	1132248	<0,10
1130541	0,15	1131198	<0,10	1131977	<0,10	1132249	<0,10
1130542	0,13	1131199	<0,10	1131978	<0,10	1132250	<0,10
1130543	0,17	1131200	<0,10	1131979	<0,10	1132251	<0,10
1130544	0,17	1131201	<0,10	1131980	<0,10	1132252	<0,10
1130545	0,16	1131202	<0,10	1131981	<0,10	1132253	<0,10
1130546	0,17	1131203	<0,10	1131982	<0,10	1132254	<0,10
1130547	0,17	1131204	<0,10	1131983	<0,10	1132255	<0,10
1130548	0,14	1131205	<0,10	1131984	<0,10	1132256	<0,10
1130549	0,10	1131206	<0,10	1131985	<0,10	1132257	<0,10
1130550	<0,10	1131207	<0,10	1131986	<0,10	1132258	<0,10
1130551	<0,10	1131208	<0,10	1131987	0,13	1132259	<0,10
1130552	<0,10	1132260	<0,10	1131988	<0,10	Promedio	-
Promedio	0,14	1132261	<0,10	1131989	<0,10	V. Máximo	-
V. Máximo	0,17	1132262	<0,10	1131990	<0,10		
		1132263	<0,10	Promedio	0,13		
		1132264	<0,10	V. Máximo	0,13		
		1132265	<0,10				
		1132266	<0,10				
		1132267	<0,10				
		Promedio	-				
		V. Máximo	-				

**Tabla 13.** Continuidad tabla 12. Concentración de cadmio en peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

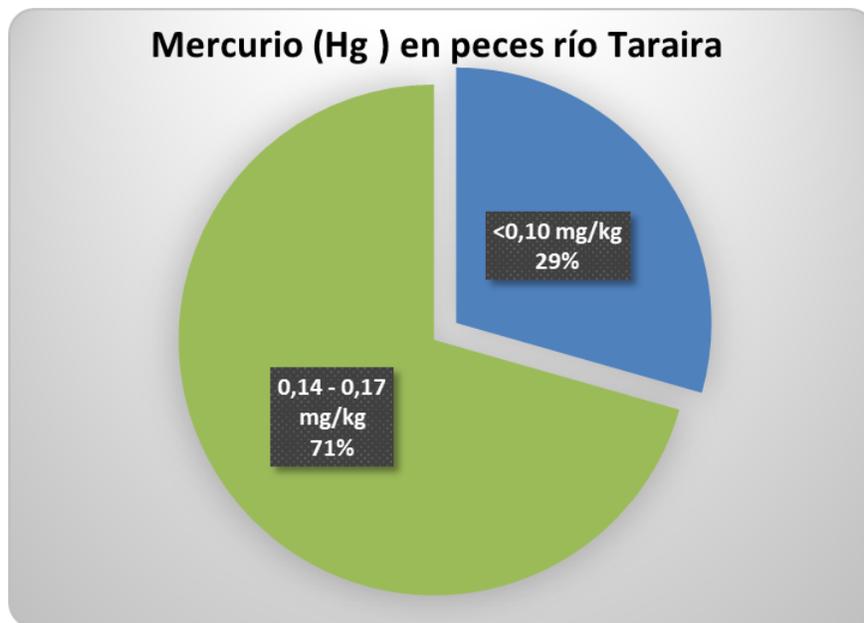
Análisis de cadmio en peces			
Río Isana		Río Cuyarí	
N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)
1131372	0,13	1131381	<0,10

Análisis de cadmio en peces			
Río Isana		Río Cuyarí	
N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)
1131373	0,11	1131382	0,13
1131374	<0,10	1131383	<0,10
1131375	0,13	1131384	<0,10
1131376	0,15	1131385	<0,10
1131377	0,13	1131386	<0,10
1131378	0,11	Promedio	0,13
1131379	0,13	V. Máximo	0,13
1131380	<0,10		
Promedio	0,13		
V. Máximo	0,15		

El río Taraira la concentración de cadmio (Cd) en los peces varió desde <0,10 a 0,17 mgCd/Kg, con un valor promedio de concentración de 0,140 mgCd/Kg, el cual fue el más alto de los valores respecto a los demás ríos en estudio, aun así, los siguientes ríos como Guainía, Isana y Cuyarí mantuvieron un promedio de concentración igual con un valor de 0,13 mgCd/Kg. Es pertinente considerar los requisitos expuestos en la Resolución 122 de 2012 la cual establece, entre otros, la concentración de cadmio en productos de la pesca para consumo humano, siendo la misma de 0,1 mgCd/Kg, artículo 6 Tabla 3 de la mencionada normatividad.

Finalmente, es importante destacar a ríos como Atabapo e Inírida los cuales tuvieron una concentración por debajo de los demás con un valor de <0,10 mgCd/Kg.

En el río Taraira el 29% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada en el laboratorio <0,10 mg/kg, las muestras restantes equivalentes al 71% reportaron concentraciones entre 0,14 mg/kg y 0,17 mg/kg, concentraciones que se encuentran por encima del límite normativo establecido en la Resolución 122 de 2012.



