

Roger Carvajal Saravia (ed.)

MERCURIO Y SALUD EN LA AMAZONIA BOLIVIANA

MERCURIO Y SALUD EN LA AMAZONIA BOLIVIANA

Estudio piloto sobre la exposición a mercurio y el estado de salud de mujeres de comunidades indígenas que habitan en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios, Bolivia

MERCURIO Y SALUD EN LA AMAZONIA BOLIVIANA

Estudio piloto sobre la exposición a mercurio y el estado de salud de mujeres de comunidades indígenas que habitan en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios, Bolivia

ROGER CARVAJAL SARAVIA, PHD (EDITOR)

CEDIB
Centro de Documentación e Información Bolivia

MERCURIO Y SALUD EN LA AMAZONIA BOLIVIANA:

Estudio piloto sobre la exposición a mercurio y el estado de salud de mujeres de comunidades indígenas que habitan en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios, Bolivia.

Editor

Roger Carvajal Saravia, PhD

Autores:

Roger Carvajal Saravia

Instituto SELADIS, Facultad de Ciencias Farmacéutica y Bioquímicas, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) Bolivia

Oscar Campanini

Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB)

Pablo Villegas

Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB)

Mery Limachi Alcon

Instituto SELADIS, Facultad de Ciencias Farmacéutica y Bioquímicas, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) Bolivia

Noemi Tirado,

Instituto de Genética, Facultad de Medicina, UMSA

Heidy Garcia

Instituto SELADIS, Facultad de Ciencias Farmacéutica y Bioquímicas, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) Bolivia

Erick Forton

Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB).

Colaboradores externos:

Jesús Olivero Verbel, Wilmer Peñates Hernández, Lucellys Sierra Márquez

Departamento de Toxicología, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

Colaboradores locales:

Jaime José Juanes Vera, Juan Carlos Escalante Melgar, Marvin Novo Ayala, Felipe Pérez Chavez

Hospital del Municipio de Rurrenabaque

Viviana Calle Tomicha, Mauren Danitza Cuba Cespedes, Guido Vargas Ardaya

Hospital del Municipio de Riberalta

Ninoska Sanchez

Laboratorio Su salud Primero, Rurrenabaque

Miguel Ángel Rollano

Laboratorio Manutata, Riberalta

Edición gráfica:

Enoé Aliaga Flores

Editorial:

LALIBRE Proyecto Editorial

Instituto SELADIS, Facultad de Ciencias Farmacéutica y Bioquímicas, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) Bolivia

Primera Edición: Junio de 2026

Depósito legal Nº: 2-1-6146-2026

ISBN: 978-9917-9760-9-7

La presente publicación ha sido posible gracias al apoyo de:

CEDIB Centro de Documentación e Información Bolivia

misereor GEMEINSAM GLOBAL GERECHT

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en Bolivia

astm ACTION SOLIDARITE TIERS MONDE

Dreikönigsaktion Hilfswerk der Katholischen Jungschar

Los contenidos de la presente publicación son de responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso debe considerarse que reflejan los puntos de vista de las entidades que lo auspician.

CONTENIDO

Prólogo 9
Presentación 11

PARTE 1

1. Mercurio y salud en la amazonia boliviana 15
2. Aspectos introductorios y contexuales 21
3. Población, materiales y métodos 33
4. Resultados y discusión 41

PARTE 2

Informe institucional complementario 115
Glosario de abreviaturas y siglas 117
Introducción 123
1. Información socio-demográfica 127
2. Valoraciones médicas 137
3. Análisis del extendido de sangre periférica 149
4. Evaluación hematológica automatizada 159
5. Perfil audiométrico 167
6. Concentración de mercurio en cabello y correlaciones con los parámetros estudiados 177

PRÓLOGO

La Amazonía boliviana, vasta y generosa en su riqueza natural y cultural, es también un territorio donde convergen profundas tensiones entre desarrollo, sostenibilidad y salud. En sus ríos —el Beni y el Madre de Dios— fluye no solo vida, historia y cosmovisión de los pueblos indígenas que los habitan, sino también las huellas de actividades humanas que hoy plantean serios desafíos para el bienestar de estas comunidades.

El presente libro, "Mercurio y Salud en la Amazonía Boliviana: Estudio piloto sobre la exposición a mercurio y el estado de salud de mujeres de comunidades indígenas que habitan en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios, Bolivia", constituye un aporte fundamental al conocimiento científico y social sobre una problemática tan compleja como urgente: la exposición al mercurio y sus efectos en la salud de poblaciones indígenas. A través de un enfoque riguroso, interdisciplinario y profundamente comprometido, esta obra pone en evidencia una realidad que no puede ser ignorada.

Más allá de los datos y análisis, este estudio nos interpela como sociedad. Nos invita a reflexionar sobre los costos invisibles del desarrollo no regulado, sobre la deuda histórica con los pueblos indígenas y sobre la necesidad de construir políticas públicas basadas en evidencia, justicia ambiental y respeto a la vida. La salud de estas comunidades no es un asunto aislado: es un indicador del equilibrio —o desequilibrio— entre nuestras acciones y los sistemas naturales que nos sostienen.

Este libro también es un reconocimiento al valor del conocimiento científico cuando se pone al servicio de la sociedad, y al trabajo comprometido de investigadores, instituciones y comunidades que han hecho posible este estudio. Su voz conjunta nos recuerda que la ciencia, cuando escucha y dialoga con los saberes locales, se convierte en una herramienta poderosa para la transformación.

Que esta publicación no solo informe, sino que movilice. Que contribuya a la toma de decisiones responsables, al fortalecimiento de la conciencia colectiva

y a la construcción de un futuro donde el desarrollo no comprometa la salud ni la dignidad de los pueblos que han sido guardianes ancestrales de la Amazonía.|

María Eugenia García Moreno, PhD.
Rectora
Universidad Mayor de San Andrés

PRESENTACIÓN

El abordaje científico de los grandes problemas que aquejan a la sociedad constituye una estrategia que permite contar con herramientas para la formulación de soluciones sostenibles e integrales y, en su caso, para interpelar al estado en la toma de decisiones. Es en esa línea de pensamiento que se dio lugar a este estudio que pretende establecer el efecto de la contaminación de los ríos amazónicos con el mercurio liberado por la minería del oro, sobre la salud de las poblaciones ribereñas de las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios, de manera particular sobre la población femenina. Para tal efecto, conjugaron sus esfuerzos entidades que orientan su labor a generar conocimiento para los necesarios procesos de desarrollo que exige el país. Participaron: la Universidad Mayor de San Andrés a través del Instituto SELADIS de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas y del Instituto de Genética de la Facultad de Medicina, con el amplio apoyo del Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB). También participó la Universidad de Cartagena (Colombia) a través de su Departamento de Toxicología Ambiental en calidad de colaborador externo en aspectos técnicos específicos y la colaboración de la CONTIOCAP (Coordinadora Nacional de Defensa de Territorios Indígenas Originarios Campesinos y Áreas Protegidas de Bolivia). Después de múltiples reuniones de coordinación entre investigadores y con las comunidades, los colaboradores y las autoridades locales, se definió el estudio en todos sus componentes, incluyendo trabajos de campo y de laboratorio. Una vez realizadas las tareas de investigación y obtenida la información buscada, se realizaron reuniones de devolución de resultados con cada una de las comunidades participantes y con las autoridades de las regiones. También se presentaron los resultados ante las autoridades académicas, de salud, de los organismos internacionales en salud, la comunidad científica, la prensa e invitados del parlamento.

Los resultados obtenidos se presentan en esta obra en dos partes. La primera incluye los antecedentes, el diseño de la investigación, los procedimientos y los resultados obtenidos en formato de articulo científico, respetando el correspondiente rigor metodológico, en la intención de tener como interlocutores críticos a la comunidad científica y a las autoridades sanitarias; también preten-

de constituirse en un instrumento suficientemente valido como para respaldar las demandas que la sociedad civil interponga, en la perspectiva de resolver la problemática que dio lugar al estudio. La segunda parte, en formato de informe científico institucional, complementa extensamente a la parte primera, desplegando la ejecución del proyecto. Incluye, por un lado, los aspectos sociodemográficos de la población examinada y, por otro, los elementos que se encontraron en lo relacionado con la salud, en la intención de formar una idea sobre la situación de las comunidades en lo referente a las carencias y situación de desatención en la que se encuentran, aspectos que, con seguridad, inciden en la afectación que puede generar la contaminación con el mercurio. Asimismo, en esta parte se incorporan consideraciones teóricas y se muestran detalles operativos de los métodos y pruebas ejecutados para cuya explicitación en algunos casos se repiten algunas figuras y tablas incluidas en la primera parte. También se exponen las tablas de condensación de los resultados obtenidos.

PARTE 1

1 MERCURIO Y SALUD EN LA AMAZONIA BOLIVIANA

Resumen

Se han reportado numerosos estudios sobre la contaminación de la fauna piscícola y de las poblaciones ribereñas de los ríos amazónicos con mercurio proveniente de las operaciones mineras existentes en la región del subandino. Sin embargo, los estudios del impacto sobre la salud son pocos y la información generada se orienta sobre todos a los aspectos clínicos. En este trabajo, después de caracterizar el nivel de contaminación de la cuenca del río Beni y del río Madre de Dios a través de la medición de los niveles de mercurio en el músculo de diferentes especies de peces y en el cabello de los pobladores de diferentes comunidades que habitan las riberas de estos ríos o sus tributarios, se examinaron diferentes parámetros de la salud de mujeres voluntarias en edad reproductiva, de cada comunidad. Este estudio examinó múltiples parámetros clínicos, de gabinete y de laboratorio en el grupo que se consideró especialmente vulnerable por su alta misión en la reproducción humana en sus comunidades. Tal estudio se considera piloto ya que tiene la perspectiva de continuar en la población más vulnerable*: los niños.*

El estudio incluyó: la recuperación de información de orden clínico, a través de un examen físico y la elaboración de una historia clínica digitalizable, la ejecución de exámenes de gabinete sobre agudeza auditiva, la toma de muestra de cabello para determinar mercurio y la toma de muestras de sangre para examinar parámetros hematológicos, bioquímicos y genotoxicológicos.

Se encontró una significativamente elevada concentración de mercurio en los peces de ambas cuencas, siendo drásticamente mayor en las especies carnívoras. También se encontró elevada concentración de mercurio en el cabello de voluntarios de las comunidades estudiadas siendo significativamente más elevada en los pobladores de las comunidades de la cuenca del río Beni. El elevado nivel de mercurio en el cabello de las mujeres de las comunidades del río Beni, en comparación con las del río Madre de Dios, fue asociado al preferente consumo de pescados carnívoros por dicha población, especies que son parte de la contaminación por mercurio en la cadena alimentaria ictícola. La medición de biomarcadores de laboratorio mostro la existencia de diferentes afectaciones, siendo los más resaltables: 1.- Trastornos en la serie roja de la sangre con evidente *eriptosis* (más del 80% de las mujeres), microcitosis, hipocromía, anisocitosis a expensas de poiquilocitosis, alteraciones propias del efecto del mercurio en la serie eritrocítica. 2.- afectación del funcionamiento del hígado en porcentajes importantes de las mujeres, en las que se encontró concentraciones francamente superiores a los límites de referencia de: la fosfatasa alcalina (52-60%,), la gama-glutamil-transferasa (20-34%), de la Transaminasa glutámico oxal-acética (12-20%), la transaminasa glutámico-pirúvica, y la bilirrubina directa y total en limites altos y en exceso (24%). 3.- elevado porcentaje de mujeres (en comparación con la población abierta) en riesgo cardiocirculatorio por tener bajos niveles de HDL colesterol (44-51%), elevados niveles de triglicéridos y colesterol (22-37%) y elevada concentración sérica de Deshidrogenasa láctica (14-24%). También se encontró que el 60% de las mujeres de la cuenca del río Madre de Dios exhiben algún grado de genotoxicidad examinada en linfocitos circulantes. Todas las afectaciones encontradas son compatibles con la intoxicación crónica con mercurio, según múltiples reportes al respecto.

Entre los datos clínicos más relevantes, destacan las cefaleas, los mareos, la fatiga, las diarreas, pérdida de memoria y otros en porcentajes drásticamente más altos que en la población abierta, todos datos compatibles con las alteraciones encontradas en los marcadores bioquímicos. Del 20 al 23% de las mujeres sufrían trastornos de la agudeza auditiva, el 25 % tenían presión arterial S,D o SyD alta y más del 80% tenían sobrepeso u obesidad franca, efectos compatibles con la intoxicación crónica por mercurio; el elevado porcentaje de abortos espontáneos, comparado con la población abierta, es compatibles con la existencia de efectos embriotóxicos causados por el mercurio.

En general, las alteraciones mayores, con diferencias estadísticas significativas, se vieron en las comunidades de la cuenca más contaminada, la del río Beni (5.18 ± 4.54 μg/g de mercurio en cabello) en comparación con la cuenca del río Madre de Dios (3.26 ± 1.65 μg/g; por la prueba T valor la *p* fue de 0.006 y el IC de 96% para la diferencia 0.577; 3.268)

Se concluye que los elementos encontrados muestran que existe importante afectación en la salud en porcentajes significativos de la población examinada. Tales impactos, asociados a las deficientes condiciones de vida (dieta pobre en micronutrientes y vitaminas, deficiente higiene oral, inhalación de humo derivado de la quema de biomasa y otros) se constituyen en un conjunto de factores que determinan un significativo daño a la salud generado, tanto por los impactos causados por la actividad extractiva de agentes mineros como por las condiciones de vida de las poblaciones indígenas de la amazonia

Abstract

Numerous studies have reported on the contamination of fish populations and riverside communities along Amazonian rivers with mercury from mining operations in the sub-Andean region. However, studies on the health impact are few, and the information generated is primarily focused on clinical aspects. In this study, after characterizing the level of contamination in the Beni and Madre de Dios river basins by measuring mercury levels in the muscle tissue of different fish species and in the hair of residents from various communities living along the banks of these rivers and their tributaries, different health parameters were examined in female volunteers of reproductive age from each community. This study examined multiple clinical, diagnostic, and laboratory parameters in the group considered especially vulnerable due to their crucial role in human reproduction within their communities. This study is considered a pilot project, with the intention of continuing the research with the most vulnerable population: children.

The study included: the collection of clinical information through a physical examination and the creation of a digital medical record; laboratory tests for hearing acuity and visual field; hair sampling to determine mercury levels; and blood sampling to examine hematological, biochemical, and genotoxicological parameters.

A significantly high concentration of mercury was found in fish from both river basins, being drastically higher in carnivorous species. High concentrations of mercury were also found in the hair of volunteers from the studied communities, being significantly higher in residents of the communities in the Beni River basin. The high level of mercury in the hair of women from the Beni River communities, compared to those from the Madre de Dios River, was associated with the preferential consumption of carnivorous fish by this population, species that are part of the mercury contamination in the fish food chain. Laboratory biomarker measurements revealed various impairments, the most notable being: 1. Red blood cell abnormalities with evident erythrosis (more than 80% of women), microcytosis, hypochromia, and anisocytosis with a predominance of poikilocytosis, alterations characteristic of mercury's effect on the erythroid series. 2. Liver dysfunction was observed in a significant percentage of women, with concentrations clearly exceeding reference limits for: alkaline phosphatase (52-60%), gamma-glutamyl transferase (20-34%), aspartate aminotransferase (12-20%), alanine aminotransferase (ALT), and direct and total bilirubin at high and excessive levels (24%). 3. A high percentage of women (compared to the general population) are at cardiovascular risk due to low HDL cholesterol levels (44-51%), elevated triglyceride and cholesterol levels (22-37%), and elevated serum lactate dehydrogenase levels (14-24%). It was also found that 60% of women in the Madre de Dios River basin exhibit some degree of genotoxicity, as measured by circulating lymphocytes. All of these findings are consistent with chronic mercury poisoning, according to multiple reports on the subject.

Among the most relevant clinical data are headaches, dizziness, fatigue, diarrhea, memory loss, and other symptoms, occurring at significantly higher percentages than in the general population. These findings are consistent with the alterations observed in the biochemical markers. Between 20 and 23% of the women suffered from hearing impairment, 25% had high blood pressure (S, D, or S, D), and more than 80% were overweight or obese—effects consistent with chronic mercury poisoning. The high percentage of spontaneous abortions, compared to the general population, is consistent with the existence of embryotoxic effects caused by mercury.

In general, the most significant alterations, with statistically significant differences, were observed in the communities of the most polluted basin, the Beni River basin (5.18 ± 4.54 μg/g of mercury in hair), compared to the Madre de Dios River basin (3.26 ± 1.65 μg/g; the p-value in the t-test was 0.006, and the 96% confidence interval for the difference was 0.577–3.268).

It is concluded that the findings show significant health impacts on a substantial percentage of the population examined. These impacts, associated with poor living conditions (diet low in micronutrients and vitamins, inadequate oral hygiene, inhalation of smoke from biomass burning, and others), constitute a set of factors that determine significant health damage caused both by the impacts of mining activities and by the living conditions of the indigenous populations of the Amazon.

2 | ASPECTOS INTRODUCTORIOS Y CONTEXUALES

Antecedentes

El mercurio, ha sido utilizado desde la época de la colonia para recuperar plata desde menas argentíferas y oro de rocas o sedimentos finos. Se aprovecha su argentofilia y aureofilia y para capturar el metal precioso desde el mineral triturado y conformar con él una amalgama de la que luego es eliminado por calentamiento y volatilización (Hinojosa Carrasco Octavio., 2016). Dicho material puede ser inhalado por quien efectúa tal actividad o por sujetos del entorno inmediato, que se contaminan por vía respiratoria la cual es una ruta efectiva para el ingreso de mercurio metálico al organismo. Las otras vías de ingreso al organismo en forma de mercurio orgánico son la digestiva (por ingestión de alimentos contaminados) y la piel, por contacto directo (Król-Pakulska, E. y Pakulski C., 2017).

En épocas recientes la explotación de oro en la región subandina incide mayormente sobre los depósitos de oro aluvial y coluvial en los sedimentos o laderas de los ríos de la cuenca amazónica que drena de la región cordillerana del norte de La Paz. Ésta ha variado en cuanto a sus procedimientos imponiéndose la amalgamación con mercurio en gran parte de las regiones. Dicho metal se deposita en el suelo o en cuerpos de agua, de los cuales se vierte por percolación a los ríos en los que ingresa a la cadena alimentaria hasta llegar al consumidor humano.

Efectos del mercurio en la salud:

Existen múltiples estudios y reportes sobre los efectos del mercurio en la salud, desde que su uso se incrementó en diversos procesos industriales,

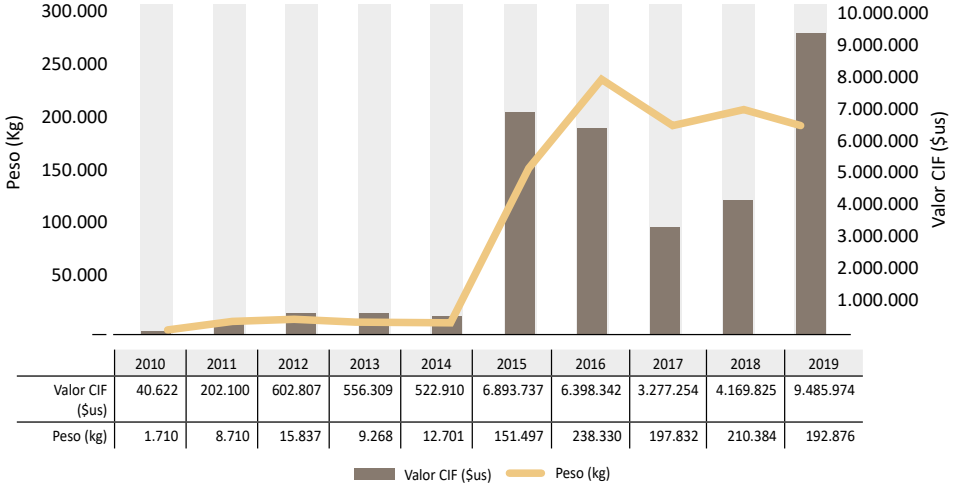
médicos y otros vinculados a la contaminación alimentaria. Una visión global sobre el tema nos muestra que el mercurio tiene efectos tóxicos en múltiples sistemas del cuerpo humano, incluso en concentraciones bajas (extensamente revisado por Charkiewicz A. E. y cols. 2025). Dependiendo de la forma molecular del mercurio, de la vía de ingreso, de la dosis y del tiempo de exposición, se ha reportado diferentes formas y grados de afectación. En el Sistema Nervioso: trastornos neurológicos y conductuales, temblores, pérdida de memoria, insomnio, ansiedad, depresión, neuropatía periférica, cambios de personalidad, dificultad para concentrarse y alucinaciones, daño cerebral y riesgo de enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y Parkinson, problemas en el desarrollo neurológico en niños expuestos antes del nacimiento entre los que destacan los trastornos en la esfera cognitiva y otros asociados al síndrome de Minamata, revisados ampliamente por Kang B. y cols.(2023), incluyendo los mecanismos moleculares y genéticos involucrados en el daño. En el Sistema Cardiovascular: variabilidad del ritmo cardíaco, hipertensión, aterosclerosis, cardiomiopatía, infarto de miocardio y accidentes cerebrovasculares; también se ha reportado: disfunción endotelial por eriptosis y riesgo de trombosis; en el Sistema Respiratorio se ha observado reacciones inflamatorias en los pulmones y vías respiratorias con reducción de la función pulmonar, dificultad para respirar, neumonía, bronquitis y fibrosis pulmonar; en casos graves, insuficiencia respiratoria y muerte. En el Sistema Digestivo son frecuentes: el dolor abdominal, vómitos, úlceras estomacales, diarrea sanguinolenta y necrosis de la mucosa intestinal; también se ha reportado alteraciones importantes de la flora intestinal y función hepática. En cuanto al Sistema Reproductivo, se han descrito casos de disminución de la fertilidad. con disfunción eréctil y alteración de la espermatogénesis, en hombres, y disfunción ovárica, menstruaciones irregulares, menopausia prematura y abortos espontáneos, en mujeres. El hecho de que el mercurio atraviese la barrera placentaria incide en el riesgo de bajo peso al nacer, partos prematuros y malformaciones congénitas. En cuanto al Sistema Locomotor se ha reportado pérdida de densidad ósea, osteoporosis y defectos óseos; asimismo la intoxicación crónica con mercurios se ha asociado con enfermedades del tejido conectivo como esclerosis sistémica y fibromialgia. (Ha, E. y cols., 2017) (Król-Pakulska, E. y Pakulski, C., 20017).

En el Sistema Inmunológico, existen múltiples reportes sobre la exacerbación de procesos de inflamación sistémica y local, con aumento de la incidencia de enfermedades autoinmunes como artritis reumatoide y lupus; también se han visto casos de disminución de la defensa inmunitaria (Bjørklund G. y cols.2020) (Pollarda M.K. y cols., 2019). Asociado a lo anterior se ha reportado la existencia de Genotoxicidad y proliferación celular anormal, asociadas con procesos neoplásicos, particularmente con cánceres de riñón, hígado, estómago, tiroides, colon, próstata, mama, piel y pulmón. En la piel existe riesgo por productos cosméticos que contienen mercurio y como efecto del contacto se observa enrojecimiento, erupciones, inflamación facial y sudoración excesiva. También se ha observado daño al cabello: sequedad, fragilidad y caída.

Los aspectos moleculares involucrados en los mecanismos de acción incluyen, entre otros, el estrés oxidativo, la disfunción mitocondrial y la alteración de la regulación genética, a través de su interacción con proteínas, preferentemente enzimas, cuyo sitio activo tiene radicales disulfuro, a los cuales se acopla por interacciones electrostáticas e interfiere, por tanto, con su funcionamiento (Akther Rupa S. y cols., 2023). La sustitución del selenio por el mercurio en la selenoenzimas (Glutation-peroxidasa y thioredoxin-reductasas) encargadas de reducir la carga oxidativa y su inhibición es uno de los mecanismos mayores de toxicidad en diferentes tejidos y a nivel neurológico (Ralston NVC. y Raymond LJ., 2018). En ese marco, también se genera daño celular y apoptosis en tejidos como el páncreas y riñones.

El mercurio en Bolivia

Si bien su uso fue importante en la colonia (azogue), éste se hizo masivo a partir del 2016, tal como se aprecia en la figura 1, donde se muestra la dinámica de la importación a Bolivia. Este súbito incremento tiene que ver con la necesidad de extraer oro aluvional en partículas finas mezcladas con la tierra y otros minerales.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Valor CIF ($us)	40.622	202.100	602.807	556.309	522.910	6.893.737	6.398.342	3.277.254	4.169.825	9.485.974
Peso (kg)	1.710	8.710	15.837	9.268	12.701	151.497	238.330	197.832	210.384	192.876

Figura 1 Precio y valor de las importaciones de mercurio a Bolivia, desde 2010. Fuente: Campanini Oscar CEDIB (2022).

Bolivia es el décimo productor de oro en el continente americano, respondiendo por el 2,23% del total el 2020.[1] Sin embargo, desde el 2015 se ha convertido en el principal importador legal de mercurio en el mundo con el 22,2% del total (1.356 ton) y en Latinoamérica con el 62.3% de las importaciones continentales en el periodo 2015-2022.[2] Esta diferencia entre el mercurio importado y la producción de oro (que es el único uso de mercurio en Bolivia), muestra que este país se ha convertido en un canal de contrabando de mercurio hacia otros países de la región, pero al mismo tiempo, el notable crecimiento de la producción aurífera en el país hace suponer que las cantidades de mercurio que están siendo dispersadas en el medio ambiente son fuente ampliada de contaminación a la población.

Por otro lado, Bolivia es parte del Convenio de Minamata, firmado el 10/10/2013 y ratificado el 17/11/2015 (Ley N°759), sin embargo, las acciones que ha realizado

1 Harvard Dataverse [Internet]. Growth Projections and Complexity Rankings, V2. 2019 [consultado el 12 agosto 2023]. Disponible en: doi: https://doi.org/.10.7910/dvn/xtaqm

2 International Trade Center (ITC) [Internet]. Trade Map. Trade statistics for international business development; 27 de junio de 2023 [consultado el 10 agosto 2023]. Disponible en: https://www.trademap.org/Index.aspx

para su implementación han sido mínimas, lo cual ha sido reconocido y reclamado por importantes instituciones internacionales y nacionales.

Ya en el 2014, en el Ministerio de Relaciones Exteriores y el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia[3] compilaron los resultados de múltiples estudios que dieron cuenta de altos niveles de mercurio, especialmente en los pueblos indígenas Esse Ejja (9.8 µg/g) y Tacanas. En la parte baja de los ríos Beni y Madre de Dios, la misma compilación dio cuenta de promedios de 3,2 ppm (2006), 6 ppm (2004). Como resultado, sobre la base del mapa metalogénico de Bolivia que muestra la incidente presencia de operaciones mineras en las cuencas del río Beni y Madre de Dios (Fig. 2ª)[3], el documento mencionado generó el mapa de vulnerabilidad potencial a la contaminación por el mercurio: son los márgenes de los ríos de la cuenca amazónica del norte del Departamento de La Paz las más afectadas. Recientemente la minería artesanal del oro aluvial se ha asentado con preferencia en la zona subandina de los ríos Beni y tributarios, al igual que el Madre de Dios incrementando drásticamente la vulnerabilidad de la población ribereña.

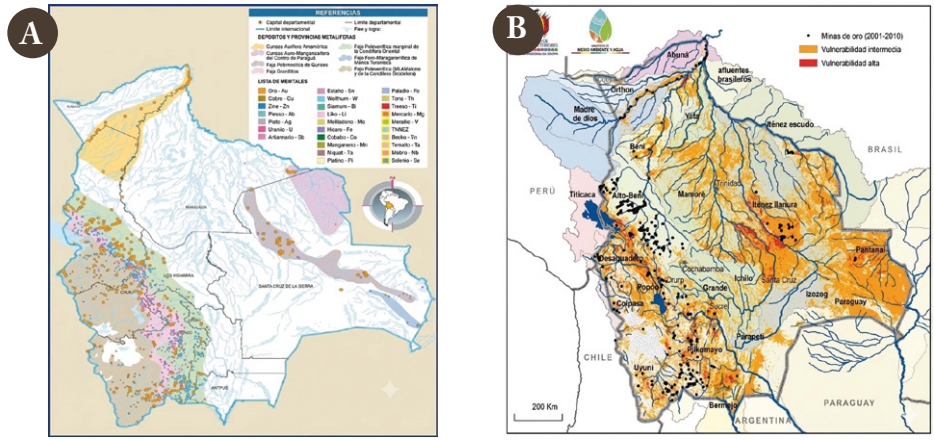


Figura 2. A: Mapa metalogénico de Bolivia, Fuente: CEDIB 2015.
B: Mapa de vulnerabilidad potencial a la contaminación por el mercurio. Fuente: Min. RREE y MMAA, 2014.

3 CEDIB. (2015). Atlas minero de Bolivia. Cochabamba: CEDIB.

En septiembre del 2021, *los Relatores Especiales de Naciones Unidas sobre las sustancias tóxicas y derechos humanos y sobre pueblos indígenas* manifestaron mediante una comunicación oficial sus preocupaciones al Estado boliviano, por los impactos graves generados en los "derechos humanos de poblaciones afectadas por la contaminación por mercurio, incluyendo a miembros de los pueblos indígenas que dependen del medio ambiente para sostener su vida, salud e identidad cultural" (Orellana y Cali, 2021).

De igual manera, la Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) en marzo del 2022 realizó la audiencia denominada "Situación de los derechos humanos de los pueblos indígenas en el contexto de las actividades" en la que la sociedad civil manifestó sus preocupaciones en términos de vulneraciones de derechos humanos por la utilización del mercurio para la minería aurífera en este país. En su visita a Bolivia a fines de marzo del 2023, la CIDH también recibió información relacionada con los impactos del mercurio y manifestó, en su informe preliminar, su preocupación por "la contaminación hídrica y sus impactos en la salud por minería y uso indiscriminado de mercurio".[4]

En mayo del 2022, la Defensoría del Pueblo de Bolivia publicó un informe defensorial acerca del cumplimiento del convenio de Minamata en Bolivia, donde concluye que: *El Estado Plurinacional de Bolivia no ha establecido las condiciones materiales, técnicas y económicas para proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones antropogénicas de mercurio en el país de acuerdo a las obligaciones suscritas mediante Ley N° 759 de 18 de noviembre de 2015, a través de la cual se ratificó el Convenio de Minamata sobre el Mercurio* […]. El derecho humano a la salud de los pueblos indígenas y los actores mineros expuestos a las liberaciones de mercurio requiere de la atención del Estado a partir de definición de protocolos de atención médica especializada respecto a la contaminación por mercurio, que incluya diagnósticos pertinentes, atención oportuna y acceso a pruebas de laboratorio en las propias zonas o regiones donde se efectúa la actividad minera […].[5]

En este orden, es destacable el caso del pueblo indígena Esse Ejja que corre el riesgo de extinción física y cultural debido a las evidencias de contaminación

4 Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) [Internet]. Observaciones preliminares de la visita in loco a Bolivia. La Paz: CIDH-OEA; 31 de marzo de 2023. Disponible en: https://shorturl.at/sxAFO

5 Defensoría del Pueblo del Estado Plurinacional de Bolivia [Internet]. Informe defensorial: Estado de implementación y cumplimiento del Convenio de Minamata sobre el mercurio (2017-2022). La Paz: Defensoría del Pueblo del Estado Plurinacional de Bolivia; 2020. pp. 122-124. Disponible en: https://acortar.link/NPpFVy

por mercurio en su población. Los estudios de muestras de cabello realizados desde finales de los años 90 hasta el más reciente estudio del año 2021 reflejan un aumento en el nivel de mercurio acumulado en el cuerpo de sus miembros a causa del consumo de pescado. Debido a ello, los indígenas Esse Ejja se ven en la necesidad de migrar a otros centros urbanos ante la reducción de la cantidad de peces que son la parte más importante de su dieta; pero, además, las afecciones a su salud ocasionadas por el aumento de mercurio en sus organismos podrían no estar siendo debidamente diagnosticadas debido a que otras patologías estomacales o respiratorias estarían ocultando en alguna medida las afecciones causadas por la exposición al mercurio.

La sociedad civil boliviana ha demandado acciones desde el 2021,[6] al igual que organizaciones nacionales e internacionales de derechos humanos. Las comunidades afectadas por los impactos del mercurio denunciaron esta afectación a lo largo de estos años, llegando a ser esta preocupación por la salud planteada también por autoridades del propio gobierno.[7]

Estudios previos

Existen abundantes estudios sobre la contaminación minera de los ríos de las tres cuencas principales de Bolivia, pero solo algunos están dedicados a los efectos en el medio ambiente y la alimentación, con sus consecuencias sobre la salud humana. El contaminante minero más importante, tanto por su toxicidad como por su magnitud creciente, es el mercurio que libera la minería artesanal del oro. Son los tributarios andinos de la cuenca amazónica, ríos Beni, Madre de Dios y (en medida aun no suficientemente cuantificada) el Mamoré, los que reciben la mayor cantidad de mercurio debido a que en sus riberas y en las de sus tributarios la explotación de oro aluvial libera a los cuerpos de agua y suelos este metal pesado (Roulet M. y cols., 2001) (López Siangas E.I., 2005) (Carvajal R., 2025).

El estudio más temprano fue el realizado por Maurice-Bourgoin et al, publicado en 1999, en el río Beni y afluentes, que mostro la existencia de mercurio

6 Mendoza S. LatinClima [Internet]. En Bolivia un río contaminado con mercurio enferma a comunidades indígenas; 16 de marzo de 2022. Disponible en: https://shorturl.at/iAKSX

7 Erbol Noticias [Internet]. Coordinadora indígena presenta carta a Arce para denunciar afectaciones por el mercurio; diciembre 9de 2021. Disponible en https://shorturl.at/cqAT5
Gil K. Debates Indígenas [Internet]. El lento envenenamiento de los indígenas Lecos por mercurio en Bolivia; 1 de septiembre de 2021. Disponible en: https://shorturl.at/nwCT9
Agencia de Noticias Fides (ANF). [Internet]. Silva sobre venta libre de mercurio en La Paz: Nos preocupa los efectos de la contaminación; 5 de abril de 2023. Disponible en: https://shorturl.at/aptBF

libre y asociado en las aguas de los tributarios amazónicos ubicados río abajo de las minas de oro del norte de La Paz. La presencia en sedimentos fue baja cerca de las minas y más altas en los transcursos de pie de monte (Rurrenabaque) donde la velocidad de los caudales de agua es menor y permite la sedimentación. El mercurio detectado en el músculo de peces mostró la importante diferencia entre especies carnívoras/omnívoras con las herbívoras e insectívoras. Investigaciones más recientes mostraron que estas diferencias tienen que ver también con el peso de los pescados, lo cual muestra el grado de bioacumulación en los carnívoros (Figura 3, que incluye una lista de peces según su alimentación).

A

PECES CARNÍVOROS DEL AMAZONAS

- La Payara (Hydrolycus scomberoides)
- El Dorado (Salminus brasiliensis)
- La Cachama (Colossoma macropomum): Aunque omnívora en su etapa juvenil, de adulta se convierte en una máquina de comer peces.
- El Tucunaré (Cichla ocellaris).
- El Pez lobo (Hoplias malabaricus).
- El Sábalo (Prochilodus lineatus).
- La Piraña (Serrasalmus).

PECES HERBÍVOROS DEL AMAZONAS

- El Pacú (Piaractus brachypomus).
- El Tambaqui.
- La Arawana (Osteoglossum bicirrhosum).
- La Mojarra (Aequidens pulcher).
- La Carachama (Brycon orbignyanus).

PECES OMNÍVOROS (COMEN DE TODO)

- El Bagre (Pseudoplatystoma fasciatum).
- El Salmón (Salmo salar): Aunque es una especie introducida, el Salmón se ha adaptado a las aguas del Amazonas.
- El Pez gato (Siluriformes).
- El Bocachico (Prochilodus nigricans)

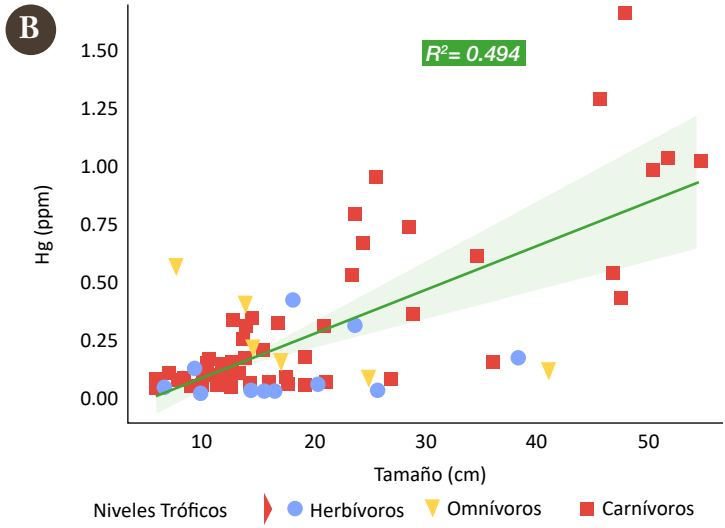


Figura 3. A. -Listas de peces amazónicos según su alimentación. B. - Muestra la correlación entre el peso y niveles de mercurio. Fuente: Garcia Vernatus y cols. (2023)

También se mostró la contaminación presente en el cabello de habitantes locales siendo los de niveles mayores las correspondientes a las comunidades indígenas preferentemente consumidores de pescado, con niveles del orden de 10.5 µg/g, en promedio.

En las dos últimas décadas se realizaron varios estudios que dan cuenta de los altos niveles de mercurio total en personas a lo largo de los principales ríos amazónicos en Bolivia tales como el río Beni y el río Madre de Dios. Varios estudios arrojaron como resultado altos índices de mercurio en la Amazonía boliviana: en sedimentos (Maurice-Bourgoin L. y cols. 2002 y Maurice-Bourgoin L y cols 2003), donde ocurrían los procesos de metilación (Achá D. y cols. 2005, Achá D. y cols 2011 y Molina CI y cols. 2010) y la consecuente presencia de mercurio en peces (Paco P. y cols. 2008, Pouilly M. y cols. 2012 y Pouilly M. y cols. 2013).

