

Percepciones, prácticas y riesgo potencial de exposición a metales pesados en mujeres afrocolombianas vinculadas a la actividad pesquera en El Carmen del Darién, Chocó, Colombia

Perceptions, practices, and potential risk of exposure to heavy metals among Afrocolombian women engaged in fishing in El Carmen del Darién, Chocó, Colombia

Vanesa Ramírez Bello¹, Natalia Bonilla Lizarazo², Katherine Ariza³, Nelson Enrique Arenas⁴, José Camilo Torres⁵, Gina Polo Infante⁶

Resumen

Introducción. La contaminación por metales pesados derivada de la minería artesanal constituye una amenaza creciente para las comunidades ribereñas del Chocó. En El Carmen del Darién, la combinación de prácticas tradicionales de pesca, limitada infraestructura de saneamiento y alta dependencia del río incrementa la vulnerabilidad de las mujeres afrocolombianas frente a la exposición ambiental. Sin embargo, aún es limitada la evidencia sobre cómo perciben este riesgo y cuáles son las prácticas cotidianas que pueden aumentar o reducir dicha exposición. **Objetivo.** Describir las percepciones, prácticas y posibles riesgos de exposición a metales pesados en mujeres afrocolombianas vinculadas a la pesca en tres comunidades de El Carmen del Darién (Chocó, Colombia). **Métodos.** Se recolectó información sobre prácticas de consumo de pescado, fuentes y tratamiento del agua, percepción de contaminación, vías potenciales de exposición y cultivos locales para autoconsumo. Se realizó un análisis descriptivo y un Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) para identificar patrones de percepción y prácticas de riesgo. **Resultados.** El 69,1% de las participantes consume agua del río y el 40% no realiza ningún tratamiento

1 Instituto de Salud Pública, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá DC, Colombia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9749-1832>
Scholar Google: <https://scholar.google.com/citations?user=wGdixE0AAAAJ&hl=es&oi=ao>
CVLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000485420

2 Instituto de Salud Pública, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá DC, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0775-267X>

3 Instituto de Salud Pública, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá DC, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7856-8961>

4 Facultad de Medicina, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7665-8955>

5 Facultad de Educación, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3332-6173>

6 Instituto de Salud Pública, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá DC, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5569-7392>

Correspondencia: ex-vmramirez@javeriana.edu.co - vanessaramirez@gmail.com

previo. El consumo de pescado es universal y frecuente: el 100% lo ingiere semanalmente y hasta 3 veces al día. El 90,9% reportó haber escuchado sobre contaminación por metales pesados y el 70,9% considera que el pescado local podría estar contaminado, aunque persisten prácticas que incrementan la exposición, como la falta de tratamiento del agua y la ingesta elevada de pescado. El ACM reveló tres perfiles diferenciados: un grupo con incertidumbre y baja información, otro con negación del riesgo, y un tercero que reconoce la contaminación y sus efectos. **Conclusiones.** Las prácticas cotidianas y las percepciones identificadas muestran un riesgo potencial elevado de exposición a metales pesados en estas comunidades. Se requiere fortalecer la educación ambiental y sanitaria, mejorar la disponibilidad de agua segura y consolidar sistemas locales de vigilancia epidemiológica y ambiental con enfoque comunitario y territorial.

Palabras clave: monitoreo ambiental, afroamericanos, metales pesados, riesgo, percepción social, medio ambiente y salud pública.

Abstract

Introduction. Heavy metal pollution associated with artisanal gold mining represents a growing threat to riverine communities in Chocó, Colombia. In El Carmen del Darién, the combination of traditional fishing practices, limited sanitation infrastructure, and a strong dependence on the river increases the vulnerability of Afrocolombian women to environmental exposure. However, evidence remains limited regarding how these women perceive this risk and which daily practices may increase or mitigate exposure. **Objective.** To describe perceptions, practices, and potential risks of exposure to heavy metals among Afrocolombian women engaged in fishing in three communities of El Carmen del Darién (Chocó, Colombia). **Methods.** A structured survey was administered to 55 women from the communities of Domingodó, Montaña, and La Grande. Information was collected on fish consumption practices, sources and treatment of drinking water, perceptions of environmental contamination, potential exposure pathways, and local food crops grown for household consumption. A descriptive analysis and a Multiple Correspondence Analysis (MCA) were conducted to identify patterns of perception and risk-related practices. **Results.** A total of 69.1% of participants use river water for drinking, and 40% do not apply any treatment. Fish consumption was universal and frequent: 100% consumed fish weekly and up to three times per day. While 90.9% had heard about heavy metal contamination and 70.9% believed that local fish could be contaminated, practices that increase exposure

persist, including limited water treatment and high fish intake. The MCA identified three distinct profiles: a group with uncertainty and low information, another that denies the risk, and a third that recognizes contamination and its health effects. **Conclusions.** The identified perceptions and daily practices indicate a potentially high risk of exposure to heavy metals in these communities. Strengthening environmental and health education, improving access to safe drinking water, and consolidating local community-based environmental and epidemiological surveillance systems are urgently required.

Keywords: environmental surveillance, afroamericans, heavy metals, risk, social perception, environment and public health.

Introducción

En Latinoamérica, la minería artesanal y de pequeña escala constituye una de las principales fuentes de liberación de metales pesados al ambiente, especialmente en países andinos y amazónicos como Perú, Brasil, Colombia y Venezuela (1). Entre estos contaminantes, el mercurio (Hg) es ampliamente utilizado en procesos de amalgamación para la obtención de oro, generando emisiones significativas que alcanzan cuerpos de agua y suelos (1). Una vez liberado, el Hg inorgánico puede transformarse en metilmercurio (MeHg), un compuesto altamente tóxico que se bioacumula y biomagnifica en la cadena trófica acuática, constituyendo la principal vía de exposición para las comunidades ribereñas que dependen del pescado como fuente alimentaria (2).

En Colombia, la contaminación por Hg representa una preocupación ambiental y de salud pública de alta relevancia, parti-

cularmente en cuencas afectadas por minería artesanal como como el río Atrato y el Bajo Cauca (1). Trabajos recientes han documentado niveles elevados de mercurio total (THg) y MeHg en especies de peces de consumo habitual, indicando un riesgo significativo para las poblaciones locales (3).

El Carmen del Darién (CD) es un municipio del departamento del Chocó, en la región noroccidental de Colombia, dentro del corredor biogeográfico del Darién, reconocido por su alta biodiversidad y pluviosidad (4,5). Situado cerca de la frontera con Panamá y la cuenca del río Atrato, su geografía está compuesta por selvas tropicales densas, altas precipitaciones y una red extensa de ecosistemas acuáticos (6). La población está conformada principalmente por comunidades afrocolombianas e indígenas, cuyo patrimonio cultural y prácticas ancestrales se encuentran estrechamente vinculados al territorio y a las vías fluviales (7,8). La economía local depende de la agricultura de

subsistencia, la pesca, la minería artesanal y la extracción de madera, desarrolladas en gran medida de manera informal (9).

El río Atrato y sus afluentes son ecosistemas esenciales para las comunidades afrodescendientes del Chocó. Sin embargo, la contaminación por Hg, plomo (Pb) y otros metales pesados resultado de la tala y minería ilegales ha generado un riesgo ambiental y sanitario agravado por la presencia de actores armados (10). La Corte Constitucional de Colombia reconoció al río Atrato como sujeto de derechos a través de la Sentencia T-622 de 2016, debido a los daños ambientales producidos por la contaminación química (11). Esta decisión busca preservar su riqueza ecológica y proteger el bienestar de las comunidades locales.