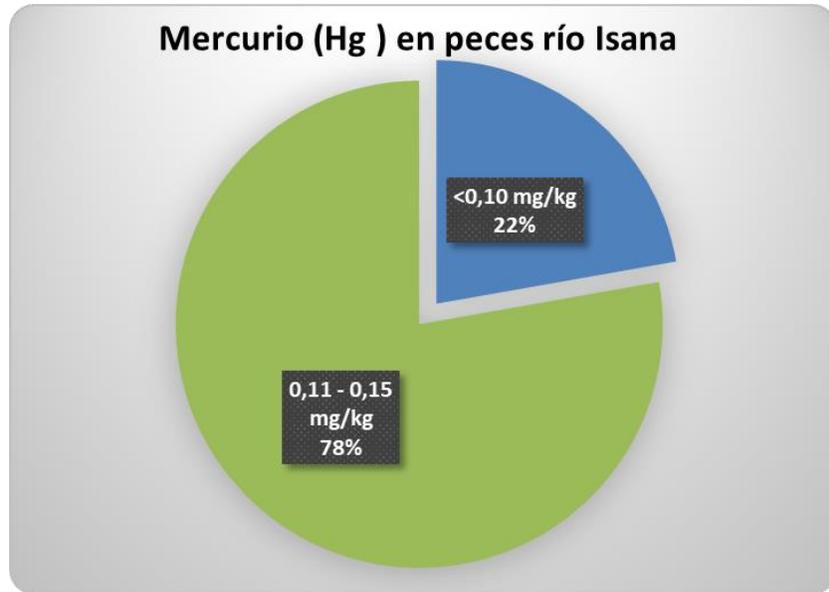
**Figura 28.** Distribución de Cd en peces en río Taraira

En el río Atabapo el 100% de las muestras reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada por el laboratorio <0,10 mg/kg, cumpliendo de esta manera con el límite de 0,1 mg Cd/kg establecido en la Resolución 122 de 2012.

En el río Guainía la muestra identificada con el numero Asinal 1131987 reportó un valor de 0,13 mg/kg, concentración que se encuentra por encima del límite de 0,1 mg Cd/kg establecido en la Resolución 122 de 2012, las muestras restantes reportaron el límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio.

En el río Inírida el 100% de las muestras reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada por el laboratorio, cumpliendo de esta manera con el límite de 0,1 mg Cd/kg establecido en la Resolución 122 de 2012.

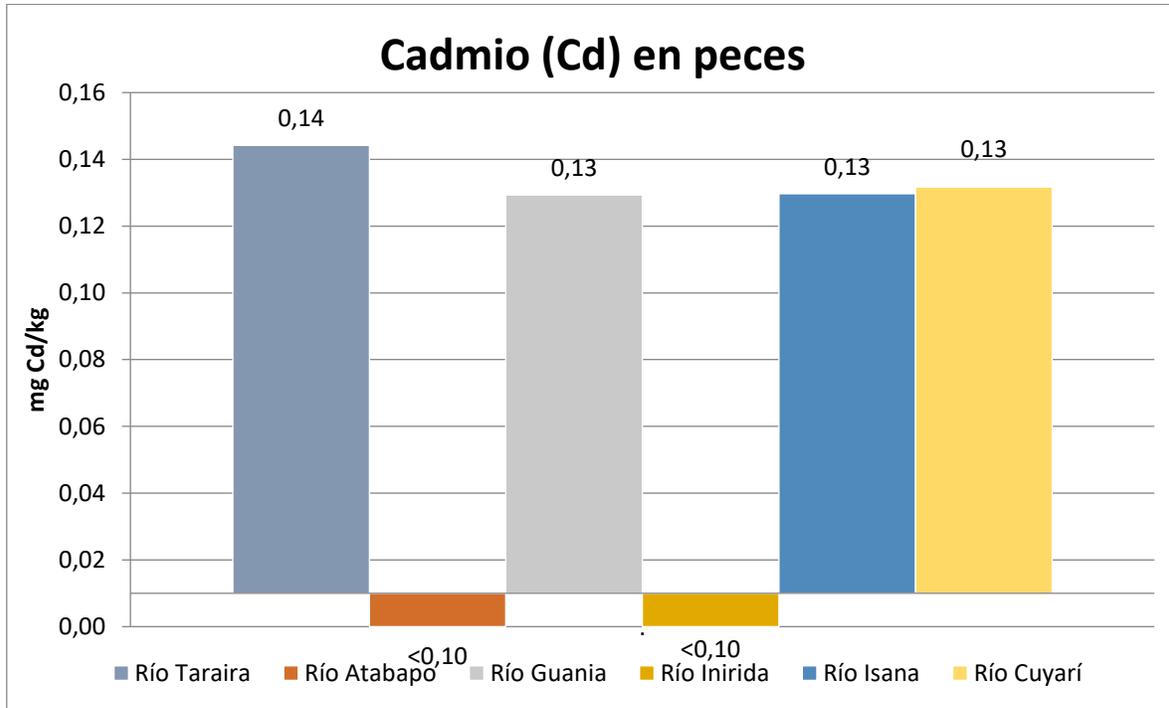
En el río Isana el 22,2% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica empleada en el laboratorio <0,10 mg/kg, las muestras restantes equivalentes al 78% reportaron concentraciones entre 0,11 mg/kg y 0,15 mg/kg, concentraciones que se encuentran por fuera del límite normativo establecido en la Resolución 122 de 2012.



**Figura 29.** Distribución de Cd en peces en río Isana

En el río Cuyari la muestra identificada con el número Asinal 1131382 reportó un valor de 0,13 mg/kg, concentración que se encuentra por encima del límite de 0,1 mg Cd/kg establecido en la Resolución 122 de 2012, las muestras restantes reportaron el límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio.