Existen otros estudios que ratifican la presencia de mercurio en población ribereña en la Amazonía boliviana con índices por encima de lo permitido. Así, Paco. Y cols (2008) identificaron un promedio de 2,98 µg/g en cabello en 301 individuos en el río Itenez, Blando y Paraguá. Por su parte, el estudio de Benefice y cols. (2010) da cuenta de un promedio de 4,4 µg/g en 170 mujeres a lo largo del

río Beni, 14,7% de las cuales presentaban un valor superior a 10. En el caso de las mujeres Esse Ejjas, presentaron 10.26 ± 4.19 μg/g de Hg en cabello; se identificó prevalencia de anemia (22,3%) y las pruebas neurológicas mostraron reducción del campo visual (14%) presencia de parestesia (12%) alteraciones en el equilibrio (31%) y alteraciones de la coordinación motora (dismetría y adiadococinesis) en el 14%; no hubo casos de temblor (mano o lengua) ni nistagmo: al menos 5% de las mujeres de la muestra produjeron respuestas anormales. Comparando niveles de Hg por debajo o por encima de 5 μg/g, en dos casos se encontró que la parestesia y las alteraciones en el equilibrio estático ocurrieron más frecuentemente en las mujeres contaminadas. Los niveles de Hg fueron más bajos en las mujeres embarazadas que en las que no estaban embarazadas, pero esto fue inverso en las mujeres lactantes que tenían niveles de Hg más altos que las mujeres que no amamantaban. Las mujeres que habían perdido a sus hijos presentaban niveles más altos de Hg que las que no lo habían hecho.

Uno de los estudios publicados más recientemente, el de Bell y Evers en el 2021, reveló que muestras de cabello de mujeres indígenas entre 18 y 44 años del grupo Esse Ejja, de las comunidades de Eyiyo Quibo y Portachuelo, a lo largo del río Beni, presentaron niveles promedio de 7,58 ppm con máximos de más de 30 ppm. Todo lo anterior muestra la grave situación de exposición-contaminación-intoxicación crónica de la población que habita las diferentes cuencas de la amazonia boliviana.

Planteamiento del Problema

Si bien se conocen los efectos del mercurio en la salud de los sujetos que se exponen y se contaminan, estos efectos son dependientes de muchos factores, entre los que destacan:

- tiempo, dosis y forma (vía) de exposición.
- condiciones del sujeto (edad, nutrición, agotamiento físico, otras patologías, etc.).
- condiciones del entorno (contaminación atmosférica, estrés, parasitosis).
- estructura molecular del mercurio (orgánico, metálico, iónico, etc.)

Por lo anterior, la expresión clínica puede ser muy variada; tanta, que va desde daños severos hasta condiciones clínicas de aparente normalidad. No se conocen estas características en la población expuesta (mujeres y niños) en las

cuencas más afectadas por la presencia de mercurio y la minería artesanal de oro: las de los ríos Beni y Madre de Dios.

Para conocer lo anterior, es necesario determinar, en primera instancia, la presencia del mercurio tanto en los pobladores de las comunidades de ambas cuencas afectadas. como en las fuentes intermediarias de la contaminación, es decir en los peces que, a su vez, son parte de la cadena trófica que se inicia con las bacterias metiladoras de los cuerpos de agua contaminados con mercurio. Una vez caracterizada esta situación, conociendo la frecuencia y nivel de contaminación en cada comunidad, se planteó conocer qué aspectos de la salud de las mujeres expuestas al mercurio a través del consumo de pescado contaminado de los ríos Beni y Madre de Dios se ha modificado. Tal condición se la determinó examinando, tanto los cambios en los marcadores de laboratorio clínico, que son expresión en sangre del daño en diferentes órganos y sistemas (afectación del hígado, del riñón, del sistema cardiovascular, de las células de la sangre, del material genético de las células y de ciertos componentes del sistema endocrino), como el perfil clínico determinado a través de cuestionarios expresos y exámenes de gabinete.

Ruta Crítica y Diseño de la Investigación

Este trabajo correspondió a un estudio observacional, piloto y de corte transversal, desarrollado durante 2023 y 2024 en comunidades indígenas de la Amazonía boliviana ubicadas en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios. Por cercanía a centros poblados, la logística de entrevistas, valoraciones clínicas y entrega de muestras ocurrió en Rurrenabaque y Riberalta. La evaluación priorizó mujeres adultas, dada su vulnerabilidad biológica y social frente a la exposición a mercurio y el posible impacto sobre embarazo y lactancia.

La posibilidad de hacer un estudio comparativo con otras comunidades control (no expuestas), fue desestimada por la inexistencia de cuencas no contaminadas en la hidrografía de Bolivia (Carvajal R. 2015).

En una primera fase se procedió a determinar el nivel de mercurio en el cabello de voluntarios de las comunidades seleccionadas en ambas cuencas y en los pescados que son de ingesta habitual en las mismas según lo que se muestra en la Figura 4. En la segunda fase se procedió a indagar sobre el estado de salud de las mujeres de dichas comunidades, bajo el criterio de que este segmento poblacional es relativamente vulnerable por su papel de la reproducción y el cuidado de la vida. (ver Figura 5) Esta fase es preparatoria de otro estudio (en diseño) que apunta a

determinar el grado de afectación en los niños, particularmente en lo referente la esfera cognitiva y de desarrollo neuro psíquico, a través de estudios especializados.

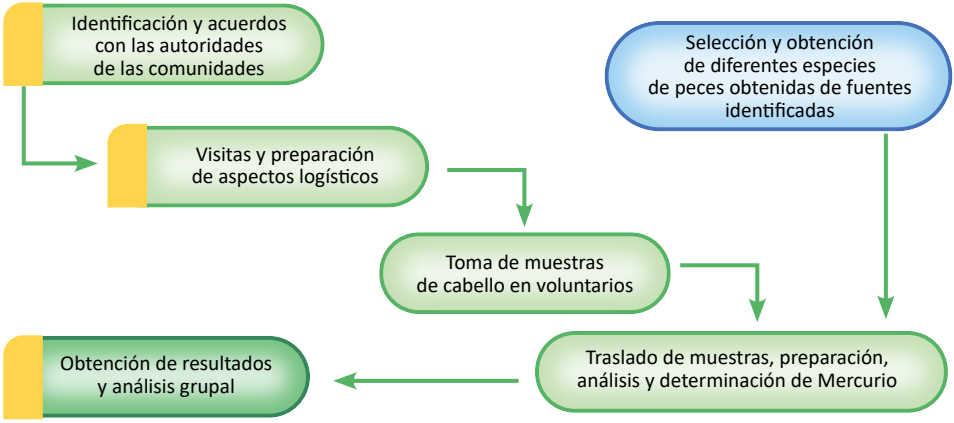


Figura 4. Esquema de las acciones de la Fase I: Determinación de mercurio en voluntarios de las comunidades de las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios y en pescados de dichas cuencas.

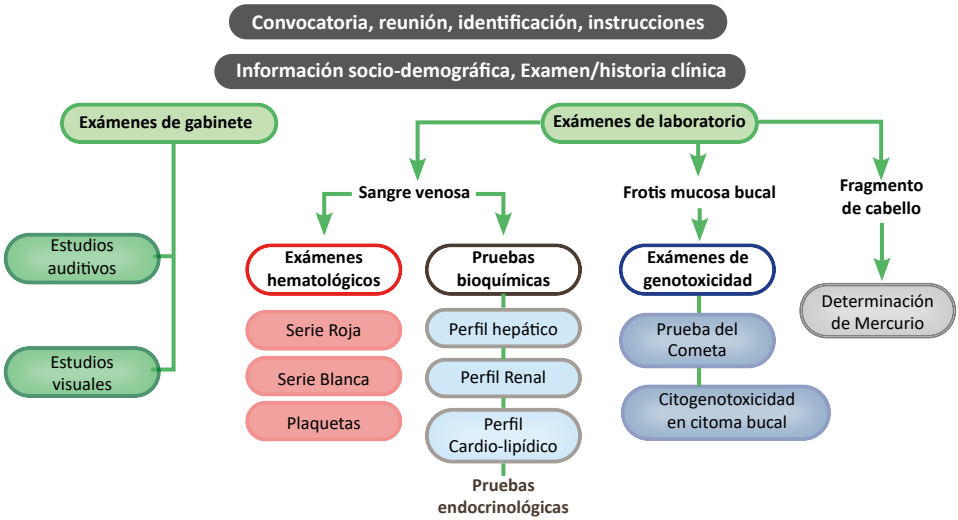


Figura 5. Esquema de las acciones ejecutadas en la Fase II: Evaluación de parámetros bioquímicos y clínicos de mujeres expuestas al mercurio en las comunidades participantes

3 | POBLACIÓN, MATERIALES Y MÉTODOS

Población

En interacción con la Coordinadora Nacional de Defensa de Territorios Indígenas Originarios Campesinos y Áreas Protegidas (*CONTIOCAP*), la TCO Tacana II, la TCO TIM II y el CEJIS, se seleccionaron comunidades con población indígena asentadas en las riberas de los ríos Beni y Madre de Dios o de sus afluentes, sobre la base tanto del criterio de su conexión con centros de explotación minera del oro, por estar ubicadas río abajo de tales acciones de explotación, como por los antecedentes de estudios previos sobre el impacto del mercurio en tales comunidades. Se realizaron visitas y contactos con las organizaciones y la población para la explicación del proyecto y sus procedimientos, así como la firma del consentimiento informado.

Para la fase 1 se identificaron voluntarias y voluntarios de ambos sexos siendo los únicos criterios de selección: el que habiten en la comunidad y su predisposición

Para la fase 2 se incluyó en el grupo solo a mujeres que participaron en la fase 1, siendo los criterios de selección, los siguientes: Ser mujer mayor de 18 años, haber participado en los muestreos previos de medición de Hg, obteniendo un valor por encima de lo permitido (>1 ppm), haber sido informada y comprendido correctamente la información sobre el estudio y tener un tiempo de residencia mínimo de un año en el área de estudio. Los criterios de exclusión fueron: no estar de acuerdo con el estudio o las pruebas a realizarse, presentarse a la toma de pruebas bajo efectos del consumo de drogas o alcohol y no comprender a cabalidad el objetivo del estudio y/o albergar expectativas infundadas

Se obtuvo el Aval Bioético del Comité Nacional de Ética de la Investigación (Bolivia. Res. CNB/CEI 05/2023), después de cumplir con todos los requerimientos y antes de iniciar acciones de toma de muestras. Asimismo, las actividades del proyecto estuvieron avaladas en su componente ético por el Comité de Ética de la Universidad de Cartagena (Acta 167-30-10-23-1-1).

La toma de muestras fue realizada en ambiente preparado para dicha tarea en la ciudad de Rurrenabaque para los voluntarios de las comunidades de la cuenca del río Beni y en la ciudad de Riberalta para lo de la cuenca del río Madre de Dios. *Por tal razón de aquí en adelante nos referiremos como Rurrenabaque a las comunidades del río Beni y Riberalta a las del Madre de Dios*

Pescados

En interacción con la Coordinadora Nacional de Defensa de Territorios Indígenas Originarios Campesinos y Áreas Protegidas (*CONTIOCAP*), se convocaron a pescadores de las comunidades con población indígena en la parte central de la cuenca del Río Beni para que faciliten pescados vivos de las zonas de pesca habitual, solicitando además la identificación de cada ejemplar. Las fotos de cada ejemplar fueron cotejadas con la información proveniente de catálogos diversos. Se obtuvo muestras de musculo del pescado. Esta fue almacenada en una congeladora a una temperatura de -18 ˚C. para su envío a laboratorio.

Obtención de muestras de cabello

A cada voluntario se le extrajo una fracción de cabellos, que se depositó en un vial de vidrio para su traslado al laboratorio. Las muestras fueron sometidas a un protocolo de lavado (Valdelamar-Villegas y Olivero-Verbel, 2020), empleando enjuagues cortos con agua Milli-Q y acetona de alta pureza, secando a 50 ˚C por 8 horas.

Determinación de los niveles de mercurio en muestras biológicas

El análisis de mercurio total fue realizado empleando un Analizador Directo de Mercurio Lumex RA-915M, utilizando metodologías previamente reportadas y validadas, usando materiales de referencia certificados (Valdelamar-Villegas y Olivero Verbel, 2020). La cuantificación fue llevada a cabo mediante calibración externa con materiales certificados (IAEA-085 [23.2 μg/g] e IAEA-086 [0.573 μg/g]), verificando linealidad (R2>0.999); y estimando límite de detección (0.006 μg/g) y cuantificación (0.02 μg/g) a partir de la desviación estándar de nueve (9) blancos.

Los porcentajes de recuperación oscilaron entre 98 y 102.9%. Las lecturas fueron llevadas a cabo por duplicado, evaluando muestras de material certificado luego de cada 10 corridas (Palomares-Bolaños et al., 2025). La concentración de mercurio es presentada en microgramos de mercurio por gramo (μg/g, ppm).

Procedimientos Hematimétricos:

La sangre que se obtuvo por punción venosa se colocó en un tubo con EDTA·K3 como anticoagulante y se homogenizó por inversión. Se realizó el frotis sanguíneo en portaobjetos por duplicado, identificadas, con los códigos correspondientes a las localidades de Rurrenabaque y Riberalta. Las extensiones se realizaron inmediatamente después de la recolección, depositando una pequeña gota de sangre en un extremo del portaobjetos y extendiéndola mediante un esparcidor a un ángulo de 30–45°, hasta obtener una película uniforme y con buena distribución celular. Las láminas se fijaron dejándolas secar al aire y posteriormente se colorearon con el colorante de Wright, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Las láminas teñidas fueron examinadas mediante un microscopio óptico Olympus CX31 Trinocular (modelo CX31-RT o CX31-TR). Se inició la observación con un barrido general a 10× y 40× para ubicar la zona de lectura óptima del extendido. Posteriormente, se realizaron observaciones a 100× con aceite de inmersión para la evaluación detallada de las células sanguíneas. En cada muestra se evaluaron ambas láminas y se elaboró un reporte morfológico descriptivo. El análisis incluyó la identificación de alteraciones eritrocitarias (anisocitosis, poiquilocitosis, hipocromía, entre otras), leucocitarias y plaquetarias. Además, se efectuó un análisis morfológico y conteo diferencial de 100 leucocitos para determinar la proporción relativa de neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos y basófilos

La determinación del hemograma fue realizada mediante el uso del Lector automatizado de hematología Mindray BC- 3000 plus India. Procedimiento: se encendió y preparo el equipo, para ejecutar el control de calidad mediante el uso de controles. Las muestras, con EDTA como anticoagulante, fueron homogenizadas por inversión suave (8–10 veces) y colocadas en el muestreador automático o en el puerto manual. Se inició la corrida según el protocolo del equipo para obtener el reporte los parámetros hematológicos: Hemoglobina (Hb), Hematocrito (Hto), Conteo de eritrocitos (RBC), Leucocitos (WBC), Plaquetas (PLT), índices eritrocitarios (VCM, HCM, CHCM), diferencial de leucocitos, amplitud de distribución eritrocitaria (RDW-CV, RDW-SD), volumen plaquetario medio (MPV) y ancho de distribución plaquetaria (PDW).

El hematocrito se determinó centrifugando el capilar con sangre a 13000 r.p.m. Se obtuvieron los valores de glóbulos rojos mediante cálculo y se realizó el recuento manual de glóbulos blancos con solución diluyente de Turk (1/10) en cámara de Neubauer y el recuento diferencial de los leucocitos.

Procedimientos Bioquímicos:

Obtención del suero:

Se obtuvo la sangre por punción venosa y se recogió en tubo sin anticoagulante el cual se centrifugo a 2000 r.p.m. por 5 minutos. Se separó el suero en tubos Eppendorf el cual fue congelado a -20 ºC hasta su procesamiento. Las diferentes pruebas (cinéticas, colorimétricas y enzimáticas) fueron ejecutadas en un fotómetro ERWA Mannheim, Modelo: CHEIM-7(Erba, Alemania), con software incorporado. Todos los materiales y reactivos tenían la certificación del fabricante y fueron sometidos a pruebas de calidad, calibración y verificación de vigencia y conservación.

Control de calidad preventivo.- Para efectuar el control de calidad preventivo se tomó en cuenta control del equipo, material y reactivos y control analítico de los métodos (ver anexo 1).

Perfil Hepático (Reactivos y procedimientos en anexo 1):

- Determinación cuantitativa de Fosfatasa Alcalina (FAL). Método Cinético-colorimétrico, optimizado con base en las recomendaciones de la DGKC (Sociedad alemana de química clínica, 1972) y de la SCE (Sociedad escandinava de química clínica).
- Determinación cuantitativa de Glutamato Oxalacetato Transaminasa (GOT/AST). - Método Cinético UV. Validado por la International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (IFCC).
- Determinación cuantitativa de Transaminasa glutámico-pirúvica (GPT/ALT). - Método**:** Cinético UV. IFCC, LDH -NADH.
- Determinación cuantitativa de gamma-glutamil transferasa (γ-GT). - Método**:** Cinético-colorimétrico. Sustrato carboxilado.
- Determinación cuantitativa de bilirrubina total y directa. - Método: Colorimétrico, Dimetilsulfóxido (DMSO).

- Determinación cuantitativa de albúmina. Método: Verde de Bromocresol (3,3',5'–tetrabromo-m-cresolsulfonftaleína). Colorimétrico.

Perfil de Riesgo Cardiaco (Reactivos y procedimientos en anexo 1):

- Determinación cuantitativamente de colesterol. Método**:** Colesterol Estearasa (CHE)/ Colesterol oxidasa (CHOD) /Peroxidasa (POD) / Trinder / Enzimático colorimétrico.
- Determinación cuantitativa de triglicéridos. Método: Lipasa/ glicerol quinasa (GK)/Glicerol-3-fosfato/ Peroxidasa/ Trinder / Enzimático colorimétrico.
- Determinación precipitante de HDL-Colesterol. Método**:** ácido fosfotúngstico/Mg++, Precipitante.
- Determinación cuantitativa de lactato deshidrogenasa (LDH). Método: Cinético-enzimático.

Perfil Renal (Reactivos y procedimientos en anexo 1). -

- Determinación de Creatinina. - Método**:** Jaffé. Cinético-colorimétrico.
- Determinación cuantitativa de urea. Método**:** Ureasa/Glutamato deshidrogenasa (GDLH)/NADH/α-Cetoglutarato/ Cinético– U.V.
- Determinación cuantitativa de ácido úrico. Método**:** Uricasa/peroxidasa/ Trinder/ Enzimático colorimétrico.

Perfil Endocrino (Reactivos y procedimientos en anexo 1).-

- Determinación de la hormona estimulante de la tiroides (TSH). Método: inmunoensayo quimioluminiscente de fase sólida (IMMULITE), en dos pasos.

Procedimientos Citogenotóxicos

Imágenes de daño cromosómico en células de mucosa oral. -

Para la muestra en la técnica de observación/evaluación de Cariolisis, Brokenn Eggs y Celulas binucleadas en mucosa oral, se realizó un raspado suave con un hisopo estéril. Se introdujo el hisopo en la boca y se frotó la cara interna de la mejilla (carrillo) con una presión suave pero firme durante aproximadamente 30 segundos. Se colocó en una solución salina para su transporte al laboratorio.

La muestra se vació en tubos cónicos de vidrio de 10 a 15 ml. Se procedió a centrifugar a 800 rpm durante 10 min, se aspiró el sobrenadante y se desechó. Se añadió al pellet 10 ml de tampón TRIS. Se centrifugó nuevamente a 800 rpm durante 10 minutos. Se aspiró el sobrenadante con una pipeta Pasteur. Se repitió x 2 veces el mismo procedimiento. Luego se hizo gotear aprox. 50 µl de muestra en un portaobjetos frío. Se dejó secar a temperatura ambiente. Luego se fijó con metanol al 80%. Se dejó a temperatura ambiente hasta que evapore el metanol. Se procedió a teñir con Fuelguen/Fast Green durante 10 min. Y la observación /recuento del citoma bucal se realizó en microscopio binocular Olympus con objetivo de 40 a 100 X. La evaluación se realizó en 1500 células para evaluar el daño genotóxico (Tirado y cols. 2013).

Ensayo del Cometa.-

El daño en el material genético puede detectarse a través de la medición de la mayor capacidad del DNA dañado o fragmentado para viajar en un campo eléctrico; en cambio el DNA intacto no viaja o se mueve muy poco en un campo eléctrico en gel. De ese modo, se forma una imagen de cometa donde la cabeza es el DNA intacto y la cola el material genético dañado en el que se puede medir la cantidad y la capacidad de migración para su evaluación. Para realizar este procedimiento se obtuvo muestras de sangre periférica de una vena antecubital, utilizando tubos vacutainer con anticoagulante EDTA. Los linfocitos de sangre periférica se suspendieron en agarosa al 0,5% de bajo punto de fusión y se sometieron a lisis, electroforesis, neutralización y tinción con bromuro de etidio, se incluyeron controles positivos (H2O2) y negativos (H2O ultrapura), se fotografiaron 100 cometas por individuo utilizando un microscopio de florescencia Olympus CP72 y se analizaron utilizando el software Comet assay IV -Perspective Instrument (Tirado et al. 2024).

Historia clínica y examen físico.

Cada voluntaria fue entrevistada para recuperar información básica sociodemográfica y de salud, documentando edad, sexo, peso, presión arterial, pulso, frecuencia respiratoria, estado gestacional o de lactancia, escolaridad, ocupación, tiempo de residencia, determinantes sociales, acceso a servicios básicos y un bloque de síntomas y antecedentes compatibles con neurotoxicidad por mercurio y consumo de pescado, entre otros aspectos. La participación continuó con entrevista estructurada sobre forma de vida, hábitos alimentarios y

antecedentes de salud; luego tuvo lugar una valoración médica general, toma de muestras de cabello y sangre, además de una evaluación auditiva realizada por fonoaudióloga. A cada persona se le efectuó un examen físico y se le hizo la historia clínica aplicando un cuestionario que permite la digitalización (anexo 2)

Medición audiométrica

Posterior a un examen otoscópico, fue realizada la audiometría, consistente en la medición de la capacidad de un individuo para percibir sonidos a diferentes frecuencias y niveles de intensidad. A cada participante le fue explicado el proceso del examen antes de dar inicio. Seguidamente, cada una fue ubicada en un espacio con ruido mínimo, le fueron puestos auriculares conectados a un audiómetro, y se les pidió que respondieran a una serie de tonos auditivos presentados a diferentes frecuencias y niveles de volumen, levantando la mano como señal acordada para indicar la detección del sonido. Al principio se usó un tono moderado para que el paciente lo reconociera, y luego, mediante la técnica ascendente se emitieron sonidos desde 0 dB, aumentando de 5 en 5 dB como base, hasta encontrar el umbral auditivo de cada persona y para cada oído. Finalmente, los umbrales de cada paciente se registraron en un audiograma (Figura 6), que ilustra la capacidad auditiva en diferentes frecuencias.

Las frecuencias evaluadas fueron las siguientes:

- 250 Hz: considerada de baja frecuencia, ayudó a evaluar la respuesta auditiva en el rango inicial.
- 500 Hz: considerada frecuencia de tono bajo se utiliza para evaluar la audición en la banda de frecuencia más baja.
- 1000 Hz - 2000 Hz: considerada dentro del rango medio de las frecuencias, siendo importante para la determinación de la audición en el rango medio de frecuencias.
- 3000 Hz - 4000 Hz: frecuencias de tono medio-alto que pueden indicar problemas en el oído interno y en el sistema auditivo.

Debido a que las condiciones del lugar no permitieron el uso de una cabina insonorizada requerida para el examen, en el tamizaje se respetaron niveles de 0-35 dB como condiciones de normalidad y no de 0-20 dB como es normal en pruebas más rigurosas.

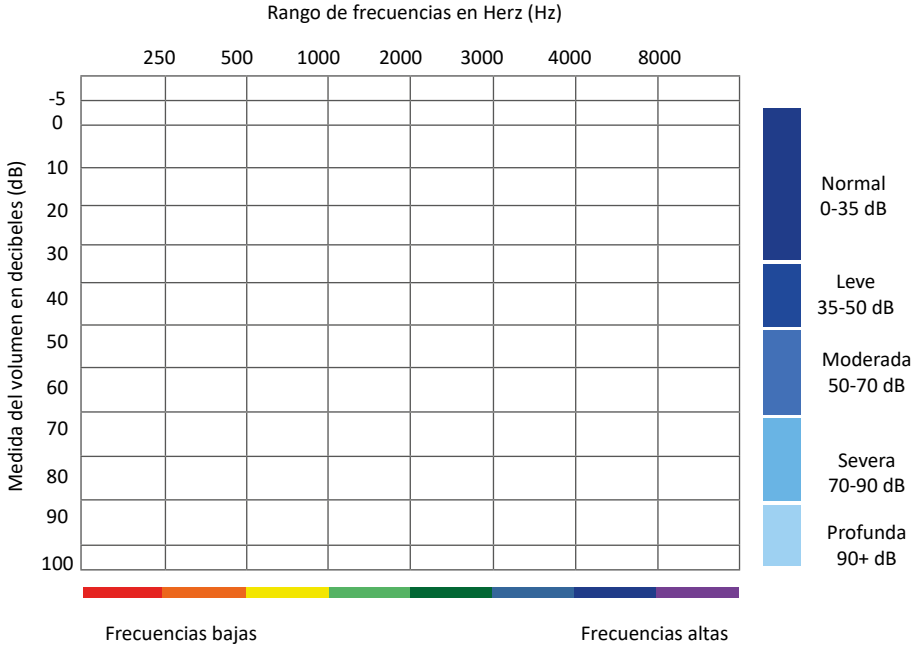


Figura 6 Audiograma usado en el estudio

Procedimientos estadísticos:

Los datos fueron evaluados para normalidad empleando Kolmogorov-Smirnov. La no normalidad de los datos, aún luego de la transformación de los datos, sugirió la utilización de pruebas no paramétricas. Los datos cuantitativos son reportados como media ± error estándar (EE) y mediana [p25–p75]. Las comparaciones entre más de dos grupos fueron realizadas mediante Kruskal–Wallis aplicando Dunn con ajuste de Holm para el control por multiplicidad Para las comparaciones entre grupos se calcularon los promedios, desviaciones estándar y la significación fue estimada por la *t* de *student*, confiriendo una diferencia estadísticamente significativa cuando se obtuvo una $p < 0.05$. Para las correlaciones se aplicó pruebas de regresión lineal y correlación de Spearman.

Una vez generados los resultados, el equipo de trabajo discutió los hallazgos en mesas de trabajo con la participación del personal médico vinculados al estudio, a partir de lo cual derivaron conclusiones y recomendaciones

4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación geográfica de las comunidades en las que se efectuó el estudio

En la figura 7 se muestra la ubicación de las comunidades examinadas. Se aprecia que todas ellas son ribereñas de los ríos Beni y Madre de Dios o sus afluentes y se ubican río abajo de las principales zonas de actividad minera.

Presencia de mercurio en los ríos

Para valorar la presencia de mercurio en estas cuencas, se examinó la presencia de este contaminante en peces capturados por pescadores participantes en las diferentes comunidades. La figura 8 muestra los niveles de mercurio en diferentes especies. Se aprecia la variabilidad entre ellas, por lo que se determinó su promedio y 1 D.S para construir la figura mencionada. Queda claro que las especies más contaminadas son las carnívoras y omnívoras, debido a que estas son parte de la cadena trófica en la que se incorpora el metil-mercurio, transformado por las bacterias presentes en los cuerpos de agua donde se deposita el mercurio metálico



Figura 7. Áreas de ubicación de las comunidades de las cuencas del río Beni y Madre de Dios en mapas de Biomaps Bolivia[8]

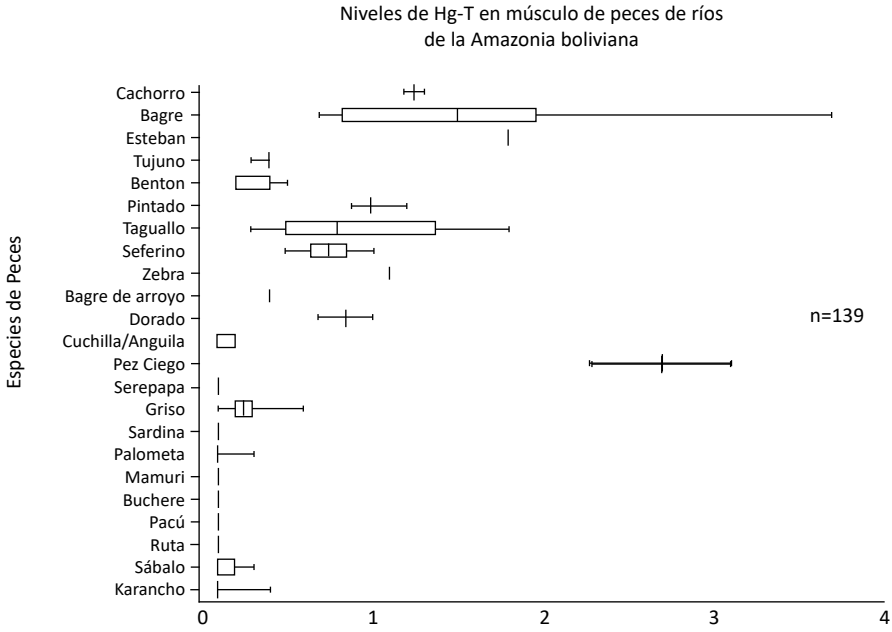


Figura 8. Niveles de mercurio total en musculo de diferentes especies de peces de las cuencas de la Amazonía boliviana

8 https://bolivia.mapbiomas.org/

Mercurio en la población de los municipios expuestos

Una vez establecido el patrón de contaminación en la cadena alimentaria de la población ribereña de ambas cuencas, se procedió a determinar la presencia mercurio en cabello en la población expuesta. Se midió en grupos de voluntarios de cada comunidad y los resultados se muestran en las figuras 9 y 10. Se aprecia que los niveles de mercurio en las comunidades de la cuenca del río Beni, son significativamente más altos que los de la cuenca del Madre de Dios; en ambas cuencas los datos obtenidos muestran gran dispersión de valores con máximos cercanos a 30 ppm|. La Tabla 1 consolida la diferencia mostrada en las figuras, comparando los promedios de promedios entre ambas cuencas, con una significación estadística clara ($p < 0.05$).

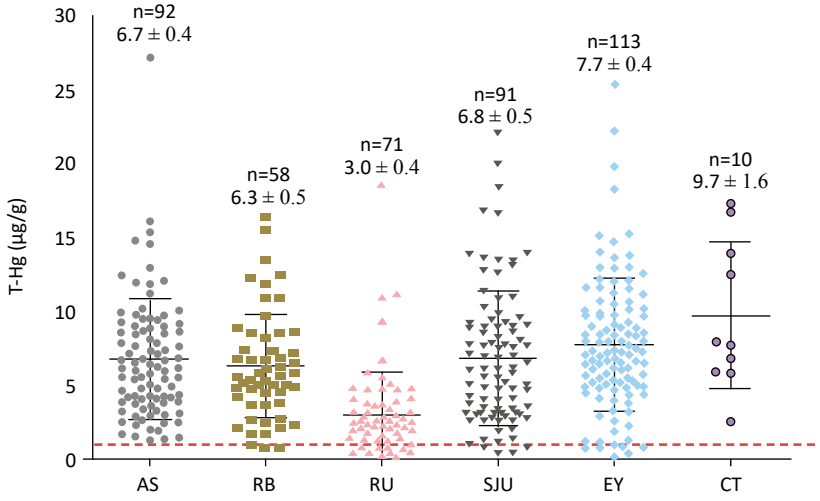


Figura 9 Concentraciones de Hg-T en cabello humano de comunidades indígenas del río Beni. Comunidades: Asunción, AS; Real Beni, RB; Rurrenabaque, RU; San José de Uchupiamonas, SJU; Eyiyo Quibo, EY; Corte, CT. La línea roja muestra el nivel máximo permisible

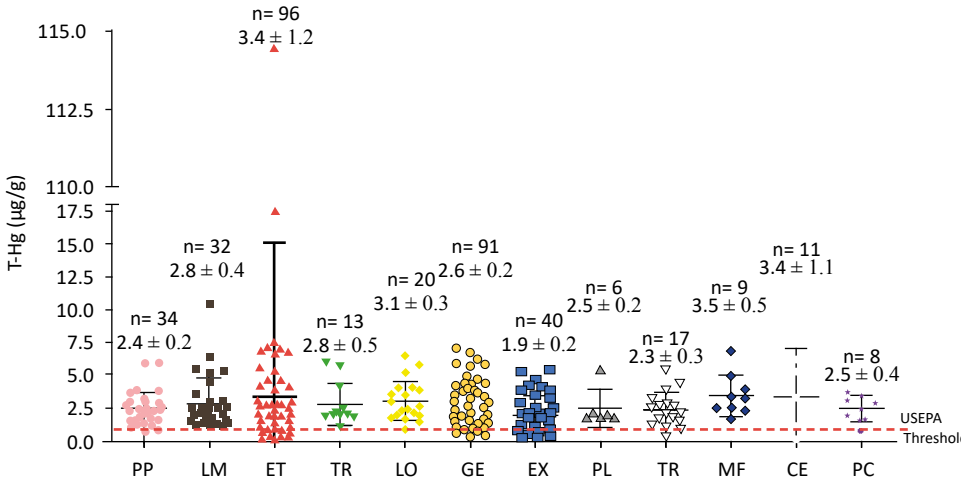


Figura 10 Concentraciones de Hg-T en cabello humano de comunidades indígenas en el río Madre de Dios, Bolivia. Comunidades: Puerto Pérez. PP; Las Mercedes, LM; El Tigre, ET; Toromona, TR; Loreto, LO; Genechiquia, GE; Exaltación, EX; Palestina, PL; Trinidadcito, TR; Miraflores, MF; Cachuela Esperanza, CE; Puerto Consuelo II, PC. La línea roja muestra el nivel máximo permisible

Con el propósito de hacer una aproximación a la identificación de la causa de la diferencia en el nivel de mercurio en el cabello de los habitantes de las comunidades de ambas cuencas y conociendo que la contaminación ocurre mediante la cadena alimenticia, se indagó en los pobladores de dichas comunidades sobre la frecuencia del tipo de peces ingeridos en su dieta habitual. Conociendo que no todos los peces tienen igual grado de contaminación (Figura 8) y que esto está vinculado al tipo de alimentación de las diferentes especies (Figura 3A), puesto que solo los peces carnívoros estarían insertos en la cadena alimentaria que determina la biomagnificación del mercurio (hay transmisión de mercurio por la ingestión de peces más pequeños y contaminados), es lógico pensar que pueda existir una relación entre tipo de alimentación y grado de contaminación. La figura 11 nos muestra que en las comunidades de la cuenca del río Beni (Rurrenabaque) el consumo de peces carnívoros (contaminados) es varias veces mayor —y la ingesta de peces herbívoros es mucho menor— que en la cuenca del Madre de Dios.

Tabla 1. Consolidado de promedios de los valores totales de mercurio en cabello (HgT) de miembros de las comunidades de los ríos Beni y Madre de Dios

Comunidades río Beni	HgT en mg/g Promedio ± 1 D.S.	Promedio de pro-me-dios± 1D.S*	Comunidades río Madre de Dios	Hg T en mg/g Promedio ± 1 D.S.	Promedio de prome-dios ± 1S.D	p
Asunción (AS)	6.7 ± 0.4	6.70± 2.18	Puerto Pérez (PP)	2.4±0.2	2.76±0.49	0.007
			Las Mercedes (LM)	2.8 ± 0.4		
Rurrenabaque (RU)	3 ± 0.4		El Tigre (ET)	3.4 ± 1.2		
			Toromona (TR)	2.8 ± 0.5		
Corte (CT)	9.7 ± 1.6		Loreto (LO)	3.1 ± 0.3		
			Genechiquia (GE)	2.6 ± 0.2		
San José de Uchupiamonas (SJU)	6.8 ± 0.5		Exaltación (EX)	1.9 ± 0.2		
			Palestina (PL)	2.5 ± 0.6		
Real Beni (RB)	6.3 ± 0.5		Trinidadcito (TR)	2.3 ± 0.3		
			Miraflores (MF)	3.5 ± 0.5		
Eyiyo Quibo (EY)	7.7 ± 0.4		Cachuela Esperan-za (CE)	3.4 ± 1.1		
			Puerto Consuelo II (PC)	2.5 ± 0.4		

*Se muestra el promedio de los promedios de los valores individuales obtenidos en cada comunidad y que se muestran en las figuras 9 y 10. La diferencia entre estos, en las cuencas del río Beni y Madre de Dios, es estadísticamente significativa ($p<0.05$).

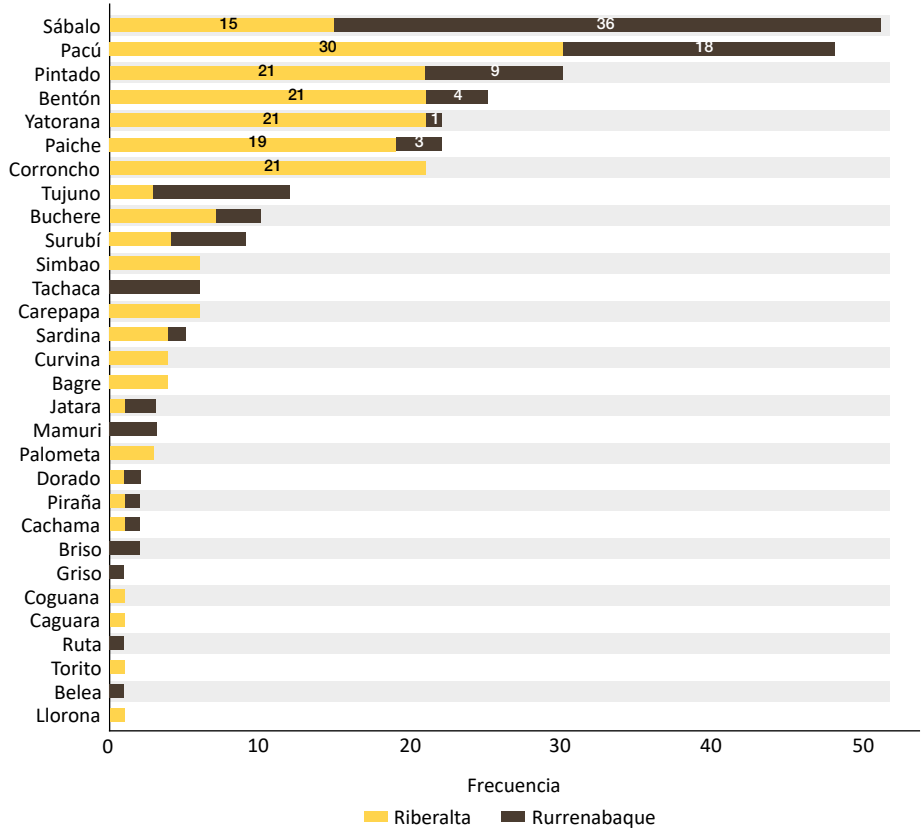


Figura 11 Consumo de diferentes especies de peces en las cuencas de los ríos Beni (Rurrenabaque) y Madre de Dios (Riberalta)

Lo anterior confirma la idea de que existe relación entre la alimentación y la presencia de mercurio en el cabello de los habitantes de las cuencas estudiadas, explicando así los resultados mostrados en las figuras 9 y 10, los cuales están en línea con lo ya reportado por otros autores (Oliveira, R.C. y cols. 2010).