La minería mecanizada ha modificado las prácticas de pesca en las comunidades afrocolombianas asentadas a orillas del río, generando reducción de especies e impactos ambientales significativos por el uso de dragas y trasmallos (12). Por lo tanto, comprender sus prácticas, percepciones y conocimientos frente a la contaminación por metales pesados es fundamental para orientar estrategias culturalmente pertinentes de mitigación del riesgo y protección territorial (13). En este contexto, el objetivo de este estudio fue analizar el conocimiento, las actitudes y las prácticas relacionadas con el riesgo de exposición a metales pesados en tres comunidades de mujeres afrocolombia-

nas vinculadas a la actividad pesquera en el municipio de Carmen del Darién, Chocó, Colombia.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio se desarrolló en las comunidades de los corregimientos de Montaña, Domingodó y la Grande en el municipio de Carmen del Darién, en el departamento del Chocó (Figura 1). Estos corregimientos se encuentran en la cuenca del río Atrato, una de las principales cuencas hidrográficas de Colombia y reconocida por sus altos niveles de contaminación y degradación ambiental derivados de la minería artesanal y mecanizada con uso de metales pesados (2). Las comunidades seleccionadas mantienen una relación estrecha con el río debido a su dependencia histórica y cultural de los ecosistemas acuáticos; por lo que la pesca constituye una de sus principales actividades de subsistencia y fuente de proteína animal (3). La influencia directa del río Atrato sobre la seguridad alimentaria y el modo de vida de estas comunidades hizo pertinente su selección para evaluar la percepción del riesgo y las prácticas relacionadas con la exposición a metales pesados.

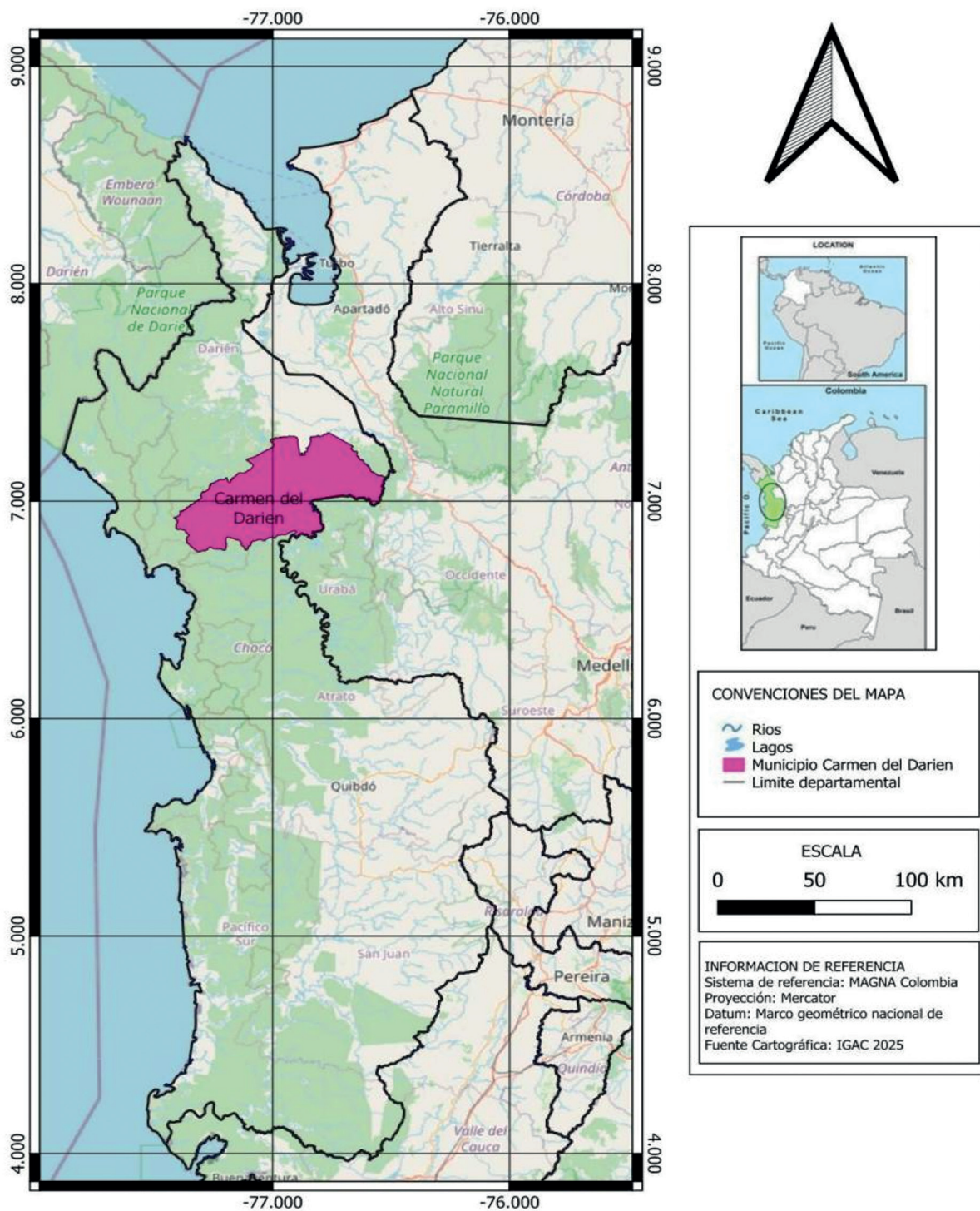


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del municipio de El Carmen del Darién (Chocó, Colombia) y la cuenca del río Atrato. El mapa muestra los límites departamentales, el área del municipio en color magenta y los principales cuerpos de agua. Fuente cartográfica: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2025) (14).

Población estudiada

La población de estudio estuvo conformada por mujeres afrocolombianas vinculadas a la actividad pesquera (pre-captura, captura o post-captura) en las comunidades de La Grande, Montaña y Domingodó, en el municipio del Carmen del Darién. Los criterios de inclusión consideraron tener 18 años o más, residir en el municipio por un mínimo de cinco años y manifestar interés en participar mediante la firma del consentimiento informado.

La selección de las participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, invitando a mujeres vinculadas a la actividad pesquera que voluntariamente aceptaron completar la encuesta. Esta estrategia se justificó por la ausencia de registros poblacionales formales, la dispersión geográfica de las comunidades y las limitaciones logísticas y de seguridad para el trabajo de campo en la región, condiciones que dificultan la implementación de métodos probabilísticos.

Para la planificación del estudio se estimó el tamaño muestral mediante la fórmula para calcular proporciones en estudios transversales, considerando una prevalencia esperada del 85%, basada en reportes de alta exposición a mercurio en comunidades ribereñas y mineras de la región amazónica, un error absoluto del 10% y un nivel de confianza del 95%:

$$n = \frac{Z^2 \times p(1 - p)}{d^2}$$

con $Z=1.96$, $p=0.85$ y $d=0.10$, se obtiene $n \approx 49$ participantes. El estudio incluyó finalmente a 55 participantes, número que supera el tamaño muestral calculado bajo el escenario descrito.

Encuesta y análisis estadístico

Se aplicó una encuesta estructurada que incluyó variables sociodemográficas (edad, nivel educativo), conocimientos sobre la contaminación por metales pesados, frecuencia de consumo de pescado, fuentes y prácticas de tratamiento del agua de consumo, así como los principales alimentos cultivados para autoconsumo. El instrumento fue sometido a un proceso de validación de contenido por tres expertos en salud pública, epidemiología e investigación social interdisciplinaria del Instituto de Salud Pública de la Pontificia Universidad Javeriana. Adicionalmente, se realizó una prueba piloto con mujeres vinculadas a la actividad pesquera del municipio de El Carmen del Darién; los aportes recogidos permitieron ajustar la redacción de algunos ítems y opciones de respuesta, fortaleciendo la claridad, coherencia interna y pertinencia cultural del instrumento.