En la **Figura 30**. Se muestra una gráfica que presenta las concentraciones promedio de cadmio (Cd) medidas en los peces de los seis ríos. El análisis comparativo evidencia que la concentración promedio de cadmio de los peces del río Taraira es mayor que la medida de concentración de Cd en peces de los demás ríos, los cuales oscilaban en un promedio mínimo de <0,10 mgHg/kg para el río Inírida y Atabapo hasta un valor máximo 0,13 mgCd/kg para el restante de los ríos.



**Figura 30.** Distribución promedio de concentración de Cd en peces de río Atabapo, Taraira, Isana, Inirida, Cuyarí y Guainía.

## 6.6 Cadmio en plantas recolectadas en río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

En la **Tabla 14**. Se presentan las concentraciones de cadmio (Cd) determinadas para las muestras de 101 plantas que se muestrearon en río Atabapo, Inírida, Isana, Cuyarí, Taraira y Guainía. De las plantas estudiadas en el río Isana se refleja que fue el que obtuvo el mayor promedio de concentración con un valor de 0,59 mgCd/kg, así mismo, se especifica que tal río llegó a este alto valor de concentración por la muestra 1131392 que fue la que obtuvo una concentración de 1,45 mgCd/kg.

Por otro lado, de los otros cinco ríos se mantuvieron dentro de los mismos rangos de concentración siendo el mínimo de 0,19 mgCd/kg para el río Inirida hasta el valor de 0,23 mgCd/kg para el río Taraira.

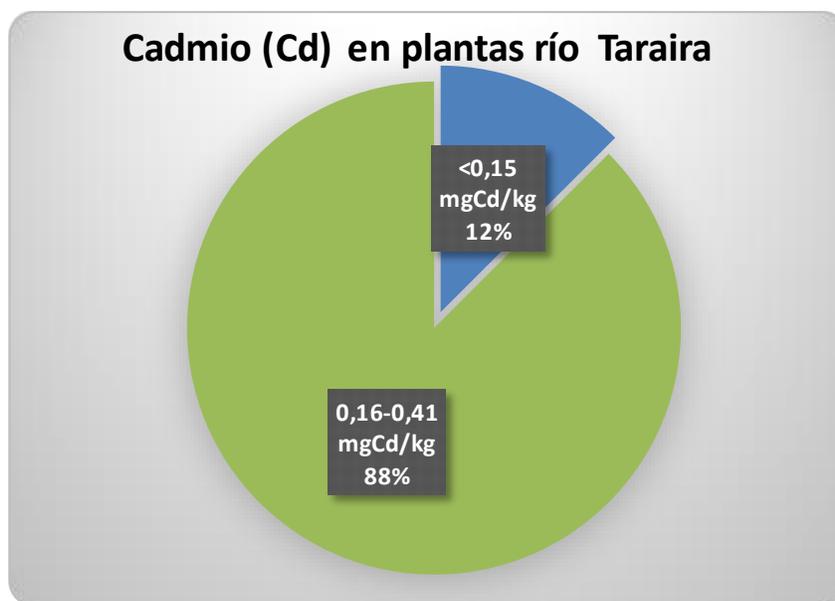
**Tabla 14.** Concentración de cadmio en peces recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

<b>Análisis de cadmio en plantas</b>							
<b>Río Taraira</b>		<b>Río Atabapo</b>		<b>Río Guainía</b>		<b>Río Inírida</b>	
<b>N° de muestras</b>	<b>[Cd] (mg/kg)</b>	<b>N° de muestras</b>	<b>[Cd] (mg/kg)</b>	<b>N° de muestras</b>	<b>[Cd] (mg/kg)</b>	<b>N° de muestras</b>	<b>[Cd] (mg/kg)</b>
1130553	0,21	1131229	0,45	1131991	0,19	1132268	0,24
1130554	0,22	1131230	0,16	1131992	0,19	1132269	<0,15
1130555	<0,15	1131231	0,29	1131993	0,22	1132270	<0,15
1130556	0,16	1131232	0,44	1131994	0,21	1132271	<0,15
1130557	0,16	1131233	0,21	1131995	0,16	1132272	<0,15
1130558	0,17	1131234	0,27	1131996	0,21	1132273	<0,15
1130559	<0,15	1131235	0,16	1131997	0,28	1132274	0,15
1130560	0,16	1131236	0,16	1131998	0,21	1132275	<0,15
1130561	0,17	1131237	<0,15	1131999	0,23	1132276	<0,15
1130562	0,27	1131238	0,18	1132000	0,22	1132277	0,15
1130563	0,16	1131239	0,28	1132001	0,22	1132278	0,34
1130564	0,26	1131240	0,21	1132002	0,19	1132279	<0,15
1130565	0,30	1131241	<0,15	1132003	0,18	1132280	<0,15
1130566	0,41	1131242	0,16	1132004	0,19	1132281	<0,15
1130567	0,30	1131243	<0,15	1132005	0,22	1132282	0,15
1130568	0,21	1131244	0,16	1132006	0,19	1132283	0,15
Promedio	0,23	1132291	<0,15	Promedio	0,21	1132284	0,15
V. Máximo	0,41	1132292	<0,15	V. Máximo	0,28	1132285	<0,15
		1132293	<0,15			1132286	<0,15
		1132294	<0,15			1132287	<0,15
		1132295	<0,15			1132288	0,15
		1132296	0,18			1132289	<0,15
		1132297	0,15			1132290	<0,15
		1132298	<0,15			Promedio	0,19
		1132299	<0,15			V. Máximo	0,34
		1132300	<0,15				
		1132301	0,15				
		1132302	<0,15				
		1132303	<0,15				
		1132304	0,15				
		Promedio	0,22				
		V. Máximo	0,45				