Una vez conocida la condición de contaminación por mercurio de las comunidades de las mujeres examinadas en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios, se procedió a examinar la condición de salud de las mujeres de dichas comunidades, según el protocolo mostrado en la Figura 4. Se inició con la medición del mercurio en las mujeres examinadas.

Mercurio en el cabello de las mujeres examinadas

Los niveles de mercurio en cabello de las mujeres que participaron en el estudio se muestran en la Figura 12, donde se aprecia una diferencia estadística significativa entre ambas cuencas. En las figuras siguientes se muestran los datos obtenidos, agrupados según la procedencia: los obtenidos de las comunidades ribereñas de la cuenca del río Beni (denominadas en adelante: Rurrenabaque) y los de las comunidades de río Madre de Dios (denominadas en adelante: Riberalta).

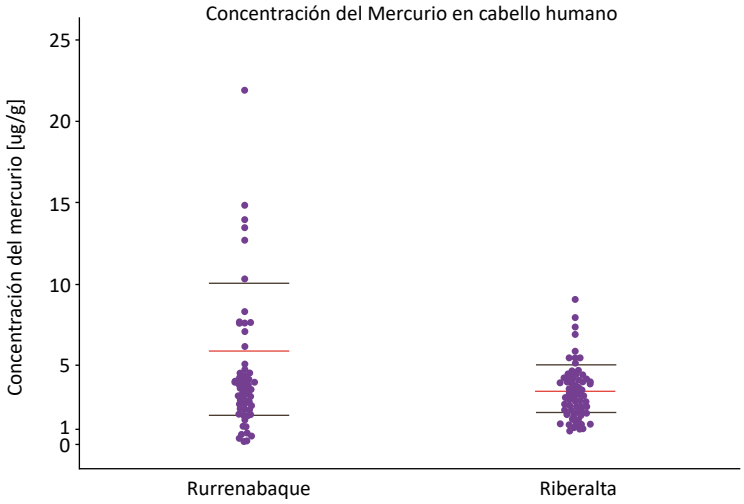


Figura 12 Se muestran los niveles de mercurio (mg/g) en cabello de las mujeres de las comunidades de los ríos Beni (Rurrenabaque) con N 50, X ± 1S.D. = 5.18 ± 4.54 y Madre de Dios (Riberalta) con N 69, X=3.26 ± 1.65. Por la prueba T valor p fue de 0.006. El IC fue de 96% para la diferencia (0.577; 3.268)

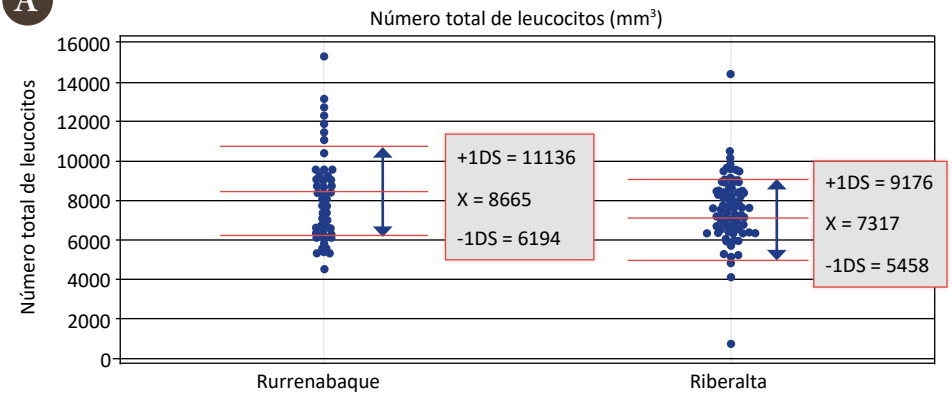
Afectación de los Marcadores Hematológicos.-

En la figura 13 se muestran los valores de los estudios hematológicos obtenidos por recuento leucocitario en placas teñidas en el lugar de origen. La figura 13 A muestra que el promedio del número de leucocitos por mm^3 es mayor en el grupo de Rurrenabaque que en el de Riberalta con una diferencia estadísticamente significativa (p=0.001); asimismo, se aprecia que el grupo de la cuenca del río Beni tiene un importante número de sujetos cuyo monto de

leucocitos excede el rango máximo de referencia (9500) y no existen casos que se aproximen al límite mínimo inferior del rango (3000). En cambio, el grupo de Riberalta se ubica mayoritariamente dentro del rango de referencia. Lo anterior ratifica la idea de que existe una tendencia del grupo de Rurrenabaque a la elevación en el promedio de leucocitos totales. Tal hecho pudiera relacionarse con la mayor incidencia de factores que estimulan la proliferación y liberación de estas células de la inmunidad innata en la sangre, en dicha población, esto puede sugerir la incidencia de fenómenos proinflamatorios en el organismo o en el entorno de las personas examinadas. Si asumimos que las poblaciones son en general similares en lo referente a determinantes en salud, siendo únicamente diferentes en el grado de contaminación por el mercurio, se podría pensar que el mercurio es un elemento asociado a este fenómeno. Tal observación es compatible con resultados de estudios que asignan a este metal la capacidad de causar inflamación que predispone a la autoinmunidad (Geir Bjørklund y cols. 2020). Este, fenómeno que se expresa en el incremento de las células leucocitarias, parece hacerlo a expensas de los granulocitos ya que estos también están elevados significativamente en promedio como lo muestra la figura 13 B, con la presencia de sujetos con niveles muy superiores a los límites de referencia. Lo anterior pudiera sugerir que siendo los granulocitos células vinculadas a procesos inflamatorios agudos, la tendencia es a la estimulación de este tipo de inflamación. Sin embargo, la diferencia grupal también se observa en el número de linfocitos, según la figura 13 C, que son células que se vinculan más a fenómenos de inflamación crónica (K. Michael Pollarda 2019). Esto podría más bien orientar a pensar que el proceso de inducción inflamatoria vinculado al mercurio está mediado por la afectación de ambas líneas leucocitarias, lo que más parece asociarse a una estimulación general de la producción de células blancas encargadas de las respuestas inmunes innata y adquirida con linfoproliferación y un estado inflamatorio agudo y crónico de manera simultánea. Sin embargo, conviene anotar que entre los diferentes estudios que muestran que la contaminación con mercurio incide en las poblaciones de células circulantes del sistema inmunitario se citan los de Queiroz M. y Dantas D. (1997) que encontraron significativa reducción de linfocitos B en trabajadores expuestos a mercurio por varios meses, por lo que se puede inferir que la elevación encontrada en este estudio pudiera no ser a expensas de este tipo de linfocitos. También se encontraron cambios cuantitativos en

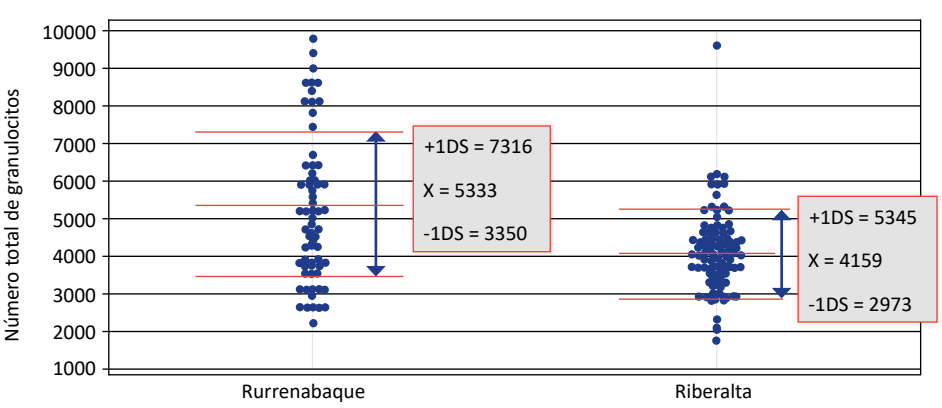
las poblaciones de células T en la relación (CD3+)T/(CD8+) T-supresor y la relación (CD4+)/(CD8+) T-supresor en la sangre periférica de trabajadores expuestos al mercurio metálico (Moszczy´nski P. y cols,1998).

A

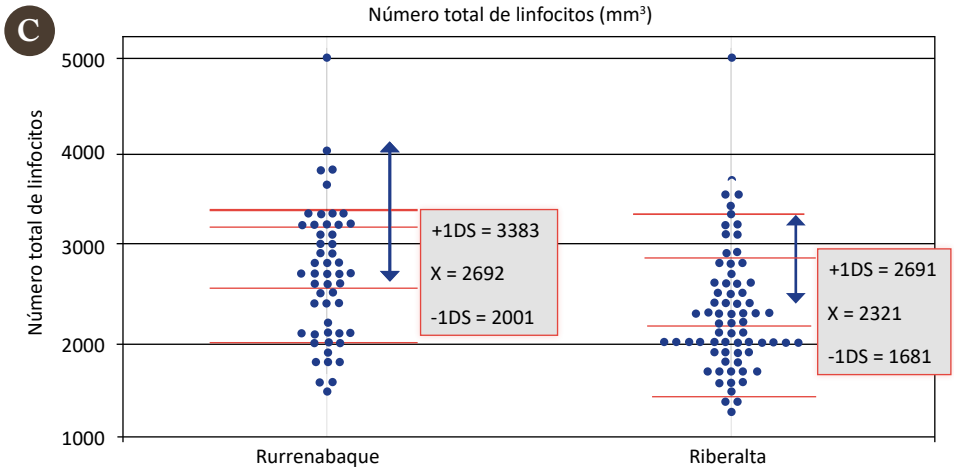


Valor de referencia: 3000-9500/mm³
Valor p= 0,001, es p<0,05

B



Valor de referencia: 2000-7000/mm³
Valor p= 0,000, es p<0,05



Valor de referencia: 1100-3200/mm³
Valor p= 0,003, es p<0,05

Figura 13 Se muestra el número total de leucocitos (A), el número total de granulocitos (B) y el número de linfocitos (C) en la sangre de mujeres de las comunidades indígenas ribereñas de las cuencas del río Beni (Rurrenabaque) y del Madre de Dios (Riberalta). Se marca rango de la población normal, el promedio y la desviación estándar de cada grupo

En el examen morfológico de la serie blanca se observaron imágenes compatibles con la presencia de agentes tóxicos. Se observaron células vacuoladas en el 15.7% y células atípicas en el 17.4% Figura (14).

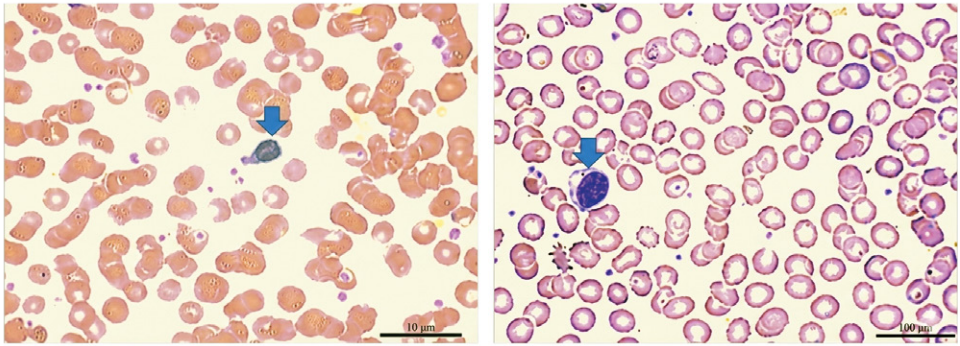
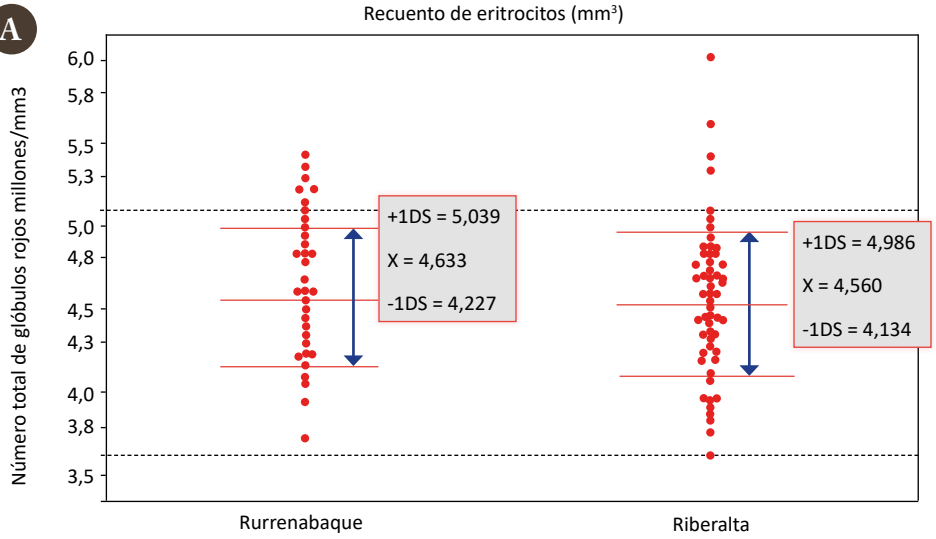


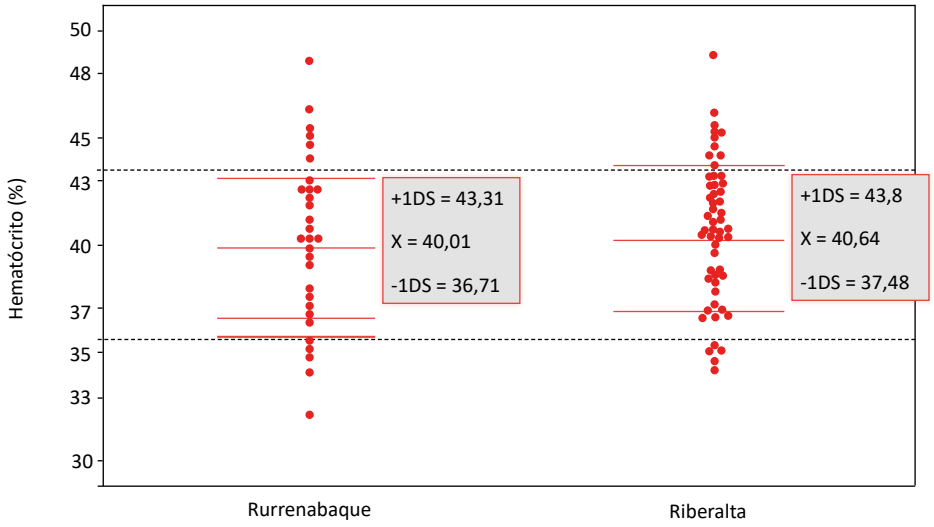
Figura 14. Linfocitos atípicos presentes en extendidos de sangre periférica de algunos individuos de la muestra estudiada

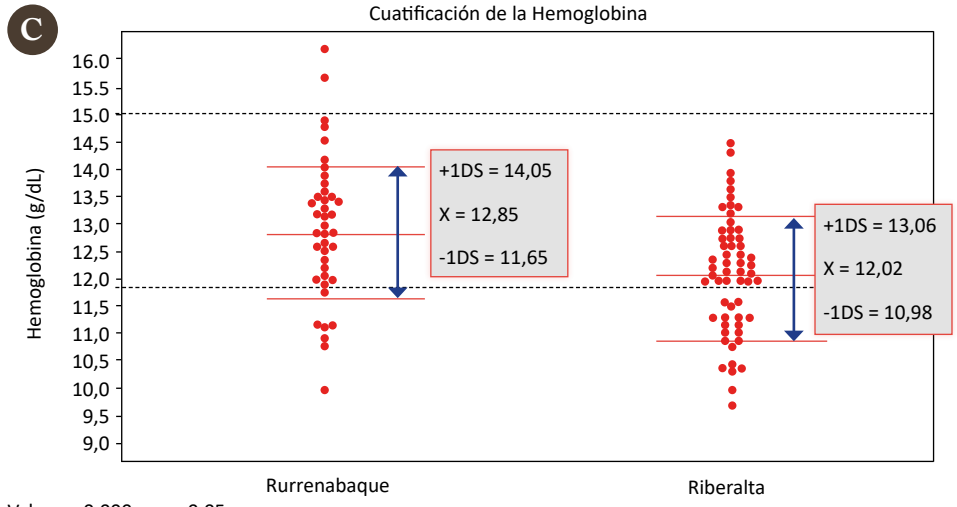
A



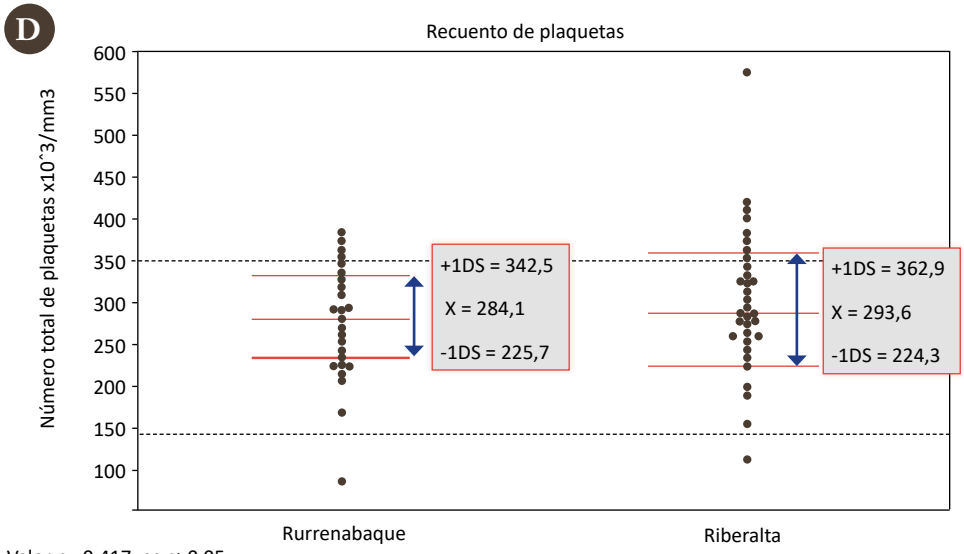
Valor p= 0,003, es p<0,05
Valor de referencia: (3.65 - 5,10)^6 células/mm³

B





Valor p= 0,000, es p<0,05
Valor de referencia Rurrenabaque: 11,75 - 15,0 g/dL

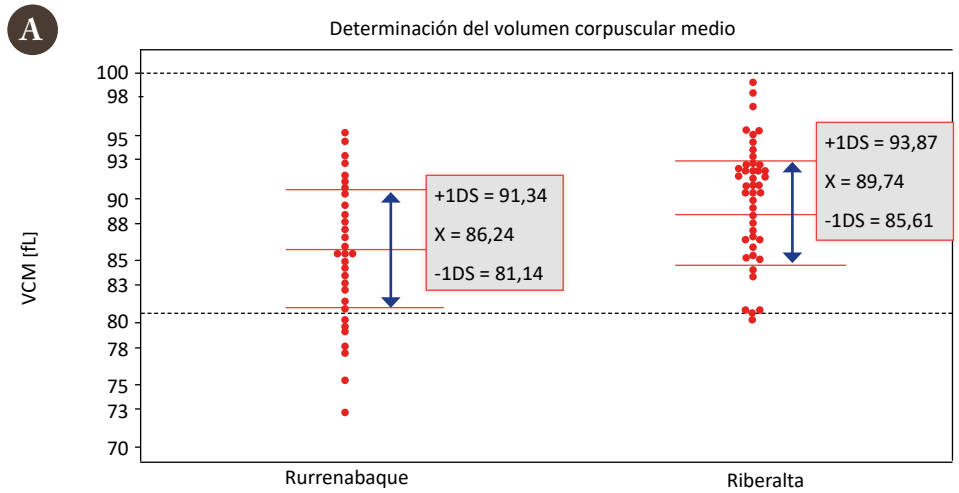


Valor p= 0,417, es p>0,05
Valor de referencia: (150-350)x10^3plaquetas/mm³

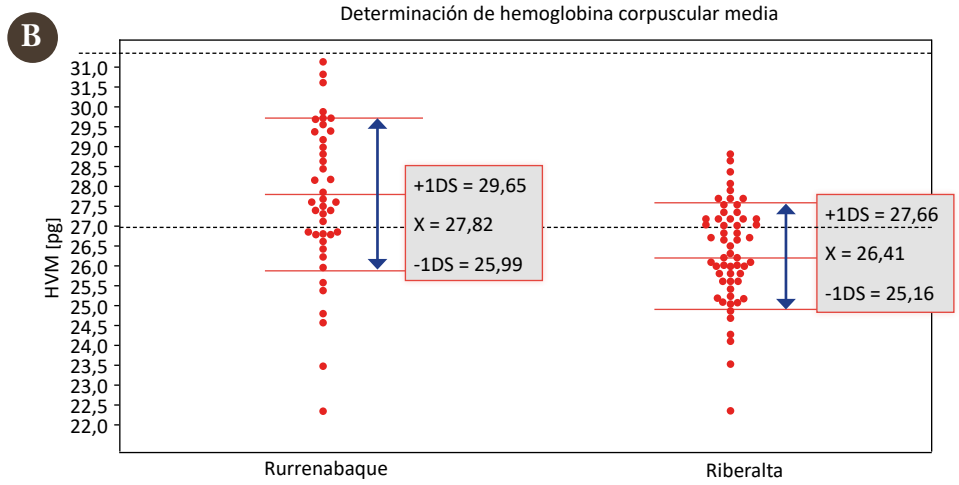
Figura 15 Valores hematimétricos de mujeres de las comunidades de las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios. Se muestran los promedios ± 1D.S., las diferencias estadísticas entre las cuencas y los valores de referencia

Los resultados hematológicos referidos a la serie roja, incluyendo el hematocrito, se observan en la figura 15 (que incluye el recuento de plaquetas). No se aprecia diferencia en los promedios de las poblaciones de ambas regiones en lo referente al número de eritrocitos (Figs.15A y 15 B); sin embargo, fue evidente la correlación negativa entre la concentración de mercurio en cabello y la de glóbulos rojos, en las comunidades de la cuenca del río Beni (r= -0.31 en regresión lineal y ρ=-0.291, p 0.047 en coeficiente de correlación de Spearman). Este hecho muestra el evidente efecto deletéreo del mercurio en la sobrevida de los eritrocitos circulantes. La existencia de tal correlación en esta cuenca y no en la del río Madre de Dios está asociada a elevada concentración de mercurio en el cabello de las mujeres de las comunidades ribereñas del río Beni y a la gran dispersión de datos, consideraciones que se las discute más adelante (último título de esta sección).

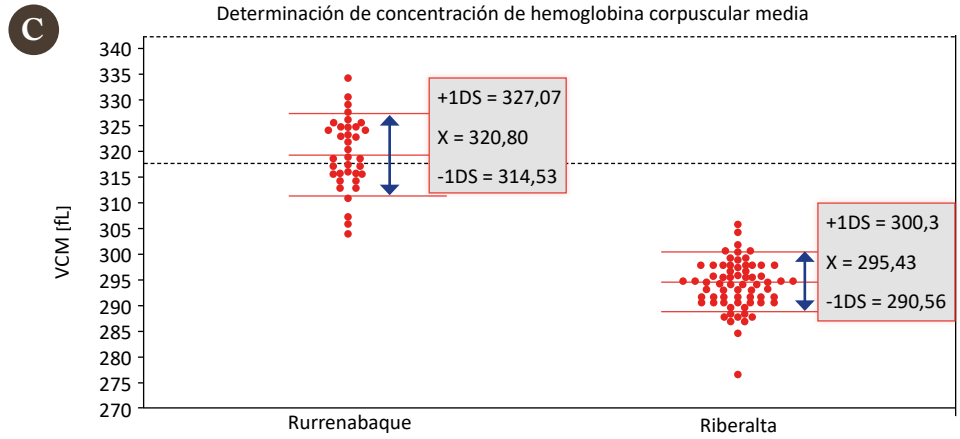
Hasta el momento no se ha reportado incidencia del mercurio en el número de glóbulos rojos en casos de intoxicación crónica (laboral o alimentaria) sino en intoxicaciones agudas y envenenamientos que producen anemias aplásicas (Priya N. y cols., 2012) (Slee P. y cols., 1979) Los estudios existentes sobre los efectos del mercurio en la generación de anemia en general no se refieren al número de glóbulos rojos sino a las deficiencias del pigmento hemático (ver adelante). Lo anterior quiere decir que *la correlación negativa que encontramos entre RBC y mercurio en cabello es un hallazgo que debe tomarse en cuenta en la caracterización de los efectos hematológicos de este metal toxico*. El mecanismo puede estar asociado a la capacidad del mercurio para inducir eriptosis, aspecto que se discute más adelante a propósito de cambios en la estructura de la membrana de las células rojas.



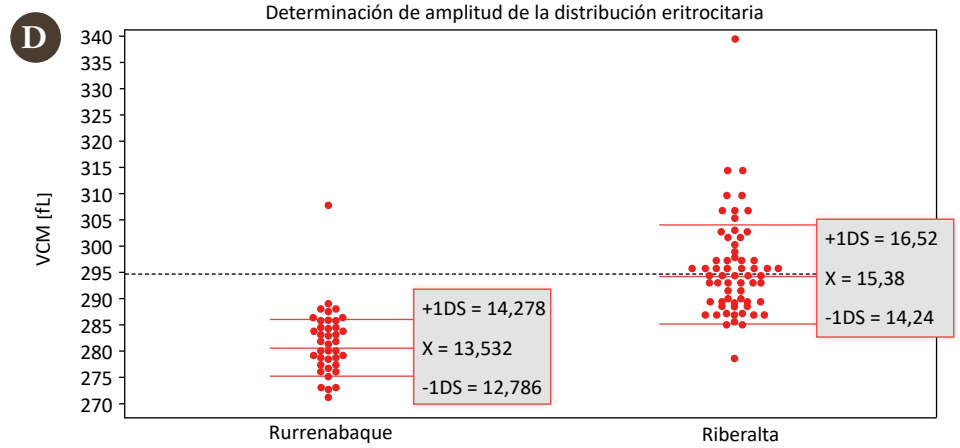
VR= (81-100) fL
Valor p= 0,000, es p<0,05



VR= (27-34,0) pg
Valor p= 0,000, es p<0,05



VR= (318-358) g/L
Valor p= 0,000, es p<0,05



VR= (11,25-15,25) %fL
Valor p= 0,000, es p<0,05

Figura 16 Valores hematimétricos (promedio ± 1D.S.) de mujeres de comunidades de los ríos Beni (Rurrenabaque) y Madre de dios (Riberalta) medidos en contador automático: Se aprecia la existencia de casos con valores de VCM inferiores al límite de referencia en la cuenca del río Beni (A); niveles menores al límite inferior de Hemoglobina Corpuscular Media en ambas cuencas (B); una drástica reducción de la Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media en las mujeres examinadas en Riberalta (C) y un aumento significativo de la distribución de tamaño de los eritrocitos (RDW) en la cuenca del Madre de Dios en comparación con la cuenca del río Beni (D). VR=Valores de Referencia

En cuanto a las características de los eritrocitos relacionadas con su tamaño, la figura 16 A nos muestra los datos obtenidos en contador automático, según los cuales la población de la cuenca del río Madre de Dios tiene valores que están dentro de los parámetros normales y que la población de la cuenca del río Beni tiene una tendencia a la microcitosis donde, grupalmente, los valores del volumen corpuscular medio son significativamente menores en la cuenca más contaminada (río Beni), existiendo un porcentaje (12%) de casos por debajo de los límites normales. En cambio, en el examen microscópico, que según diversos autores define con más precisión el tamaño de los eritrocitos (To M. y Villatoro V., 2019), se revela una microcitosis evidente, acompañada hipocromía (Tabla 2), aunque debe considerarse que la microcitosis encontrada por observación en la mayor parte de los caos fue moderada (58.8 y 32.9%, respectivamente), lo que posiblemente explique por qué no fue detectada por el recuento hematológico automático. La diferencia significativa encontrada entre cuencas puede interpretarse como una tendencia que expresa una afectación morfológica y funcional, que es más elevada en la cuenca más contaminada (río Beni).

Tabla 2. Se muestran los valores obtenidos por observación microscópica en la serie Roja en un Extendido de Sangre Periférica en el que se determina las características de volumen, forma y concentración de hemoglobina por eritrocito*

Parámetros microscópicos	Cuenca del río Beni (n=51)		Cuenca del río Madre de Dios (n=70)
Volumen eritrocitario (%)	Normal	0	54.2
	Microcitosis leve	41.2	12.9
	Microcitosis moderada	58.8	32.9
Poiquilocitosis (%)	Esquistocitos/ Eliptocitos	11.7	10.65
	Anulocitos	88.2	38.6
Hipocromía (%)	Ninguna	58.5	11.8
	Leve	2.9	29.4
	Moderada	38.6	58.8

* Estos datos se obtuvieron utilizando como valores de referencia los que reportanlos laboratorios locales que relizaron los analisis automatizados de sangre.

Si bien no se ha establecido en la literatura biomédica una relación entre la intoxicación por mercurio y la microcitosis (que es más frecuente en la intoxicación

por plomo, según Knollmann-Ritschel B. y Markowitz M., 2017), puede asumirse que lo encontrado –correlación entre mercurio y concentración de GR y microcitosis en todos los casos en la cuenca más contaminada (río Beni) – es un primer hallazgo que amerita estudios de mayor profundidad. Lo anterior también podría asociarse a lo encontrado en el examen microscópico de la serie roja: la alta frecuencia de eritrocitos con forma y tamaño irregulares en las poblaciones estudiadas. La poiquilocitosis a expensas de la anulocitosis (figuras 17 y 18) fue evidente, principalmente en las muestras de mujeres de las comunidades del río Beni con un 88.2%.

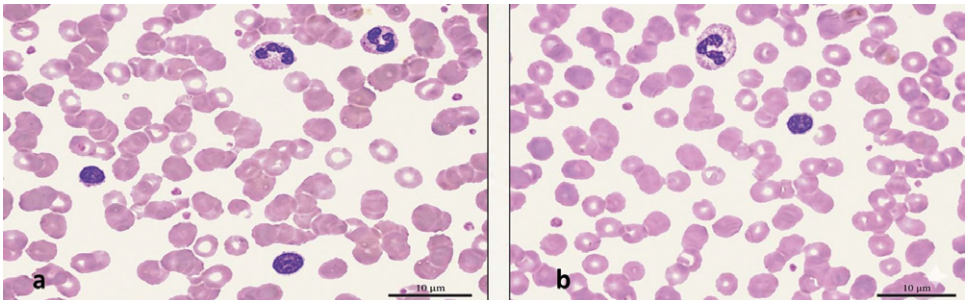


Figura 17. Presencia de poiquilocitosis en los frotis de mujeres examinadas. En la imagen (a) se observa la presencia de anulocitos, en la imagen (b) se observan tanto anulocitos como estomatocitos

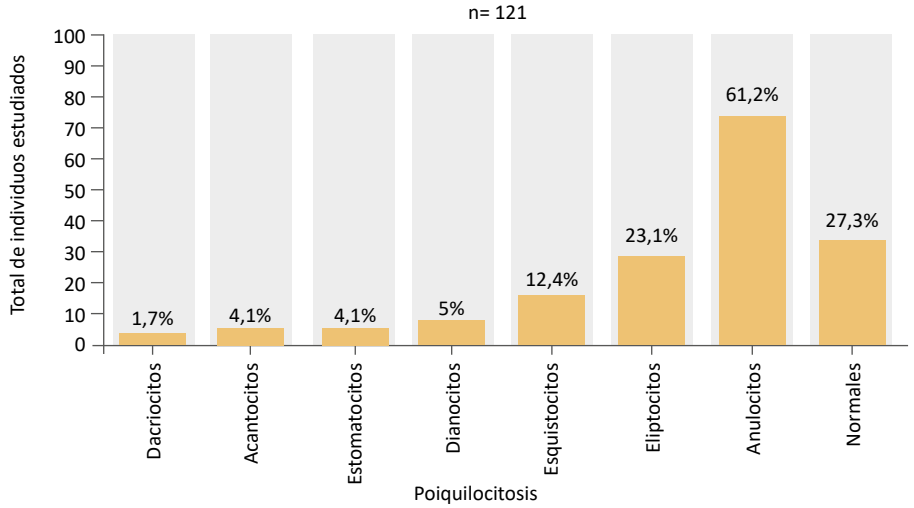


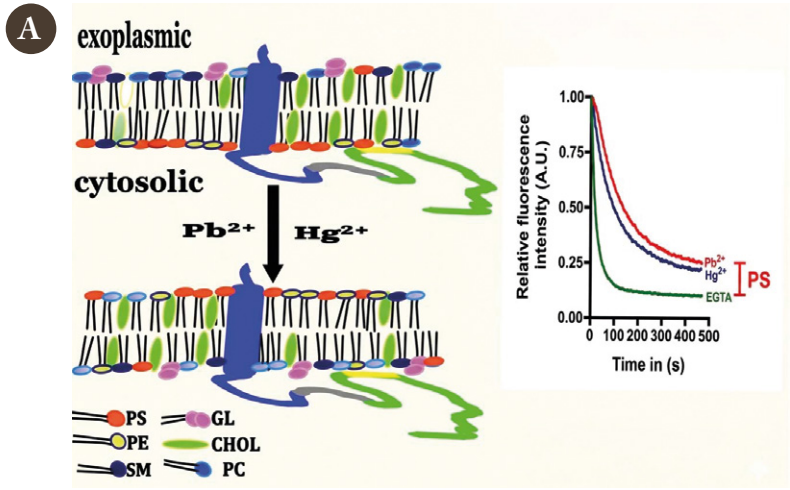
Figura 18 Distribución porcentual de la poiquilocitosis observada en los extendidos de sangre periférica de las mujeres participantes en el estudio

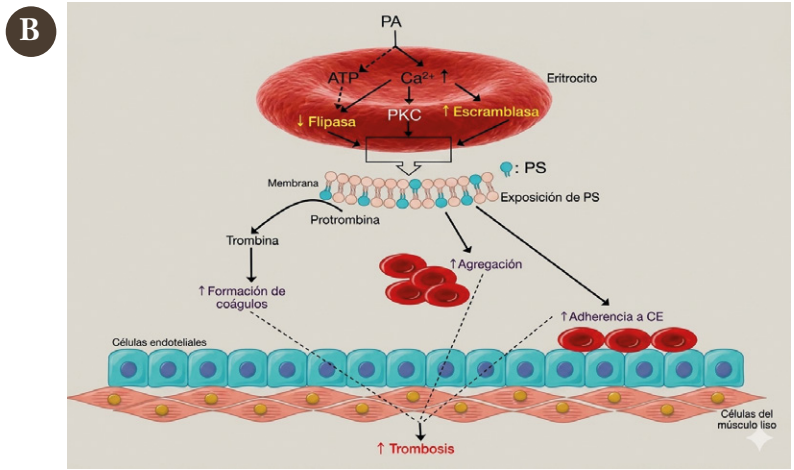
Todo lo anterior se explica por la presencia de mercurio en la sangre, puesto que el 95% de este metal se traslada en los glóbulos rojos y su presencia es una de las causas de *eriptosis* que incluye cambios en la forma y la viabilidad de los glóbulos rojos por modificaciones en la estructura de la membrana (Manzur-Jattina F. y cols. 2013) hecho que también puede incidir en la anemia por reducción del número de GR (Lupescu y cols., 2015), en línea con la correlación encontrada entre la concentración de mercurio y concentración de GR, en este estudio .

El mecanismo por el cual el mercurio penetra masivamente en los eritrocitos esta mediado por la capacidad de la Cisteina de capturar metil-mercurio mediante su grupo azufrado y conformar una molécula muy parecida a la Metionina, la cual es internalizada mediante el Transportador de aminoacidos LAT 1. La presencia de mercurio en los eritrocitos provoca cambios en la membrana del eritrocito que se relacionan con su interacción con la *scramblasa*, proteína de membrana que interviene en la orientación de los fosfolípidos en relación con su base nitrogenada (Kumar Shettihalli A. y Gummadi S. N., 2013). Estos cambios en la orientación provocan alteraciones en la interacción de la membrana con su entorno extra e intracelular, determinando cambios en la forma de la célula y alteración de su adhesividad con el endotelio de los capilares, provocando así cambios en la microcirculación, particularmente de órganos como el corazón, con efectos en el funcionamiento del sistema cardiocirculatorio (dos Santos Vianna A. y cols., 2019), tal como se muestran en las figuras 19 A y 19 B obtenidas de los autores citados. Estos cambios en la conformación de la membrana eritrocitaria inducidos por el mercurio son compatibles con la existencia tanto de anisocitosis como de poiquilocitosis cuyas variantes encontradas se muestran en porcentajes en la figura 18. La amplitud de la distribución del tamaño eritrocitario, que está evidentemente alterada en parte importante de la población de Riberalta (Fig. 16 D), podría también estar asociada a este fenómeno

Por otro lado, no debe descartarse la posibilidad de que este fenómeno sea el efecto de los cambios en la actividad de las enzimas eritrocitarias [glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G-6PD), acetilcolinesterasa (AChE), glutatión reductasa (GR) y superóxido dismutasa (SOD)] por el mercurio, tal como fue reportado por Zabinski Z. y cols., (2000), aunque tales hallazgos fueron en casos de exposición crónica a vapores de mercurio. Estos cambios conducen al estrés oxidativo porque el mercurio tiene una alta afinidad por los grupos sulfhidrilo (-SH), de estas de-

fensas antioxidantes, lo que las desactiva irreversiblemente. Se puede concluir que el daño a la membrana consecuente a la inhibición enzimática debilita la capacidad del glóbulo rojo para manejar radicales libres, lo que sugiere que el mercurio puede llevar a una vida útil más corta de la célula. Interesantemente en el estudio reportado, detectaron una reducción de la HCM y la CHCM muy similar a lo encontrado en este trabajo (Fig 19 C).