Para el análisis del consumo de pescado se tuvieron en cuenta los siguientes supuestos y escenarios:

- Distribución de porciones diarias (encuesta): 40% \approx 450 g/día; 21,8% \approx 225 g/día; 20% \approx 150 g/día; 18,2% \approx 600 g/día.
- Escenarios de concentración de Hg en peces (THg \approx MeHg):
 - Escenario conservador 50 μ g/kg;
 - Escenario medio 200 μ g/kg;
 - Escenario pesimista 600 μ g/kg.
- Peso corporal promedio considerado: 60 kg para una mujer adulta.

A partir de la distribución de porciones se estimó un consumo promedio de 368,2 g/día. Con este valor, la ingesta semanal estimada de MeHg para cada escenario fue la siguiente:

- Escenario conservador (50 μ g/kg): 18,41 μ g/día (128,89 μ g/semana); 2.148 μ g/kg peso/semana.
- Escenario medio (200 μ g/kg): 73,65 μ g/día (515,55 μ g/semana); 8.593 μ g/kg peso/semana.
- Escenario pesimista (600 μ g/kg): 220,95 μ g/día (1546,65 μ g/semana); 25.777 μ g/kg peso/semana.

Se realizó un Análisis de Correspondencias Múltiples (MCA) para explorar la estructura de asociación entre variables categóricas

relacionadas con nivel educativo, prácticas de tratamiento del agua, origen y zona de residencia, consumo y preparación de pescado, tiempo y horas dedicadas a la pesca, cultivo de alimentos y conocimiento/percepción sobre contaminación por metales pesados y efectos en salud. El análisis se llevó a cabo utilizando el paquete *FactoMineR* en R (versión 4.2.0), empleando la matriz disyuntiva completa de las modalidades observadas. Se calcularon las coordenadas factoriales, las contribuciones de las variables y la inercia explicada por las dos primeras dimensiones, las cuales se representaron gráficamente para identificar agrupamientos y patrones de asociación entre categorías. El resto de los análisis estadísticos y el procesamiento de los datos también se realizaron en R (versión 4.2.0).

Consideraciones éticas

Todas las participantes firmaron el consentimiento informado antes de responder la encuesta y de participar en las actividades del estudio. El proyecto contó con la aprobación del Comité de Investigación y Ética del Instituto de Salud de la Pontificia Universidad Javeriana (Acta No.0004 del 15 de mayo del 2025), cumpliendo con normas nacionales e internacionales de bioética para investigaciones con seres humanos. Los instrumentos fueron diseñados en lenguaje claro y culturalmente apropiado para las participantes, asegurando su adecuada comprensión y validez de la información suministrada.

Resultados

Se aplicaron encuestas a 55 mujeres afrocolombianas de las comunidades de La Grande, Montaña y Domingodó, con edades 19 y 78 años. El análisis descriptivo permitió caracterizar el perfil sociodemográfico, las prácticas asociadas al consumo de pescado, las fuentes y tratamiento del agua de consumo, la percepción comunitaria sobre la contaminación ambiental, y los alimentos que cultivan para autoconsumo.

Nivel educativo

La mayor proporción de participantes reportó haber cursado educación secundaria (32,7%; n=18). Le siguen las mujeres con primaria incompleta (23,6%; n=13) y aquellas con formación técnica o tecnológica (21,8%; n= 12). Un 12,7% (n=7) indicó no tener escolaridad, un 7,3% (n=4) completó la primaria y solo una participante (1,8%) reportó educación universitaria (Figura 2).

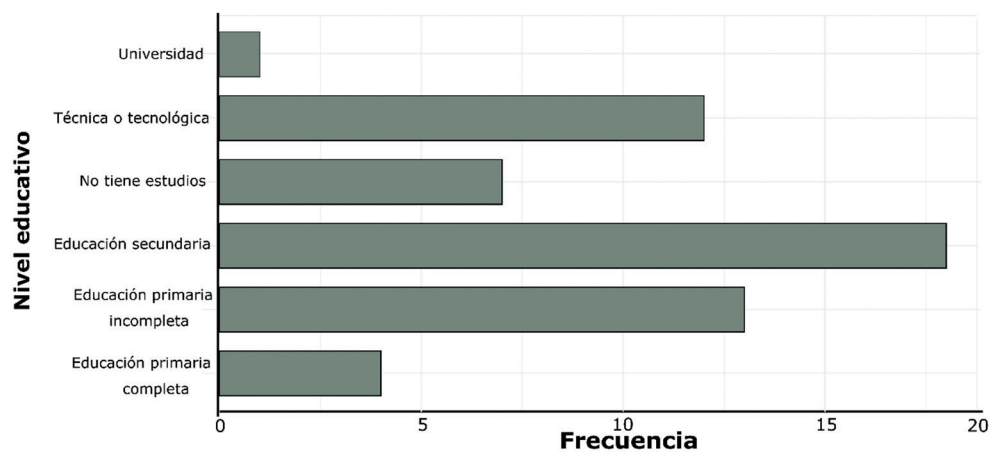


Figura 2. Nivel educativo de las mujeres pescadoras del municipio del CD (Chocó, Colombia). La mayoría de las participantes alcanzó el nivel de secundaria o bachillerato (32,7%; n=18), seguido por primaria incompleta (23,6%; n=13) y educación técnica o tecnológica (21,8%; n=12). En menor proporción se reportaron mujeres sin escolaridad (12,7%; n=7), con primaria completa (7,3%; n=4) y con formación universitaria (1,8%; n=1).

Fuentes y tratamiento del agua de consumo

En relación al origen del agua de consumo, el 69,1% de las participantes indicó obtenerla del río, mientras que el 30,9% la obtiene del agua lluvia. Aunque el 60% (n=33) reportó tratar el agua antes del consumo, el 40% (n=22) no realiza ningún proceso de potabilización.

Entre quienes sí aplican tratamiento, predominaron el clorado o uso de potabilizadoras (72,7%), seguidos del reposo (18,2%) y hervido (15,2%). Estos resultados muestran un uso parcial e inconsistente de medidas de tratamiento del agua (Tabla 1).

Tabla 1. Fuentes y tratamiento del agua de consumo humano en las mujeres encuestadas de El Carmen del Darién (Chocó, Colombia).

Variable	Categoría / Método	% de participantes (n)
Fuente de agua	Río	69,1 (38)
	Lluvia	30,9 (17)
Tratamiento del agua	Clorado / pastillas	24,6 (14)
	Hervido	15,2 (8)
	Reposo	18,2 (10)
	Otros métodos	2,0 (1)
Sin tratamiento		40,0 (22)

Percepción comunitaria sobre la contaminación

El 90,9% (n=50) de las encuestadas manifestó haber recibido información sobre la contaminación por metales pesados (Hg, Pb, Cu, Zn). Respecto a la percepción del riesgo ambiental, el 52,7% (n=29) considera que el agua de su comunidad podría estar

contaminada el 70,9% (n=39) cree que el pescado consumido localmente presenta algún grado de contaminación (Tabla 2). Estos resultados evidencian una percepción de riesgo elevada, aunque persisten dudas en una parte de la población, lo que subraya la necesidad de fortalecer estrategias de comunicación y educación ambiental.

Tabla 2. Percepción de la contaminación del agua y del pescado en las mujeres encuestadas de El Carmen del Darién (Chocó, Colombia).

Variable evaluada	% de participantes (n)
Tiene información sobre contaminación por metales (Hg, Pb, Cu, Zn).	
Si	90,9 (50)
No	9,1 (5)
Percepción de que el agua de la comunidad podría estar contaminada.	
Si	52,7 (29)
No	29,1 (16)
Conocimiento si el pescado consumido localmente está contaminado	
Si	70,9 (39)
No	7,3% (4)
No sabe / No responde	21,8 (12)

Fuentes de información sobre contaminación ambiental

Los líderes comunitarios fueron identificados como la principal fuente de información ambiental (68,1%; n=32), seguidos por redes sociales como WhatsApp y Facebook (31,9%; n=15) y por promotores de salud (29,8%; n=14). En menor proporción se mencionaron familiares (19,1%; n=), cen-

tros de salud (10,6%; n=5), escuelas (4,3%; n=2) y emisoras de radio comunitarias (4,3%; n=2). Algunas personas se enteraron por varias fuentes, por lo que el total de respuestas puede exceder el número de participantes (n=55).