**Tabla 15.** Continuidad tabla 14. Concentración de cadmio en plantas recolectadas en Río Atabapo, Taraira, Isana, Cuyarí Inírida y Guainía

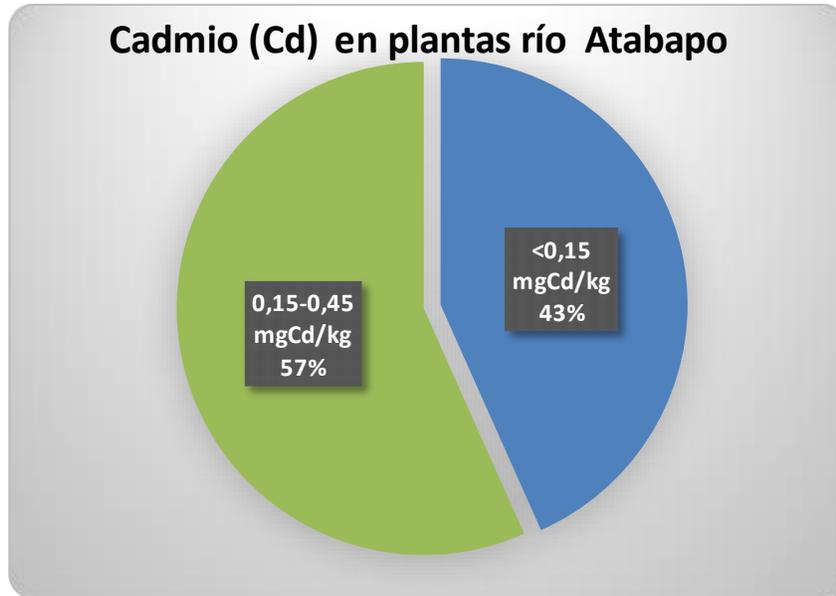
Análisis de cadmio en planas			
Río Isana		Río Cuyarí	
N° de muestras	[Cd] (mg/kg)	N° de muestras	[Cd] (mg/kg)
1131387	0,19	1131395	<0,15
1131388	0,23	1131396	0,22
1131389	0,48	1131397	0,18
1131390	<0,15	1131398	<0,15
1131391	<0,15	1131399	0,22
1131392	1,45	1131400	0,22
1131393	1,03	1131401	0,15
1131394	0,16	1131402	0,23
Promedio	0,59	Promedio	0,20
V. Máximo	1,45	V. Máximo	0,23

En el río Taraira el 12% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio, el 88% restante reportó concentraciones entre 0,16 mg/kg y 0,41 mg/kg.



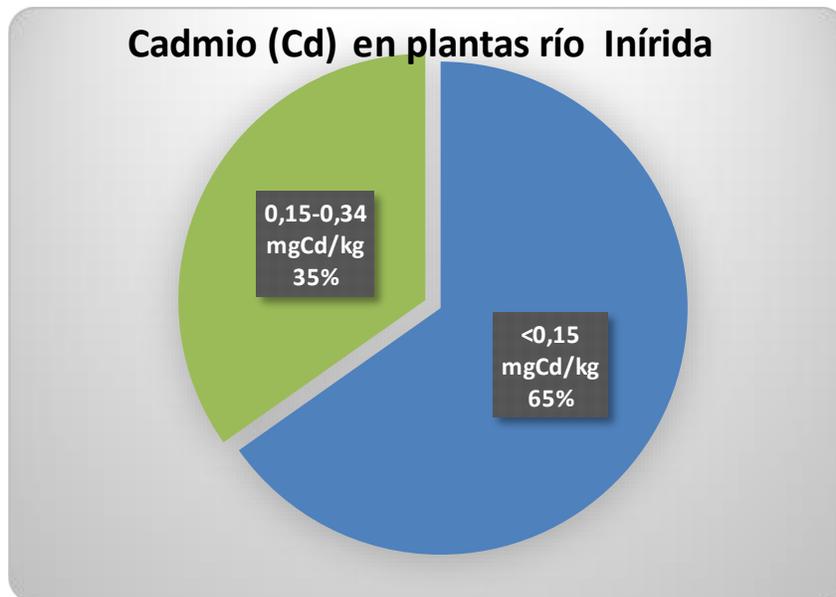
**Figura 31.** Distribución de Cd en peces en río Isana

En el río Atabapo el 43% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,15 mg/kg, el 57% restante reportó concentraciones entre 0,15 mg/kg y 0,45 mg/kg.