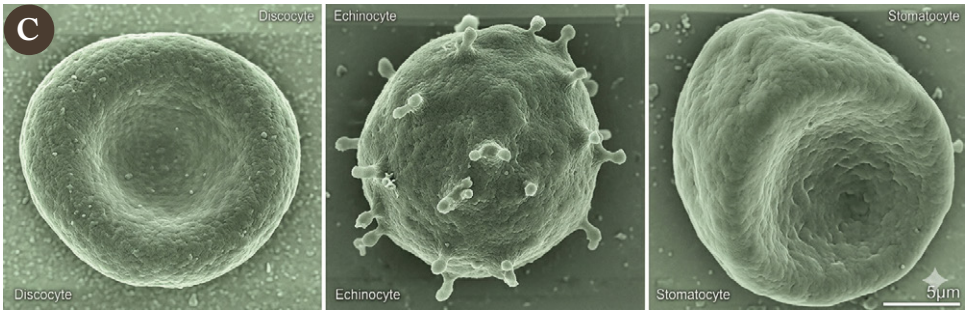


Figura 19. Efectos del mercurio en la scramblasa, proteína intra-membranal de los eritrocitos.
A.- efecto sobre el cambio de orientación de los fosfolípidos en cuanto a sus bases nitrogenadas (fuente: Shettihalli A.K. and Gummadi S.N. 2013.).
B.- Cambios en la scramblasa que inciden sobre la adhesividad de los eritrocitos como efecto de la presencia de metales pesados.
C.- imágenes de los cambios morfológicos en la eriptosis donde se aprecian formas bicóncavas, con microvesiculas en la superficie y estomatocitos (fuente Manzur-Jattina y cols. 2016)

En lo referente a la cantidad del pigmento hemático en los eritrocitos, esta fue más baja en la población examinada en Riberalta, expresada con valores de HCM por debajo de 27 pg (Fig. 16D) y de CHCM por debajo de 310 g/L en el 100% de los casos (Fig. 16 C). El examen microscópico ratifica este último hallazgo ya que se encontró que tenía hipocromía el 88.2% de los casos, aunque la mayoría eran de nivel moderado (Tabla 2). Podría en principio inferirse que la elevada frecuencia de hipocromía, manifestada por la baja hemoglobina corpuscular media es producto del conocido déficit nutricional que habitualmente padecen estas poblaciones y que este se asociaría a una carencia de hierro. Sin embargo, al ser el pescado la dieta predominante en las comunidades estudiadas y siendo este alimento rico en hierro (Yasir Naeem M. y Selamoglu Z., 2023), tal opción podría no ser considerada. En todo caso, una posible relación causal entre el mercurio y la hipocromía se respalda en la evidencia que sugiere que el metilmercurio puede inducir anemia al desencadenar la muerte de glóbulos rojos secundaria a daño oxidativo irreparable, imitando o exacerbando la deficiencia de vitamina B12 o folato, o desregulando directamente la homeostasis del hierro (Guo W. y cols.,2015). En este orden, la hipocromía asociada a la intoxicación crónica con mercurio es un hecho que debe abordarse independientemente de las carencias nutricionales locales que pueden ser

un factor confundente para explicar este tipo de afectación. De todos modos, llama la atención la diferencia significativa encontrada en el nivel de hemoglobina (Fig 15 C), donde el promedio de Riberalta (cuenca menos contaminada) está casi en el límite inferior de referencia y un número significativo de casos se ubica por debajo del mismo. Al no existir antecedentes de efectos paradójicos de la relación entre concentración de hemoglobina con los niveles de mercurio, queda por formular explicaciones relacionadas con la coexistencia de otros factores que incidan, en el nivel local, en la baja producción o aumento de catabolismo de este pigmento. De todos modos, es necesario asentar que no se encontró en las comunidades del río Madre de Dios correlación entre la concentración de mercurio y hemoglobina (r=0,07, *p*=0.579); en cambio sí hubo correlación negativa en las comunidades del río Beni (r=-0.342, p=0.019), tal como lo muestran las tablas 6 y 7. Este último hecho, que estaría relacionado con la mayor contaminación grupal en esta cuenca (como se ve más adelante), es más consistente con un efecto del mercurio sobre la formación de hemoglobina, por mecanismos relacionados con la capacidad de este metal para reducir —de manera similar al plomo— la síntesis de hemo, un componente esencial de la hemoglobina, al inhibir la enzima δ-aminolevulínico deshidratasa (ALAD), la cual cataliza la condensación de dos moléculas de ácido -aminolevulínico (ALA) para formar una molécula de porfobilinógeno, precursor del grupo químico base de la hemoglobina (Pingree S.D. y cols., 2001). En este aspecto, conviene anotar que la inhibición de ALAD al conducir a la acumulación de porfobilinógeno y ALA conducen también a la afectación de Sistema Nervioso central por la alteración de los receptore GABA en el sinaptosoma (Perotoni J .y cols.,2004), hecho que estaría asociado, al menos en parte, a la neurotoxicidad del mercurio.[9]

9 Es importante anotar que también la neurotoxicidad del plomo opera a través de la inhibición de ALAD y la acumulación de ALA, al igual que el mercurio. Sin embargo, esta inhibición puede atenuarse con Zn en el caso de plomo, no así en el caso del mercurio, la cual se atenúa con Selenio, según se ha observado en modelos experimentales (Perotoni J. y cols.2004). Por lo demás, se conoce que él Selenio compite con el mercurio y bloquea la capacidad de este ultimo para inhibir diferentes enzimas (selenoenzimas) que protegen de los agentes oxidantes (Gochfeld M. y Burger j., 2021). De esta forma el Selenio vendría a ser un protector de la actividad toxica del mercurio, en varios blancos bioquímicos. Es interesante destacar que el selenio también puede estar presente en los pescados de consumo y, *si está en proporciones mayores al mercurio*, puede neutralizar sus efectos (Gochfeld M. y Burger j., 2021), lo que ha hecho que varios autores hagan recomendable su consumo cuando existe el riesgo de contaminación por mercurio en el pescado de la dieta (Ralston N. y cols, 2019). Desafortunadamente, esta proporción no es siempre conocida en nuestro medio de modo que no es posible tener certeza en la recomendación de su consumo. Sin embargo, interesantemente, en gran parte del territorio donde se encuentran las comunidades estudiadas y afectadas por la contaminación con mercurio, se produce y consume castaña o almendra amazónica (*Bertholletia excelsa*) fruto con alto contenido de Selenio orgánico, compuesto con muchas propiedades sobre la salud (Alem B. y cols., 2025). En este orden, convendría recomendar ampliamente su consumo por parte de los consumidores de pescado, a pesar de no existir estudios locales al respecto.

La presencia de plaquetas estuvo dentro de parámetros normales en ambas cuencas (fig.15 D).

Tampoco se encontraron datos compatibles con anemia que estén correlacionados con a la concentración de mercurio en cabello, como lo hicieron otros autores (Weinhouse C. y cols., 2017)

En resumen, el mercurio sí es capaz de afectar a las células sanguíneas por varios mecanismos, pero su expresión clínica o laboratorial no siempre es evidenciable ya que en varios estudios las personas expuestas tenían un recuento de células sanguíneas normal siendo los efectos hematológicos del mercurio más evidentes en la serie blanca con incidencia en las células del sistema inmunitario (Queiroz M. y Dantas D. 1997) (Moszczynski P. y cols., 1998) (Kim J. y cols. , 2015). En la serie roja los efectos reportados en la literatura biomédica no parecen ser muy habituales y, como se mencionó antes, cuando ocurren están más bien relacionados con envenenamientos agudos (revisado por Dos Santos V.A. y cols., 2019). Solo un pequeño número de estudios de laboratorio controlados y evaluaciones ecotoxicológicas reportan evidencia de anemia por reducción de la concentración de hemoglobina, tras la exposición al metilmercurio proveniente de la dieta de pescado, exhibiendo correlación (débil) entre la anemia (medida por la concentración de hemoglobina) y el mercurio en cabello. (Weinhouse C. y cols, 2017). En este estudio se detectó la existencia de un número significativo de sujetos con leucocitos (especialmente granulocitos) por encima del límite de referencia, particularmente en las comunidades del río Beni, hecho que puede asociarse a la existencia de fenómenos inflamatorios, tales como los que se reportan en la esfera clínica. También se encontró un porcentaje de leucocitos con imágenes de afectación toxica propia del mercurio: células vacuoladas 15.7% y células atípicas en el 17.4% lo cual se constituye en otra señal de afectación toxica en el tejido sanguíneo. En la serie roja, si bien no se encontraron cambios en la cantidad de glóbulos rojos, respecto a la población abierta, fueron evidentes cambios en la forma y el tamaño de los eritrocitos evidenciables en los estudios micromorfológicos compatibles con la intoxicación crónica por mercurio: altos niveles de microcitosis, anisocitosis, poiquilocitosis que son expresión de cambios en la estructura molecular de la membrana que incide en las propiedades de adhesión a los endotelios vasculares y cambios en la microcirculación vascular. La drástica reducción de la concentración de hemoglobina medible por varios parámetros fue evidente en gran parte de la población. El hallazgo

más importante es la correlación negativa entre el número de glóbulos rojos circulantes y la concentración de mercurio en el cabello de las mujeres de las comunidades de la cuenca más contaminada, la del río Beni.

Tabla 3. Comparación de los valores de referencia y los resultados obtenidos los principales parámetros hematológicos evaluados en la población de las cuencas de loso ríos Beni (Rurrenabaque) y Madre de Dios (Riberalta), señalando el % situado fuera de dichos valores

Parámetro	Valores de Referencia Min/Max		Rurrenabaque			Riberalta		
			Por debajo	Dentro del VR	Por encima	Por debajo	Dentro del VR	Por encima
WBC (103/mm3)	3000	9500	0.0	68.8	31.3	0.0	92.8	7.2
LYM (103/mm3)	1100	3200	0.0	83.3	16.7	0.0	91.3	8.7
GRN (103/mm3)	2000	7000	0.0	77.1	22.9	0.0	97.1	2.9
RBC (106/mm3)	3.65	5.1	0.0	89.6	10.4	1.5	92.8	5.3
HGB (g/Dl	11.75	15	12.5	87.5	0.0	30.4	69.6	0.0
HCT (%)	35	43.5	10.4	87.5	2.1	2.9	87.0	10.1
MCV (fL)	81	100	16.7	83.3	0.0	3.3	96.7	0.0
CHM (pg)	27	34	37.5	62.5	0.0	58.0	42.0	0.0
CHCM (g/dL)	318	357	20.8	79.2	0.0	100.0	0.0	0.0
RDW-C	11.25	15.5	0.0	95.8	4.2	0.0	18.8	81.2
MPV	7.0	11.0	0.0	95.8	4.2	0.0	98.6	1.4
PDW	10.0	17.0	4.2	95.8	0.0	0.0	100.0	0.0
PLT (103/mm3)	150	350	0.0	83.3	16.7	1.4	82.6	15.9

VR*, Valores de referencia para mujeres; número **WBC**, Leucocitos; **LYM,** Recuento absoluto de linfocitos; **GRAN**, [Recuento absoluto de Neutrófilos; Monocitos y Eosinófilos]; **RBC (10^6/mm^3),** Conteo de glóbulos rojos; **HGB (g/dL),** Hemoglobina; **VCM (fl)**, Volumen corpuscular medio; **CHM (pg)**, Hemoglobina corpuscular media; **CHCM (g/dL),** Concentración de hemoglobina corpuscular media; **RDW-C**, Amplitud de la Distribución Eritrocitaria; **MPV**(**fL**), Volumen Plaquetario Medio; **PDW**, Ancho de Distribución Plaquetaria; **PLT (fL)**, Recuento de plaquetas

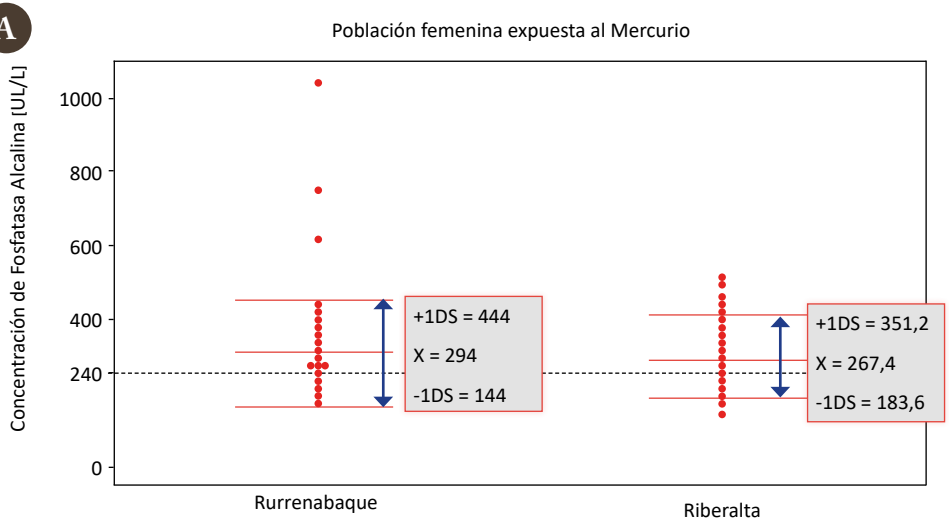
Todos los impactos del mercurio en la serie roja son compatibles con algunas expresiones clínicas reportadas por las mujeres examinadas, tales como la fatiga en reposo, la anorexia, los mareos, la cefalea permanente y otras. Si bien no se detectaron clínicamente alteraciones en el aparato cardio circulatorio, su condición de amenaza radica en el riesgo de daño cardiovascular evidente, por lo que queda la necesidad de hacer los correspondientes exámenes especializados de gabinete para documentar los cambios esperables.

En fin, en el conjunto de valores hematimétricos varios de ellos se modifican drásticamente como se aprecia en la tabla 3 en la que se muestra los porcentajes de aquellos parámetros que se ubican fuera de los valores de referencia (IR), tanto en la cuenca del río Beni como en el Madre de Dios. Tales resultados están en línea con otro estudio en el que encontraron aumento estadísticamente significativo en HCT y RBC, y una disminución en MCV y MCHC en el que, además, encontraron modificaciones en la concentración y actividad de diversas enzimas eritrocitarias (Zabinski Z. y cols., 2000), mostrando que los eritrocitos, son un blanco consistente en la intoxicación con mercurio,

Perfil Hepático evaluado por Marcadores bioquímicos

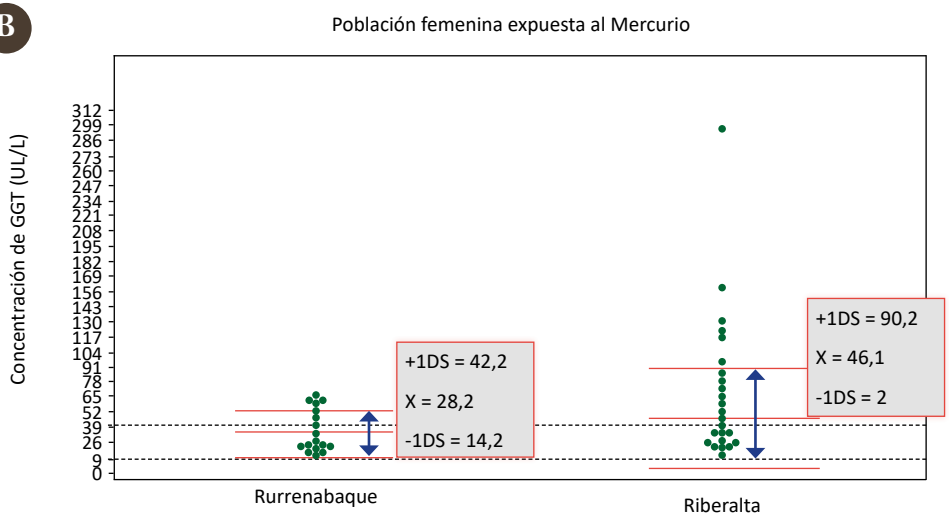
El examen del funcionamiento del hígado a través de los marcadores bioquímicos más utilizados en la clínica revela que en porcentajes significativos de la población los valores se elevan a niveles compatibles con patología hepática (Figura 20). Así, la Fosfatasa alcalina (Fig 20A) se eleva por encima del límite máximo en el en el 60% (cuenca del río Beni) y en el 52% (cuenca del Madre de Dios), lo cual es compatible con afectación del hígado o del metabolismo óseo en estas personas. En el caso del hígado esta elevación es frecuente en trastornos obstructivos e infiltrativos; como los primeros pueden excluirse en este caso, queda por establecer una probable causalidad relacionada con una hepatopatía infiltrativa que puede ser inducida por el contaminante estudiado, dada su capacidad para generar problemas de tipo inflamatorio (Pollard K.M, y cols., 2019). La posibilidad de que la afectación sea más bien al hígado que al hueso se incrementa con la elevación de la Gama-glutamil-transferasa (GGT) en el 34% (Riberalta) y en el 20%(Rurrenabaque) de los casos, con algunas elevaciones muy drásticas en el caso de la cuenca del río Madre de Dios (Fig. 20 C). En el caso de los otros marcadores de daño hepático (Transaminasa Glutámico-Oxalacética o GOT y Transaminasa Glutámico-Pirúvica o GPT), alrededor del 20% de las mujeres examinadas los tienen por encima de los valores normales. Lo anterior indica que un porcentaje importante de la población femenina de estas comunidades tienen afectación hepática. Tal fenómeno es compatible con lo que se ha establecido en la intoxicación con mercurio, en la que, por ser este uno de los órganos en los que más se acumula este metal pesado (Ramírez A.V. 2019), la afectación hepato-celular es una consecuencia directa, aunque también hay datos que son compatibles con afectación de tipo obstructivo. De hecho, el incremento de la FAL es expresión habitual de este tipo de daño (Lee M-R y cols.,2017).

A

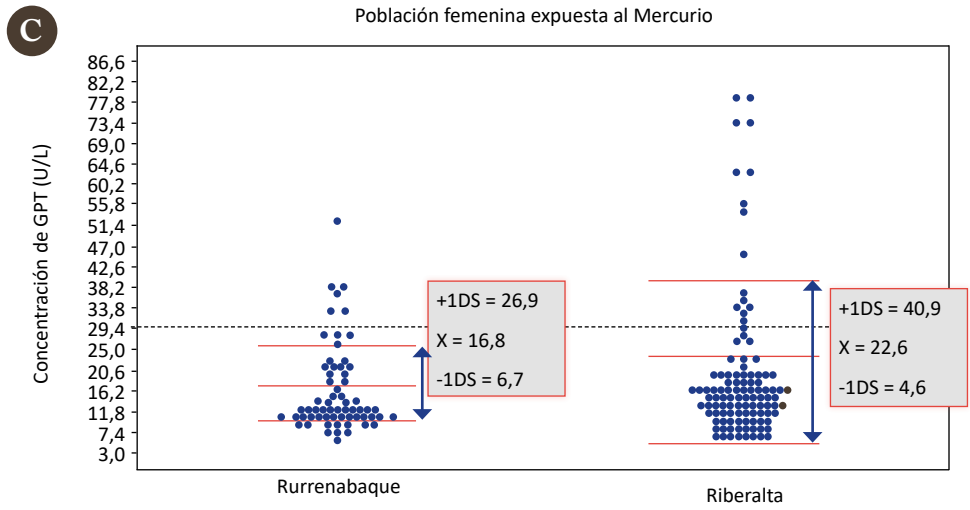


Valor de referencia de FAL 0 -240 UL/L
Valor p= 0,261, es p>0,05

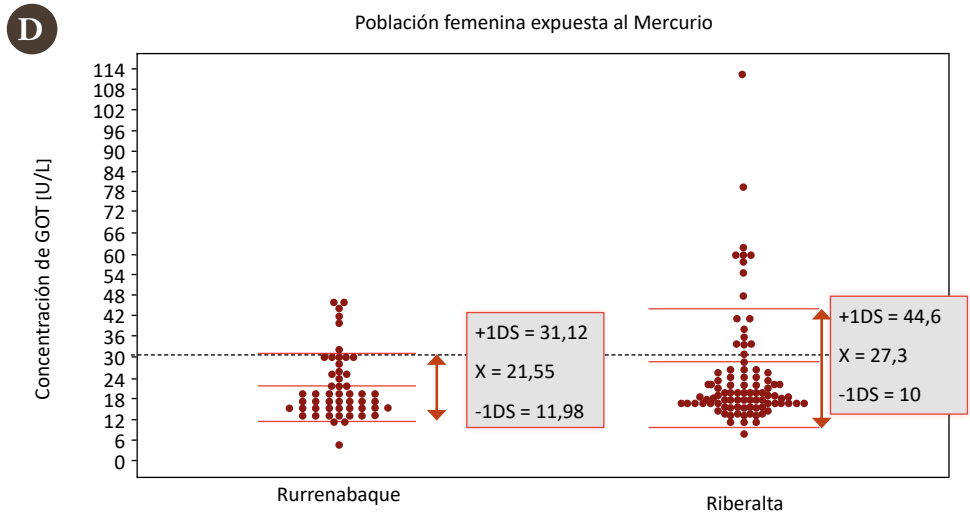
B



Valor de referencia de GGT: 9 -39 UL/L
Valor p= 0,002, es p<0,05



Valor de referencia de de GPT en mujeres: 0.32 U/L
Valor p= 0,027, es p<0,05

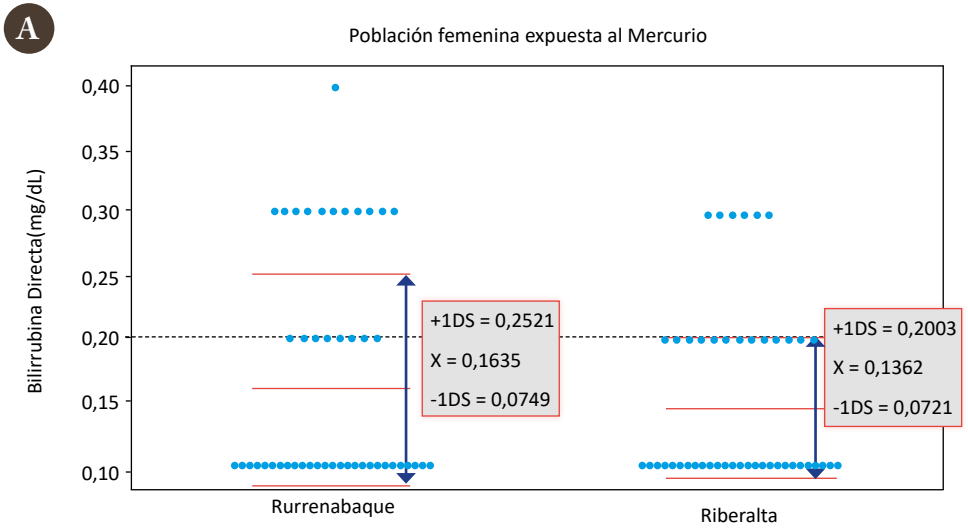


Valor de referencia de GOT en mujeres: 0.31 U/L
Valor p= 0,020, es p<0,05

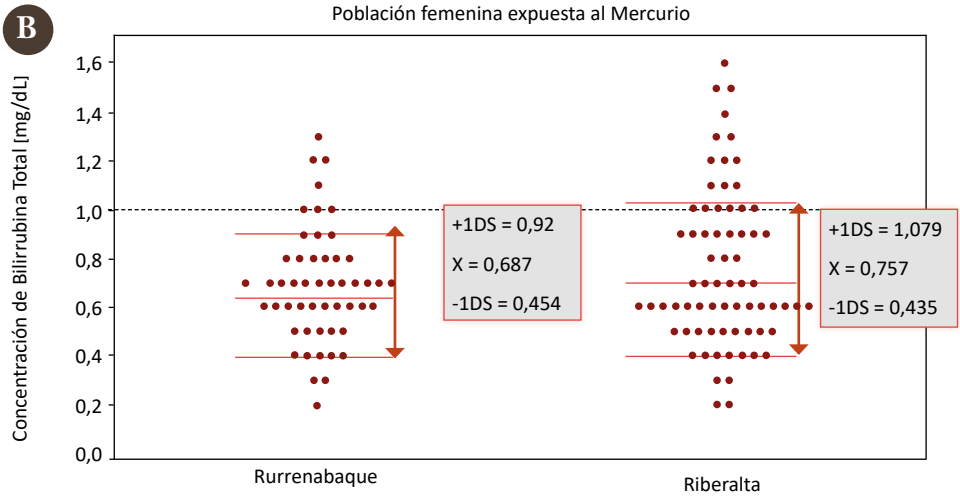
Figura 20. Marcadores bioquímicos del funcionamiento hepático en mujeres habitantes de las cuencas del río Beni y Madre de Dios. Se muestran los promedios ± 1D.S. y la significación estadística de la diferencia.

La tendencia a la afectación hepática encontrada en este estudio, está en línea con lo reportado sobre los principales efectos del metil-mercurio en el hígado en modelos experimentales que incluyen, por un lado, el daño tisular debido al aumento de marcadores de estrés oxidativo, como la peroxidación lipídica hepática, la 8-desoxigunosina, las especies reactivas de oxígeno y los grupos carbonilo, que se encuentran en concentraciones significativamente mayores, en comparación con el grupo control y, por otro, la inflamación, como efecto de la activación del sistema inmunológico que incrementa los marcadores inflamatorios, tales como el factor de necrosis tumoral α, producto final de la cascada de mediadores inflamatorios (Faheem M.y cols, 2019). Lo anterior conduciría a una disfunción metabólica con afectación de la capacidad del hígado para metabolizar correctamente otras sustancias lo cual es compatible con las alteraciones clínicas expresadas en el examen médico.

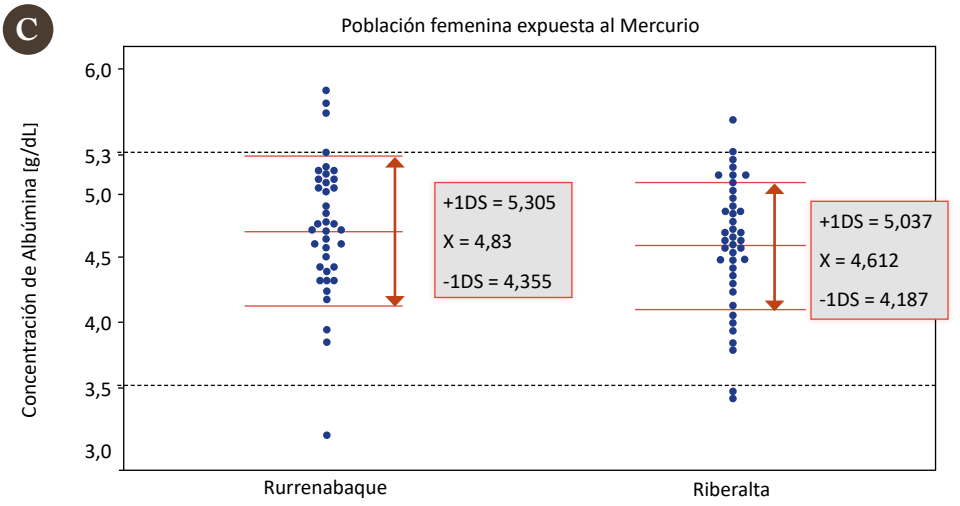
Aunque el porcentajes de sujetos con bilirrubinemia directa o total no es abundante (porcentaje máximo 20% por encima del nivel de referencia), la existencia de estos sujetos en porcentajes mayores a los de la población abierta, refuerza la existencia de daño hepático en la población (Fig. 21).



Valor de referencia de bilirrubina directa: hasta 0,2 mg/dL
Valor p= 0,064, es p>0,05



Valor de referencia de bilirrubina total: hasta1,0 mg/dL
Valor p= 0,169, es p>0,05



Valor de referencia de albúmina: 3,5 - 5,3 g/dL
Valor p= 0,019, es p<0,05

Figura 21. Niveles de bilirrubina directa (A), bilirrubina total (B) y concentración de Albumina (C) en suero de mujeres habitantes de las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios. Se muestran los promedios ± 1D.S. y la comparación estadística para valora la diferencia

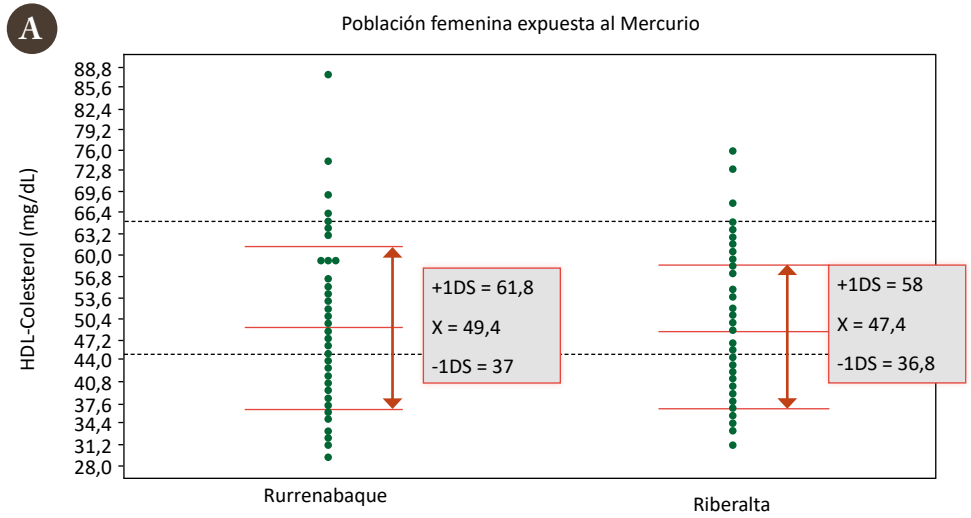
La concentración de albumina en el suero de las mujeres de ambas cuencas tienen promedios parecidos y el conjunto se sitúa entre los niveles de referencia, aunque la dispersión de datos muestra una gran diversidad de reacciones orgánicas a los factores locales que afectan las funciones de hígado y riñón.

Riesgo cardiometabólico explorado por marcadores cardiolipídicos

Los marcadores bioquímicos que exploran el perfil cardiolipídico se mostraron alterados grupalmente. Entre el 44 y el 51% de las mujeres examinadas en ambas cuencas mostraron niveles de HDL colesterol (lipoproteína de alta densidad) fuera del rango normal y la mayoría con tendencia a los niveles mínimos o a la franca reducción por debajo de los límites de referencia (Figura 22 A). Lo anterior está en línea con lo encontrado con Hong y cols. (2013) que asocian a los niveles altos de mercurio con la reducción de HDL colesterol. Asimismo, otros autores encuentran una asociación negativa entre este marcador y la concentración de mercurio con excepción de lo que ocurre en sujetos hipertensos (Zhao, H. y Peng, J., 2024); en linea con lo anterior, otros muestran una fuerte asociación positiva con LDL-C y negativa con HBL-C (Meltzer H.M. y cols., 1994). En este trabajo hemos encontrado una débil asociación positiva entre colesterol y mercurio en cabello (0.287 p=0.05) solo en la cuenca más contaminada (rio Beni) que está en línea con lo encontrado por Helle y cols. (1994). En ese marco, aunque sigue siendo controversial esta asociación, tiene sentido considerar que la reducción del HDL colesterol, por mecanismos aun no completamente aclarados, puede ser una ruta para explicar el riesgo cardiovascular que implica la intoxicación crónica con mercurio, toda vez que este marcador, que indica el adecuado manejo metabólico del colesterol en el organismo (traslada el colesterol al hígado para ser metabolizado, con lo que reduce las posibilidades de la instalación de un proceso arterioesclerótico), al estar reducido en su concentración —y posiblemente aumentada la concentración de LDL (Buhari O. y cols., 2020)— favorece la intervención del colesterol en procesos de afectación del sistema cardiovascular. Lo anterior parece estar en consonancia con el hecho de que un porcentaje llamativo de mujeres tienen elevados los niveles de colesterol (22 y 33%) por encima del límite aceptado para la población abierta (Fig. 22 B). Esto ratifica la idea general de que la intoxicación crónica se asocia con la elevación del colesterol y que esto, a través de mecanismos de la formación de radicales libres, provoca la oxidación de LDL, elevando las secuelas de arterioesclerosis. Asimismo, se pudo observar que

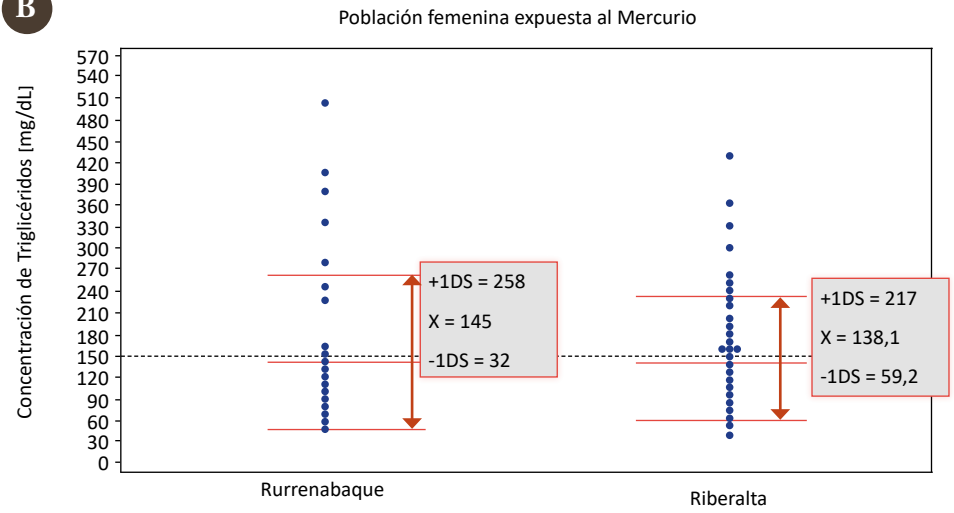
los niveles de triglicéridos estaban aumentados en estas mismas proporciones (Fig 22 C) y, sugestivamente, son las mismas personas las que tienen elevados estos dos últimos marcadores, hecho demostrado por la regresión lineal que se muestra en la Figura 23 con una r = 0.27 (Rurrenabaque) y 0.5 (Riberalta). Esto puede ser explicado por la existencia de un factor común que incide en dichos incrementos, aunque estos sean independientes entre sí. En este caso, tal factor podría ser el sedentarismo, pero también la intoxicación crónica con metil-mercurio, ya que la presencia de este metal pesado se ha asociado a la obesidad, aunque los mecanismos a través de los cuales provocan estos incrementos aún no están dilucidados (Jeon J. y Park K.,2023).

La existencia de un porcentaje importante de mujeres con Deshidrogenasa Láctica (LDH) elevada (Fig. 22 D) sugiere daño celular que, aunque no se definen las isoenzimas presentes (que definen el origen de la enzima), orienta a pensar en un posible origen cardiaco por el riesgo cardiovascular acompañante (porcentajes elevados, respecto a la población abierta, de HDL baja, triglicéridos y colesterol altos y eriptosis). En conjunto la existencia de múltiples casos con niveles de marcadores cardiolipídico fuera de los límites de referencia asienta la posibilidad de la presencia de un elevado riesgo cardiaco en esta población contaminada



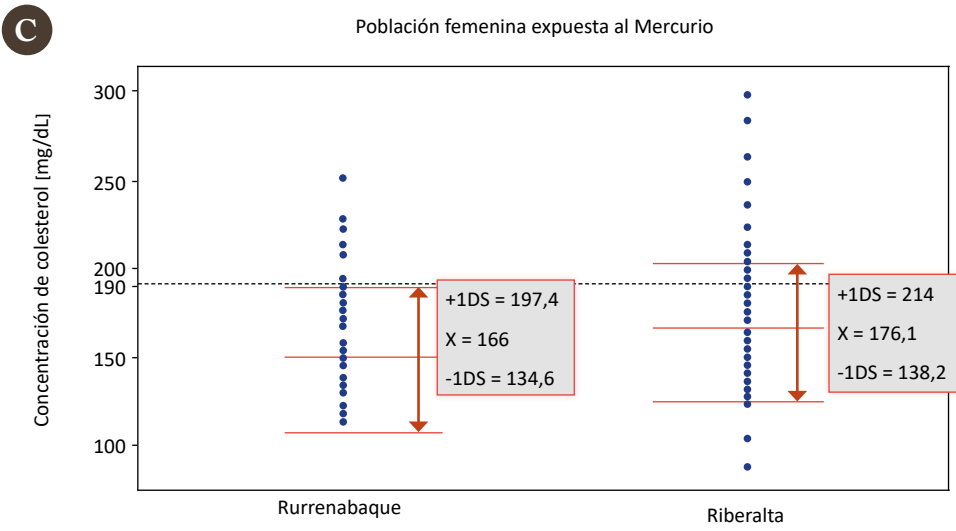
Valor de referencia de HDL-colesterol en mujeres: (45-65)mg/dL
Valor p= 0,348, es p>0,05

B

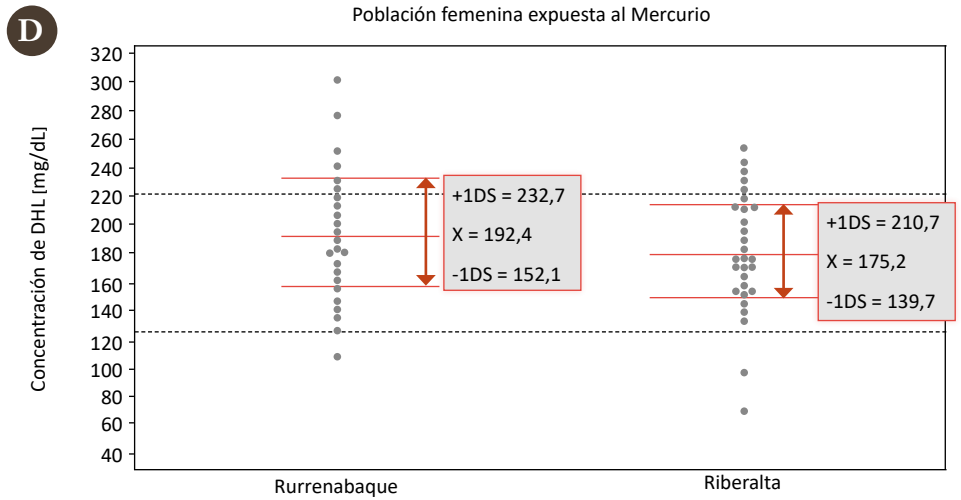


Valor de referencia de los triglicéridos hasta 150 mg/dL
Valor p= 0,699, es p>0,05

C

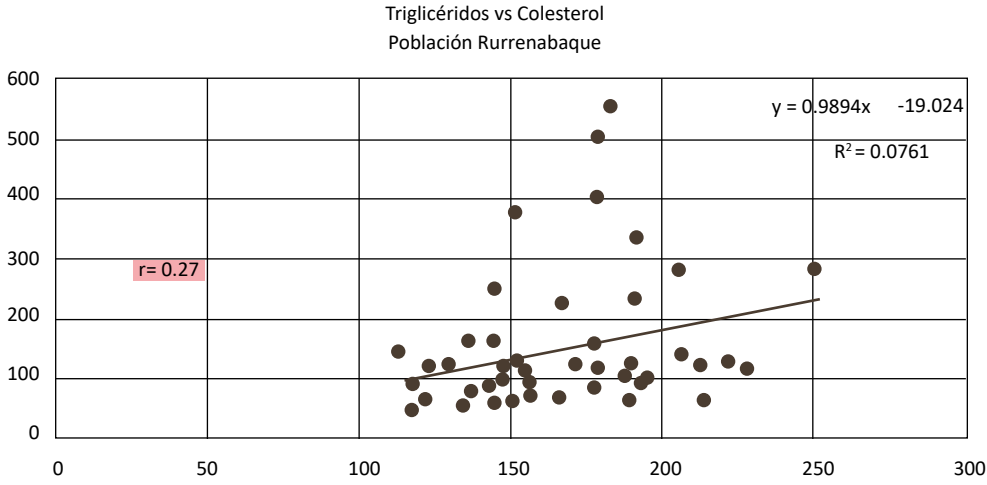


Valor de referencia de colesterol menor a 190 mg/dL
Valor p= 0,108, es p>0,05



Valor de referencia de DHL: 125 - 220 mg/dL
Valor p= 0,016, es p<0,05

Figura 22. Perfil cardiolipídico en mujeres de las comunidades de la cuenca de los ríos Beni y Madre de Dios. Se aprecia las concentraciones de HDL-colesterol (A), triglicéridos (B), colesterol(C) y DHL (D). Se muestran los promedios +- 1D.S, las diferencias estadísticas y los valores de referencia.