Tabla 3. Fuentes de información sobre la contaminación ambiental en la comunidad reportadas por las mujeres encuestadas de El Carmen del Darién (Chocó, Colombia).

Fuente de información	% de participantes (n)	Tipo de canal
Líderes comunitarios	68,1 (32)	Comunitario / Local
Redes sociales (WhatsApp, Facebook)	31,9 (15)	Digital / Informal
Promotores de salud	29,8 (14)	Institucional / Comunitario
Familiares	19,1 (9)	Personal / Familiar
Centros de salud	10,6 (5)	Institucional
Escuelas	4,3 (2)	Educativo / Formal
Radios comunitarias	4,3 (2)	Comunitario / Tradicional

Consumo de pescado

El pescado es un alimento fundamental en la dieta de las mujeres encuestadas, siendo que el 100% reportó consumirlo regularmente. Casi la mitad de las participantes (49,1%; n=27) manifestó comer pescado más de seis días por semana, mientras que el 50,9% (n=28) lo consume con menor frecuencia. En cuanto al patrón diario el 63,6% (n=35) consume dos porciones al día, mientras que el 18,2% o tres o más porciones diarias (Tabla 4).

El bocachico (*Prochilodus magdalenae*) es la especie más consumida (98,2%) en los hogares de las mujeres del CD, mientras que el porcentaje restante corresponde a especies como la doncella (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), dentón (*Ageneiosus pardalis*), quicharro (*Ichthyoelephas humeralis*), y bagre sapo (*Pseudopimelodus bufonius*).

Tabla 4. Frecuencia de consumo de pescado en las mujeres encuestadas de El Carmen del Darién (Chocó, Colombia).

Variable	Categoría	% de participantes (n)
Consumo de pescado (semanal)	>6 días	49,1 (27)
	≤6 días	50,9 (28)
Consumo de pescado (diario)	1 vez	18,2 (10)
	2 veces	63,6 (35)
	≥3 veces	18,2 (10)

Cultivos locales para autoconsumo

Con el fin de explorar vías adicionales de exposición ambiental y caracterizar la seguridad alimentaria local, se identificaron los alimentos cultivados en los hogares.

La tabla 5 muestra que los alimentos que más cultivan en los hogares de las mujeres encuestadas son cilantro (*Coriandrum sativum*) (25%; n=), orégano (*Origanum vulgare*) (16,2%; n=) y plátano (*Musa paradisiaca*) (13,2%; n=). También se reportaron ají (*Capsicum* spp.) (8,8%; n=), albahaca (*Ocimum basilicum*) (5,9%; n=), mango (*Mangifera indica*) (4,4%; n=), guayaba (*Psidium guajava*) (4,4%; n=), col (*Brassica oleracea* var. *capitata*) (2,9%; n=), cebolla larga (*Allium fistulosum*) (4,4%; n=) y en menor

proporción aguacate (*Persea americana*), yuca (*Manihot esculenta*), pepino (*Cucumis sativus*), arveja (*Pisum sativum*), guanábana (*Annona muricata*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), coco (*Cocos nucifera*), cebollín (*Allium schoenoprasum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y cúrcuma (*Curcuma longa*) (1,5%; n=). Este patrón revela una agricultura de subsistencia centrada en productos de consumo diario y hierbas aromáticas, reflejando prácticas alimentarias tradicionales y el papel clave del autocultivo en estas comunidades. Algunas personas cultivan varios alimentos, por lo que el total de respuestas puede exceder el número de participantes (n=55).

Tabla 5. Frecuencia de alimentos cultivados reportados por las mujeres encuestadas de El Carmen del Darién (Chocó, Colombia).

Alimento cultivado	% de participantes (n)
Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	25 (17)
Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	16,2 (11)
Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	13,2 (9)
Ají (<i>Capsicum</i> spp)	8,8 (6)
Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>)	5,9 (4)

Alimento cultivado	% de participantes (n)
Mango (<i>Mangifera indica</i>), Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	4,4 (6)
Cebolla larga (<i>Allium fistulosum</i>), Col (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	2,9 (2)
Aguacate (<i>Persea americana</i>), Guanábana (<i>Annona muricata</i>), Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>), Pepino (<i>Cucumis sativus</i>), Arveja (<i>Pisum sativum</i>), Coco (<i>Cocos nucifera</i>), Cebollín (<i>Allium schoenoprasum</i>), Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>), Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>), Yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	1,5 (12)

El Análisis de Correspondencias Múltiples permitió describir la estructura subyacente en las percepciones y conocimientos de la comunidad respecto a la contaminación del agua, la contaminación del pescado por metales, y los riesgos para la salud, integrando además variables sociodemográficas y prácticas de consumo (Figura 2). Las dos primeras dimensiones explican los contrastes más relevantes: Dim1 (15.9%) distingue principalmente el grado de reconocimiento versus negación o desconocimiento del riesgo, mientras que Dim2 (11.9%) diferencia grupos según edad, escolaridad y prácticas asociadas. En la Figura 3 se identifican tres patrones claramente diferenciados en las percepciones y conocimientos de la comunidad acerca de la contaminación del agua y del pescado, así como de sus potenciales efectos en la salud. En el cuadrante superior izquierdo (elipse color amarillo) se agrupa un conjunto de categorías asociadas a respuestas de personas que manifiestan no saber (No sabe - 3) si el agua de consumo (ConContAguaCom_3) o el pescado de la comunidad están contaminados con metales (ConPescadoMetales_3), ni si dicha contaminación puede afectar la sa-

lud (ConEnfermedades_3). Este perfil se asocia especialmente con respondientes de mayor edad (>60), y con menor escolaridad (Ausente o Primaria), así como con personas que reportan un conocimiento limitado sobre el tratamiento del agua (ComoTratAgua_0). Este patrón sugiere un segmento poblacional caracterizado por desinformación o incertidumbre frente a la presencia de contaminación y sus efectos.

En contraste, en el extremo derecho de la misma dimensión (elipse color verde) se agrupa un conjunto de participantes que niega (No -2) la presencia de contaminación en el agua (ConContAguaCom_2) o en el pescado (ConPescadoMetales_2) y que tampoco considera probable que esta pueda generar consecuencias negativas para la salud (ConEnfermedades_2). Este segundo grupo presenta un perfil caracterizado por baja percepción de riesgo ambiental y sanitario, lo que podría reflejar confianza en la calidad de los recursos locales, experiencias previas sin eventos adversos o una menor exposición a información técnica sobre contaminación por metales.

Finalmente, en la zona central–inferior del plano factorial (elipse color rosa) se encuentra un tercer grupo que reúne a quienes sí (Sí -1) reconocen la presencia de contaminación en el agua (ConContAguaCom_1) y pescado (ConPescadoMetales_1) consideran que esta puede afectar la salud de las personas (ConEnfermedades_1). Estas categorías coexisten con características so-

ciodemográficas como mayor escolaridad (Superior), edades 30–60, y prácticas de consumo destacadas como ConsPescDia_1 y ConsPescSem_2–4 (consumo regular de pescado). La ubicación de esta agrupación sugiere que las personas con mayor nivel educativo y prácticas de consumo más sistemáticas presentan mayor conciencia o reconocimiento del riesgo ambiental.