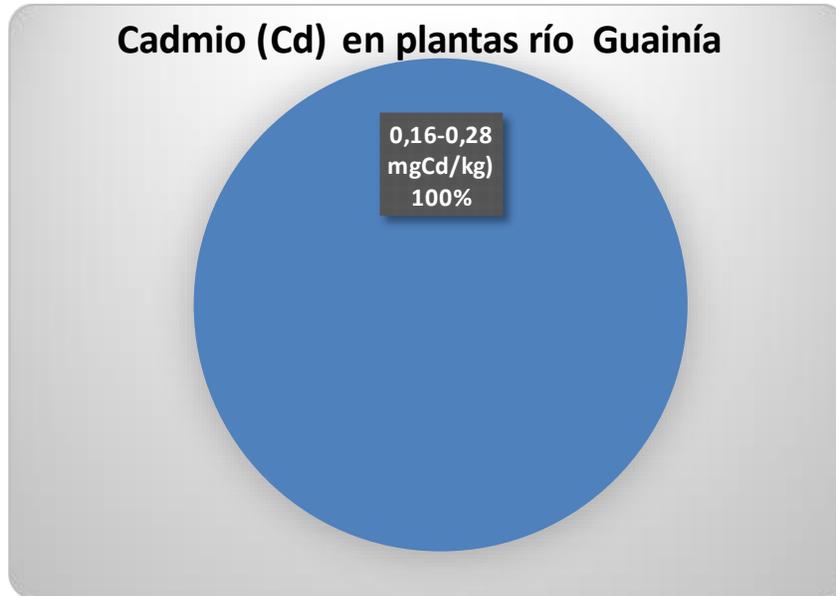
**Figura 32.** Distribución de Cd en peces en río Atabapo

En el río Inírida el 15% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio <0,15 mg/kg, el 37% restante reportó concentraciones entre 0,15 mg/kg y 0,34 mg/kg, no se realiza comparación normativa ya que no se cuenta con norma para este tipo de matriz.



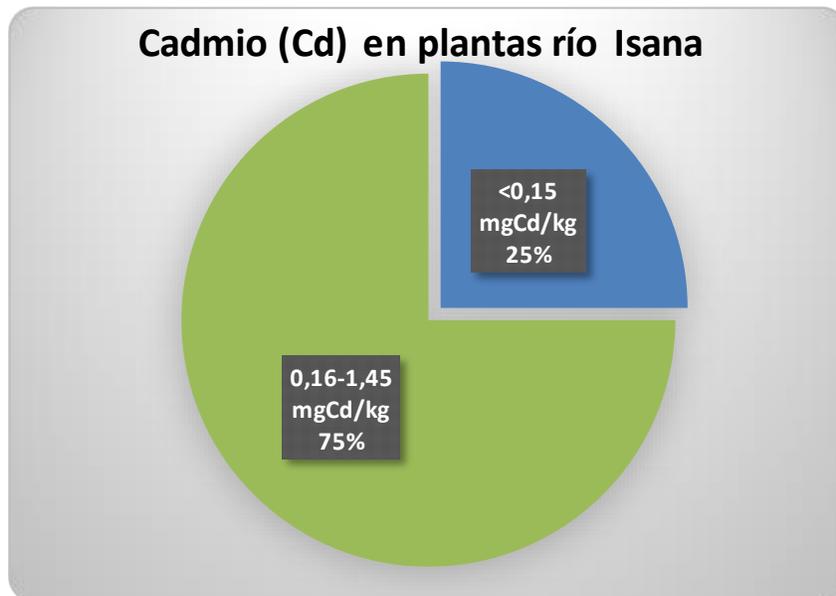
**Figura 33.** Distribución de Cd en peces en río Inírida

En el río Guainía las muestras analizadas reportaron concentraciones que oscilan entre 0,16 mg/kg y 0,28 mg/kg no se realiza comparación normativa ya que no se cuenta con norma para este tipo de matriz



**Figura 34.** Distribución de Cd en peces en río Guainía

En el río Isana el 25% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio  $<0,15$  mg/kg, el 37% restante reportó concentraciones entre 0,16 mg/kg y 1,45 mg/kg.



**Figura 35.** Distribución de Cd en peces en río Isana

En el río Cuyari el 25% de las muestras analizadas reportó concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio  $<0,15$  mg/kg, el 37% restante reportó concentraciones entre 0,16 mg/kg y 0,23 mg/kg, no se realiza comparación normativa ya que no se cuenta con norma para este tipo de matriz.

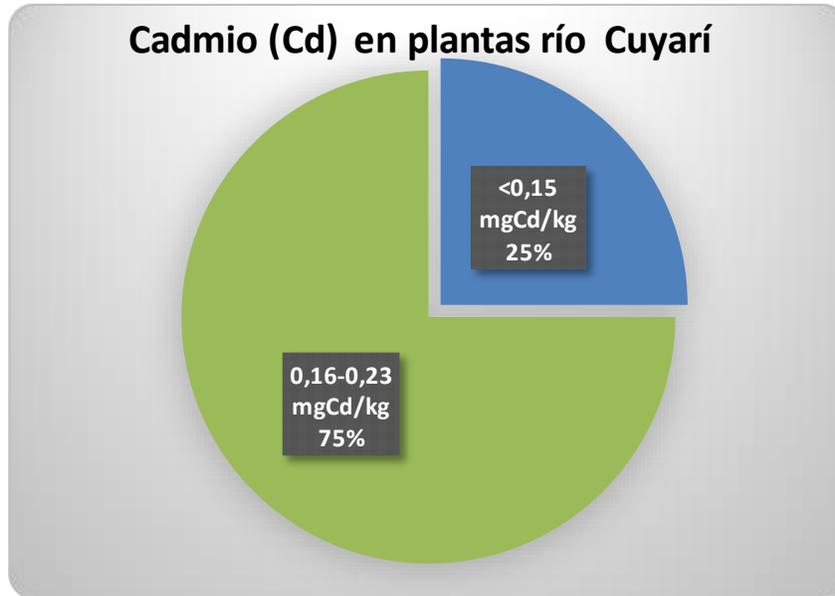


Figura 36. Distribución de Cd en peces en río Cuyari

En la **Figura 37**. Se muestra la comparación de las concentraciones promedio de cadmio (Cd) en plantas recolectadas en los seis ríos de este estudio, demostrando que el valor promedio más alto es del Río Isana con un valor de 0,59 mgCd/kg.