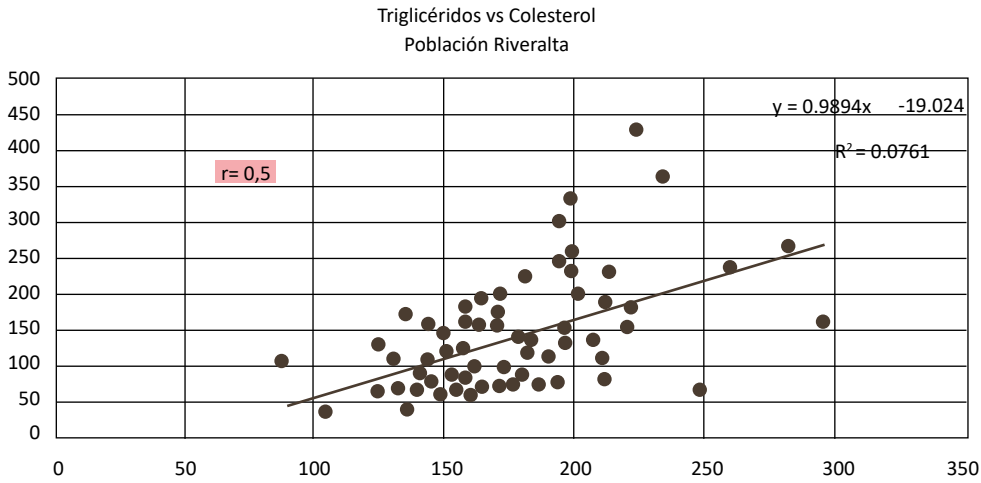
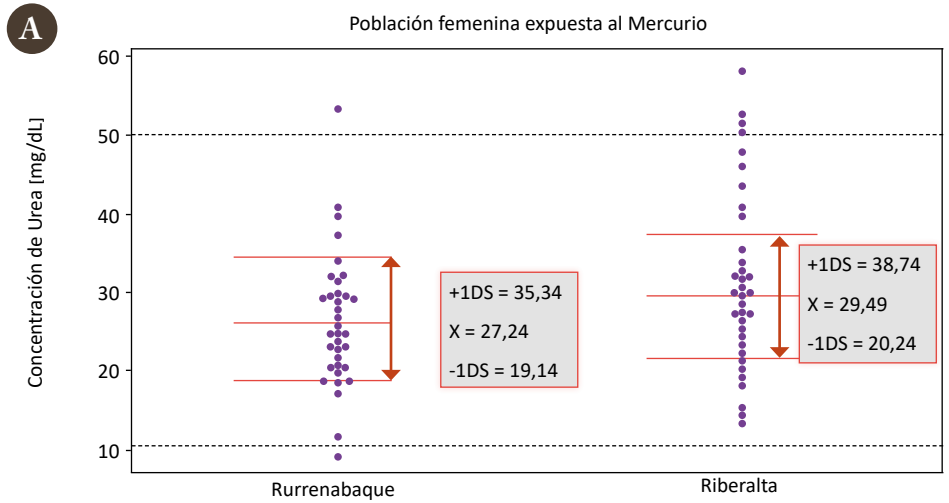


Figura 23. Regresión lineal entre los niveles de triglicéridos y colesterol de mujeres examinadas en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios. Los valores de r muestran que las personas con alto porcentaje de colesterol tienen también altos porcentajes de triglicéridos.

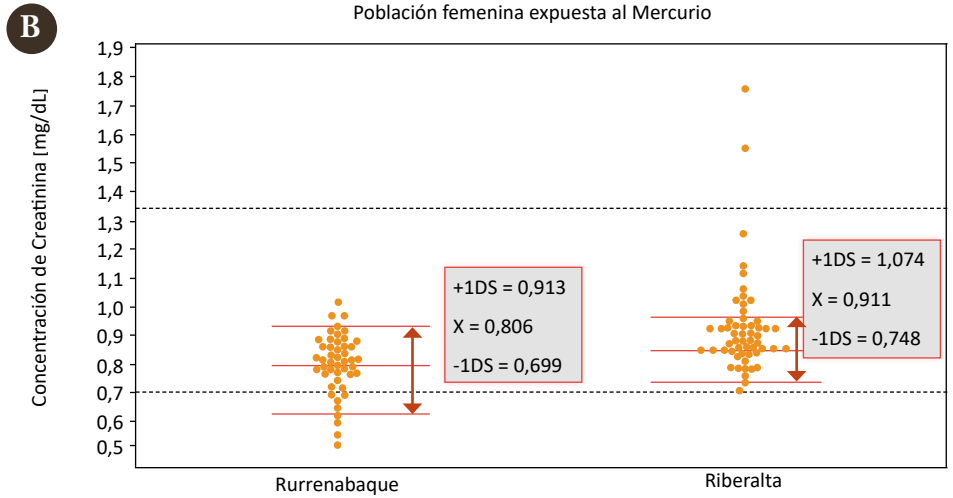
El Perfil Renal y sus Marcadores

En referencia a los marcadores que muestran el funcionamiento renal, se aprecia que gran parte de los casos de ambos grupos se ubican dentro de los márgenes de referencia, aunque la población de la cuenca del río Beni tiene, en promedio, valores menores a los de la población examinada de la cuenca del Madre de Dios. En el caso de los niveles de creatinina en la figura 24 se aprecia una diferencia estadística significativa, la misma que parece estar dada por la existencia de sujetos, en el caso de Rurrenabaque cuyos valores están por debajo del límite inferior (lo que incide en el promedio) y en el grupo de Riberalta existen casos que llegan al límite superior y algunos sobrepasan el mismo. Esto podría mostrar que en Riberalta existen factores que afectan a la población en lo referente a la capacidad de depuración renal. Sin embargo, en general la mayor parte de las mujeres de ambas cuencas tienen los otros marcadores renales (ácido úrico, urea) entre los rangos de referencia de normalidad en la población abierta (Fig. 24). Lo anterior está en línea con el hecho de que el mercurio es nefrotóxico fundamentalmente cuando circula en la sangre como ion mercurio, y en esta condición se deposita en el tejido renal (Gao Z y cols., 2022). En el presente estudio, la contaminación

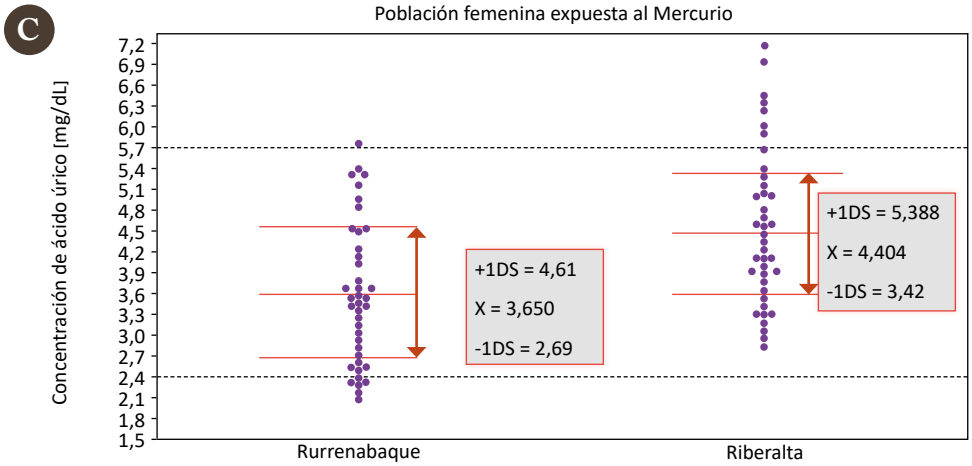
con mercurio, al ser mediada por la alimentación de pescados contaminados, es fundamentalmente con metil-mercurio lo que reduciría la afectación a este órgano depurativo. Los datos de la indagación clínica (escasa incidencia de signos y síntomas de afectación renal) apoyan esta idea.



Valor de referencia de Urea: 10 - 50 mg/dL
Valor p= 0,157, es p>0,05



Valor de referencia de creatinina en mujeres: (0,7 - 0,37) mg/dL
Valor p= 0,000, es p<0,05



Valor de referencia de ácido úrico en mujeres: (2,4,-5,7) mg/dL
Valor p= 0,000, es p<0,05

Figura 24. Niveles de marcadores del perfil renal en mujeres de las comunidades ubicadas en las cuencas del río Beni (muestras tomadas en Rurrenabaque) y del río Madre de Dios (muestras tomadas en Riberalta). Se muestran los promedios y la desviación estándar, así como el rango de los valores normales de referencia.

Tabla 4. Tabla de condensación de los porcentajes de los marcadores bioquímicos encontrados fuera o dentro del rango de los limites o intervalos de referencia (IR)*

Variable	IR*	Rurrenabaque (n: 50)			Riberalta (n: 70)	
		Dentro IR (%)	Fuera IR (%)	IR*	Dentro IR (%)	Fuera IR (%)
CREAT-S (mg/dL)	0.7 – 1.37	90	10		97.1	29
ALT/GPT (UI/L)	0-32	88	12		81.4	18.6
AST/GOT (UI/L)	0-31	88	12		80	20
FAL	0-240	40	60		47.1	52.9
GGT	9-39	80	20		66.7	34.3
ALBUMINA	3.5-5.3	72	28		90	10
P-TOTALES	6.2-8.5	98	2		100	0
HDL	45-65	56	44		48.6	51.4
AC-ÚRICO	2.4-5.7	94	6		88.6	11.4
UREA	10-50	92	8		94.3	5.7
COLESTEROL	<190	78	22		67.1	32.9

Variable	IR*	Rurrenabaque (n: 50)			RIberalta (n: 70)	
		Dentro IR (%)	Fuera IR (%)	IR*	Dentro IR (%)	Fuera IR (%)
TRIGLICÉRIDOS	150	76	24		62.9	37.1
LDH	125-220	76	24		85.7	14.3
BD	0.2	76	24		88	12
BT	1.0	78	22		76	24

*Los valores más relevantes se resaltan en rojo

Como puede apreciarse en la tabla 4, gran parte de los marcadores bioquímicos tienen porcentajes elevados de casos con valores que están fuera de los niveles de referencia. Destacan la FAL y la HDL, ambos marcadores del funcionamiento hepático. La existencia de altos porcentajes de los marcadores por fuera de los niveles de normalidad de la población abierta muestra los efectos de la intoxicación, mismos que ya han sido reportados como indicadores de intoxicación y daño en otros ámbitos con contaminación laboral o por alimentación. Es importante asentar que, al igual que lo hallado en este trabajo, en todos los reportes sobre estos efectos de la intoxicación crónica, el porcentaje de casos con niveles anormales siempre es una fracción de la población expuesta y en ningún caso se reportan afectaciones de toda la población examinada en ningún marcador (Ha, E y cols., 2017).

Marcador del funcionamiento tiroideo

Los valores de la hormona tiroestimulante (TSH) obtenidos en ambas poblaciones muestran que, en general, no existen modificaciones respecto al rango de la población normal (Fig 25). Las alteraciones que se reportan en la tiroides por la intoxicación crónica por el mercurio, órgano en el que se deposita este metal cuando penetra como *mercurio inorgánico* emitido en ambientes laborales, causan hipotiroidismo por daño tisular en la glándula y efectos degenerativos como cáncer y autoinmunidad (Pamphlett R, y cols., 2021). En el estudio presente, la ingestión de metil-mercurio por la dieta podría no apuntar a la tiroides como el blanco fundamental, lo que se refuerza por la escasez de estudios que traten expresamente la afectación de la tiroides con esta forma molecular del mercurio. En todo caso debe asentarse que se escogió la determinación de la TSH como indicador de la alteración de la función tiroidea —no obstante que su origen es hipofisiario— porque su síntesis y liberación es regulada por la presencia de hormonas tiroideas en circulación en el proceso de retroalimentación que determina la regulación de este circuito.

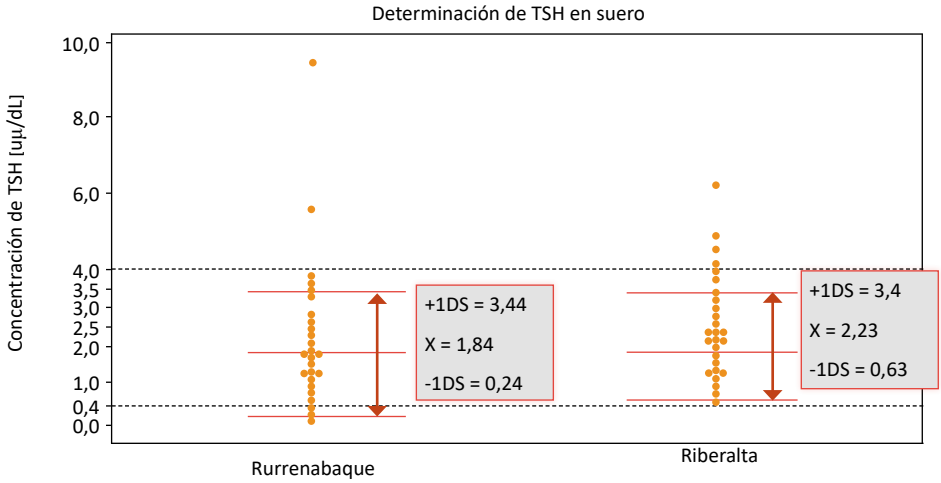


Figura 25. Se muestran los niveles de hormona Tiro-estimulante (TSH) en el suero de mujeres de las comunidades de las cuencas de los ríos Beni (Rurrenabaque) y Madre de Dios, se marcan los promedios +-1D.S. La mayoría de ambas poblaciones se ubican dentro de los intervalos de referencia.

Estudios de Genotoxicidad

Se sabe que el mercurio es un agente con capacidad para modificar la estructura del ADN a través de diferentes mecanismos basados, tanto en su capacidad de unirse a grupos sulfhidrilo, como en la reacción química que se desencadena con diferentes moléculas biológicas. En ese marco, el mercurio podría estar involucrado en cuatro procesos principales que conducen a la genotoxicidad: generación de radicales libres y estrés oxidativo, influencia en los mecanismos de reparación del ADN, interacción directa con las moléculas de ADN formando aductos o al interferir con las enzimas de reparación del ADN y acción sobre los microtúbulos que altera la formación del huso mitótico, lo que puede llevar a la segregación cromosómica incorrecta (Crespo-López M.E y cols., 2009). Estos efectos genotóxicos contribuyen a la instalación de efectos perjudiciales como el cáncer, problemas en la reproducción y fallas en el desarrollo del sistema nervioso (Carta P. y cols., 2003).

En las figuras siguientes se observan los resultados de los ensayos de Genotoxicidad, medidos por la prueba del Cometa que mide el daño en el material

genético (ADN) de las células individuales. En la figura 26 se evidencia una diferencia notable en el daño al ADN entre las dos comunidades estudiadas. La población de las comunidades del río Madre de Dios, examinadas en Riberalta, presenta un riesgo genotóxico elevado, en el que el promedio y la mayoría de las mujeres superan el umbral de seguridad (27%), mientras que en la población de las comunidades del río Beni, examinadas en Rurrenabaque, solo 5 casos sobrepasan ese umbral.

El alto nivel de daño en el ADN en Riberalta es un indicador de estrés genotóxico que puede traducirse en un mayor riesgo para la salud a largo plazo, como un incremento en la probabilidad de desarrollar enfermedades crónicas, incluyendo ciertos tipos de cáncer, o problemas en los sistemas nervioso e inmunológico. En el caso presente, se evidencia que las poblaciones de ambas comunidades sufren de daño genético, pero la situación de la cuenca del río Madre de Dios es mucho más crítica, lo que indica la necesidad de una atención prioritaria en términos de salud pública y medidas de mitigación, ya que, se puede presumir la existencia de factores que inciden en la afectación del material genético.

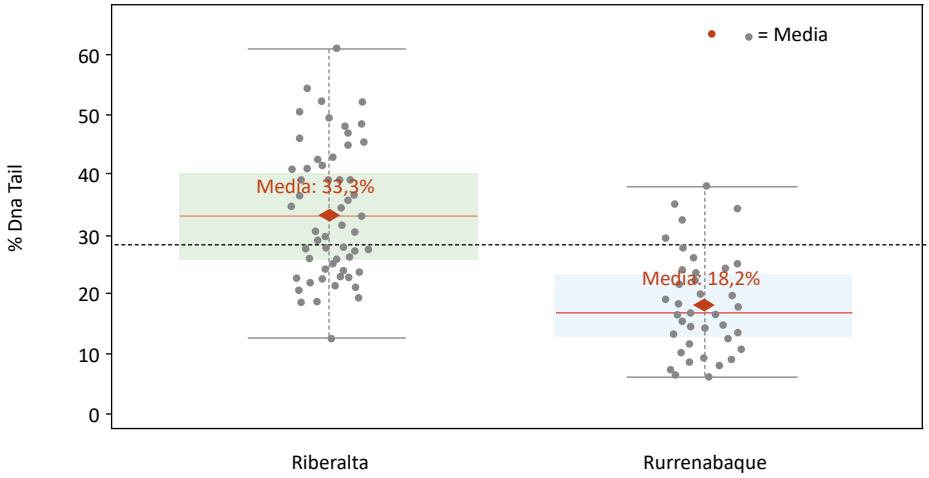


Figura 26. Se muestran los resultados de la prueba del cometa en linfocitos de mujeres de las comunidades ribereñas de los ríos Madre de Dios y Beni. Se observa el umbral (27%) que establece el riesgo de daño genotóxico.

Llama la atención el hecho de que los niveles de mercurio en el cabello de las personas examinadas no están asociados con el grado de daño en el ADN medido en este estudio, tanto a nivel grupal (de hecho, las mujeres de las comunidades del río Beni tienen niveles de mercurio en el cabello mayores que las del río Madre de Dios, pero el daño genotóxico es menor, Fig. 26) como en el nivel individual, ya que no se ha encontrado correlación significativa por regresión lineal entre la concentración de mercurio en cabello y daño genotóxico en linfocitos circulantes (r= 0.055 Rurrenabaque y r= -0.17 Riberalta). Esto puede indicar que un aumento en la concentración de Hg en cabello no predice un aumento en el daño genotóxico, y viceversa. Lo anterior podría deberse a que el daño es causado por una exposición pasada —que podría haber sido de niveles mayores en al caso de Riberalta— y no por la exposición actual, cuya concentración puede ser muy diferente; en este orden hay que recordar que la concentración de mercurio con la que debe haber una correlación es con la de la sangre, ya que es en este medio donde esta agente toxico ejerce su acción sobre las células estudiadas (Lee M.R., y cols. 2017). Otra explicación se asocia a la posibilidad de que, con niveles muy altos de exposición crónica, como la de la cuenca del río Beni, el cuerpo pudiese haber activado mecanismos de reparación del ADN o de detoxificación de manera más eficiente en algunos individuos, alcanzado un umbral de saturación de daño. Otros factores se discuten más adelante, incluyendo la posibilidad de que exista otros agentes tóxicos en el ambiente.

El examen microscópico de las células obtenidas del exfoliado de la mucosa bucal también muestra que existe daño genotóxico por agentes externos. La tabla 5 muestra los tres tipos de anomalías nucleares estudiadas en el citoma bucal, que son biomarcadores de genotoxicidad y citotoxicidad en los que los valores más altos indican mayor daño celular. La cariolisis o disolución del núcleo celular (CL) es un indicador de muerte celular o daño citotóxico. Se encontró que las comunidades examinadas en Riberalta presentan un nivel significativamente mayor de citotoxicidad en comparación con las examinadas en Rurrenabaque, aunque los niveles de estos marcadores en ambas cuencas se encuentran dentro de los limites aceptados para la población abierta (Células binucleadas entre el 1 y el 5/1000 cels., Broken Eggs entre el 1 y 2/1000 cels. y Cariolisis entre el 5 y 20/1000 cels.). Sin embargo, la elevada dispersión de resultados expresada en la desviación estándar (40.8±23.4) en Riberalta indica que existe una alta variabilidad entre individuos, sugiriendo que algunos casos —los de valores más elevados y que están por encima de los valores

aceptados como normales— están experimentando un daño celular muy severo. En lo referente a las células binucleadas (BN), que indican alteraciones en el proceso de división celular, Riberalta muestra una frecuencia significativamente mayor de este tipo de anomalía, lo que sugiere que la exposición al mercurio está interfiriendo con el proceso normal de mitosis (división celular). En cambio, las imágenes de "Broken Egg" (BE) o de daño nuclear evidenciable por la presencia de núcleos con protrusiones o fragmentados, muestra una diferencia no significativa entre ambas cuencas; ambos valores son bajos y similares, aunque Riberalta mantiene una media ligeramente superior. Estas diferencias entre cuencas son consistentes con el mayor daño en el ADN observado en la prueba del cometa en Riberalta (% de ADN en la cola), construyendo una evidencia sólida sobre el impacto diferencial del mercurio en estas cuencas

Tabla 5. Evaluación de anomalías nucleares en células exfoliadas del citoma bucal en la población de estudio por comunidades

Tipo de Anomalía Nuclear	Riberalta (n=70)	Rurrenabaque (n=52)	p
Células binucleadas (BN)	4.40 ± 0.98	3.65 ± 0.96	*
Broken Egg (BE)	1.20 ± 0.632	1.09 ± 0.302	
Cariolisis (CL)	40.8 ± 23.4	31.9 ± 10.5	**

Se muestran el número de alteraciones por cada 1000 células examinadas. Se realizaron comparaciones entre las comunidades de Riberalta versus las comunidades de Rurrenabaque. Se consideró la existencia de diferencia con significancia estadística con un valor $p \leq 0.05$ * o $p \leq 0.01$**.

Lo anterior tiene implicaciones importantes para la Salud ya que el aumento de células binucleadas y con cariolisis respecto a la población abierta (en la cual no se observan estos daños), representa daño celular acumulado que está asociado con mayor riesgo de inflamación crónica, envejecimiento celular prematuro y potencial desarrollo de condiciones precancerosas (Rosales-Rimache J.A. y cols. 2013). El análisis del citoma bucal refuerza la conclusión de que la cuenca del río Madre de Dios está experimentando un impacto muy severo por la exposición al mercurio, mostrando tanto daño genético como muerte celular acelerada.

Las pruebas del cometa fueron medidas en células circulantes ya que se asume que las mismas están en contacto con el agente toxico (metil-mercurio) y que este

actúa de las maneras ya mencionadas. Está claro que el mercurio, al tener capacidad para atravesar la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica (Crespo-López M.E y cols., 2009) y actuar directamente sobre las células, determina una situación de alto riesgo para el producto en caso de embarazo. Asimismo, al tomar contacto con células germinales (espermatozoides y óvulos) también predispone a la alta posibilidad de malformaciones, tal como se reporta en varios estudios (da Rocha J.C y cols.,2011) (Ruda A.,2008) (Rojas M. & Walker L., 2012). Desafortunadamente, en el estudio que reportamos (mujeres en edad fértil), no fue posible recuperar esta información en las encuestas efectuadas en lo referente a los antecedentes, por la negativa a tocar el tema por parte de las mujeres estudiadas. Sin embargo, la elevada frecuencia de abortos espontáneos (51% en la cuenca de Madre de Dios y 23% en la del Beni), frente al 10-20% en la población general de Bolivia, es compatible con efectos embriotóxicos.

Evaluación clínica

Valoración Clínica General.

Si bien en este estudio piloto no se efectuaron pruebas especializadas para los diferentes sistemas, la recuperación de información en las historias clínicas estuvo orientada a explorar posibles afectaciones en los órganos que más frecuentemente expresan síntomas en la intoxicación crónica con mercurio. La figura 27 muestra los principales antecedentes patológicos reportados por las personas encuestadas. El ordenamiento de los resultados se basó en la frecuencia reportada por las mujeres encuestadas en Riberalta y se puede ver que existen frecuencias diferentes de la toxicidad por el mercurio en ambas poblaciones. Algunas expresiones de toxicidad fueron comunes en ambas; tal es el caso de la cefalea (70 y 80%), la perdida de cabello (60 y 30%), la mala visión (40 y 46%), la diarrea (40 y 42%), la irritación de garganta o nariz (41 y 38%), la picazón y lagrimeo en los ojos (51 y 29%), la pérdida de fuerza en las manos (42 y 26%), la dificultad para dormir (40 y 23%), los cambios en el estado de ánimo (9 y 45%), la pérdida de memoria (29 y 28%), la sensación de pinchazos en cara o extremidades (36 y 21%), las náuseas y vómitos (32 y 28%) y fatiga en reposo (19 y 28%).

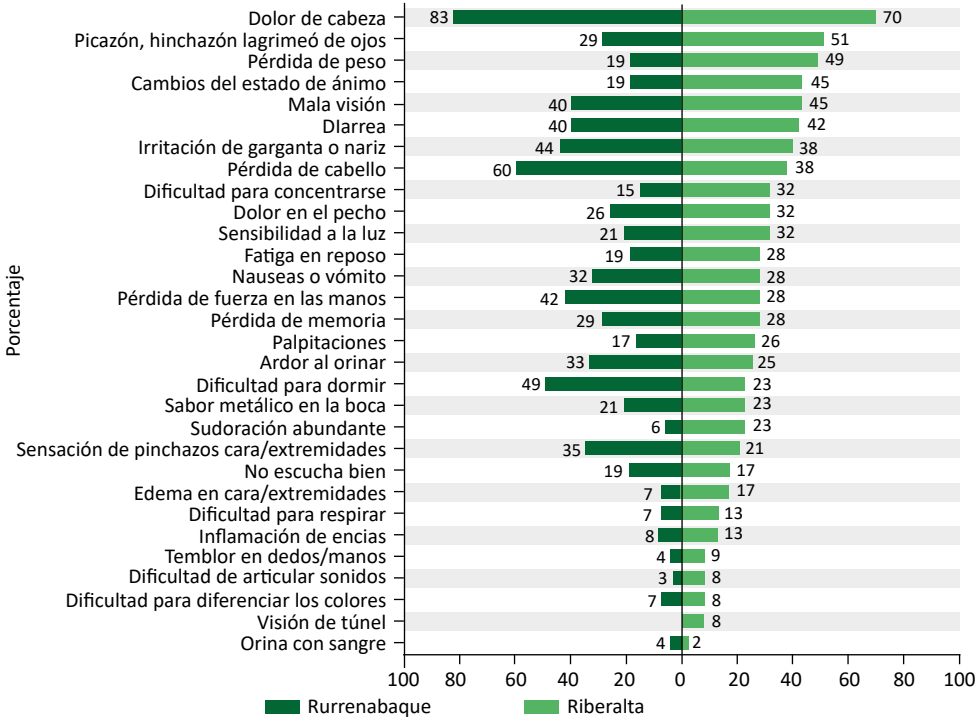


Figura 27. Antecedentes patológicos recogidos mediante encuestas médica a las participantes en el estudio. Se ordena en porcentaje de frecuencia de mayor a menor según los recogido en la cuenca del Madre de Dios.

Lo anterior es un reflejo del estado de salud de la población a través de las condiciones de las mujeres examinadas. De acuerdo con lo que se conoce sobre la intoxicación con mercurio (Ramirez A. 2008), los síntomas y signos reportados son expresión de la exposición al contaminante más abundante en los ríos explorados. Sin embargo, no puede descartarse la posibilidad de que muchos de ellos sean el efecto de una sinergia entre la contaminación de mercurio con la dieta y las condiciones de salud en las que inciden: la malnutrición, las parasitosis, la falta de higiene oral, la falta de agua potable y otras (información recuperada en el estudio y mostrada en la parte 2 de este trabajo).

Capacidad auditiva

Además de los datos clínicos que se encuentran habitualmente presentes en la intoxicación crónica con mercurio los cuales se recuperaron en la historia

clínica ampliada, se examinó la frecuencia de alteraciones en la agudeza auditiva en las mujeres participantes en el estudio.

Se sabe que el mercurio es un agente ototóxico (Hoshino A. y cols 2012) pero su expresión clínica es aún controversial, particularmente en la población sometida al metilmercurio de la dieta en la región amazónica ya que en estudios previos no se encontró correlación entre al grado de afectación ótica y la concentración de mercurio en el cabello y solo el 12 % de los sujetos examinados daban positivo para estas pruebas especializadas (Hoshino A. y cols. 2915). Los estudios otológicos habitualmente incluyen el análisis del efecto inhibidor del sistema olivococlear medial (MOCS) sobre las oto-emisiones acústicas transitorias (TEOAE). En nuestro estudio se hicieron pruebas menos especializadas y el resultado del examen audiométrico mostró umbrales auditivos aéreos que evidencian sensibilidad auditiva periférica normal; tanto en el oído izquierdo como el derecho, en la gran mayoría de los pacientes de ambas localidades. Entre las mujeres examinadas en Riberalta, al menos el 20% presentó una pérdida leve y moderada de la audición en uno o ambos oídos. En la localidad de Rurrenabaque, fueron obtenidos resultados similares (Figura 28). Debe destacarse que, en esta última comunidad, los casos obtenidos con posible pérdida auditiva fueron mayoritariamente detectados para el oído izquierdo (7 casos en total), y en menor medida para ambos oídos (2 casos en total).

De todos modos, se sabe que el daño en el órgano auditivo puede ser efecto de la neurotoxicidad o de la afectación directa de la estructura coclear, por lo que amerita que los estudios siguientes incluyan estudios especializados (neurológicos y otológicos) a lo largo del tiempo.

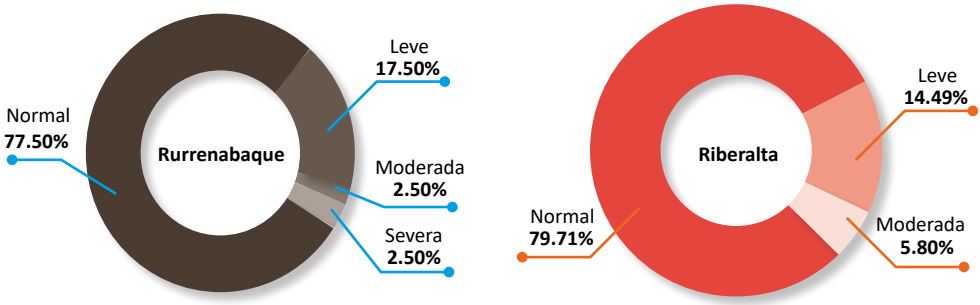


Figura 28. Porcentaje de personas con reducción de la capacidad auditiva en las localidades de Riberalta y Rurrenabaque. Entre el 20 y 22.5% de las evaluadas tiene problemas de audición.

Peso/Masa corporal

Otro aspecto que se ha reportado ser un elemento que se asocia a la intoxicación con mercurio es el relacionado con modificaciones en el metabolismo lipídico expresado en el peso y la masa corporal. Los valores de índice de masa corporal (IMC) registrado para las voluntarias de Rurrenabaque y Riberalta aparecen en la Figura 29. El valor de tendencia central muestra que las mujeres de las comunidades de ambas cuencas distribuyen su IMC por encima de los valores normales estando el promedio de Rurrenabaque por encima del nivel de sobrepeso con un número importante de casos en franca obesidad. En cambio, el IMC promedio de Riberalta esta cercano al nivel clasificado como sobrepeso con pocos casos con obesidad. Este panorama va en línea con lo encontrado por Jimin Jeon J. y Park K. (2023) en un metaanálisis que asocia la exposición al mercurio con obesidad, sugiriendo que el hecho estaría, además, relacionado con la dieta y el estilo de vida. Sin embargo, estudios previos experimentales muestran que el mercurio tiene efectos como disruptor endocrino con suficiente evidencia de estudios que respaldan los efectos del mercurio en las funciones de la tiroides, las glándulas suprarrenales, los ovarios y los testículos (Zhu X y cols., 2000), con capacidad para modificar el metabolismo de la testosterona a través de la inhibición enzimática y la alteración de la unión del receptor hormonal (a través de la unión a grupos sulfhidrilo) con interferencia en el metabolismo del calcio y la peroxidación (Kňažicka Z. y cols., 2012). Estos resultados fueron después considerados como la base para explicar los hallazgos de Rizzetti DA y cols (2019) quienes concluyen que incluso en concentraciones bajas —similares a las encontradas en humanos bajo exposición ocupacional— el mercurio actúa como un disruptor ambiental que perjudica la plasticidad y función del tejido adiposo a través del estrés del retículo endoplásmico (aumento de GRP78 y CHOP, proteínas reguladoras del stress), la alteración de las defensas antioxidantes y la desregulación de los receptores PPARα y PPARγ (que son receptores nucleares que actúan como factores de transcripción activados por ligandos y regulan procesos metabólicos distintos, funcionando como "sensores" de lípidos en el cuerpo). Como se ve, los diferentes mecanismos potenciales incluyen una amplia variedad de efectos en el metabolismo de los lípidos que se expresan clínicamente en el sobrepeso y la obesidad, condiciones que también se agravan con el sedentarismo y la dieta cargada de carbohidratos. En el presente estudio, el sobrepeso y la obesidad encontrados en la amplia mayoría de la población fe-

menina estudiada, junto a la correlación positiva entre colesterol plasmático y el mercurio, en las comunidades del río Beni (ρ=0.287, p=0.05, ver tabla 7), muestran ampliamente el efecto toxico de la contaminación por metilmercurio de la dieta de pescados contaminados, sobre el metabolismo lipídico de la población femenina de las cuencas estudiadas.

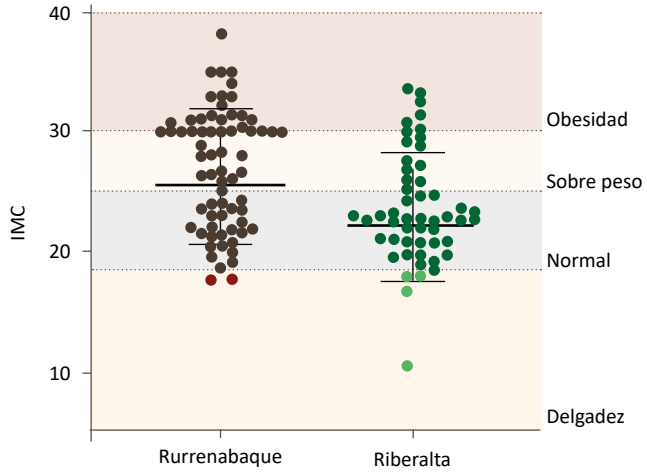


Figura 29. Índice de masa corporal de los participantes de Rurrenabaque y Riberalta.

Presión arterial

Otro de los efectos sobre el organismo por parte del mercurio que han sido reportados en diferentes estudios se refiere a los cambios en la presión arterial, hecho que, a su vez, está asociado a la predisposición a patologías cardiovasculares. Si bien se ha demostrado que, la administración aguda o crónica de Hg inorgánico y MeHg puede inducir hipertensión en animales de experimentación (Wakita, 1987), los reportes sobre este efecto en humanos no muestran coincidencias suficientes como para asegurar esta relación (Hu F.X., 2018). El MeHg se considera generalmente la forma más tóxica y se ha propuesto una relación dosis-respuesta entre el MeHg y los resultados cardiovasculares (Roman et al., 2011); la evidencia actual sugiere que una concentración de Hg en el cabello de 2–3 μg/g podría considerarse como el umbral del efecto tóxico del Hg sobre la hipertensión ya que la asociación entre la exposición al Hg y

la prevalencia de hipertensión fue no lineal, sin asociación en poblaciones con exposición baja a moderada a mercurio (Hg en el cabello < 2 μg), en cambio fue evidente en poblaciones con exposición alta a mercurio (Hg en el cabello ≥ 2 μg). En el presente estudio, (Figura 30) no se encontró un número elevado de casos con hipertensión: 4.5% sistólica (D), 11.5 diastólica (S) y 10% D y S. Sin embargo, corresponde destacar que el 100% de las mujeres con hipertensión sistólica, el 90% de los casos con hipertensión diastólica y el 90% de los casos con hipertensión D y S eran de las comunidades de la cuenca más contaminada (rio Beni) cuyos niveles de mercurio en cabello eran en su mayoría superiores a 3μg/g. Lo anterior está en línea con lo encontrado en la revisión realizada por Hu F.X. en 2018 sobre la asociación entre mercurio e hipertensión arterial.

Aunque los mecanismos por los cuales el Hg induce la hipertensión no se comprenden completamente, posibles explicaciones incluyen el estrés oxidativo y la inflamación, que promueven la disfunción endotelial y renal, y la unión a selenoenzimas (Houston, 2011).

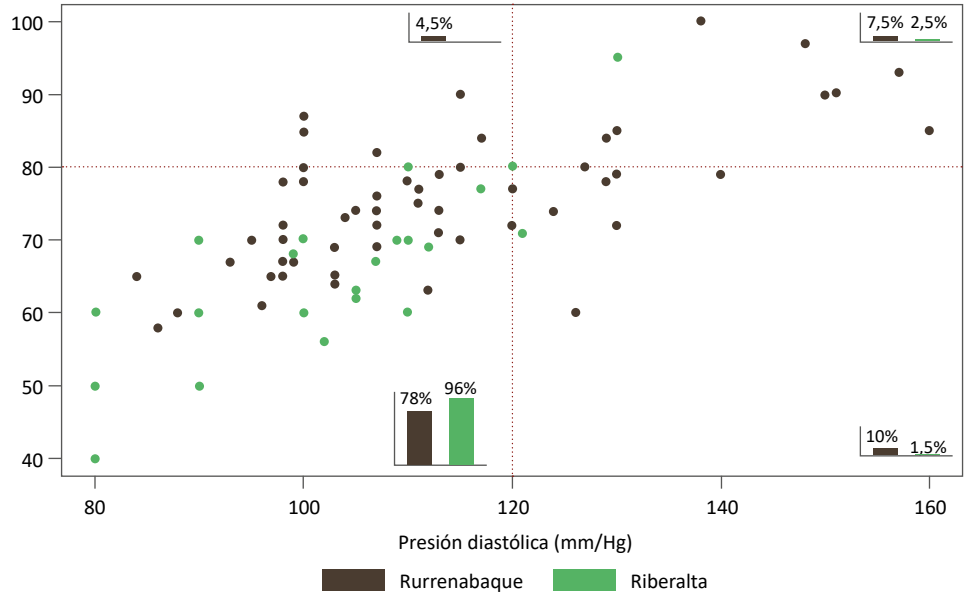


Figura 30. Presión arterial diastólica y sistólica de las participantes examinadas en Rurrenabaque y Riberalta.