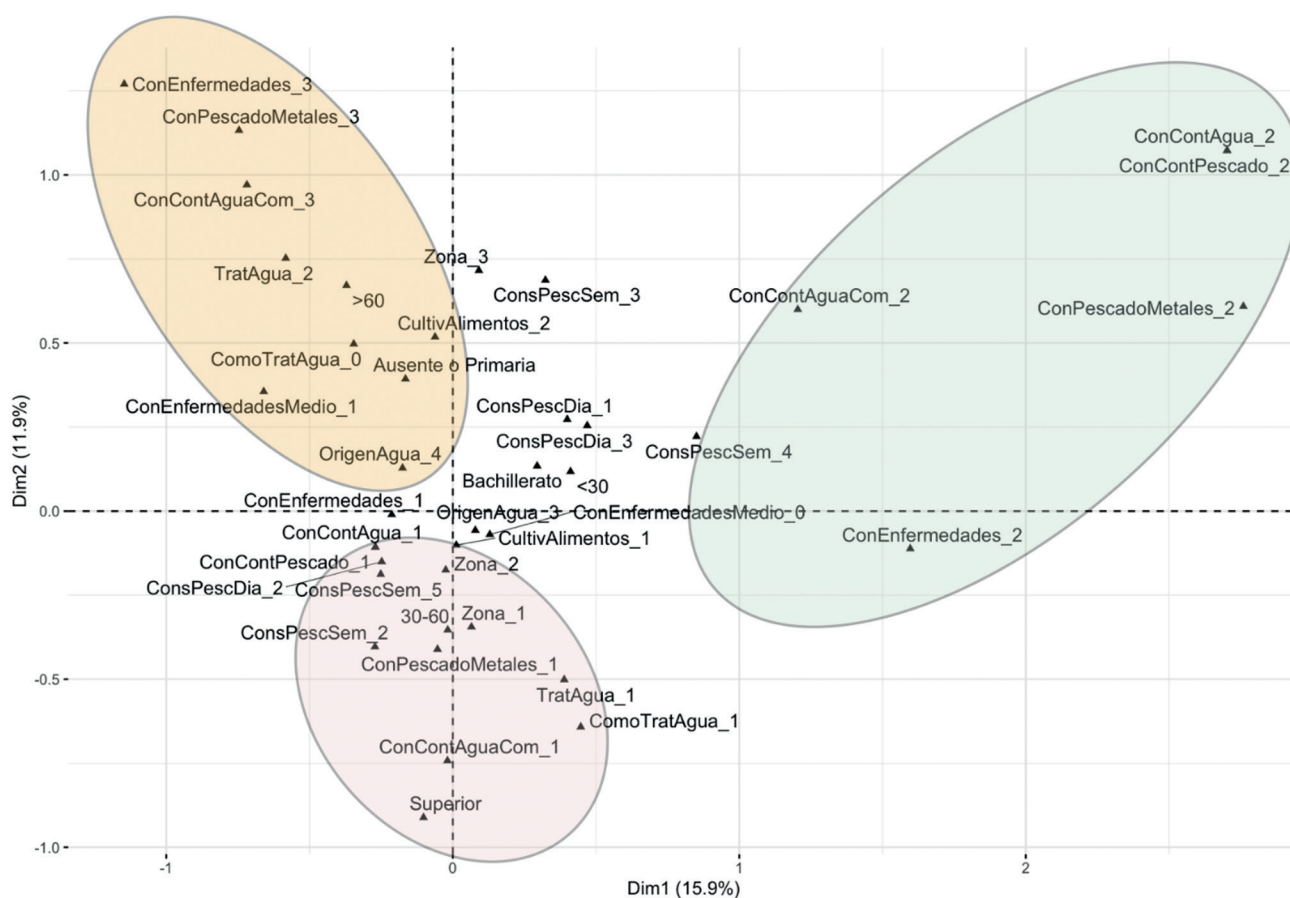


Figura 3. Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) de las encuestas aplicadas a mujeres de El Carmen del Darién (Chocó, Colombia), que muestra la distribución de las categorías “Sí (1)”, “No (2)” y “No sabe (3)” para las variables de percepción sobre contaminación del agua, contaminación del pescado por metales y efectos en la salud. Las dos primeras dimensiones diferencian perfiles de reconocimiento, negación y desconocimiento del riesgo. Las elipses representan los principales conglomerados de categorías identificados.

Discusión

La comprensión de los riesgos asociados a la exposición a metales pesados en comunidades ribereñas de América Latina es heterogénea y depende de múltiples factores socioculturales. Estudios previos muestran que entre el 64% y 78% de los participantes conoce las vías de exposición al mercurio y que intervenciones educativas puede mejorar la concientización sobre los para la salud infantil y reproductiva (16). Sin embargo, la percepción del riesgo en contextos mineros suele centrarse en los peligros laborales directos, invisibilizando vías de exposición indirectas como la ingesta de pescado, el uso de agua contaminada y la exposición ambiental.

En Colombia, las deficiencias en infraestructura de saneamiento y el consumo prolongado de contaminantes del agua, especialmente en territorios alejados como La Toma y Yolombó, representan amenazas para la salud pública (17).

Nuestros resultados sugieren que las comunidades ribereñas del Carmen del Darién enfrentan un riesgo elevado de intoxicación crónica por Hg debido a la contaminación de los cuerpos de agua y la potencial afectación de actividad pesquera local. Estos hallazgos son coherentes con estudios previos que han documentado bioacumulación de Hg en peces del Atrato y del Bajo Cauca (18,19).

En las comunidades del Carmen del Darién, una proporción considerable de la población consume agua directamente del río y no realiza ningún tipo de tratamiento previo. Aunque el uso de cloro y pastillas potabilizadoras indica cierta familiaridad con medidas preventivas, aunque su implementación es limitada. En conjunto, estos resultados permiten evidenciar que la percepción y el conocimiento sobre riesgos ambientales en la población estudiada dependen en gran medida de estructuras sociales de confianza y de mecanismos de comunicación alternativos. Por tanto, es necesario fortalecer estrategias de educación ambiental articuladas con saberes locales y liderazgo comunitario (20).

El bajo nivel educativo observado entre mujeres pescadoras, con mayoría de participantes con educación secundaria y una proporción considerable con primaria incompleta, puede influir en la percepción del riesgo y en la adopción de prácticas preventivas. Estudios previos señalan que la escolaridad, el acceso a tecnologías y los ingresos económicos condicionan el entendimiento de problemas socioambientales en comunidades rurales (21,22). Este contexto educativo limitado puede restringir la participación comunitaria en iniciativas para la protección ambiental y la salud.

A pesar de lo anterior, la mayoría de las mujeres encuestadas (90,9%) reportó haber escuchado sobre la contaminación por meta-

les pesados, el 52,7% consideró que el agua podría estar contaminada y el 70,9% afirmó que el pescado local está afectado. Esto sugiere una percepción elevada del riesgo ambiental, distinta de lo reportado en otros países: por ejemplo, en Tanzania, los hombres presentaron mayor conocimiento sobre toxicidad del Hg que las mujeres (23). En contraste, estudios sobre mujeres afrodescendientes del Pacífico colombiano indican un sistema matrilineal de cuidado que promueve una sensibilidad mayor frente a riesgos ambientales que puedan afectar a niños y mujeres (18). No obstante, investigaciones muestran que el conocimiento limitado sobre los peligros del Hg puede generar apatía, resistencia a cambios en los patrones de consumo o dificultades para adoptar prácticas sostenibles (24).

La alta frecuencia de consumo de pescado en el Carmen del Darién reafirma su importancia cultural y alimentaria. No obstante, debe resaltarse la capacidad de los peces para bioacumular metales pesados, como Hg, Pb o cadmio, en concentraciones que pueden superar los límites establecidos por normativas internacionales de seguridad alimentaria (18,25-26). Estudios recientes en la Cuenca del Atrato (entre los años 2020 y 2025) revelan que los peces tienen concentraciones de MeHg y THg que, en numerosas ocasiones, exceden los valores de referencia internacionales (2,27-28). Los niveles de THg en peces de la cuenca son muy variados y extensos, dependiendo

de la especie y del tramo del río. En algunas especies, los valores más altos reportados alcanzan entre 600 y 700 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (0.6-0.7 $\mu\text{g}/\text{g}$). En muchas especies de agua dulce, la proporción de MeHg en comparación con el THg en los músculos tiende a ser elevada (80-95%), lo que aumenta el riesgo toxicológico (29,30).