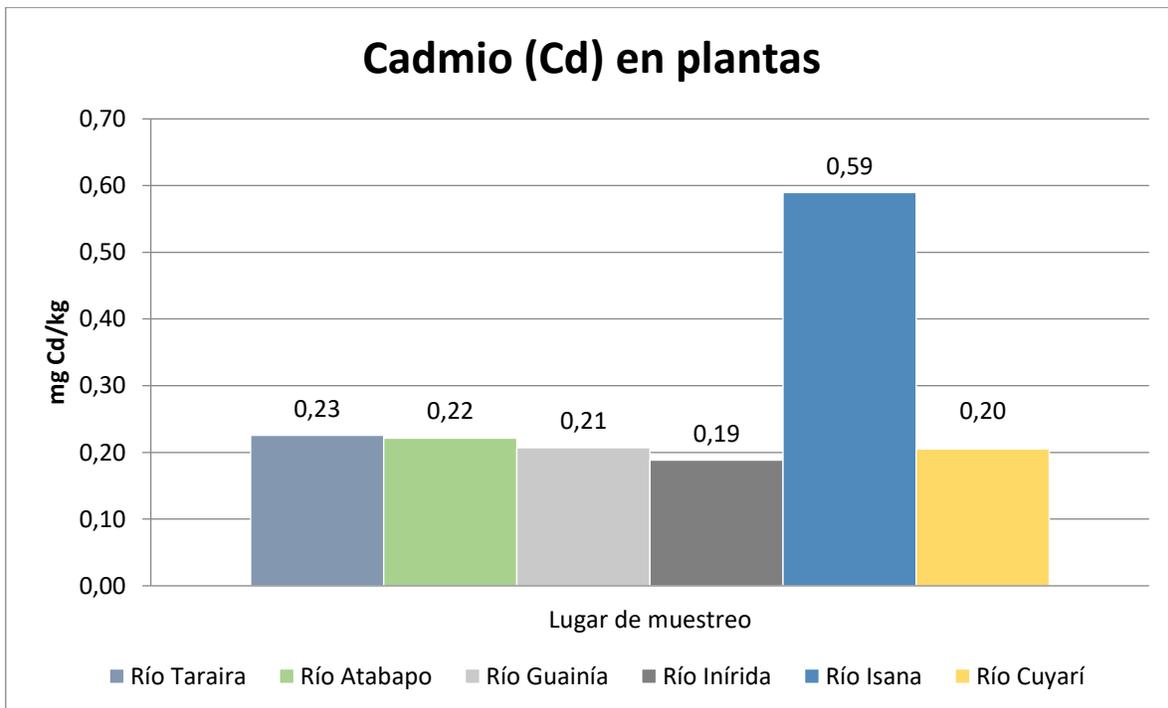


Figura 37. Distribución promedio de concentración de Cd en plantas de río Atabapo, Taraira, Isana, Inírida, Cuyarí y Guainía.

### 6.7 Comparativa del grado de contaminación encontrado en muestras de sedimentos, peces, plantas recolectadas en río Atabapo, Isana, Cuyarí, Taraira, Inírída y Guainía.

Con el propósito de establecer una comparación entre el grado de contaminación con mercurio y cadmio, de los seis ríos en las diferentes matrices, se utilizaron los valores promedios obtenidos para cada uno (**Tabla 16**), demostrando que el mercurio en el río Guainía de la matriz sedimentos es el más alto en valores promedio con una concentración de 3,576 mgHg/kg, así mismo, se muestra que de las tres matrices analizadas la de sedimentos reportó las concentraciones más altas con respecto a las demás.

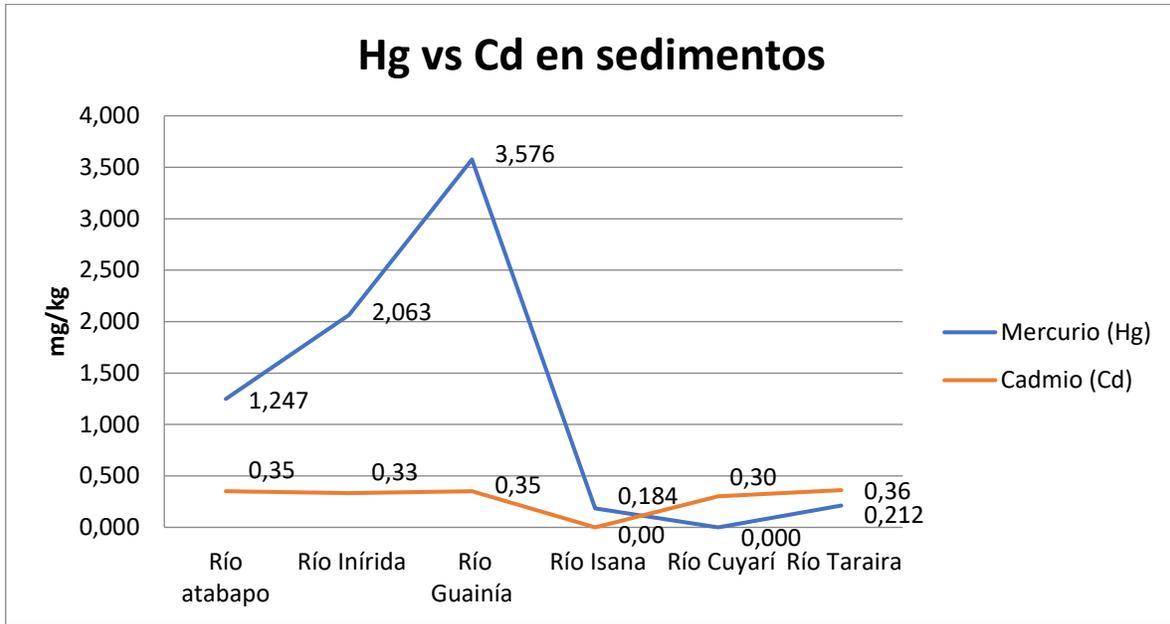
El cadmio para la matriz de sedimentos sigue siendo la que tiene más altos los valores de concentración llegando a un máximo de 0,35 mgCd/kg.