Las afectaciones al sistema nervioso con énfasis en las respuestas psiconeurológicas, cuyas alteraciones ya han sido reportadas en las intoxicaciones con mercurio, requieren exámenes especializados que no se realizaron en este estudio piloto. De la misma forma, las afectaciones cardiacas y renales no han sido examinadas con los recursos diagnósticos de gabinete de las correspondientes especialidades.

Correlación entre los parámetros estudiados y los niveles de mercurio.

Es un hecho reconocido el que una mayor concentración de un agente toxico en el organismo receptor deba ser más incidente en el nivel de las transformaciones biológicas que produce (relación dosis-respuesta), incidencia que se expresa en los niveles de los biomarcadores estudiados. De ese modo, la existencia de una correlación entre la concentración de un agente agresor, o de un fármaco, y el marcador biológico que se estudia es un indicador inequívoco de actividad biológica. En el presente estudio la posibilidad de que exista una correlación entre la concentración de mercurio en el cabello y la magnitud de los parámetros estudiados fue explorada con procedimientos estadísticos. Las tablas 6 y 7 muestran los resultados de una correlación de Spearman, para los valores encontrados en las cuencas del río Madre de Dios y del río Beni. Se aprecia que solo algunos parámetros laboratoriales tenían correlación significativa con los niveles de mercurio en la cuenca del río Beni. Este hecho puede tener explicación si se considera que la asociación buscada debiera ser, preferentemente, entre los parámetros examinados y la concentración del mercurio en los órganos afectados, o en la sangre; en el estudio presente, la determinación de mercurio fue en cabello, la cual no necesariamente es la misma que la de la sangre o el lugar donde se encuentra en tejido estudiado. De hecho, queda claro que la presencia —deposito— del mercurio en el cabello, como sitio de detoxificación, ocurre en tiempos anteriores (cuanto más largo el cabello, el depósito es más antiguo) a la ocurrencia de los efectos que se están midiendo en tiempo real, durante los análisis bioquímicos en la sangre; además, la dinámica de acumulación de mercurio en el cabello depende de factores individuales tales como su velocidad de crecimiento y abundancia (regulado a su vez por factores nutricionales, hormonales y genéticos). Es por eso que los estudios que reportan correlaciones son en su mayoría con las concentraciones de mercurio en sangre o en orina. Y aun en esos, los estudios en los que encuentran correlaciones estas son muy débiles. Es así que la revisión realizada por dos San-

tos Vianna (2019) destaca la existencia de estudios que encuentran, para los mismos marcadores hematológicos, correlaciones positivas, asociaciones negativas o inexistencia de correlaciones, no obstante que la determinación del mercurio fue realizada en sangre u orina. Entre los pocos estudios que encuentra asociación entre el mercurio en cabello y marcadores destaca el llevado a cabo en la amazonia peruana por Weinhouse C. y cols. en 2017, que muestra una asociación negativa débil entre mercurio en el cabello y hemoglobina (análisis bivariado: β = -0.12), siendo más evidente en niños de temprana edad. En el presente trabajo se encontró una asociación negativa algo más fuerte entre mercurio y hemoglobina (correlación de Spearman: $\rho = -0.34$, $p < 0.05$) y también con Glóbulos Rojos, aunque tales correlaciones solo se las encontró en las mujeres de las comunidades de la cuenca del río Beni. Esta última asociación podría ser explicable sobre la base de lo que se conoce en la toxicocinética y la toxicodinámica del metilmercurio en los mecanismos conocidos de la anemia inducida por plomo y cadmio. (Zabiński Z. y cols, 2000).

Es importante anotar que en algunos casos la correlación encontrada es con el tiempo de exposición, más que con la concentración de mercurio, tal es el caso de la correlación positiva entre linfocitos TCD4 y negativa con los TCD8 con la antigüedad mayor a 10 años de exposición (Moszczyński P. y cols., 1998). Es más, se ha encontrado alteraciones en marcadores hematoinmunológicos (cels CD4 e IL8) en sujetos con concentraciones mínimas de mercurio, concentraciones que en la literatura mundial pueden ser consideradas como permisivas (Soleo L y cols,2002)

Otros estudios que sacan conclusiones sobre la base de la correlación entre el nivel de mercurio en el organismo y la afectación de algún marcador bioquímico están orientados a desentrañar la naturaleza de la afectación del metabolismo lipídico por el mercurio, y explicar así el riesgo cardiovascular al que induce la intoxicación crónica por este agente. Los estudios al respecto se los cita antes, en el apartado de riego cardiovascular. Aun en estos se encuentran inconsistencias que hacen que la correlación del mercurio, sobre todo el que se detecta en cabello, con los diversos marcadores, no sea del todo confiable para sacar conclusiones definitivas. Cuando se encontró correlación entre biomarcadores bioquímicos con el mercurio en la sangre, ésta era dependiente de factores asociados tales como el alcohol y la obesidad, en sujetos de la tercera edad (Lee M-R y cols., 2017).

El escenario que se observa sobre la existencia de reportes que no confirman lo encontrado por otros, en cuanto a las correlaciones estadísticas en los diferentes parámetros, también lo hemos encontrado en este trabajo. En este orden, la tabla 6 muestra que en la cuenca del río Madre de Dios no existen correlaciones de ningún parámetro con los niveles de mercurio en el cabello de las mujeres examinadas. En cambio, en las comunidades del río Beni si hay correlaciones significativas y otras más débiles (Tabla 7). Para explicar esta aparente discordancia, es preciso examinar las figuras 9 y 10 en las que se puede apreciar la elevada diferencia en la dispersión de datos entre ambas cuencas: los niveles de mercurio en cabello de la población de la cuenca del río Beni van desde valores que están debajo del nivel permisible hasta los cercanos a 30 μg/g. y en la cuenca del Madre de Dios los datos se concentran y aglomeran alrededor de los 2,5 μg/g con algunos datos extremos hasta los 10 μg/g. Tales elevada o mínima dispersión se repiten en la medición de mercurio en la población femenina (fig. 12), siendo las diferencias entre ambas cuencas drásticamente significativas. Este hecho da lugar a plantear la evidente posibilidad de que la amplia distribución de datos en la cuenca del río Beni permita hacer más evidentes —estadísticamente— las correlaciones, más si esta situación también encuentra dispersión de datos en los parámetros bioquímicos (ver figuras 15,16 20-24). En esta línea, las correlaciones entre los parámetros morfológicos, hematológicos y bioquímicos con los niveles de mercurio de la cuenca del río Madre de Dios —en la que los datos se aglomeran en los limites inferiores—, difícilmente podrían dar lugar a evidenciar correlaciones por las escasas diferencias entre los valores de mercurio; en cambio es más lógico que se hagan evidentes las correlaciones entre parámetros cuyos datos están ampliamente extendidos, como ocurre en la cuenca del río Beni. Por lo demás, conviene remarcar la importancia de los niveles de mercurio a partir de los cuales puede encontrarse correlaciones con marcadores biológicos. La revisión hecha por Hu X.F. (2018) sobre concentraciones de mercurio y presión arterial, muestra la importancia de superar al menos los 3 μg/g de mercurio en cabello para encontrar correlaciones lineares entre los niveles de mercurio y la hipertensión arterial. Esto respalda la idea de que la falta de correlaciones en la cuenca del río Madre de Dios se debe tanto a la poca dispersión de los datos encontrados como al hecho de que los datos encontrados se aglomeran alrededor de los 3 μg/g de mercurio.

Tabla 6. Correlación de Spearman entre la concentración de mercurio en cabello y valores demográfico/morfométricos, bioquímicos y hematológicos en mujeres de las comunidades de la cuenca del río Madre de Dios.

Edad	**Peso**	**Estatura**	**IDC**
0.013	-0.031	0.181	-0.087
0.917	**0.807**	**0.148**	**0.493**
Creatinina	**HDL**	**Ácido Úrico**	**LDH**
-0.089	-0.049	0.007	-0.162
0.483	**0.701**	**0.957**	**0.197**
GGT	**TG**	**FAL**	**Urea**
-0.005	-0.176	0.141	-0.147
0.970	**0.161**	**0.263**	**0.244**
Albumina	**Colesterol**	**GOT**	**GPT**
-0.026	-0.037	-0.047	-0.068
0.835	**0.771**	**0.713**	**0.592**
P_T	**BD**	**BT**	**WBC**
0.008	0.106	0.050	0.122
0.952	**0.401**	**0.690**	**0.333**
LYM	**MID**	**GRAN**	**RBC**
0.114	-0.009	0.135	-0.011
0.367	**0.945**	**0.284**	**0.934**
HGB	**MCV**	**CHM**	**CHCM**
0.070	0.091	0.131	0.148
0.579	**0.470**	**0.300**	**0.240**

Tabla 7. Correlación de Spearman entre la concentración de mercurio en cabello y valores demográfico/morfométricos, bioquímicos y hematológicos en mujeres de las comunidades de la cuenca del río Beni.*

Edad	**Peso**	**Estatura**	**IDC**
0.454	-0.143	-0.415	-0.003
0.001	**0.337**	**0.004**	**0.982**
Creatinina	**HDL**	**Ácido Úrico**	**LDH**
0.212	0.173	0.208	0.394
0.152	**0.246**	**0.160**	**0.006**
GGT	**TG**	**FAL**	**Urea**
0.482	-0.045	-0.017	0.175
0.001	**0.765**	**0.910**	**0.238**
Albumina	**Colesterol**	**GOT**	**GPT**
-0.237	0.287	0.216	0.116
0.108	**0.050**	**0.145**	**0.438**
P_T	**BD**	**BT**	**WBC**
-0.217	0.140	0.226	0.215
0.143	**0.350**	**0.127**	**0.147**
LYM	**MID**	**GRAN**	**RBC**
0.081	0.188	0.219	-0.291
0.587	**0.206**	**0.140**	**0.047**
HGB (g/dL)	**MCV (fL)**	**CHM (pg)**	**CHCM(g/dL)**
-0.342	0.157	0.042	-0.203
0.019	**0.291**	**0.781**	**0.171**
PLT (10^3/mm^3)	**VPM (fL)**		
-0.234	0.030		
0.114	**0.842**		

*Los parametros que muestran correlaciónes significativas se resaltan en amarillo.

En fin, lo anterior muestra que deben darse condiciones muy particulares para que la correlaciones puedan ser criterio de evidencia de la existencia de un fenómeno biológico como efecto directo de la presencia y concentración de determinado agente in vivo.

Conclusiones

Las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios se encuentran altamente contaminados por la intensa y creciente actividad de extracción aurífera río arriba en la que se utiliza grandes cantidades de mercurio para la amalgamación, mercurio metálico que termina en los cuerpos de agua para ser metilado por microorganismos que inician la cadena trófica transmitiendo el metil mercurio a las especies acuícolas de

mayor tamaño que son parte de la dieta de los habitantes ribereños. Tal contaminación se la hizo evidente con la detección de mercurio en los peces, encontrándose diferencias sustantivas entre los peces carnívoros y herbívoros. La *alta contaminación con mercurio de los habitantes de las comunidades ribereñas examinadas* fue detectada en el cabello de los voluntarios de cada una de las comunidades con las que se acordó hacer la investigación en las mujeres en edad reproductiva de cada una de las comunidades. En ellas también se encontró elevada contaminación (varias veces mayor a los limites permisibles), la cual era significativamente mayor en la cuenca del río Beni. Tal diferencia fue explicada por la *diferencia en el consumo del tipo de pescado. (herbívoros o carnívoros) en las comunidades de ambas cuencas*

En las mujeres examinadas se encontraron diversas alteraciones en los marcadores bioquímicos y clínicos que hacen patente la afectación a la salud en diferentes órganos y tejidos, pero no en igual magnitud.

En las células sanguíneas de la serie blanca se encontró una *franca tendencia al incremento de los valores de los leucocitos*, por encima de los valores de referencia en porcentajes importantes de las mujeres examinadas, Tal hecho es compatible con *la existencia de estados inflamatorios que se reflejan en algunas expresiones clínicas encontradas*.

Se encontró alteración importante en la estructura y función de los glóbulos rojos con eriptosis, microcitosis, anisocitosis, poiquilocitosis y reducción de hemoglobina. Se detectó una correlación negativa entre la concentración de glóbulos rojos y el nivel de mercurio en el cabello de las mujeres de la cuenca del río Beni o sea, a mayor contaminación menor cantidad de glóbulos rojos circulantes. Estos hallazgos coinciden con las alteraciones reportadas en otros estudios sobre este tipo de daño que explica varios de los síntomas de intoxicación encontrados; también exponen *el elevado riesgo de afectación en la microcirculación vascular.*

Se detecto *daño hepático* en un número significativo de las mujeres, a través de la alteración de los marcadores bioquímicos específicos (enzimas hepáticas). También *fue evidenciado un significativo riesgo cardiovascular propio de la intoxicación crónica con mercurio* en un número importante de mujeres a través del incremento de colesterol y la reducción de HDL-colesterol ("colesterol bueno"). A este riesgo contribuye la eriptosis, por los cambios que se generan en los eritrocitos para la agregación en el endotelio vascular. El riesgo cardiovascular encontrado es concurrente con *la exis-*

tencia de sobrepeso y obesidad en gran parte de las mujeres atribuible a las alteraciones que genera el mercurio en el metabolismo lipídico.

Mediante pruebas genotóxicas en células sanguíneas y en células de la mucosa bucal, se encontró que *gran parte de las mujeres examinadas sufre daño genotoxico* aunque solo un porcentaje se encuentra en franco riesgo genotóxico, siendo este mayor en la cuenca del Madre de Dios.

Los datos clínicos encontrados son compatibles con los reportados en la intoxicación crónica con metil-mercurio. Predominan las *cefaleas, los mareos, la fatiga persistente, los cambios de humor, la perdida de peso* y otros asociados. Alrededor de un *20% de las mujeres* examinadas *tienen problemas de ototoxicidad* y un *25 % de las mujeres tiene hipertensión* sistólica, diastólica o ambas. El *elevado número de abortos* registrado en las mujeres de las comunidades evaluadas confirma la idea de que el mercurio se comporta como un agente embriotóxico. Se hace evidente la necesidad de estudios clínicos especializados —de gabinete y laboratorio— para conocer las presuntas alteraciones en la esfera cardiaca y neurológica

Un elemento que contribuye a respaldar que lo encontrado es producto de los efectos tóxicos del mercurio es la *correlación existente entre los parámetros alterados y la concentración de mercurio encontrada en el cabello*, aunque esta sea débil y solo observable en la cuenca más contaminada en la que los montos de mercurio sobrepasan los límites que en otros estudios consideran suficientes para evidenciar correlación.

La evidente menor cuantía de daños evidenciados en la cuenca del río Madre de Dios, podría también ser el producto del consumo de selenio orgánico contenido en almendra amazónica que se produce en esta región. Tal posibilidad se basa en el hecho de que el mercurio afecta —e inhabilita— preferencialmente a las selenoenzimas sustituyendo al selenio como cofactor.

En fin, estas afectaciones de la salud imputables al mercurio sinergizan con las causadas por factores ambientales locales como las parasitosis, la higiene escasa, y otras encontradas en las encuestas sociodemográficas y de la historia clínica. *Con este estudio se tienen elementos objetivos de la existencia de daño a la salud en esta población vulnerable de la amazonia boliviana*

BIBLIOGRAFÍA

Achá D, Hintelmann H, Yee J. Importance of sulfate reducing bacteria in mercury methylation and demethylation in periphyton from Bolivian Amazon region. 2011. Chemosphere.; 82:911-916.

Achá D, Iñiguez V, Roulet M, Davée Guimarães JR, Luna R, Alanoca L, Sánchez S. Sulfate-Reducing Bacteria in Floating Macrophyte Rhizospheres from an Amazonian Floodplain Lake in Bolivia and Their Association with Hg Methylation. 2005. ASM Journals Applied and Environmental Microbiology; 71(11).

Akther Rupa Sharmin, Majed Patwary Abdul, Mahbubul Matin Mohammed, Emmanuel Ghann William, Uddin Jamal, Kazi Mohsin, Review Interaction of mercury species with proteins: towards possible mechanism of mercurial toxicology Toxicology Research, 2023, 12, 355–368 https://doi.org/10.1093/toxres/tfad039

Alem Beatriz, de Araújo Nascimento, Tavares Luisa Maríada Silva de Campos, Gleiciane Teixeira Souza , Giovanna de Menezes Abreu , Carolina de Oliveira Ramos Petra de Almeida , Mariana Sarto Figueiredo · Nuez de Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) y aceite de nuez de Brasil: efectos sobre el estrés oxidativo y posibles beneficios terapéuticos para la salud a partir de modelos humanos, animales y de cultivo celular. 2025. Nutricion Rev.; 83(2): 471-485. Doi: 10.1093/nutrit/nuae016.

Animasaun, DA, Adedibu, PA, Afolabi, SO et al. Risk assessment and cytogenotoxic effect of different concentrations of sterilizing mercuric chloride using the *Allium cepa* assay. 2024. Discov Toxicol 1, 2. https://doi.org/10.1007/s44339-024-00002-w

Ashok Kumar Shettihalli and Sathyanarayana N. Gummadi Biochemical. Evidence for Lead and Mercury Induced Transbilayer Movement of Phospholipids Mediated by Human Phospholipid Scramblase. 2013. Chem. Res. Toxicol. dx.doi.org/10.1021/tx400090h.

Bell L y Evers D. Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN) [Internet]. La exposición al mercurio de las mujeres en cuatro países la-

tinoamericanos productores de oro: niveles elevados de mercurio hallados entre mujeres en lugares donde se utiliza el mercurio en la extracción del oro, contaminando así la cadena alimenticia; junio de 2021. Disponible en: https://shorturl.at/amGHP

Benefice E, Luna-Monrroy S, López-Rodríguez R. Fishing activity, health characteristics and mercury exposure of Amerindian women living alongside the Beni River (Amazonian Bolivia). 2010. Int J Hyg Environ Health.; 213(6):458-464

Bjørklund Geir, Peana Massimiliano, Dadar Maryam, Chirumbolo Salvatore, Aaseth Jan, Martins Natália. Autoinmunidad inducida por mercurio: pasando de las preocupaciones micro a las macro sobre los trastornos autoinmunes. 2020. Inmunología clínica. Volumen 213, https://doi.org/10.1016/j.clim.2020.108352

Buhari O, Dayyab FM, Igbinoba O, Atanda A, Medhane F, Faillace RT. The association between heavy metal and serum cholesterol levels in the US population: National Health and Nutrition Examination Survey 2009-2012. 2020. Hum Exp Toxicol.;39(3):355-364. doi: 10.1177/0960327119889654. 9654. Epub 2019 Dec 4. PMID: 31797685.

Campanini Oscar. El negocio del mercurio en Bolivia. 2022. Libros Publicaciones de CEDIB. Disponible en: https://www.cedib.org/biblioteca/el-negocio-del-mercurio-en-bolivia/

Carta Plinio, Flore Costantino, Alinovi Rossella, Ibba Antonio, Tocco Maria Giuseppina, Aru Gabriella, Carta Roberta, Girei Emanuela, Mutti Antonio, Lucchini Roberto, Randaccio Francesco Sanna. Anomalías neuroconductuales subclínicas asociadas con bajos niveles de exposición al mercurio a través del consumo de pescado. 2003. Neurotoxicology. 24 (4 – 5), 617-623. https://doi.org/10.1016/S0161-813X(03)00080-9

Carvajal-Saravia, Roger. Los efectos biológicos de la contaminación minera en las cuencas que conforman la hidrografía de Bolivia: relevamiento de los estudios recientes. 2025. *REV. MAMYM*, 10, (2), p.32-48. ISSN 2519-5352

Carvajal-Vallejos Fernando. M., Bigorne Rémy, Zeballos América J., Fernández J., Sarmiento Soraya Barrera, Yunoki Takayuki, Pouilly Marc, Zubieta1 José, De La Barra Evans, Jegú Michel, Maldonado Mabel, Van Damme Paul A, Céspedes7 Ricardo, Oberdorf Thierry. Diversidad de los peces en la

Cuenca Amazónica boliviana (Capitulo 2) 2021, en: Bases técnicas para el manejo y aprovechamiento del paiche (*Arapaima gigas*) en la Cuenca Amazónica boliviana. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://faunagua.org/wp-content/uploads/

Charkiewicz Angelika Edyta, Wioleta Justyna Omeljaniuk, Marzena Garley and Jacek Niklinski. Mercury Exposure and Health Effects: What Do We Really Know? 2025. Int. J. Mol. Sci., 26, 2326 https://doi.org/10.3390/ijms26052326

Crespo-López M.E, Macêdo Gisele L., Susana ID., Pereira Gabriela PF Arrifano Domingos LW Picanço-Diniz, José Luiz M. do Nascimento, Anderson M. Herculano. Mercurio y genotoxicidad humana: Consideraciones críticas y posibles mecanismos moleculares. 2009. Investigación farmacológica 60 (4), 212-220 https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.02.011

da Rocha Julio Cesar, Maior Rafael S., Tomaz Carlos. Contaminación por mercurio y las malformaciones congénitas detectadas en el nacimiento en Porto Velho, Brasil, entre 1997 y 2007. 2011. Salud UIS; 43 (3): 237-240

Dabrowski Z, Moszczyński P, Rutowski J. The activity of erythrocyte enzymes and basic indices of peripheral blood erythrocytes from workers chronically exposed to mercury vapours. 2000. Toxicology and Industrial Health. 16 (2) 58-64

dos Santos Vianna, Angélica Elisabete Pedra de Matos, Iracina Maura de Jesus, Carmen Ildes Rodrigues Fróes Asmus, Volney de Magalhães Câmara. Human exposure to mercury and its hematological effects: a systematic review. 2019. Cad. Saúde Pública; 35(2): e00091618. doi: 10.1590/0102-311X00091618

Gao Z, Wu N, Du X, Li H, Mei X, Song Y. Toxic Nephropathy Secondary to Chronic Mercury Poisoning: Clinical Characteristics and Outcomes. 2022. Kidney Int. Rep. 7(6):1189-1197. doi: 10.1016/j.ekir.2022.03.009. PMID: 35694560; PMCID: PMC9174032.

García Veramatus María Paz, Fernandez Luis E., Araújo-Flores.Julio, Moreno Brush Mónica..Mercurio en peces y el riesgo ecotoxicológico para peces y aves piscívoras de Madre de Dios Amazonía peruana. 2023. Resumen de Investigación N° 03 Centro de Investigación y Tecnología del. Agua de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (CITA-UTEC), y el Centro de

Innovación Científica Amazónica (CINCIA).

Gil K. Debates Indígenas [Internet]. El lento envenenamiento de los indígenas Lecos por mercurio en Bolivia; 2021. Disponible en: https://shorturl.at/nwCT9. Disponible en: https://shorturl.at/nwCT9

Gochfeld, M., Burger, J. Interacciones del mercurio con selenio y azufre y la relevancia de la relación molar Se:Hg para el asesoramiento sobre el consumo de pescado. 2021. *Environ Sci Pollut Res* 28, 18407–18420. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12361-7n nviron Sci Pollut Res Int. Int. Manuscrito del autor; disponible en PMC: 1 Guo W, Zhang J, Li W, Xu M, Liu S. Disruption of iron homeostasis and resultant health effects upon exposure to various environmental pollutants: a critical review. 2015. J Environ Sci. (China) 34: 155–164.

Ha E., Basu N., Bose-O'reilly S., Dórea J.G., McSorley E., Sakamoto M., Chan H.M. Current progress on understanding the impact of mercury on human health. 2017. Environ. Res., 152, 419–433.

Helle M. Meltzer, Hkvard H. Mundal, Jan Alexander, Karen Bibow, and Trond A. Ydersbond. Does Dietary Arsenic and Mercury Affect Cutaneous Bleeding Time and Blood Lipids in Humans? 1994. Biological Trace Element Research Vol. 46, 135-153

Hong Doohee, Cho Sung Hwan, Park Soo Jung, Kim Su Youn, Park Sat Byul. Hair mercury level in smokers and its influence on blood pressure and lipid metabolism. 2013. Env. Toxic and Pharm. 36. 103–107

Hong Doohee, Sung Hwan Cho, Soo Jung Park, Su Youn Kimb, Sat Byul Park. Hair mercury level in smokers and its influence on blood pressure and lipid metabolism.2013. . Environmental toxicology and pharmacology 36 (2013) 103–107

Hoshino ACH, Ferreira HP, Malm O, Carvallo RM, Câmara VM. A. Systematic review of mercury ototoxicity. 2012. Cad Saude Publica; 28(7):1239–1248

Hoshino Ana, Pacheco-Ferreira Heloisa, Seisse Gabriela G., Sanches Renata Carvallo, Nathália Cardoso, Maurício Pérez, Volney de Magalhães Câmara. Mercury Exposure in a Riverside Amazon Population, Brazil: A Study of the Ototoxicity of Methylmercury. 2015. Int Arch Otorhinolaryngol;19:135–140.

Houston MC..Role of mercury toxicity in hypertension,cardiovascular disease, and stroke. 2011J. Clin Hypertens (Greenwich)13(8):621–627, https://doi.org/10.1111/j.1751-7176.2011.00489.x. M PMID: 21806773

Hu Xue Feng, Singh Kavita and Hing Man Chan. Exposure, Blood Pressure, and Hypertension:A Systematic Review and Dose–response Meta-analysis. 2018. Environmental HealthPerspectives 076002-1 126(7). https://doi.org/10.1289/EHP2863.

Jeon Jimin, Park Kyong. Mercury exposure is associated with obesity: a systematic review and meta-analysis. 2023. Korean J Community Nutr 28(3): 192~205, 2023 https://doi.org/10.5720/kjcn..28.3.192. ISSN 2951-3146 (on-line)

Kang B, Wang J, Guo S, Yang L. Mercury-induced toxicity: Mechanisms, molecular pathways, and gene regulation. 2024. Sci Total Environ. Sep 15;943:173577. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.173577. Epub 2024 Jun 7. PMID: 38852866.

Kim Jeong Hong, Keun-Hwa Lee, Seong-Chul Hong, Hye-Sook Lee, RN, Jaechun Lee and Ju Wan Kang..Association Between Serum Mercury Concentration and Leukocyte Differential Count. 2015. Children Pediatric Hematology and Oncology, 32:109–114, https://doi.org/10.3109/08880018.2013.853222

Knollmann Barbara EC., Ritschel Morri Markowitz. Saturnismo. Patología académica. 2017; 4: doi: 10.1177/2374289517700160

Król-Pakulska, E.; Pakulski, C. Mercury—A highly toxic element. 2017. Pol. Rev. Health Sci., 4, 508–513.

Lee MR, Lim YH, Lee BE, Hong YC. Blood mercury concentrations are associated with decline in liver function in an elderly population: a panel study. 2017. Environ Health.;16(1):17. doi: 10.1186/s12940-017-0228-2. PMID: 28257627; PMCID: PMC5336614.

Luna Monrroy Selma. Exposición a mercurio de mujeres y niños de comunidades indígenas del río Beni, Bolivia, con relación a problemas de salud, malnutrición, parasitismo, anemia endémicos en el área. https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/173?show=full. https://www.researchgate.net/publication/282172167/citation/download? tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

Lupescu Adrián, Bissinger Rosi, Goebel Tobías, Salker Madhuri S, Alzoubi Kousi, Liu Guilai, Chirigiu Liviu, Mack Andreas F, Qadri Syed M, Lang Florian. El aumento de la muerte suicida de eritrocitos contribuye a la anemia en los ancianos. 2015. Fisiología celular bioquímica. 36(2):773-83. doi: 10.1159/000430137

Manzur-Jattina Fernando, Álvarez-Ortegab Neda, Moneriz-Pretellc Carlos, Corrales-Santander Hugo y Cantillo-Garcíae Kevin. Eriptosis: mecanismos moleculares y su implicación en la enfermedad aterotrombótica. 2015. Revista Colombiana de Cardiología. http://dx.doi.org/10.1016/j.rccar.2015.09.004http://dx.doi.org/10.1016/j.rccar.2015.09.004

Maqbool Faheem. Bahadar Haji, Hassani Shokoufeh, Niaz Kamal, Baeeri Maryam, Rahimifard Mahban. Seyedeh Farnaz Ghasemi- Niri1, Mohammad Abdollahi. Biochemical evidence on the potential role of methyl mercury in hepatic glucose metabolism through inflammatory signaling and free radical pathways. 2019. J Cell Biochem.;1-11. DOI: 10.1002/jcb.28899

Martoredjo, I.; Calvão Santos, L.B.; Vilhena, J.C.E.;Rodrigues, A.B.L.; de Almeida, A.; Sousa Passos, C.J.; Florentino, A.C.,Distribution among Human and Animal Populations in the Amazon. Region. I, En: Calvão Santos LB, Vilhena JCE, Rodrigues ABL, de Almeida A, Sousa Passos CJ, Florentino AC (Eds). 2024. Trends in Mercury Contamination. Toxics. 7;12(3):204. doi: 10.3390/toxics12030204. PMID: 38535937; PMCID: PMC10974390

Maurice-Bourgoin L, Aalto R, Loup Guyot, J. Sediment-associated mercury distribution within a major Amazon tributary: century-scale contamination history and importance of flood plain accumulation. The Structure, Function and Management Implications of Fluvial Sedimentary Systems. 2002. En: Proceedings of an International Symposium Held. Alice Springs, Australia,. IAHS Publ. No. 276.

Maurice-Bourgoin L, Alanoca L, Fraizy P, Vauchel P. Sources of mercury in surface waters of the upper Madeira erosive basins, Bolivia. 2003. Journal de Physique. IV. France 107. 855-858. DOI: 10.1051/jp4:20030432

Maurice-Bourgoin Laurence, Quiroga Irma. Malm Olaf, y Chincheros Jaime. Contaminación por Mercurio en agua, peces y cabellos humanos debido a la Minería Aurífera en la Cuenca Amazónica Boliviana. 1999. Memorias del Congreso Boliviano de Limnología y Recursos Acuáticos Rev. Bol. de

Ecol. 6: 239-246. Disponible en: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers21-02/010074681.pdf

Mendoza S. LatinClima [Internet]. En Bolivia un río contaminado con mercurio enferma a comunidades indígenas; 16 de marzo de 2022. Disponible en: https://shorturl.at/iAKSX Disponible en: https://shorturl.at/iAKSX

Molina CI, Gibon FM, Duprey JL, Dominguez E, Guimarães JR, Roulet M. Transfer of mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni River, Bolivian Amazonia. 2010. Sci Total Environ. 15;408(16):3382-91. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.04.019.

Moszczynski P., Rutowski J., Slowinski S., Bem S. Immunological effects of occupational exposure to metallic mercury in the population of T-cells and NK-cells. 1998. Analyst, Vol. 123. 99–103. DOI https://doi.org/10.1039/A705558G

Ocztos Gabriella, Rácz Mária, Slivková Jana, Massányi Peter. The Mercury as Endocrine Disruptor on the Adrenocarcinoma Cell Line H295R. 2012 Journal of Microbiology Biotechnology Food Sciences. 1 (February Special issue) 651-660

Oliveira, RC, Dórea, JG, Bernardi, JVE, Bastos, WR, Almeida, R., & Manzatto, Â. G. (2010). Consumo de pescado por los aldeanos tradicionales de subsistencia del Río Madeira (Amazonas): Impacto en el mercurio del cabello. Anales de biología humana, 37 (5), 629–642. https://doi.org/10.3109/03014460903525177

Orellana M, Cali Tzay JF. Mandatos del Relator Especial sobre las implicaciones para los derechos humanos de la gestión y eliminación ecológicamente racionales de las sustancias y los desechos peligrosos y del Relator Especial sobre los derechos de los pueblos indígenas; 28 de septiembre de 2021. Disponible en: https://shorturl.at/opuSW

Paco P, Barbieri F, Duprey JL, Gardon J, Pouilly M. Exposición humana al mercurio en los municipios de Baures y Magdalena, río Itenez 2007. En: Pouilly M, coordinador. Diagnóstico de la contaminación por el mercurio en la Cuenca Itenez. Procesos geoquímicos y bioquímicos. Exposición de las poblaciones humanas. Cochabamba: WWF Bolivia y PD-AMNI Iténez; 2008.

Pamphlett R, Doble PA, Bishop DP. Mercury in the human thyroid gland: Poten-

tial implications for thyroid cancer, autoimmune thyroiditis, and hypothyroidism. 2021. PLoS One. 9;16(2): e0246748. doi: 10.1371/journal.pone.0246748. PMID: 33561145; PMCID: PMC7872292.

Perottoni Juliano, Luciana P. Lobato,B Aline Silveira,Teixeira Rocha Joa˜o Batista and Emanuellia Tatiana, Effects of mercury and selenite on d-aminolevulinate dehydratase activity and on selected oxidative stress parameters in rats. Environmental Research 95 (2004) 166–173

Pollard K. Michael, Cauvib David M., Toomeyc Christopher B, Hultmand Per,. Kono Dwight H. Mercury-Induced Inflammation and Autoimmunity. 2019. Biochim Biophys Acta Gen Subj. December ; 1863(12): 129299. doi:10.1016/j.bbagen.2019.02.001

Pollard K.M, D.M. Cauvi, C.B. Toomey, et al., Mercury-induced inflammation and autoimmunity, 2019. BBA - General Subjects, https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2019.02.001

Pouilly M, Pérez T, Rejas D, Guzmán F, Crespo G, Duprey JL, Gumaraes JR. Mercury bioaccumulation patterns in fish from the Iténez river basin, Bolivian Amazon. 2012. Ecotoxicology and Environmental Safety.; 83: 8-15.

Pouilly M, Rejas D, Pérez T, Duprey J-L, Molina CI, Hubas C, Guimarães JR. Trophic Structure and Mercury Biomagnification in Tropical Fish Assemblages, Iténez River, Bolivia. 2013. PLoS ONE.; 8(5).

Pouilly Marc, Pérez Tamara, Guzmán Fabiola, Paco Pamela, Duprey Jean-Louis et Gardon Jacques. Diagnóstico de la contaminación del río Itenez por mercurio. 2018. en: Recursos hidrobiológicos de un patrimonio binacional (Bolivia y Brasil). Eds: Van Damme Paul A., Maldonado Mabel, Pouilly Marc et. Doria Carolina R.C. Aguas del Iténez o Guaporé. 2018.. IRD editions. ISBN: 978-2-7099-2537-2. DOI : 10.4000/books.irdeditions.18444.

Pingree Stephanie D., Simmonds P. Lynne,. Rummel Kevin T. and. Woods James S. Quantitative Evaluation of Urinary Porphyrins as a Measure of Kidney Mercury Content and Mercury Body Burden during Prolonged Methylmercury Exposure in Rats. 2001. Toxicological Sciences 61, 234–240

Priya, V. N. Nagaprabhu, G. Kurian1, N. Seethalakshmi2, G. G. Rao, V. N. Unni Aplastic anemia and membranous nephropathy induced by intravenous mercury. 2012. Indian Journal Nephrology. Vol 22 (6) 45122 / Issue 6 451bril de

Ralston NVC, Kaneko JJ, Raymond LJ. Selenium health benefit values provide a reliable index of seafood benefits vs. risks. (2019). J. Trace Elem Med Biol 55:50–57

Ralston NVC, Raymond LJ La neurotoxicidad del mercurio se caracteriza por su alteración de la bioquímica del selenio. 2018. Biochim Biophys Acta Gen Subj pii: 1862: 2405–2416

Ramírez Augusto V. Intoxicación ocupacional por mercurio. 2008. An. Fac. med. 69 (1) Lima

Rizzetti DA, Corrales P, Trindade Piagette J, Uranga-Ocio, JA, Medina-Gomez G, Maciel Pec¸anha F, Vassallo DV, Miguel M, AlessandraWiggers. G, Chronic Mercury At Low Doses Impairs White Adipose Tissue Plasticity, 2019. *Toxicology* https://doi.org/10.1016/j.tox.2019.02.013

Rojas Mariana & Walker Laura. Malformaciones Congénitas: Aspectos Generales y Genéticos. En: Mercury Contamination Distribution among Human and Animal Populations in the Amazon Region.. 2012. International Journal of Morphology. 30 (4), 1256-1265. ISSN 0717-9502. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022012000400003

Rojas, M. & Walker, L. Malformaciones congénitas: aspectos generales y genéticos. 2012..*Int. J. Morphol., 30(4)*:1256-1265

Rosales-Rimache JA, Malca NE, Alarcón JJ, Chávez M, Gonzáles MA. Daño genotóxico en trabajadores de minería artesanal expuestos al mercurio. 2013. Rev Peru Med Exp Salud Publica.;30(4):595-600

Ruda, A. El Daño Ecológico Puro. La responsabilidad civil por el deterioro del medio ambiente, con especial atención a la Ley 26/2007 de 23 octubre de Responsabilidad Medioambiental. 2008. Editorial Aranzadi,

Slee Peter .H. Th., den Ottolander G.J. y Wolf F.A. A case of Merbromin (Mercurechrome) Intoxication Possibly Resulting in Aplastic Anemia. 1979. Acta Med. Scand. 205.463-466.

Soleo L, Colosio C, Alinovi R, Guarnieri D, Russo A, Lovreglio F, et al. Immunological effects of exposure to low exposure to inorganic mercury. 2002. Med Lav; 93:225-32

To Michelle y Villatoro Valentín. Índices, Color y Tamaño de los Glóbulos Rojos.

A Laboratory Guide To Clinical Hematology – 2019. Simple book Publishing Open Education Alberta ttps

Valdelamar-Villegas, J., Olivero-Verbel, J.. High mercury levels in the indigenous population of the Yaigojé Apaporis National Natural Park, Colombian Amazon. 2020. Biological Trace Element Research. 194(1):3-12.