La estimación del consumo promedio (368,2 g/día) y las concentraciones teóricas de Hg (50, 200 y 600 $\mu\text{g}/\text{kg}$) indican ingestas semanales de MeHg que superan ampliamente los valores seguros establecidos por organismos internacionales. El JECFA fijó una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de 1,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ peso corporal (45), mientras que la EFSA propuso incluso un límite inferior de 1,3 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ (46). Comparados con estos valores, nuestros escenarios —incluso el más conservador— exceden los umbrales permitidos por varios órdenes de magnitud. Este hallazgo coincide con estudios de La Mojana, donde múltiples especies exceden las recomendaciones para poblaciones vulnerables y la ingesta estimada supera la PTWI en mujeres en edad fértil y niños. Estos resultados subrayan la necesidad urgente de fortalecer la vigilancia de contaminantes en peces, promover alternativas alimentarias seguras y mejorar el seguimiento epidemiológico de poblaciones expuestas.

Las mujeres vinculadas a la actividad pesquera del Carmen del Darién reportaron una alta frecuencia de hipertensión,

dislipidemias, anemia y cataratas, afecciones asociadas con la intoxicación crónica por Hg y Pb, que pueden causar alteraciones cardiovasculares, hematológicas, neurológicas y oculares (31-32). Asimismo, la presencia de abortos espontáneos y discapacidad infantil sugiere impactos sobre la salud reproductiva y el desarrollo a mediano y largo plazo. Estas vulnerabilidades se exacerban en territorios étnicos con barreras históricas de acceso a los servicios de salud (33–35).

Los cultivos también pueden bioacumular metales pesados como Hg, Cd y Cr (36–38), lo que puede generar riesgos adicionales si se consumen con frecuencia (39–41). Este hallazgo complementa los resultados sobre conocimiento y prácticas, ya que muestra que las mujeres reconocen la importancia de cultivar sus propios alimentos, pero desconocen que los suelos contaminados por minería pueden representar una fuente adicional de exposición a contaminantes. Por tanto, los cultivos locales reflejan tanto una estrategia cultural de seguridad alimentaria como un factor de riesgo potencial dentro del marco de prácticas y percepciones ambientales evaluadas. Se recomienda implementar estrategias de manejo de enmiendas orgánicas, evitar el riego con aguas residuales sin tratar y monitorear los niveles de metales pesados en suelos y alimentos.

Los resultados del MCA revelan tres perfiles claros de percepción del riesgo: i) per-

sonas con alta incertidumbre y escaso conocimiento (categorías 3), ii) personas que niegan la presencia de contaminación (categorías 2), y iii) personas que reconocen explícitamente la contaminación del agua y el pescado (categorías 1). La Dimensión 1 organiza estas respuestas desde el reconocimiento del riesgo hasta el desconocimiento, mientras que la Dimensión 2 diferencia a las participantes según edad, escolaridad y prácticas cotidianas. Este patrón muestra que la percepción ambiental está fuertemente influenciada por factores sociodemográficos y culturales.

Los hallazgos de este estudio tienen implicaciones profundas para la salud, la seguridad alimentaria y la identidad cultural de las comunidades afrodescendientes del Carmen del Darién. La generación de evidencia científica local es esencial para que las comunidades puedan tomar decisiones informadas sobre prácticas seguras de pesca y participar activamente en procesos de remediación ambiental (42). En el plano de las políticas públicas, los resultados aportan insumos clave para orientar estrategias de salud ambiental, regulación minera y vigilancia epidemiológica en territorios rurales y étnicos. Entre las acciones prioritarias se encuentran el fortalecimiento de los programas de vigilancia de intoxicaciones por metales pesados, la ampliación de la atención en salud en zonas apartadas, la regulación estricta del uso de Hg en la minería y la promoción de tecnologías extractivas limpias (43,44).

Asimismo, resulta fundamental avanzar en el cumplimiento de sentencias ambientales como la T-622 de 2016 (11), que reconoce al río Atrato como sujeto de derechos y obliga al Estado a garantizar su protección y restauración. Un enfoque interinstitucional que articule los sectores de salud, ambiente, minería y autoridades locales es indispensable para abordar de manera integral la problemática. Para ello se requiere la implementación de mecanismos de coordinación y monitoreo participativo, incluyendo talleres comunitarios, fortalecimiento de liderazgos locales y materiales educativos adaptados al contexto. Iniciativas como sistemas comunitarios de vigilancia ambiental, por ejemplo, programas de “vigilantes del río” pueden facilitar la corresponsabilidad entre Estado y comunidad (13).

La integración del saber local, el conocimiento científico y la acción institucional es clave para fortalecer la resiliencia comunitaria frente a la contaminación por metales pesados. La participación activa de la comunidad, junto con el apoyo de organizaciones no gubernamentales y la academia, permitirá consolidar procesos de educación ambiental, vigilancia de la contaminación y circulación de información en lenguajes accesibles. Solo mediante este esfuerzo conjunto será posible proteger la salud de las comunidades afrocolombianas del Carmen del Darién y salvaguardar la integridad ecológica de sus medios de vida ante los riesgos derivados de la exposición ambiental a metales pesados.

Limitaciones

Este estudio presenta varias limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En primer lugar, el diseño transversal no permite establecer relaciones causales entre las percepciones de riesgo y las prácticas de exposición. Además, el tamaño muestral, aunque pertinente para el contexto comunitario estudiado, limita la generalización de los hallazgos a otras poblaciones de mujeres pescadoras afrocolombianas del Chocó. Una limitación adicional es la ausencia de mediciones directas de metales pesados en matrices biológicas o ambientales, lo cual habría permitido corroborar objetivamente los niveles de exposición reportados en estudios previos de la región. Finalmente, el muestreo por conveniencia puede introducir un posible sesgo de selección, dado que las participantes que accedieron a la entrevista podrían diferir sistemáticamente de aquellas que no participaron. Si bien el tamaño de muestra utilizado ($n = 55$) superó la estimación inicial basada en una prevalencia esperada del 85%, su naturaleza exploratoria implica que los resultados deben interpretarse con cautela y no extrapolarse de manera directa a otras comunidades del Chocó o de la cuenca del río Atrato. Aun así, el estudio aporta una línea base valiosa en un contexto donde la información sistemática es escasa, y visibiliza tendencias consistentes que justifican futuros estudios con diseños muestrales más robustos y cobertura ampliada.

La prevalencia esperada del 85% se fundamenta en estudios previos realizados en comunidades ribereñas y mineras de América Latina, donde se han documentado niveles elevados de exposición a mercurio y otros metales pesados. Investigaciones en la Amazonía brasileña, la cuenca del Madre de Dios en Perú y el Bajo Cauca antioqueño en Colombia han reportado prevalencias superiores al 80% de biomarcadores alterados o riesgo alto asociado al consumo de pescado contaminado y a la cercanía a actividades mineras artesanales. No obstante, se reconoce que esta elección responde a una aproximación conservadora en ausencia de datos locales previos, y refuerza el carácter exploratorio del presente estudio. Una limitación importante es que no se recolectó información sobre síntomas o condiciones de salud posiblemente asociadas a la exposición crónica a metales pesados. Si bien estudios previos en el Chocó han documentado afecciones neurológicas, cardiovasculares y hematológicas relacionadas con la exposición prolongada, nuestro diseño no contempló mediciones clínicas ni autoinformes de síntomas, lo que impide establecer vínculos directos entre las prácticas observadas y el estado de salud de las participantes. Investigaciones futuras deberían integrar biomarcadores y evaluación clínica sistemática para complementar la información socioambiental y fortalecer la vigilancia epidemiológica.