**Tabla 16.** Concentración de Hg promedio en muestras de sedimentos, peces, plantas en Río Atabapo, Isana, Taraira, Cuyarí Inírída y Guainía

	Río Atabapo	Río Inírída	Río Guainía	Río Isana	Río Cuyarí	Río Taraira
<b>Matriz</b>	<b>[Hg] (mg/kg)</b>					
Sedimentos	1,247	2,063	3,576	0,184	<0,100	0,212
Peces	0,122	0,096	0,109	0,180	0,0785	0,017
Plantas	0,134	0,217	0,180	1,533	0,387	<0,050
	Río Atabapo	Río Inírída	Río Guainía	Río Isana	Río Cuyarí	Río Taraira
<b>Matriz</b>	<b>[Cd] (mg/kg)</b>					
Sedimentos	0,35	0,33	0,35	<0,30	0,30	0,36
Peces	<0,10	<0,10	0,13	0,13	0,13	0,14
Plantas	0,22	0,19	0,21	0,59	0,20	0,23

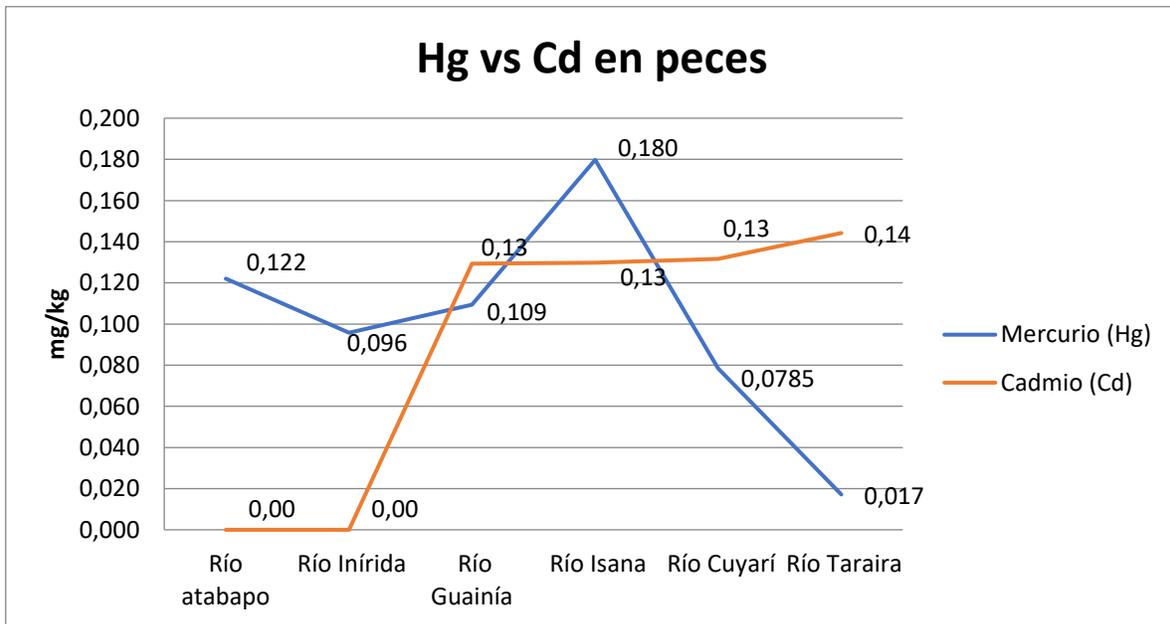
A continuación, en la **figura 38**, **figura 39**, **figura 40**, se va evidenciar el comportamiento de cada matriz en los análisis de Mercurio y Cadmio.

A lo anterior, Para la matriz de plantas se reporta los resultados expresados en la **figura 38**, el mercurio con relación al cadmio en la matriz de sedimentos es de valores más altos en concentración medida en mg/kg.