Wakita Y. Hypertension induced by methylmercury in rats. 1987.ToxicolAppl Pharmacol 89(1): 144–147, PMID: 3590186

Weinhouse Caren, Ernesto J. Ortiz, Axel J. Berky, Paige Bullins, John Hare-Grogg, Laura Rogers, Ana-Maria Morales, Heileen Hsu-Kim, and William K. Pan. Hair Mercury Level is Associated with Anemia and Micronutrient Status in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Peruvian Amazon. 2017. Am. J. Trop. Med. Hyg., 97(6), 1886–1897. doi:10.4269/ajtmh.17-0269

Yasir Naeem, Muhammad, Selamoglu Zeliha. Fish as a significant source of nutrients. 2023. J Pub Health Nutri. 6 (4). 1-10

Zabinski Z., Dabrowski Z., Moszczynski P., Rutowski J. The activity of erythrocyte enzymes and basic indices of peripheral blood erythrocytes from workers chronically exposed to mercury vapours. 2000. Toxicology and Industrial Health, Royaume-Uni, 6 (2), 58-64.

Zhao, H., Peng, J. Corrección: Asociación entre el mercurio en sangre y los biomarcadores lipídicos en adultos hipertensos estadounidenses. Biol Trace Elem Res 202, 5384–5385 (2024). https://doi.org/10.1007/s12011-024-04130-7https://doi.org/10.1007/s12011-024-04130-7

Zhu X., Kusaka Y., Sato K., Zhang Q. Los efectos disruptores endócrinos del mercurio. 2000. Salud ambiental Prev Med. 4(4):174-83. doi:10.1007/BF02931255

Zuzana Kňažická1, Zsolt Forgács2, Jana Lukáčová1, Eva Tvrdá1, Anetta Lukáčová3,

ANEXO 1
MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

Control de calidad preventivo.- Para efectuar el control de calidad preventivo se tomó en cuenta control de material y reactivos y control analítico de los métodos.

Control del material, reactivos y equipos:

Se verificó el buen funcionamiento del analizador semi-automático ERWA Mannheim, Modelo: CHEIM-7.

Se verificó la calibración de las micropipetas y que el material fungible a utilizar estuviera escrupulosamente limpio para la determinación de los marcadores bioquímicos; y se utilizó material nuevo para la determinación.

Se verificó también la integridad, la fecha de vigencia y conservación de los reactivos.

Se verificó las técnicas y métodos, así como la programación de las pruebas y la calibración de estos en el equipo.

*Calibración del equipo de medición***:** Las curvas de calibración de los analitos se ajustó mediante el uso de estándares (sueros de viscosidad y características similares) propios de los siguientes analitos: proteínas totales, albumina, creatinina, bilirrubinas, urea, ácido úrico, colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de alta densidad (HDL-colesterol). A excepción de las pruebas de factor cinético, porque no vienen con estándares, se trabajó con un factor provisto en el inserto para los siguientes analitos: las transaminasas, la FAL, la γ-GT y la LDH.

*Control analítico de los métodos***.** - En este control se tomó en cuenta la confiabilidad y practicabilidad.

Confiabilidad.- Se analizó la sensibilidad analítica, especificidad y exactitud analítica.

Se comprobó que los reactivos – que están certificados por el fabricante— utilizados tienen la adecuada sensibilidad y especificidad, realizando los procedimientos especificados en las características de cada reactivo.

En cuanto a la exactitud analítica, se utilizó sueros control bovino normal y patológico, para cada parámetro, permitiendo la validación de las pruebas analíticas,

Características de los sueros control.- Los sueros control bovino liofilizado (HUMAN Diagnostics y país de origen: Alemania), utilizados tienen concentraciones y actividad en el intervalo normal y patológico de los analitos, lo cual permitió controlar la exactitud o la precisión de las lecturas.

Métodos y Procedimientos Bioquímicos:

Perfil Hepático:

- Determinación cuantitativa de Fosfatasa Alcalina (FAL).-

Método: Cinético-colorimétrico, optimizado con base en las recomendaciones de la DGKC (Sociedad alemana de química clínica, 1972) y de la SCE (Sociedad escandinava de química clínica).

Reactivos: p-nitrofenilfosfato; tampón: di-etanolamina con iones Mg (Elitechgroup, Francia). Procedimiento**:** se colocó en un tubo 1000uL del Reactivo Total (RT): mezcla de 200 uL de R2 Substrato (p-Nitro-fenilfosfato 10 mmol/L) mas 800 µl R1 (Tampón Di-etanolamina pH 10.4, 1mmol/L; Cloruro de magnesio 0,5 mmol/L . Se preincubó a 37°C el RT antes de colocar la muestra 2 minutos. Se adicionó 20 µL de muestra de suero, se mezcló y leyó en fotómetro a 405 nm., utilizando como Blanco solo el RT. (Pesce y Kaplan, 1990). La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en UI/L

-Determinación cuantitativa de Glutamato Oxalacetato Transaminasa (GOT/AST).-

Método: Cinético UV. Validado por la International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (IFCC). Reactivos**:** Malato deshidrogenasa (MDH)- dinucleótido de nicotinamida y adenina en su forma reducida (NADH) (HUMAN Diagnostics, Alemania)**.**

Procedimiento: Se colocó en un tubo 1000uL de RT [mezcla de 200 µL del R2: Substrato (NADH 0,9 mmol/L; 2-oxoglutarato 60 mmol/L), más 800 uL del R1 (Tampón: TRIS pH 7,9; 100 mmol/L; L-Aspartato 300 mmol/L; y Malato deshidrogenasa 0,75 kU/L)]. Se preincubó a 37 ˚C el RT antes de colocar la muestra durante 2 minutos. Se adicionó 100uL de muestra de suero, se mezcló y leyó en fotómetro ERBA Mannheim, utilizando como Blanco solo el RT. (Murray, Granner y Rodwell, 2007) (Pesce y Kaplan, 1990). La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en UI/L.

- Determinación cuantitativa de Transaminasa glutámico-pirúvica (GPT/ALT).-

Método: Cinético UV. IFCC, LDH -NADH.

Procedimiento: Se colocó en un tubo 800 µL de RT [mezcla de 200 µL de R2: Substrato (NADH 0,9 mmol/L; 2-oxoglutarato 75 mmol/L) (HUMAN Diagnostics. Alemania), mas 800uL de R1: Tampón (TRIS pH 7,4 125 mmol/L; L-Alanina 625 mmol/L; Lactato deshidrogenasa 1,5 kU/L)]. Se preincubó a 37˚C el RT antes de colocar la muestra 2 minutos. Se adicionó 100 µL de muestra de suero. Se mezcló y se leyó en fotómetro a 340 nm de longitud de onda, utilizando como Blanco solo el RT. La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en UI/L (Murray, Granner y Rodwell, 2007) (Pesce y Kaplan, 1990).

- Determinación cuantitativa de gamma-glutamil transferasa (γ-GT).-

Método: Cinético-colorimétrico. Sustrato carboxilado. Reactivos: Buffer: buffer tris (ph 8,30 125 mmol/l y glicil-glicina 150 mmol/l; Substrato: L-γ-glutamil-3-carboxi-4-nitroanilida 20 mmol/l) (HUMAN Diagnostics: Alemania).

Procedimiento: Se colocó en un tubo 800uL de RT [(800uL de R1 (buffer) más 200uL de R2 (Substrato)] y se preincubó a 37˚C el RT antes de colocar la muestra 2 minutos, se adicionó 100 µL de muestra. Se mezcló y leyó en fotómetro a 405 nm de longitud de onda, utilizando como Blanco solo el RT. (Jean, Kuete y Jacobus, 2014) (Pesce y Kaplan, 1990). La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en UI/L.

- Determinación cuantitativa de bilirrubina total y directa.-

Método: Colorimétrico, Dimetilsulfóxido (DMSO). Reactivos: Reactivo A: solución acuosa de benzoato de cafeína 0,13 mol/l, tamponado y estabilizado. Re-

activo B: solución de ácido sulfanílico 29 mmol/l y ácido clorhídrico 0,17 mol/l. Reactivo C: solución de nitrito de sodio 0,07 mol/l (Wiener lab., Argentina).

Procedimiento: En principio se prepararon los siguientes reactivos: blanco de bilirrubina directa y total, se colocó en un tubo 1,25 mL de agua destilada más 100 ul del Reactivo B; bilirrubina directa: se colocó en un tubo 1,25 mL de agua destilada más 100 ul del diazoreactivo (1 ml de reactivo B más 50 ul de reactivo C); bilirrubina total: se colocó en un tubo 1,25 mL de reactivo C más 100 µl del diazoreactivo; y se adiciono 100 µL de muestra de suero a a los 3 tubos, se mezcló e incubo a temperatura ambiente por 5 minutos. Leer en fotómetro a 505 nm. (Murray, Granner y Rodwell, 2007, Velázquez, 2009).

- Determinación cuantitativa de albúmina.-

Método: Verde de Bromocresol (3,3',5'–tetrabromo-m-cresolsulfonftaleína). Colorimétrico.

Procedimiento: Se colocó en un tubo 1,5 mL de Verde de bromocresol 0,12 mmol/L (Wiener lab., Argentina) (incluida también con un tampón de succinato 0,075 mol/L, a pH 4,20, también se les agrega Brij-35, un detergente no iónico para reducir la absorbancia del blanco, evitar la turbidez y favorecer la linealidad), y se adiciono 10 µL de muestra de suero. Se mezcló e incubó 5 minutos a temperatura ambiente. En este procedimiento la absorbancia del verde de bromocresol unido a la albúmina se leyó en fotómetro a 630 nm (600-650) de longitud de onda, utilizando como blanco solo el reactivo. La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en g/dL (Pesce y Kaplan, 1990) (Quesada, 2007) .

Perfil de Riesgo Cardiaco:

- Determinación cuantitativamente de colesterol.-

Método: Colesterol Estearasa (CHE)/ Colesterol oxidasa (CHOD) /Peroxidasa (POD) / Trinder / Enzimático colorimétrico.

Procedimiento: Se colocó en un tubo 1 mL de la mezcla: 90 mmol/L tampón PIPES (Ácido 1,4-piperazinedietanosulfónico) pH 6,0; Fenol 26 mmol/L; Colesterol esterasa 1000U/L; Colesterol oxidasa 300U/L; Peroxidasa 650 U/L; 4-Aminofenazona 0.4 mmol/L) (HUMAN Diagnostics, Ale-

mania) y se adiciono 10 µL de muestra de suero. La mezcla se leyó en un fotómetro a 505 nm (500-550) de longitud de onda, utilizando como Blanco la mezcla. La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en mg/dL (Pesce y Kaplan, 1990) (Richmond, 1992).

- Determinación cuantitativa de triglicéridos.-

Método: Lipasa/ glicerol quinasa (GK)/Glicerol-3-fosfato/ Peroxidasa/ Trinder / Enzimático colorimétrico.

Procedimiento: Se colocó en un tubo 1 mL de RT (PIPES buffer pH 7,5, 50 mmol/L; 4-Clorofenol 5 mmol/L; lipasa 1300U/L; Glicerol kinasa 500 U/L; Glicerol 3- fosfato oxidasa 1500 U/L; Peroxidasa 500 U/L; 4-Aminofenazona 0.25 mmol/L; iones de magnesio 4,5 mmol/l; ATP 2 mmol/L; lipasas 1300 U/L) (HUMAN Diagnostics, Alemania) y se adicionó 10 µL de muestra de suero. Se mezcló e incubo 5 minutos a 37ºC. La mezcla se leyó en un fotómetro, a 505 nm (490-550) de longitud de onda utilizando como Blanco el RT. La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en mg/dL (Pesce y Kaplan, 1990).

- Determinación precipitante de HDL-Colesterol.-

Método: ácido fosfotúngstico/Mg++, Precipitante.

Procedimiento: Se colocó en un tubo 25 µL de Reactivo precipitante (Ácido fosfotúngstico 14mmol/L; Cloruro magnésico 2 mmol/L) (HUMAN Diagnostics, Alemania) y se adiciono 250 µL de muestra de suero. Se mezcló y dejo reposar 10 minutos a temperatura ambiente. Se centrifugo 20 minutos a 4000 r.p.m. Se recogió el sobrenadante y se procesó como muestra en la determinación de colesterol total. La mezcla se leyó en un fotómetro (Grove, 1979).

- Determinación cuantitativa de lactato deshidrogenasa (LDH).-

Método: Cinético-enzimático. Reactivos. - Reactivo R1: Tris buffer**,** pH 7,20, a 80 mmol/L, Cloruro de sodio a 200 mmol/L, Piruvato a 1,6 mmol/L; Reactivo 2 (R2) contiene: NADH (dinucleótido reducido de nicotinamida y adenina) a 0,24 mmol/L (Elitechgroup, Francia).

Procedimiento: Se colocó en un tubo 1000uL de RT [(800uL de R1 (buffer) más 200uL de R2 (Substrato)] y se preincubó a 37˚C el RT antes de colocar la

muestra 2 minutos, se adicionó 30 µL de muestra de suero. Se mezcló y leyó en fotómetro a 340 nm de longitud de onda. La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en UI/L (Jean, Kuete y Jacobus, 2014) (Pesce y Kaplan, 1990).

Perfil Renal

- Determinación de Creatinina.-

Método: Jaffé. Cinético-colorimétrico.

Procedimiento: Se colocó en un tubo 500 µL de una mezcla de RT [250 µL R1 (Reactivo Pícrico) y 250 µL de R2 (Reactivo Alcalino)](Wiener lab., Argentina) y se adicionó 50 µL de muestra de suero. Se mezcló y leyó en fotómetro, utilizando como Blanco el RT. La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en mg/dL (Pesce y Kaplan, 1990).

- Determinación cuantitativa de urea.-

Método: Ureasa/Glutamato deshidrogenasa (GDLH)/NADH/α-Cetoglutarato/ Cinético– U.V.

Procedimiento: Se colocó en un tubo 1mL de RT de enzimas (800 µL de R1: TRIS pH 7,8 80 mmol/L; α-cetoglutarato 6mmol/L; Ureasa 75000U/L Tampón más 200 µL de R2 GLDH 60000U/L; NADH 0,32 mmol/L) (HUMAN Diagnostics, Alemania) y se adicionó 10 µL de muestra de suero. Se mezcló y leyó en fotómetro, utilizando como Blanco el RT. La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en mg/dL (Pesce y Kaplan, 1990).

- Determinación cuantitativa de ácido úrico.

Método: Uricasa/peroxidasa/Trinder/ Enzimático colorimétrico.

Procedimiento: Se colocó en un tubo 1000 µL de una mezcla de RT (PIPES 50 mmol/L, pH 7,5; 2-4 Dicloro-fenolsulfonato 4 mmol/L; Peroxidasa 6600 U/L; Ascorbato-oxidasa 1200 U/L; 4-Aminofenazona 1mmol/L) (HUMAN Diagnostics, Alemania) y se adicionó 20 µL de muestra de suero. Se mezcló e incubo 5 minutos a 37ºC. Se leyó en fotómetro a 500 nm de longitud de onda, utilizando como Blanco el RT. La absorbancia fue traducida directamente por el equipo en mg/dL (Pesce y Kaplan, 1990).

Perfil Endocrino

-Determinación de la hormona estimulante de la tiroides (TSH).

Método: inmunoensayo quimioluminiscente de fase sólida (IMMULITE), en dos pasos.

Procedimiento: después de la verificación de mantenimiento y controles internos, se cargó el kit de reactivos (kit de TSH 3ª generación), según instrucciones del fabricante, y se hizo la dispensación de la muestra en la perla sólida. Después de lavar el exceso, se adicionó el conjugado marcado con fosfatasa alcalina, se incubó y se adicionó el sustrato quimioluminiscente. Por medición de la emisión de luz, el equipo calculó automáticamente la concentración de TSH a partir de una curva de calibración.

ANEXO 2

Cuestionario clínico

Antecedentes (patológicos y no patológicos)
¿En su familia hay alguna enfermedad importante?
¿Usa lentes debido a algún problema visual?
¿Presenta algún problema auditivo?
¿Le han diagnosticado presión arterial alta?
¿Le han diagnosticado hepatitis?
¿Le han diagnosticado insuficiencia renal?
¿Le han diagnosticado alguna enfermedad mental?(Trastorno bipolar, depresión, esquizofrenia, ansiedad, etc.)
¿En la actualidad le han diagnosticado alguna otra enfermedad?
¿Actualmente esta tomando medicamentos (prescritos o no)?
¿Ha sido sometido a alguna cirugía?
¿Ha estado hospitalizado? En los últimos 6 meses (Estancia hospitalaria superior a 12 horas)
Exposición a tabaco
Exposición a humos
Consumo de Alcohol
¿Ha sufrido algún traumatismo? (Fracturas, contusiones, trauma, etc..)
¿Ha perdido o bajado de peso en el último año?
¿Se siente saludable?
¿Ha perdido cabello en el último año?
Ha presentado sudoración fácil/abundante?
¿Tiene amalgamas dentales?
¿Ha presentado dificultad para conciliar el sueño?
¿Posee buena visión?
¿Ha presentado picazón, dolor, hinchazón, lagrimeo o enrojecimiento en los ojos en el último mes?
Ha presentado dificultad para diferenciar los colores
¿Ha presentado sensibilidad a la luz?
¿Ha presentado visión en túnel?
¿Ha tenido garganta o nariz irritada, sin resfriado o gripe en el último año?
¿Ha tenido tos por más de 3 meses?

Antecedentes (patológicos y no patológicos)
¿Ha presentado dificultad para respirar en el último mes?
¿Ha presentado dolor en el pecho en el último año?
¿Ha presentado palpitaciones en el último año?
¿Ha presentado fatiga estando en reposo o realizando actividades cotidianas en el último año?
¿Ha presentado edema en cara y/o extremidades en el último año?
¿Ha presentado dificultad para realizar movimientos?
¿Ha presentado pérdida de fuerza en manos y/o piernas en el último año?
¿Ha presentado sabor metálico en la boca en el último año?
¿Ha tenido nauseas o vómito en el último mes?
¿Ha tenido dolor abdominal en el último año?
Ha tenido diarrea en el último año?
¿Cómo está su apetito?
¿Ha tenido inflamación de encías en el último año?
¿Ha tenido sangrado de encías en el último año?
¿Ha presentado aumento en el volumen urinario en el último mes?
¿Ha presentado ardor al orinar en el último mes?
¿Ha presentado mareo o vértigo en el último año?
¿Ha presentado dolor de cabeza en el último año?
¿Ha presentado cambios en el estado de ánimo en el último año (Se pone nervioso o se irrita con facilidad)?
¿Ha presentado dificultad para concentrarse en actividades cotidianas en el último año?
¿Ha presentado pérdida de memoria en el último año?
¿Ha presentado temblor en los dedos o manos en el último año?
¿Ha presentado sensación de pinchazos u hormigueo en cara y/o extremidades en el último año?
¿Ha presentado dificultad para articular sonidos y palabras en el último año?
Exposición a sustancias, materiales u otros productos
Utiliza elementos de protección personal

Exámen Clinico

Alteraciones en tegumentos y mucosas
Ojos
Tórax y cardiopulmonar
Abdomen y pelvis: Palpación abdominal
Genitourinario (cuando aplique el caso)
Exámen neurológico

PARTE 2

Estudio piloto sobre la exposición a mercurio y el estado de salud de mujeres de comunidades indígenas que habitan en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios, Bolivia

INFORME INSTITUCIONAL COMPLEMENTARIO

Glosario, información sociodemográfica, valoraciones médicas, detalles procedimentales y su base teórica, tablas de condensación de resultados, recomendaciones

Resumen Ejecutivo

Las comunidades indígenas de la Amazonía boliviana cumplen un papel crítico como guardianas de la biodiversidad y, por extensión, de condiciones ecológicas que sostienen la vida en la región y fuera de ella. Al mismo tiempo, presiones derivadas de minería, deforestación, ganadería y agricultura han reducido cobertura boscosa y han incrementado riesgos ambientales y sanitarios. En ese contexto, la minería artesanal de oro aluvial aporta mercurio que ingresa a la cadena trófica, con incorporación en peces de los ríos Beni y Madre de Dios y exposición humana por consumo habitual. La evaluación priorizó mujeres adultas por mayor vulnerabilidad biológica y social, además de implicaciones directas para embarazo, lactancia, cuidado familiar y, por tanto, para la salud comunitaria.

Durante noviembre–diciembre de 2023 tuvo lugar un estudio piloto en comunidades vinculadas a Rurrenabaque y Riberalta, con objetivos orientados a cuantificar mercurio total en cabello, estimar prevalencia de indicadores seleccionados de salud y explorar relaciones entre exposición y variables clínicas.

El trabajo incluyó acercamiento previo con liderazgos comunitarios, consentimiento informado, entrevista estructurada sobre vida cotidiana y hábitos alimentarios, valoración médica general y evaluación auditiva. También hubo toma de muestras para hemograma y pruebas bioquímicas con lectura funcional de órganos clave, raspado de mucosa oral para evaluación de genotoxicidad y recolección de cabello para determinación de mercurio, con un total de 120 encuestas sociodemográficas y 125 valoraciones médicas.

El perfil sociodemográfico y ambiental evidencia condiciones de pobreza severa, con limitaciones importantes en acceso a salud y agua segura. Más del 80% de las participantes reportó ausencia de servicio sanitario domiciliario y predominó el consumo de agua sin tratamiento, con prácticas de manejo de residuos centradas en quema y baja cobertura de recolección formal; la combinación leña–gas y el uso exclusivo de leña aparecieron como fuentes frecuentes para cocción. En salud, hipertensión figura como problema relevante, junto con anemia en más de la mitad de las mujeres, hallazgos compatibles con deterioro de bienestar y disminución de capacidad funcional. Pérdida dentaria afectó a un porcentaje alto de participantes, con implicaciones para nutrición y salud general, y una proporción adicional reportó dificultades auditivas con impacto sobre comunicación y vida diaria.

Los resultados de mercurio muestran un nivel de alarma con implicaciones inmediatas para política pública: nueve de cada diez mujeres presentaron concentraciones de mercurio total en cabello por encima de 1 ppm, y siete de cada diez alcanzaron rangos asociados con riesgo cardiovascular. La cuenca del río Beni registró concentraciones promedio más altas que la del Madre de Dios, y los casos con niveles más elevados exhibieron un patrón de laboratorio preocupante, compatible con compromiso hepático y renal, inflamación, estrés oxidativo y alteraciones hematológicas, con énfasis en anemia. Este panorama demanda acciones integrales y sostenidas orientadas a reducir exposición, fortalecer vigilancia biomédica y ambiental, mejorar agua y saneamiento, y proteger a gestantes, lactantes y niñez, sin afectar seguridad y soberanía alimentaria en comunidades donde el pescado constituye un eje central de la dieta.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

Ácido Úrico	Sustancia que el cuerpo produce al descomponer purinas (presentes en algunos alimentos y en las células). Cuando está alto, aumenta el riesgo de gota (dolor e inflamación articular) y, en ciertos casos, se asocia con mayor probabilidad de problemas del corazón y de alteraciones como presión alta, azúcar elevada o colesterol/triglicéridos altos.
Albúmina	Proteína principal del plasma, sintetizada en el hígado, que ayuda a mantener la presión oncótica y transporta diversas moléculas (hormonas, ácidos grasos y fármacos). Disminuye con desnutrición, inflamación crónica, enfermedad hepática o pérdidas renales/intestinales; aumenta con deshidratación.
ALT/GPT	Alanino aminotransferasa (GPT). Enzima que está sobre todo en el hígado. Cuando aumenta en sangre, sugiere irritación o daño de las células hepáticas, aunque también puede subir por otras causas que deben evaluarse en contexto.
AST/GOT	Aspartato aminotransferasa (GOT). Enzima presente en el hígado y también en el músculo. Cuando se eleva en sangre, puede indicar afectación hepática o muscular, por lo que conviene interpretarla junto con otros exámenes y síntomas.
Bilirrubina Directa	Parte de la bilirrubina que el hígado ya "procesó" para eliminarla. Cuando aumenta, puede indicar dificultad para que la bilis fluya o alteraciones del sistema hepatobiliar, y se interpreta junto con otros exámenes.
Bilirrubina Total	Suma de la bilirrubina "directa" e "indirecta" en sangre. Ayuda a explicar la ictericia (piel u ojos amarillos) y puede orientarse a problemas del hígado o de la vía biliar, o a destrucción aumentada de glóbulos rojos.
CEDIB	Centro de Documentación e Información Bolivia. Institución aliada en Bolivia que apoya trabajo territorial, articulación comunitaria y componentes logísticos/documentales del estudio.
CHCM	Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media. Mide la hemoglobina que en promedio existe dentro de cada glóbulo rojo (su "intensidad de color"). Si está baja, refuerza la idea de hipocromía, frecuente en anemias por falta de hierro.
Colesterol (total)	Cantidad total de colesterol presente en la sangre, transportado por distintas partículas de lípidos y proteínas. Es empleado para valorar el riesgo de enfermedad cardiovascular junto con otras grasas en sangre. Valores altos están asociados con mayor riesgo de obstrucción de arterias, mientras valores bajos pueden observarse en desnutrición u otras condiciones y requieren interpretación clínica.

Colesterol HDL (C-HDL)	El colesterol de lipoproteínas de alta densidad es la fracción del colesterol en sangre transportada por partículas que ayudan a retirar colesterol de los tejidos y llevarlo al hígado para su eliminación. Valores más altos suelen asociarse con menor riesgo cardiovascular, aunque la interpretación debe hacerse junto con el colesterol total, triglicéridos y otros factores clínicos.
Creatinina (Sérica)	Sustancia medida en sangre para evaluar qué tan bien están funcionando los riñones al filtrar los desechos del organismo. Valores alterados pueden sugerir disminución de la filtración renal, pero la lectura debe considerar edad, masa muscular e hidratación.
Hb/HGB	Hemoglobina. Proteína de los glóbulos rojos que lleva oxígeno a todo el cuerpo. Cuando está baja, sugiere anemia y puede relacionarse con pérdida de sangre o con deficiencias nutricionales, como falta de hierro.
HCT: Hematocrito	Porcentaje de la sangre que corresponde a glóbulos rojos. Un valor bajo suele indicar anemia o dilución de la sangre; un valor alto puede relacionarse con deshidratación u otras condiciones.
Hg/Hg-Total	Mercurio/Mercurio total. Indicador de exposición al mercurio, especialmente relevante por consumo de pescado en zonas con minería aurífera.
IDE	Índice de distribución eritrocitaria. Medida de la variabilidad del tamaño de los eritrocitos (anisocitosis), expresada como porcentaje o desviación; valores altos sugieren mayor heterogeneidad y apoyan la caracterización de anemias (por deficiencia de hierro, B12/folato o mixtas) en conjunto con VCM y otros índices.
IMC	Índice de Masa Corporal. Relación entre el peso y la estatura que ayuda a estimar si una persona tiene bajo peso, peso adecuado, sobrepeso u obesidad. Funciona como una guía general del estado nutricional.
EDA	Enfermedad Diarreica Aguda. Episodio de diarrea que aparece de forma repentina y dura pocos días. Suele relacionarse con consumo de agua o alimentos contaminados y es más frecuente cuando faltan agua segura y condiciones adecuadas de saneamiento.
EE: Error Estándar	Medida estadística que indica qué tan precisa es la estimación de un promedio en una muestra. Un EE más pequeño sugiere un promedio más confiable y facilita comparar promedios entre grupos.
ESP: Extendido de sangre periférica.	Preparación de una gota de sangre en una lámina para verla al microscopio. Permite evaluar la forma y características de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas, y orientar diagnósticos como anemias o infecciones.
FAL: Fosfatasa Alcalina.	Enzima relacionada con el hígado (especialmente la vía biliar) y con los huesos. Cuando está alta, puede sugerir problemas de flujo de bilis (colestasis) o cambios en el metabolismo óseo; requiere interpretación con otros exámenes.

GGT (Gamma-glutamil transferasa)	Enzima presente especialmente en hígado y vías biliares. Es usada como apoyo para detectar colestasis (alteración del flujo de la bilis) o lesión hepatobiliar y para interpretar elevaciones de fosfatasa alcalina. Puede aumentar también por consumo de alcohol, algunos fármacos y otras enfermedades hepáticas, por lo que requiere correlación clínica.
GRAN: Granulocitos (principalmente neutrófilos)	Expresado como número de células por unidad de volumen de sangre (células/µL o $\times 10^3$/µL). Los granulocitos son células de defensa de respuesta rápida. Un aumento suele observarse en infecciones bacterianas, inflamación aguda, estrés fisiológico u otras condiciones, y requiere correlación clínica.
HCM. Hemoglobina Corpuscular Media	Cantidad promedio de hemoglobina dentro de cada glóbulo rojo. Cuando está baja, sugiere glóbulos rojos con "menos color" (hipocromía), típico de anemias por falta de hierro u otros problemas de producción de hemoglobina.
HCT. Hematocrito	Porcentaje del volumen total de sangre correspondiente a glóbulos rojos. Es empleado para evaluar anemia e interpretar el estado de hidratación junto con hemoglobina y recuento eritrocitario.
HGB. Hemoglobina (concentración)	Cantidad de hemoglobina por unidad de volumen de sangre (g/dL). Es utilizada para evaluar anemia o policitemia (aumento de glóbulos rojos en la sangre) y, junto con HCT y RBC, interpretar el estado hematológico.
Hipocromía	Glóbulos rojos con menos hemoglobina, aparecen más pálidos (HCM/CHCM bajos); frecuente en deficiencia de hierro.
IDE: Índice de Distribución Eritrocitario	Indica qué tanto varía el tamaño de los glóbulos rojos en una muestra. Cuando está alto, significa que hay glóbulos rojos de tamaños muy diferentes (anisocitosis), lo cual puede verse en algunas anemias o en mezclas de poblaciones celulares.
IRA: Infección Respiratoria Aguda	Infección que afecta nariz, garganta o pulmones y aparece de forma repentina, con síntomas como tos, fiebre, dolor de garganta o dificultad para respirar. Es común y requiere vigilancia en la comunidad porque puede complicarse en niños, mayores y personas con defensas bajas.
LDH: Lactato deshidrogenasa	Enzima presente en muchos tejidos del cuerpo; un valor alto indica daño o "estrés" celular en algún órgano, pero no señala cuál por sí sola. Puede aumentar por hemólisis (daño de glóbulos rojos), enfermedad hepática, lesión muscular, inflamación intensa o infecciones, por lo cual requiere interpretación conjunta con síntomas y otras pruebas.
LYM: Linfocitos (recuento absoluto)	Expresado como número de linfocitos por unidad de volumen de sangre (células/µL o $\times 10^3$/µL). Los linfocitos participan en la defensa inmunitaria. Valores altos o bajos pueden observarse en infecciones (a menudo virales), respuestas inflamatorias, estrés fisiológico o trastornos hematológicos/inmunitarios, y requieren interpretación clínica integral.

M: Mediana	Valor "central" de un conjunto de datos: la mitad de los resultados queda por debajo y la otra mitad por encima. Es útil porque casi no se distorsiona por valores extremos y describe bien datos con distribución desigual.
Macroplaquetas	Plaquetas de tamaño aumentado, típicas de recambio acelerado o trastornos plaquetarios.
Microcitosis	Predominio de glóbulos rojos más pequeños de lo normal (VCM bajo), típico de alteraciones en la síntesis de hemoglobina.
MID: Células "intermedias" (recuento absoluto)	Expresado como número de células por unidad de volumen de sangre (células/µL o $\times 10^3$/µL); según el analizador, agrupa principalmente monocitos y, en algunos equipos, también eosinófilos y basófilos. Variaciones en MID pueden acompañar procesos inflamatorios, infecciones y respuestas alérgicas o parasitarias, por lo que su interpretación debe correlacionarse con el contexto clínico y, si hay dudas, con el diferencial/frotis.
Min-Máx: Mínimo-Máximo.	Indica el valor más bajo y el más alto encontrados en un grupo de datos. Sirve para ver el rango observado e identificar valores extremos
n / %: Número y porcentaje	"n" indica cuántas personas (o casos) hay en una categoría, y "%" qué proporción representan del total. Es la forma estándar de reportar tamaño de muestra y frecuencias.
NS/NR: "No sabe / no responde"	Indica que la persona no conoce la respuesta o decidió no contestar. Es usado en encuestas para registrar información faltante o no reportada.
PCT: Plaquetocrito	Porcentaje del volumen de la sangre que está ocupado por plaquetas. Combina cuántas plaquetas hay y qué tan grandes son, y ayuda a evaluar el "volumen total" de plaquetas circulantes.
PLT: plaquetas (recuento)	Expresado como número de plaquetas por unidad de volumen de sangre ($\times 10^3$/µL). estas células participan en la hemostasia (procesos para detener la hemorragia) y formación de coágulos. Valores bajos pueden asociarse con mayor riesgo de sangrado, mientras valores altos pueden acompañar inflamación/infección (trombocitosis reactiva) o, menos frecuentemente, trastornos mieloproliferativos, y requieren correlación clínica.
Poiquilocitosis	Variación anormal en la forma de los glóbulos rojos, indicativa de estrés o trastornos hematológicos.
RBC. Eritrocitos (glóbulos rojos; recuento)	Expresado como número de eritrocitos por unidad de volumen de sangre ($\times 10^6$/µL). Los eritrocitos son interpretados en conjunto con la hemoglobina, hematocrito e índices eritrocitarios para evaluar anemia, policitemia e hidratación.

Triglicéridos	Grasas que circulan en la sangre y que sirven como reserva y fuente de energía; provienen de la dieta y de la síntesis en el hígado. Concentraciones elevadas se asocian con alteraciones metabólicas y mayor riesgo cardiometabólico, y pueden aumentar tras comidas, consumo de alcohol, obesidad o diabetes; la interpretación se hace idealmente en ayunas y con el resto del perfil lipídico.
Úrea	Sustancia de desecho que el cuerpo produce al procesar proteínas y que los riñones eliminan. Sus niveles ayudan a orientar hidratación y función renal, aunque también influyen la dieta y el estado general de salud.
VCM: Volumen Corpuscular Medio	Indica el tamaño promedio de los glóbulos rojos. Si está bajo, sugiere glóbulos rojos pequeños (microcitosis); si está alto, glóbulos rojos grandes (macrocitosis).
VPM: Volumen Plaquetario Medio	Indica el tamaño promedio de las plaquetas. Cuando está alto, sugiere plaquetas más grandes y, a veces, mayor "recambio" (producción acelerada) por consumo o destrucción de plaquetas.
WBC: Recuento total de leucocitos (glóbulos blancos)	Expresado como número de células por unidad de volumen de sangre (células/µL, $\times 10^3/\mu L$). Ayuda a orientar infecciones, procesos inflamatorios y algunos trastornos de la sangre.
GGT: Gamma-glutamil transferasa	Enzima de vía biliar que aumenta cuando existe irritación o daño en hígado y vías biliares (conductos que transportan bilis). El aumento también puede relacionarse con consumo de alcohol, algunos medicamentos o hígado graso; por eso conviene interpretarla junto con ALT, AST, fosfatasa alcalina y bilirrubinas.
RBC: Recuento de glóbulos rojos	Número de glóbulos rojos en una cantidad determinada de sangre. Ayuda a evaluar y clasificar anemias y otros trastornos de la sangre.
TG/TRIG: Triglicéridos	Tipo de grasa circulante en sangre; valores altos suelen reflejar un metabolismo alterado (por ejemplo, resistencia a la insulina) y favorecen "riesgo cardiometabólico", es decir, una probabilidad mayor de presentar, de manera conectada, enfermedades cardiovasculares (infarto, accidente cerebrovascular) y trastornos metabólicos (diabetes tipo 2, síndrome metabólico), con frecuencia junto con hipertensión y acumulación de grasa en hígado.

P-TOTALES	Proteínas totales. Medida global de la cantidad de proteínas en sangre (principalmente albúmina y globulinas). Valores bajos suelen relacionarse con desnutrición, problemas de absorción, pérdida de proteínas (riñón o intestino) o enfermedad hepática; valores altos pueden reflejar deshidratación o inflamación crónica. Interpretación requiere contexto clínico.
SELADIS	Servicio de Laboratorios de Diagnóstico e Investigación en Salud (Universidad Mayor de San Andrés). Laboratorio universitario que respalda análisis clínicos y bioquímicos.
UniCartagena: Universidad de Cartagena	Institución participante por Colombia, con aporte científico, metodológico y analítico.
VR: Valor de referencia	Intervalo de resultados que un laboratorio considera habitual en personas sin enfermedad. La interpretación debe tener en cuenta edad, embarazo, altitud y el contexto clínico de cada persona.

INTRODUCCIÓN

En Bolivia, como en toda la región Amazónica, las comunidades indígenas son la salvaguarda de todos los recursos biológicos de la selva y que son fundamentales para la supervivencia del planeta. No obstante, diversidad de situaciones derivadas de actividades humanas, tales como la minería, la deforestación, la ganadería y la agricultura, han contribuido a reducir el área del bosque, reduciendo las posibilidades de supervivencia de los que allí residen.

En virtud de lo anterior, el CEDIB, el SELADIS (Universidad Mayor de San Andrés) y la Universidad de Cartagena (Colombia), en noviembre-diciembre de 2023 desarrollaron un estudio piloto en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios, para establecer el estado de salud de mujeres adultas expuestas a la contaminación con mercurio, proveniente de la minería artesanal del oro aluvial, que se incorpora en los peces de dichos ríos y son ingeridos por dicha población.

La investigación fue realizada sólo en mujeres dado que ellas son más vulnerables a los efectos del mercurio debido a su rol en la alimentación y el cuidado familiar. Al consumir pescado contaminado pueden transmitir el mercurio a sus hijos durante el embarazo y la lactancia. Además, su salud refleja el impacto de la contaminación en toda la comunidad, haciendo urgente la protección de sus familias y el ambiente.

Objetivos

- Evaluar las concentraciones de mercurio en cabello de comunidades indígenas de las cuencas de los Ríos Beni y Madre de Dios,
- Determinar la prevalencia de algunos indicadores del estado de salud.
- Establecer relaciones entre la exposición a mercurio y variables derivadas del estado de salud.

Metodología

Diseño del estudio y abordaje en campo

Este trabajo correspondió a un estudio observacional, piloto y de corte transversal, desarrollado durante noviembre - diciembre de 2023 en comunidades

indígenas de la Amazonía boliviana ubicadas en las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios. Por cercanía a centros poblados, la logística de entrevistas, valoraciones clínicas y entrega de muestras ocurrió en Rurrenabaque y Riberalta. La evaluación priorizó mujeres adultas, dada su vulnerabilidad biológica y social frente a la exposición a mercurio y el posible impacto sobre embarazo y lactancia. Las actividades del proyecto estuvieron avaladas en su componente ético por el Comité de Ética de la Universidad de Cartagena (Acta 167-30-10-23-1-1). Los procesos de relacionamiento con las comunidades indígenas estuvieron a cargo del CEDIB y "la Mancomunidad de Comunidades del Río Tuichi, Beni y Quiquibey, la CONTIOCAP (Coordinadora Nacional de Defensa de Territorios Indígenas Originarios Campesinos y Áreas Protegidas), la TCO Tacana II y la TCO TIM II, quienes expresaron interés en participar. Cada participante recibió información sobre el alcance del estudio y posteriormente leyó y firmó un consentimiento o asentimiento informado, según el caso. A continuación, el voluntario fue entrevistado sobre información básica sociodemográfica y de salud, documentando edad, sexo, estado gestacional o de lactancia, escolaridad, ocupación, tiempo de residencia, determinantes sociales, acceso a servicios básicos y un bloque de síntomas y antecedentes compatibles con neurotoxicidad por mercurio y consumo de pescado, entre otros aspectos. La participación continuó con entrevista estructurada sobre forma de vida, hábitos alimentarios y antecedentes de salud; luego tuvo lugar una valoración médica general, toma de muestras de cabello y sangre, además de una evaluación auditiva realizada por fonoaudióloga.