Conclusiones

Los resultados de este estudio evidencian que, aunque la percepción de riesgo ambiental entre las mujeres afrocolombianas vinculadas a la pesca en El Carmen del Darién es elevada, esta conciencia aún no se traduce en transformaciones significativas de las prácticas cotidianas que podrían reducir la exposición a metales pesados. La persistente dependencia de agua del río sin tratamiento y de una dieta basada casi exclusivamente en pescado incluso ante la sospecha de contaminación refleja la ausencia de alternativas reales y estructurales para disminuir el riesgo. En este contexto, resulta indispensable fortalecer la vigilancia epidemiológica y ambiental para la detección temprana de intoxicaciones, mejorar la disponibilidad y accesibilidad de agua segura, e impulsar estrategias de diversificación alimentaria que reduzcan la dependencia del pescado potencialmente contaminado.

Estas acciones deben enmarcarse en un abordaje integral que reconozca el carácter biocultural del territorio y que cumpla con los mandatos establecidos por la Sentencia T-622 de 2016, la cual declara al río Atrato como sujeto de derechos. Garantizar la restauración, protección y gobernanza del río es un imperativo no solo ambiental, sino también sanitario y social, dado que la salud de la población está intrínsecamente vinculada a la salud del ecosistema. Asimismo, es urgente implementar medidas efectivas

para controlar y dismantelar la minería ilegal, principal fuente de liberación de mercurio y otros metales pesados en la región. Estas intervenciones deben ir acompañadas del fortalecimiento de la institucionalidad local, la participación activa de las comunidades y el desarrollo de alternativas económicas sostenibles que disminuyan la dependencia de actividades extractivas nocivas.

En conjunto, los resultados subrayan la necesidad de una acción intersectorial y territorialmente situada, que articule a las autoridades ambientales, de salud, justicia y gobiernos locales con las comunidades afrodescendientes e indígenas del río Atrato. Solo mediante este enfoque integral será posible reducir los riesgos de exposición, restaurar el ecosistema y salvaguardar la vida, la cultura y el futuro de las mujeres y familias del Carmen del Darién.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las 55 mujeres de las comunidades de Montaña, La Grande y Domingodó (Carmen del Darién, Chocó), por su valiosa participación y colaboración en este estudio. En especial, a las mujeres pescadoras Osiris Rivas Mosquera y Miledys Mena Beitar, por su apoyo durante el trabajo de campo. Se agradece también a los líderes comunitarios del Carmen del Darién Silson Romaña, John Lobón, Silvio Valoyes y José Tomás Palacios por su com-

promiso, acompañamiento y orientación en las actividades locales. Se agradece a la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) por su acompañamiento durante las salidas de campo.

Contribuciones de los autores

Vanesa Margarita Ramírez Bello contribuyó en la recolección de datos, concepción y el diseño del estudio, la adquisición, análisis e interpretación de los datos, la redacción del manuscrito, la revisión crítica, la gestión de financiamiento, el apoyo administrativo, técnico y material, la supervisión y la aprobación final del manuscrito. Natalia Carolina Bonilla Lizarazo contribuyó en el diseño del estudio, en el análisis e interpretación de los datos, la revisión crítica y la aprobación final del manuscrito. Katherine Ariza Ruiz contribuyó en el diseño del estudio, en el análisis e interpretación de los datos, la revisión crítica y la aprobación final del manuscrito. Nelson Enrique Arenas Suárez participó en el análisis e interpretación de los datos, la redacción del manuscrito, la revisión crítica y la aprobación final del manuscrito. Camilo Torres contribuyó en la adquisición, análisis e interpretación de los datos, la redacción del manuscrito, la revisión crítica y la aprobación final del manuscrito. Gina Paola Polo Infante contribuyó en la concepción y el diseño del estudio, el análisis e interpretación de los datos, la revisión crítica del manuscrito, la gestión de

financiamiento, el apoyo administrativo, técnico y material, la supervisión y la aprobación final del manuscrito.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos económicos, profesionales, académicos o personales que puedan haber influido en la objetividad o el contenido científico del presente trabajo.

Financiamiento

Este artículo fue financiado con recursos del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, en el marco de la convocatoria “Orquídeas: Mujeres en la Ciencia 2024”, y por el Instituto de Salud Pública de la Pontificia Universidad Javeriana (Proyecto 109332). Tipo y modalidad de financiación: apoyo económico competitivo otorgado a través de convocatoria nacional de investigación y fondos institucionales para el desarrollo del proyecto.

Referencias

1. Cordy P, Veiga MM, Salazar-Lopez R, et al. Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Sci Total Environ.* 2011;410–411:154–60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.006>
2. Palacios-Torres Y, de la Rosa JD, Olivero-Verbel J. Trace elements in sediments and fish from Atrato River: an ecosystem with legal rights impacted by gold mining at the Colombian Pacific. *Environ Pollut.* 2020; 256:113290. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113290>
3. Bernal-Alviz J, Córdoba-Tovar L, Pastrana-Durango D, et al. Influence of environmental and biological factors on mercury accumulation in fish from the Atrato River Basin, Colombia. *Environ Pollut.* 2025; 366:125345. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125345>
4. Valois-Cuesta H, Martínez-Ruiz C. Vulnerabilidad de los bosques naturales en el Chocó biogeográfico colombiano: actividad minera y conservación de la biodiversidad. *Bosque (Valdivia).* 2016;37(2):295–305. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200008>
5. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Plan de Manejo de la Región del Chocó Biogeográfico. Bogotá: MADS; 2017.
6. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: IDEAM; 2018.
7. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). Caracterización ambiental y socioeconómica del Chocó Biogeográfico. Quibdó: IIAP; 2019.
8. Mesa-Arango JA, Paz-Palacio N, Giraldo-Gil MR. Competencias ciudadanas y autoridad en El Carmen del Darién: un estudio de caso en una institución escolar. *Unipluriversidad.* 2019;19(1):33–55. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.19.1.03>
9. Defensoría del Pueblo. Informe de Riesgo No. 015-14: Situación de las comunidades del Carmen del Darién (Chocó). Bogotá: Defensoría del Pueblo; 2014.
10. Franco AC. Garantías constitucionales del río Atrato como sujeto de derecho en Colombia. *Vis Iuris Rev Derecho Cienc Soc.* 2017;99–111. <https://doi.org/10.22518/vis.v0i00.1170>
11. Corte Constitucional de Colombia. Sentencia T-622/16: Reconocimiento del río Atrato como sujeto de derechos. Bogotá; 2016.
12. Cano W. Entre dragas y trasmallos: minería mecanizada y cambios en las actividades de pesca en comunidades negras de la cuenca media del río Atrato, Chocó, Colombia. *Bioetnia.* 2017; 14:111–30. <http://hdl.handle.net/10495/11989>