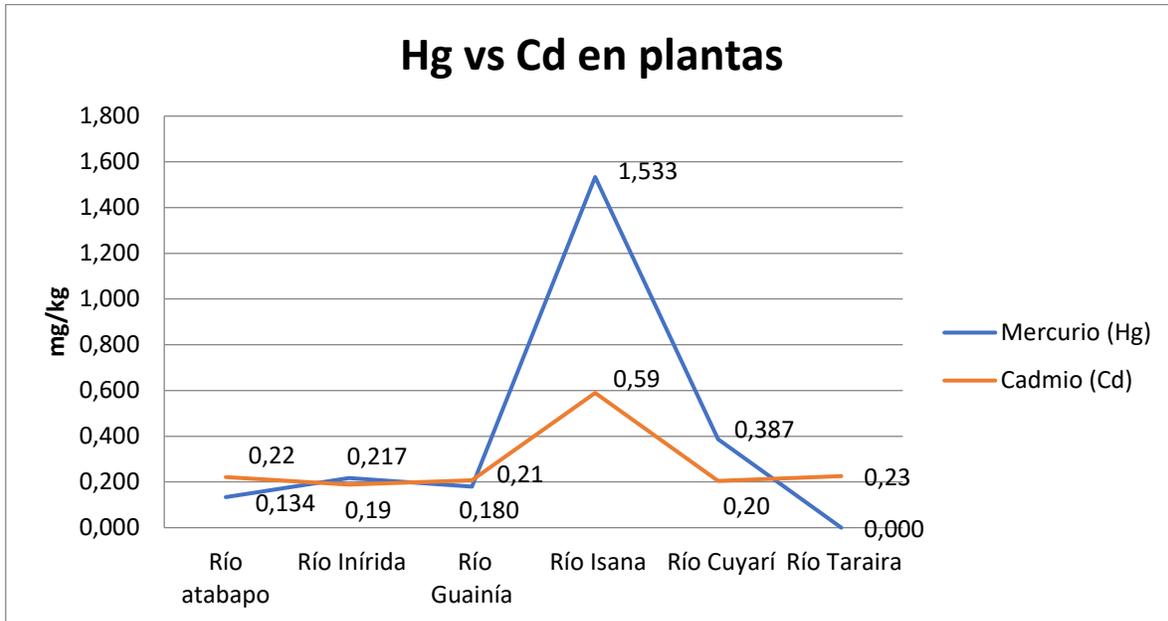
**Figura 38.** Comparativo Hg vs Cd en sedimentos de río Atabapo, Taraira, Isana, Inírida, Cuyarí y Guainía.

Para la matriz de peces se reporta los resultados expresados en la **figura 39**, el mercurio con relación al cadmio en la matriz de sedimentos es de valores más altos en concentración medida en mg/kg.



**Figura 39.** Comparativo Hg vs Cd en peces de río Atabapo, Taraira, Isana, Inírida, Cuyarí y Guainía.

Para la matriz de plantas se reporta los resultados expresados en la **figura 40**, el mercurio con relación al cadmio en la matriz de sedimentos es de valores más altos en concentración medida en mg/kg.



**Figura 40.** Comparativo Hg vs Cd en plantas de río Atabapo, Taraira, Isana, Inírida, Cuyarí y Guainía.

## 7 CONCLUSIONES

- La cuantificación de contenido de Hg en muestras de sedimentos recolectados en los ríos Atabapo, Inírida, Taraira, Isana, Cuyari y Guainía evidenció un mayor grado de contaminación en el río Guainía. Con una concentración promedio de 3,576 mg/kg de Hg
- El estudio de peces de los seis ríos evidenció un mayor grado de contaminación con Hg en río Atabapo con una concentración promedio de 0,122 mgHg/kg.
- La determinación de contenido de Hg en plantas evidenció contaminación de estas en las cercanías al río Isana, con concentraciones 1,533 mg/kg.
- La cuantificación de contenido de Cd en muestras de sedimentos recolectados en los ríos Atabapo, Inírida, Taraira, Isana, Cuyari y Guainía evidenció un mayor grado de contaminación en el río Taraira, con una concentración promedio de 0,36 mg/kg de Cd
- El estudio de peces de los seis ríos evidenció un mayor grado de contaminación con Cd en río Taraira con una concentración promedio de 0,14 mg/kg de Cd.
- La determinación de contenido de Cd en plantas evidenció contaminación de estas en las cercanías al río Isana, con concentraciones 0,59 mg/kg.

Luego de realizar el estudio de contenido de Hg y Cd en las muestras recolectadas en los seis (6) ríos a este proyecto, se espera que los resultados presentados para esta caracterización permitan observar el estado actual de los ríos Atabapo, Inírida, Taraira, Isana, Cuyari y Guainía,

Esperamos que el estudio y los datos que se presentan sean de utilidad para Uds.

Cordialmente,



---

BELISARIO ACEVEDO D, Ph.D.  
Directo Técnico.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

1. US EPA, *Environment Agency*, America's Children and the Environment, 3rd Edition. 2015, p 1- 4.
2. U.S. EPA, —Organic Mercury, II EPA Arch. Doc., vol. 1, 2015.
3. OMS, —Elemental mercury and inorganic mercury compounds: human health aspects, II World Heal. Organ. Libr., p. 68, 2003.
4. POE-AMB-214 Metales por generación de hidruros. 2013
5. Resolución 122 de 2012. Reglamento técnico sobre los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los productos de la pesca, en particular pescados, moluscos y crustáceos para consumo humano. Ministerio de Protección Social, Colombia.
6. GMX-015 Instructivo para toma de muestreas de suelos, lodos y sedimentos, 2016.
7. GMX-004 Guía muestreo hidrobiología, 2016.
8. Kontos, N. Recent Advances in the Analysis of Mercury in Water – Review. *Current Analytical Chemistry*, 2016, 12, 22-36.

## **9 ANEXOS**

1. Resolución de Acreditación IDEAM 0244 de 2020
2. Evidencia de capacitación en toma de muestras al personal de la Corporación CDA que hace parte del proyecto para garantizar la cadena de custodia.
3. Reporte de resultados de laboratorio de los análisis de cada una de las muestras, 410 en total.
4. Cadenas de custodia muestreos en campo.