13. Palomeque Rodríguez A, Serna Palacios B, Mosquera Palacios B, et al. Risas, sueños y lamentos del río: vivencias de los ríos Atrato y Baudó desde la mirada de sus guardianas. Quibdó: Tierra Digna; 2019. <https://hdl.handle.net/10495/45370>
14. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2025). Mapa del municipio de El Carmen del Darién, departamento del Chocó. <https://www.igac.gov.co>
15. Urrego-Mendoza ZC, Coral-Palchucán GA, Aristizabal-Tobler CC, Bello-Urrego A, Bastidas-Jacanamijoy LO. Consideraciones éticas para la investigación en salud con pueblos indígenas de Colombia. *Rev Salud Pública* 2017;19, 827-832. <https://doi.org/10.15446/rsap.V19n6.55796>
16. Ottenbros IB, Boerleider RZ, Jubitana B, Roeleveld N, Scheepers PTJ. Knowledge and awareness of mercury-related health effects in artisanal gold mining in Suriname. *Environ Int.* 2019; 122:142–50. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.059>
17. Casso-Hartmann L, Rojas-Lamos P, McCourt K, Vélez-Torres I, Barba-Ho LE, Bolaños BW, et al. Water pollution and environmental policy in artisanal gold mining frontiers: La Toma, Colombia. *Sci Total Environ.* 2022; 852:158417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158417>
18. Vélez-Torres I, Vanegas DC, McLamore ES, Hurtado D. Mercury pollution and artisanal gold mining in Alto Cauca, Colombia: Women's perception of health and environmental impacts. *J Environ Dev.* 2018;27(4):415-444. <https://doi.org/10.1177/1070496518794796>
19. Caicedo-Rivas G, Salas-Moreno M, Marrugo-Negrete J. Health risk assessment for human exposure to heavy metals via food in the Atrato River Basin, Colombia. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;20(1):435. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010435>
20. Arthur L, Vondolia GK, Dasmani I. Superstition and attitudes towards restoration of a mining-degraded forest reserve: Evidence from Ghana. *For Policy Econ.* 2024; 168:103297. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103297>
21. Bermúdez CE, Arenas NE, Moreno-Melo V. Caracterización socio-económica y ambiental en pequeños y medianos predios ganaderos en la región del Sumapaz, Colombia. *Rev UDCA Actual Divul Científica.* 2017;20(1):199–208. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.76>
22. Zhou H, Chen Y, Liu Y, Wang Q, Liang Y. Farmers' adaptation to heavy metal pollution in farmland in mining areas: The effects of farmers' perceptions, knowledge and characteristics. *J Clean Prod.* 2022; 365:132678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132678>
23. Charles E, Thomas DS, Dewey D, Davey M, Ngallaba SE, Konje E. Knowledge and perceptions of health risks from arsenic and mercury contamination in Tanzania. *BMC Public Health.* 2013; 13:74. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-74>
24. Aquino RQ, Malone A, Smith NM, Zúñiga FFG. Perceptions and realities of mercury contamination in a Peruvian artisanal and small-scale gold mining community. *Environ Res.* 2022; 214:114092. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114092>
25. Salazar-Camacho C, Salas-Moreno M, Paternina-Urbe R, Marrugo-Negrete J, Díez S. Mercury species in fish from a tropical river highly impacted by gold mining at the Colombian Pacific region. *Chemosphere.* 2021; 264:128478. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128478>
26. Marrugo-Negrete J, Vargas-Licona S, Ruiz-Guzmán JA, Marrugo-Madrid S, Bravo AG, Díez S. Human health risk of methylmercury from fish consumption at the largest floodplain in Colombia. *Environ Res.* 2020; 182:109050. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109050>
27. Palacios-Valoyes E, Salas-Moreno MH, Marrugo-Negrete JL. Biomonitoring of mercury and lead in children near artisanal gold mining areas, Colombia. *Toxics.* 2024;12(10):744. <https://doi.org/10.3390/toxics12100744>
28. Bernal-Alviz J, Córdoba-Tovar L, Pastrana-Durango D, Molina-Polo C, Buelvas-Soto J, Cruz-Esquivel Á, Díez S. Influence of environmental and biological factors on mercury accumulation in fish from the Atrato River Basin, Colombia. *Environ. Pollut.* 2025;366, 125345. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125345>
29. Prabakaran K, Sompongchaiyakul P, Bureekul S, Wang X, Charoenpong C. Heavy metal bioaccumulation and risk assessment in fishery resources from the Gulf of Thailand. *Mar Pollut Bull.* 2024;198:115864. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115864>

30. Mendoza LAV, González MEB, Méndez LCV. Contaminación de alimentos por plomo en Colombia y tecnologías para su manejo ambiental. *RIAA*. 2025;16(1):247–79. <https://doi.org/10.22490/21456453.7273>
31. Motta DAF. Comportamiento epidemiológico de la mortalidad perinatal y neonatal tardía, Colombia, 2019. *Rep Epidemiol Nac*. 2021;3(2):15.
32. Hussain MI, Khan ZI, Akhter P, Al-Hemaid FM, Al-Hashimi A, Elshikh MS, et al. Potential of organic amendments for heavy metal contamination in soil–coriander system. *Sustainability*. 2022;14(18):11374. <https://doi.org/10.3390/su141811374>
33. López-Jiménez CL, Uribe-Guevara J, Cuesta-Ramírez JJ. Impacto percibido en la salud de los mineros artesanales del Quinchía (Colombia). *Rev Salud Pública*. 2023; 21:368–75. <https://doi.org/10.15446/rsap.V21n3.81048>
34. López-Jiménez CL, Velásquez-Bonilla NJ, Mejía-Restrepo JC, Mesa-Giraldo CF. Impacto medioambiental y socioeconómico generado por la minería artesanal del oro en Colombia. *Rev Salud Uninorte*. 2022;38(2):608–27. <https://doi.org/10.14482/sun.38.2.331.76>
35. Noreña-Herrera C, Leyva-Flores R, Palacio-Mejía LS, Duarte-Gómez MB. Inequidad en servicios de salud reproductiva en mujeres indígenas y afrodescendientes de Colombia. *Cad Saúde Pública*. 2015; 31:2635–48. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00016515>
36. Çolak S, Yılmaz ŞBA, Öztekin E. Bioaccumulation factors of heavy metal(loid)s in medicinal and aromatic plants. *Water Air Soil Pollut*. 2023;234(8):522. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06536-w>
37. Pietrelli L, Menegoni P, Papetti P. Bioaccumulation of heavy metals by herbaceous species grown in urban and rural sites. *Water Air Soil Pollut*. 2022;233(4):141. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05577-x>
38. Córdoba-Tovar L, Marrugo-Negrete J, Barón PAR, Calao-Ramos CR, Díez S. Toxic metal(loid) levels in aquatic environment and nuclear alterations in fish in a tropical river impacted by gold mining. *Environ Res*. 2023; 224:115517. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115517>
39. Cortés S, Zúñiga-Venegas L, Pancetti F, Covarrubias A, Ramírez-Santana M, Adaros H, Muñoz L. Relationship between exposure to heavy metals and chronic diseases: Case study from Chile. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041419>
40. Ray S, Vashishth R. Assessing the risk of consuming fish from Kanyakumari, India: Bioaccumulated heavy metals in fish species. *Toxicol Rep*. 2024; 13:101727. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101727>
41. Bisht N, Dhiman S, Jain HV, Ansari NG, Rana D, Singh D. Heavy metal bioaccumulation in fish: emerging trends and health implications. *Limnology*. 2025;1–24. <https://doi.org/10.1007/s10201-025-00808-6>
42. Ayala-Mosquera HJ. Chocó biogeográfico colombiano: extractivismo, carencias y sustentabilidad territorial. *Cienc Lat Rev Cient Multidiscip*. 2023;7(1):8080–99. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5030
43. Maghchiche A, Meghchiche N. Current awareness and knowledge of heavy metals: A short review. *Afr J Environ Sci Renew Energy*. 2024;16(1):17–29. <https://doi.org/10.62154/ajesre.2024.016.010373>
44. Toure AB, Diallo MS, Sidibe S, Bangoura ST, Grovogui FM, Diaby M, et al. Knowledge, attitudes, and practices on water pollution in artisanal mining areas, Guinea. *Front Public Health*. 2025; 13:1482032. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1482032>
45. FAO/WHO. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). *Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-second report*. Geneva: World Health Organization; 2011.
46. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal*. 2012;10(12):2985.

© 2026 – Vanesa Ramírez Bello, Natalia Bonilla Lizarazo, Katherine Ariza, Nelson Enrique Arenas, José Camilo Torres, Gina Polo Infante.



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). Use, distribution, or reproduction in other forums is permitted, provided that the original author and copyright owner are credited and the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution, or reproduction is permitted that does not comply with these terms.