Recolección de muestras biológicas

Después de la entrevista y las evaluaciones clínicas, cada participante entregó muestra de sangre para análisis, raspado de mucosa oral para evaluación de genotoxicidad, y muestra de cabello para cuantificación de mercurio total. La recolección de muestras de cabello fue realizada por personal entrenado, bajo procedimientos estandarizados. La muestra de cabello (100-150 mg) fue cortada de la zona occipital, usando guantes y tijeras desinfectadas con alcohol, obteniendo el segmento adyacente al cuero cabelludo y marcando dicho extremo. Una vez colectadas, las muestras fueron almacenadas en sobres rotulados *in situ*.

Procesamiento y análisis de laboratorio

La sangre aportó biomarcadores orientados a una lectura preliminar del funcionamiento de órganos clave, incluyendo hígado, riñón y tiroides.

El cabello permitió la determinación de mercurio total, con contraste frente a estándares internacionales. Los análisis hematológicos automatizados fueron ejecutados en los sitios de recolección de muestras. El componente de análisis clínico y bioquímico contó con respaldo del SELADIS como laboratorio universitario.

Las placas con el extendido de sangre periférica y las muestras de cabello fueron transportados y analizados en los Laboratorios del Doctorado en Toxicología Ambiental de la Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Para el extendido fue empleada una gota de la muestra anticoagulada, la cual fue extendida en un portaobjeto, secada a temperatura ambiente y coloreada con tinción de Wright. La observación microscópica fue realizada a través de un OLYMPUS BX41, en objetivo de 100x de aceite de inmersión, con observación de por lo menos 2000 células en 10-15 campos. La lectura del extendido de sangre periférica estuvo dirigida especialmente a la búsqueda de micronúcleos (evaluación de genotoxicidad). Fueron realizadas dos placas de extendido por participante, que permitieran realizar observación morfológica y recuento (en los casos necesarios) de las líneas celulares (Manjarres-Suarez et al., 2022; Luzhna et al., 2013).

Para el caso del cabello, las mechas de pelo fueron sometidas a un protocolo de lavado (Valdelamar-Villegas y Olivero-Verbel, 2020), empleando enjuagues cortos con agua Milli-Q y acetona de alta pureza, secando a 50 °C por 8 horas.

El análisis de mercurio total fue realizado empleando un Analizador Directo de Mercurio Lumex RA-915M, utilizando metodologías previamente reportadas y validadas, usando materiales de referencia certificados (Valdelamar-Villegas y Olivero Verbel, 2020). La cuantificación fue llevada a cabo mediante calibración externa con materiales certificados (IAEA-085 [23.2 μg/g] e IAEA-086 [0.573 μg/g]), verificando linealidad (R2>0.999); y estimando límite de detección (0.006 μg/g) y cuantificación (0.02 μg/g) a partir de la desviación estándar de nueve (9) blancos. Los porcentajes de recuperación oscilaron entre 98 y 102.9%. Las lecturas fueron llevadas a cabo por duplicado, evaluando muestras de material certificado luego de cada 10 corridas (Palomares-Bolaños et al., 2025). La concentración de mercurio en cabello es presentada en microgramos de mercurio por gramo (μg/g, ppm).

Análisis estadístico

Los datos fueron evaluados para normalidad empleando Kolmogorov-Smirnov. La no normalidad de los datos, aún luego de la transformación de los da-

tos, sugirió la utilización de pruebas no paramétricas. Los datos cuantitativos son reportados como media ± error estándar (EE) y mediana [p25–p75]. Las comparaciones entre más de dos grupos fueron realizadas mediante Kruskal–Wallis aplicando Dunn con ajuste de Holm para el control por multiplicidad. Las correlaciones entre Hg y parámetros cuantitativos fueron llevadas a cabo con Spearman (ρ). Los análisis fueron ejecutados en R y para todos los casos el criterio de significancia fue $p<0.05$.

Una vez generados los resultados, el equipo de trabajo discutió los hallazgos en mesas de trabajo con la participación del personal médico vinculados al estudio, a partir de lo cual derivaron conclusiones y recomendaciones.

1 INFORMACIÓN SOCIO-DEMOGRÁFICA

La distribución de encuestas efectivas y valoraciones médicas realizadas para voluntarios correspondientes a Rurrenabaque y Riberalta son presentadas en la **Tabla 1.1**. En total fueron realizadas 115 encuestas sociodemográficas y 119 valoraciones médicas.

Tabla 1.1. Distribución de encuestas efectivas sociodemográficas y valoraciones médicas realizadas en las comunidades de Rurrenabaque y Riberalta

Comunidad	Encuesta sociodemográfica	Valoraciones médicas
Rurrenabaque	47	50
Riberalta	68	69
Total	115	119

La distribución de las edades de los voluntarios correspondientes a Rurrenabaque y Riberalta aparecen en la Tabla 1.2. En promedio las mujeres participantes de Riberalta poseen más edad (~10 años) que las de Rurrenabaque, aunque en ambos casos el porcentaje más alto correspondió a edades comprendidas entre los 18 y los 59 años.

Tabla 1.2. Edad de los participantes en el estudio.

Condición	Sitio de encuesta	
	Rurrenabaque	Riberalta
Media ± DE	30.9 ±2.34	40.5 ±1.58
Mediana	26	38.5
Grupo	n (%)	n (%)
6-17	13 (27)	0 (0)
18-59	33 (67)	65 (93)
≥60	3 (6)	5 (7)

Las características sociodemográficas de los voluntarios correspondientes a Rurrenabaque y Riberalta son presentadas en la Tabla 1.3. La unión libre es el estado civil más común tanto en Rurrenabaque (59%) como en Riberalta (49%), con un 15% de personas en condición de concubinato en Rurrenabaque y ningún caso en Riberalta.

La mayoría de los participantes en Rurrenabaque tiene educación bachiller (36.2 %) o primaria (34%), ostentando mayor analfabetismo (10.6%), aunque un grupo importante ha alcanzado, o está en proceso de graduarse con algún tipo de educación universitaria (12.8%), mientras que, en Riberalta, estos niveles educativos son más altos (50% primaria, 39.7% bachillerato). La mayoría de las participantes en Rurrenabaque se dedican a la agricultura u otras actividades relacionadas (53.2%), comparado con el 94.1% en Riberalta. En Rurrenabaque hay una mayor proporción de estudiantes (25.5%) y artesanas (114.9%) que en Riberalta (1.5% y 4.4%, respectivamente).

En virtud de lo anterior, la comunidad indígena de Riberalta posee mayor estabilidad en términos de estado civil y ocupación agrícola, mientras que Rurrenabaque presenta más diversidad en niveles educativos y ocupaciones, con un grupo significativo de estudiantes y personas sin escolaridad.

Tabla 1.3. Características socioeconómicas generales de los participantes.

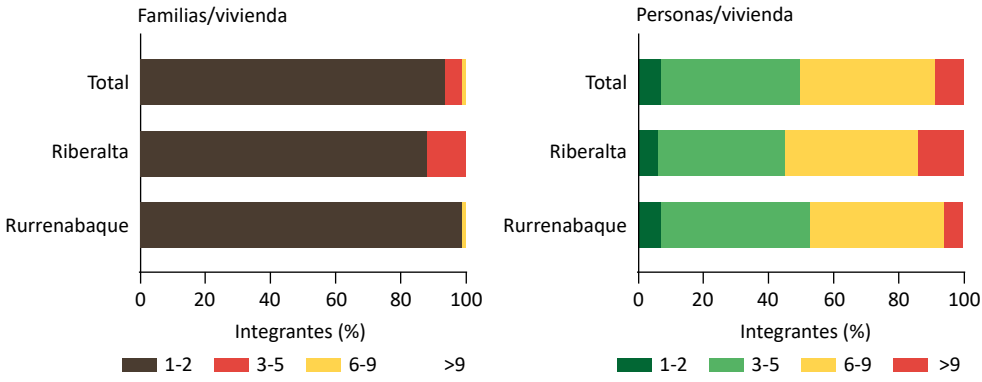
Fuente. Información recolectada en las encuestas elaboradas por los autores.

		Rurrenabaque n (%)	Riberalta n (%)	Total n (%)
Estado civil	Soltera	17 (36.2)	4 (5.9)	21 (18.3)
	Unión Libre	24 (51.1)	41(60.3)	65 (56.5)
	Casada	4 (8.5)	11 (16.2)	15 (13)
	Concubina	0 (0)	11 (16.2)	11(9.6)
	NS/NR	2 (4.2)	0 (0)	2 (1.7)
	Viuda	0 (0)	1 (1.4)	1 (0.9)
Escolaridad	Primaria	16 (34)	34 (50)	50 (43.5)
	Bachillerato	17 (36.2)	27 (39.7)	44 (38.2)
	Universitario	6 (12.8)	2 (2.9)	8 (7)
	Otro	2 (4.3)	4 (5.9)	6 (5.2)
	Ninguna	5 (10.6)	1 (1.5)	6 (5.2)
	NS/NR	1(2.1)	0 (0)	1 (0.9)
Ocupación	Agricultor (a)/otros	25 (53.2)	64 (94.1)	89 (77.4)
	Artesana	7 (14.9)	3 (4.4)	10 (8.7)
	Estudiante	12 (25.5)	1 (1.5)	13 (11.3)
	Otras actividades	3 (6.4)	0 (0)	3 (2.6)
	Ninguna	0 (0)	0 (0)	0 (0)

n: número de participantes; %: frecuencia relativa.

La distribución de frecuencias correspondiente al número de familias y personas por vivienda es mostrada en la Figura 1.1. Aunque en general para ambas comunidades tanto el número de familias como de personas por vivienda es similar, en Riberalta resalta un mayor hacinamiento.

Figura 1.1. Distribución de frecuencias del número de familias y personas por vivienda.



Las características del núcleo familiar son mostradas en la Tabla 1.4. Para las dos comunidades, las voluntarias evaluadas fueron mayoritariamente madres. Los participantes de ambas comunidades manifestaron tener seguro de salud, con porcentajes similares de 91.5 % y 92 % para Rurrenabaque y Riberalta respectivamente.

Tabla 1.4 Características del núcleo familiar de los participantes.

		Rurrenabaque n (%)	Riberalta n (%)	Total n (%)
Rol en la familia	Hija	16 (34)	1 (1.5)	17 (16)
	Madre	27 (57.5)	61 (89.7)	88 (81)
	Otro	4 (8.5)	6 (8.8)	10 (3)
Seguro de salud	Si	43 (91.5)	67 (92)	110 (96)
	No	4 (8.5)	1 (8)	5 (4)

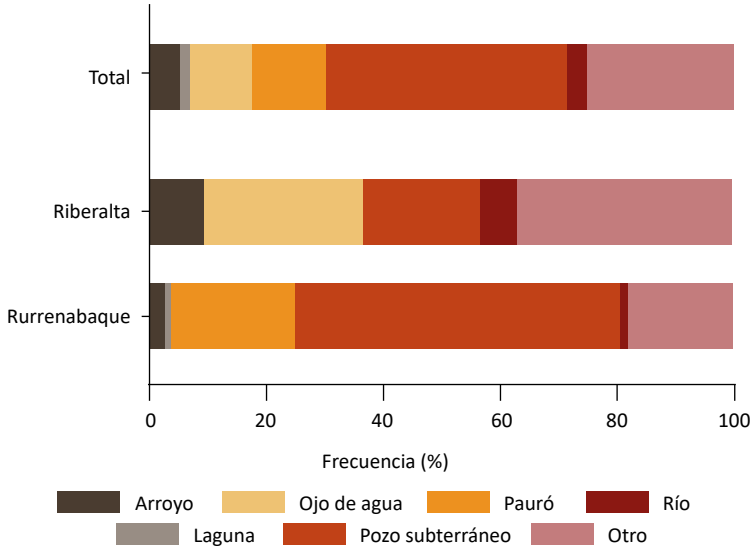
Las características de las viviendas habitadas por las voluntarias son detalladas en la Tabla 1.5. La gran mayoría habita en casas (86%), seguido por chozas (10%), aunque para este último caso las voluntarias de Rurrenabaque presentaron una mayor frecuencia (17%) frente a las de Riberalta (6%). El material predominante para el piso de las viviendas es el cemento (47%) seguido de tierra (36%); mientras que para las paredes es cemento (47%) y madera (43%).

Tabla 1.5. Características de las viviendas.

		Rurrenabaque n (%)	Riberalta n (%)	Total n (%)
¿Qué tipo de vivienda es?	Casa	37 (79)	62 (91)	99 (86)
	Choza	8 (17)	4 (6)	12 (10)
	Choza/Casa	0 (0)	1 (1.5)	1 (1)
	Cuarto	2 (4)	1 (1.5)	3 (3)
	Otro	0 (0)	0 (0)	0 (0)
¿Cuál es el material predominante del piso?	Cemento	27 (57)	27 (40)	54 (47)
	Madera	5 (11)	10 (15)	15 (13)
	Tierra	12 (26)	29 (42)	41 (36)
	Otro	3 (6)	2 (3)	5 (4)
¿Cuál es el material predominante de las paredes?	Cemento	29 (62)	25 (61)	54 (47)
	Madera	14 (30)	35 (29)	49 (43)
	Otro	1 (2)	4 (4)	5 (4)

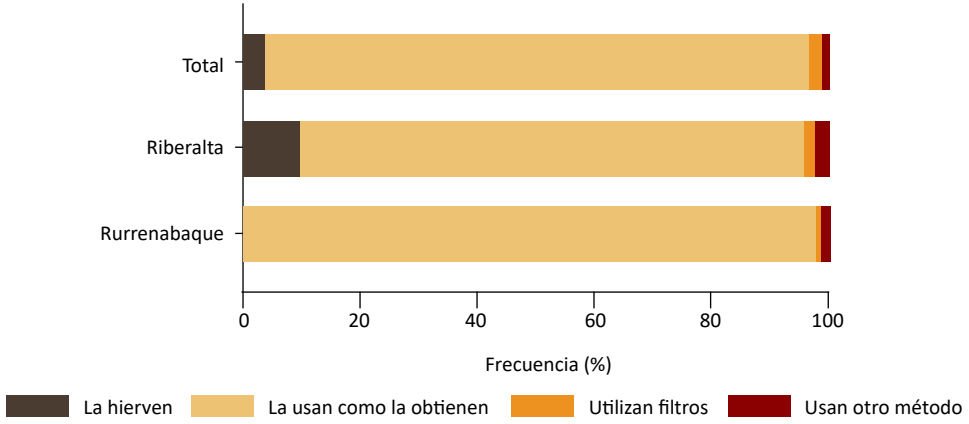
La descripción de las fuentes de agua usadas por las comunidades evaluadas es mostrada en la Figura 1.2. En general la principal fuente de agua para las comunidades es el pozo subterráneo, especialmente en Rurrenabaque. En Riberalta las voluntarias respondieron mayoritariamente con "Otro". Llama la atención que el Río es usado como fuente de agua en una fracción bastante pequeña, siendo menor en Rurrenabaque. Las familias de Riberalta, quizás por estar más asociadas con el bosque, incluyen al ojo de agua entre sus fuentes.

Figura 1.2. Fuente del agua.



El tratamiento que las comunidades le dan al agua cruda para su consumo es presentado en la Figura 1.3. La gran mayoría usa el agua sin tratamiento alguno, aunque un porcentaje cercano al 10% de las mujeres de Riberalta la hierve.

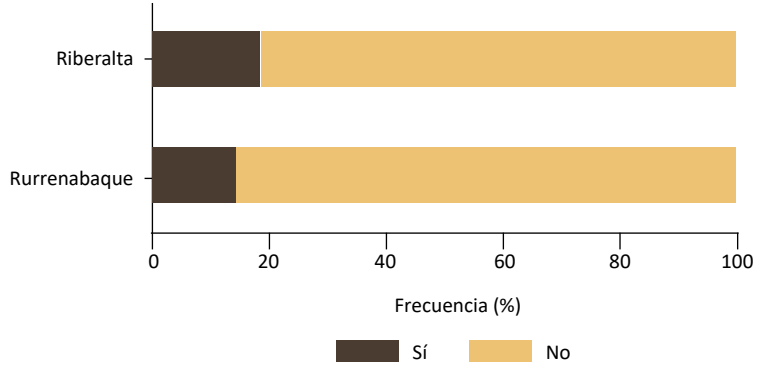
Figura 1.3. Tipo de tratamiento que realizan al agua de consumo los habitantes de Rurrenabaque y Riberalta.



Esta situación es preocupante y refleja lo que ha sido reportado para comunidades indígenas amazónicas, como las Shuar de Ecuador (Romero-Sandoval et al., 2019), para las cuales han sido reportadas prevalencias altas de enteroparásitos (62.6%), hepatitis A (98.1%) y Leptospira spp. (50.0%), reflejando una alta contaminación de las fuentes de agua y una exposición generalizada a patógenos. En este contexto, la falta de tratamiento en Rurrenabaque y Riberalta representa un riesgo importante para la salud y evidencia la necesidad de intervenciones sostenibles que aseguren agua segura y mejores prácticas comunitarias.

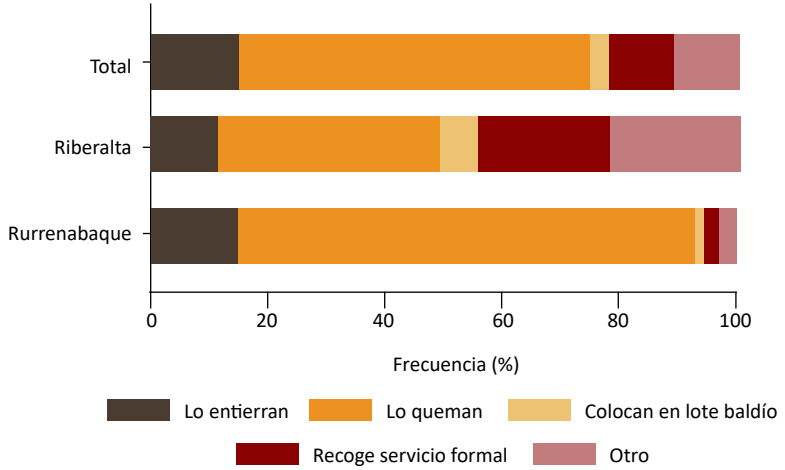
La presencia de servicio sanitario en las viviendas de las comunidades examinadas es mostrada en la Figura 1.4. Tanto en Rurrenabaque como en Riberalta, más del 80% de las participantes manifestó no contar con servicios sanitarios en sus viviendas.

Figura 1.4. Presencia de servicio sanitario en las viviendas.



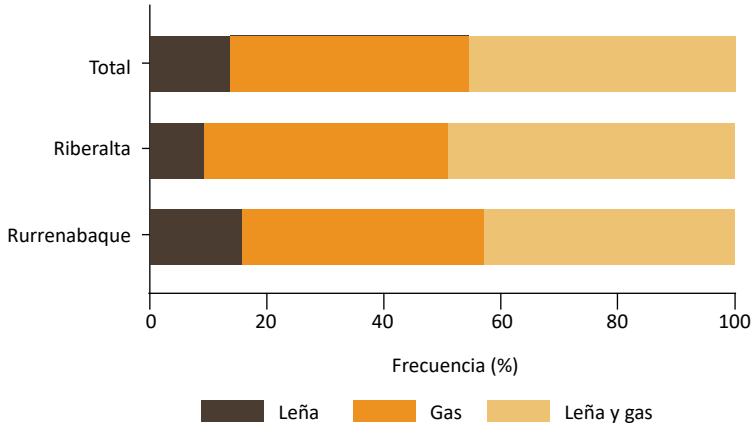
El tipo de disposición de basuras que las voluntarias manifestaron realizar en sus comunidades es presentado en la Figura 1.5. La quema es la disposición más frecuente para los residuos sólidos, aunque en Rurrenabaque la frecuencia es más del doble que en Riberalta, a pesar de que en este último un poco más del 20% manifestó contar con el servicio formal de recolección. En ambas localidades, enterrar las basuras es una práctica desarrollada por menos del 20% de las entrevistadas.

Figura 1.5. Distribución de frecuencia del tipo de disposición que hacen de sus residuos sólidos los habitantes de Rurrenabaque y Riberalta.



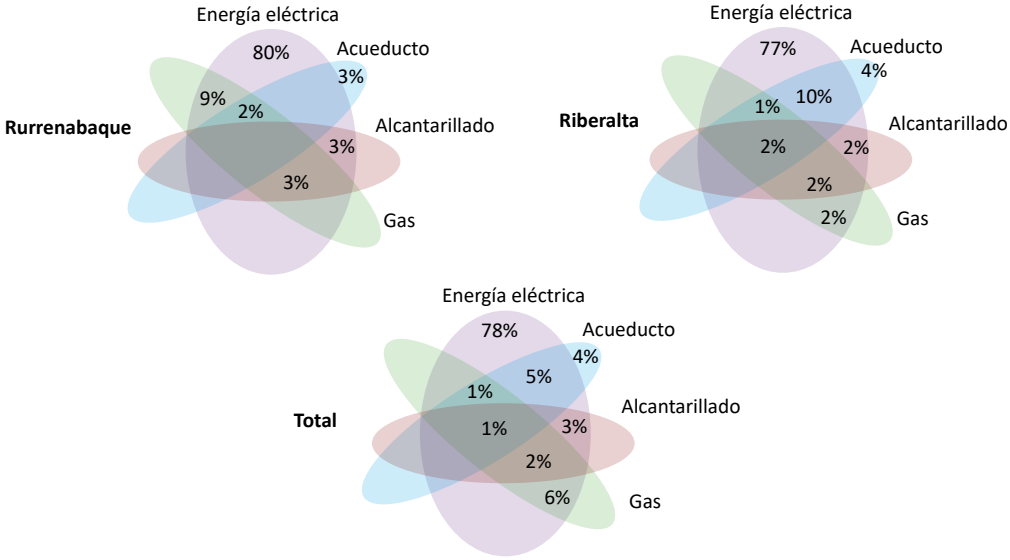
El tipo de fuente de calor empleada en la preparación de alimentos es mostrado en la Figura 1.6. Para ambos sitios la combinación de leña y gas es la forma más frecuente de energía (>40%), seguido de la leña (~40%), y por último el gas (<20%).

Figura 1.6. Distribución de frecuencia para el tipo de fuente de calor utilizada para la cocción de los alimentos en las viviendas de Rurrenabaque y Riberalta.



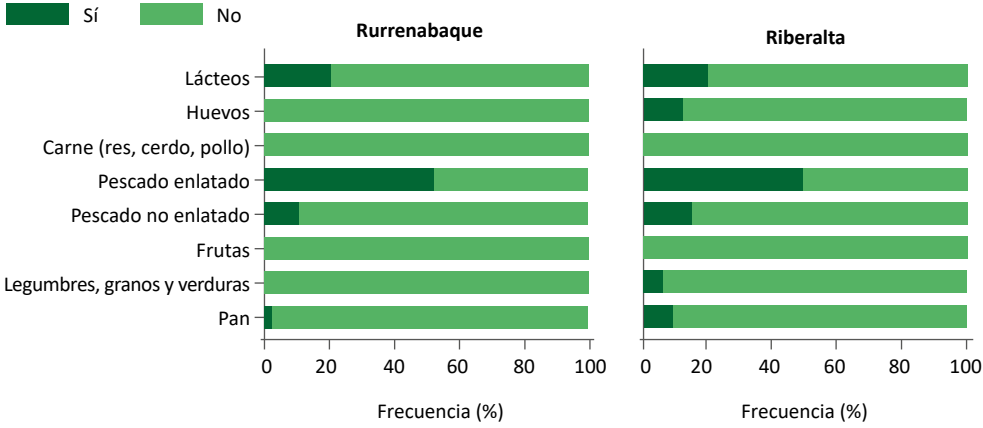
La frecuencia de uso para los distintos servicios públicos disponibles en las viviendas es mostrada en la Figura 1.7. En general, la energía eléctrica llega al 96% de las encuestadas. Para este total, el 78% solo recibe este servicio, el 7% lo posee en conjunto con acueducto; el 6% con alcantarillado, y el 10% con gas. La distribución de los servicios es similar para Rurrenabaque y Riberalta, aunque en esta última localidad el servicio de gas es de mayor acceso.

Figura 1.7. Diagrama de Venn para la tenencia de servicios públicos en las viviendas.



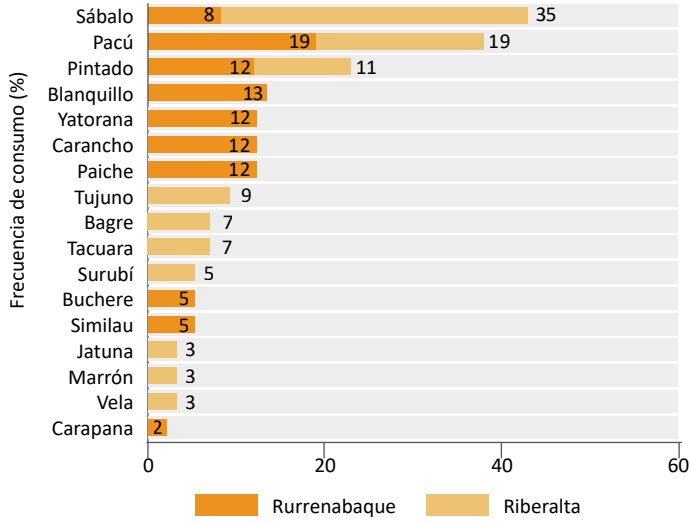
Uno de los aspectos que más incide en la salud de la población es la dieta. La frecuencia de distintos componentes de la dieta en las dos comunidades examinadas es mostrada en la Figura 1.8. Como puede apreciarse, todos los alimentos considerados son comúnmente incluidos en la dieta en proporciones similares para ambos sitios. El pescado enlatado no hace parte de los alimentos regulares en aproximadamente el 50% de las mujeres encuestadas. Es de resaltar que entre el 10 y el 20% de las voluntarias no consume pescado fresco.

Figura 1.8. Alimentos de mayor consumo en Rurrenabaque y Riberalta.



Las especies de peces más comúnmente reportadas para consumo humano son mostradas en la Figura 1.9, sobresaliendo el Sábalo, el Pacú y el Pintado. En Rurrenabaque son además consumidos con frecuencia el Bentón, el Yotorama, el Carancho y el Paiche; mientras que en Riberalta fueron reportados el Tujuno, el Bagre, la Tachaca y el Surubi.

Figura 1.9. Peces de mayor consumo en Rurrenabaque y Riberalta.



2 VALORACIONES MÉDICAS

Los resultados de las valoraciones médicas realizadas a las voluntarias de Rurrenabaque y Riberalta son mostradas en la Tabla 2.1. En primer lugar, el 19% de las voluntarias reportó miembros de la familia con discapacidad y el 9% con malformaciones. En proporción baja, 3% indicó hijos con malformaciones, 3% hijos con déficit motor y 5% hijos con déficit cognitivo. Entre las enfermedades crónicas familiares más reportadas estuvieron hipertensión (19%) y diabetes (9%), con coexistencia de ambas en 2%. Un porcentaje del 4% apareció para cáncer. No obstante, esta sección presenta un porcentaje alto de no respuesta (NS/NR = 57%), lo cual limita la lectura global de dichas frecuencias. Para el total de la muestra, el 40% manifestó antecedentes de abortos, con mayor frecuencia en Riberalta (51%) que en Rurrenabaque (23%), estas proporciones pueden ser ligeramente mayores al restringir el análisis a mujeres en edad fértil.

Tabla 2.1. Principales alteraciones médicas familiares indicadas por los participantes Rurrenabaque y Riberalta.

		Rurrenabaque n (%)	Riberalta n (%)	Total n (%)
¿Algún miembro de la familia tiene discapacidad?	No	33 (70)	58 (85)	91 (79)
	Si	14 (30)	8 (12)	22 (19)
	NS/NR	0 (0)	2 (3)	2 (2)

		Rurrenabaque n (%)	Riberalta n (%)	Total n (%)
¿Algún miembro de su familia tiene malformaciones?	No	37 (79)	61 (90)	98 (85)
	Si	7 (15)	3 (4)	10 (9)
	NS/NR	3 (6)	4 (6)	7 (6)
Tiene actualmente alguna enfermedad diagnosticada por un médico	No	32 (68)	47 (69)	79 (69)
	Si	14 (30)	16 (24)	30 (26)
	NS/NR	1 (2)	5 (7)	6 (5)
En su familia hay diagnóstico de enfermedades crónicas como	Cáncer	3 (6)	2 (3)	5 (4)
	Diabetes	2 (4)	8 (12)	10 (9)
	Diabetes e hipertensión	2 (4)	0 (0)	2 (2)
	Hipertensión	13 (28)	9 (13)	22 (19)
	Otra	6 (13)	9 (13)	15 (13)
	NS/NR	21 (45)	40 (59)	61 (53)
¿Ha tenido abortos?	No	35 (75)	31 (46)	66 (57)
	Si	11 (23)	35 (51)	46 (40)
	NS/NR	1 (2)	2 (3)	3 (3)
¿Tiene hijos con malformaciones?	No	43 (92)	65 (96)	108 (94)
	Si	2 (4)	1 (1)	3 (3)
	NS/NR	2 (4)	2 (3)	4 (3)
¿Tiene hijos con déficit cognitivo?	No	42 (90)	63 (93)	105 (91)
	Si	2 (4)	4 (6)	6 (5)
	NS/NR	3 (6)	1 (1)	4 (4)
¿Tiene hijos con déficit motor?	No	43 (92)	65 (96)	108 (94)
	Si	1 (2)	2 (3)	3 (3)
	NS/NR	3 (6)	1 (1)	4 (3)

Los resultados asociados con hábitos de salud descritos por las voluntarias de Rurrenabaque y Riberalta son mostrados en la Tabla 2.2. En general hay pocas fumadoras (8%), y este hábito resulta menor al consumo de alcohol (18%). La mitad de las encuestadas duerme más de 8 horas (50%), el 37% entre 7 y 8 horas, y el 14% entre 5 y 6 horas. El 63% manifestó leer libros o revistas y el 32% desarrollar algún tipo de actividad artística. El 50% practica deporte y el 40% pertenece o está vinculado con grupos culturales o deportivos.

De especial interés es el uso de plantas medicinales para la salud o el bienestar físico, reportado por el 81% de las participantes. En relación con estrés,

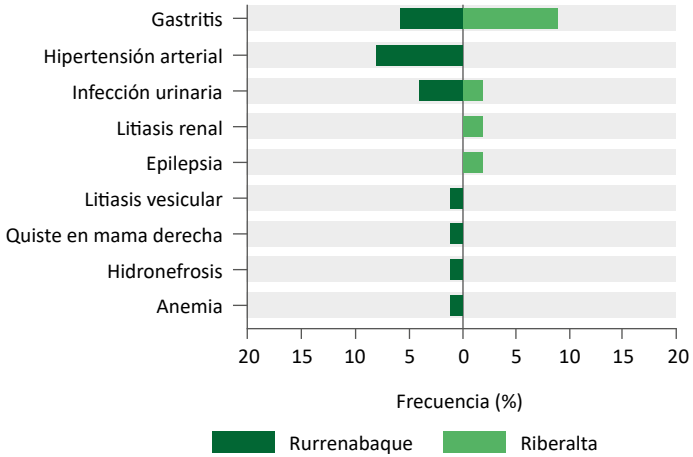
el 24% indicó un nivel moderado, el 11% bajo, el 15% muy bajo y el 6% alto; sin embargo, una proporción considerable (44%) no suministró respuesta (NS/NR), lo cual limita la interpretación global de esta variable.

Tabla 2.2. Actividades asociadas con hábitos de salud expresadas por las participantes Rurrenabaque y Riberalta.

		Rurrenabaque n (%)	Riberalta n (%)	Total n (%)
¿Usted fuma?	No	38 (81)	63 (93)	101 (88)
	Si	9 (19)	1 (1)	10 (9)
	NS/NR	0 (0)	4 (6)	4 (3)
Ingiere bebidas alcohólicas	No	37 (79)	61 (90)	98 (85)
	Si	7 (15)	3 (4)	10 (9)
	NS/NR	3 (6)	4 (6)	7 (6)
¿Cuántas horas diarias duerme?	5-6	3 (6)	12 (18)	15 (13)
	7-8	16 (34)	26 (38)	42 (37)
	>8	28 (60)	30 (44)	58 (50)
¿Lee libros o revistas?	No	19 (40)	23 (34)	42 (37)
	Si	28 (60)	45 (66)	73 (63)
¿Desarrolla algún tipo de actividad Artísticas?	No	23 (49)	50 (74)	73 (63)
	Si	22 (47)	17 (25)	39 (34)
	NS/NR	2 (4)	1 (1)	3 (3)
¿Practica deporte?	No	17 (36)	40 (59)	57 (50)
	Si	30 (64)	28 (41)	58 (50)
¿Pertenece a algún grupo cultural o deportivo?	No	22 (47)	47 (69)	69 (60)
	Si	25 (53)	21 (31)	46 (40)
¿Utiliza plantas medicinales para la salud o el bienestar físico?	No	4 (9)	17 (25)	21 (18)
	Si	41 (87)	51 (75)	92 (80)
	NS/NR	2 (4)	0 (0)	2 (2)
¿Sufre de estrés?	Alto	4 (9)	3 (4)	7 (6)
	Bajo	8 (17)	6 (9)	14 (12)
	Moderado	11 (23)	17 (25)	28 (24)
	Muy bajo	6 (13)	12 (18)	18 (16)
	No	17 (36)	29 (43)	46 (40)
	NS/NR	1(2)	1 (1)	2(2)

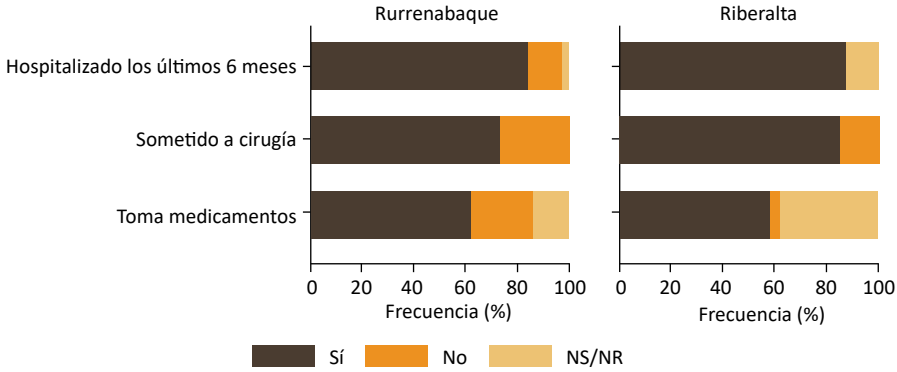
La ocurrencia de algunas enfermedades identificadas en las voluntarias es presentada en la Figura 2.1. En Riberalta, la gastritis fue la patología más frecuente (~10%), seguida de hipertensión arterial (~5%), mientras que en Rurrenabaque la hipertensión y la infección urinaria tuvieron frecuencias similares (~5%). Otras enfermedades, incluyendo litiasis renal, epilepsia, litiasis vesicular, quistes mamarios, hidronefrosis y anemia, presentaron frecuencias bajas (<5%) en ambas comunidades.

Figura 2.1. Ocurrencia de enfermedades en los participantes de Rurrenabaque y Riberalta.



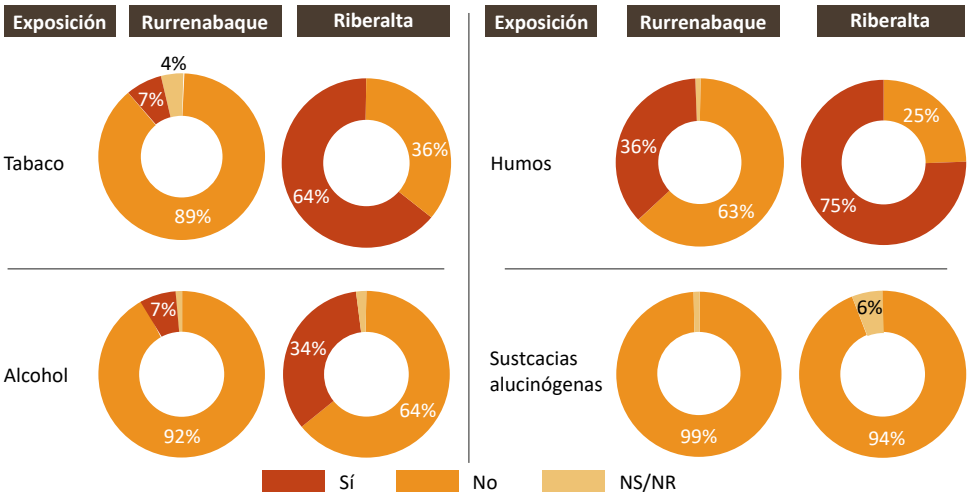
La frecuencia de intervenciones médicas y hospitalizaciones frecuentes para las mujeres examinadas es mostrada en la Figura 2.2. Solo un pequeño porcentaje de mujeres reportó haber sido hospitalizada en los últimos seis meses, aproximadamente 5–6% en Rurrenabaque y 3–4% en Riberalta. Respecto a cirugías, cerca del 26% de las voluntarias de Rurrenabaque y alrededor del 12% de Riberalta indicaron haber sido sometidas a algún procedimiento quirúrgico durante su vida. La toma de medicamentos mostró diferencias entre comunidades: aproximadamente 30% de las mujeres de Rurrenabaque consumen medicación de manera regular, mientras que en Riberalta una proporción considerable no proporcionó respuesta a esta pregunta. Estos hallazgos reflejan patrones diferenciados de acceso y uso de servicios de salud entre ambas localidades.

Figura 2.2. Intervenciones médicas en los participantes Rurrenabaque y Riberalta.



La prevalencia de exposición a tóxicos ambientales descrita por las participantes es mostrada en la Figura 2.3. La frecuencia de mujeres de Riberalta, en comparación con las de Rurrenabaque, que manifestó estar expuestas a tóxicos fue mayor en términos de humo de tabaco (64 vs. 7%), humos en general (75 vs. 36%) y alcohol (34 vs. 7%). Ninguna de las voluntarias evaluadas expresó haber estado expuesta a sustancias alucinógenas.

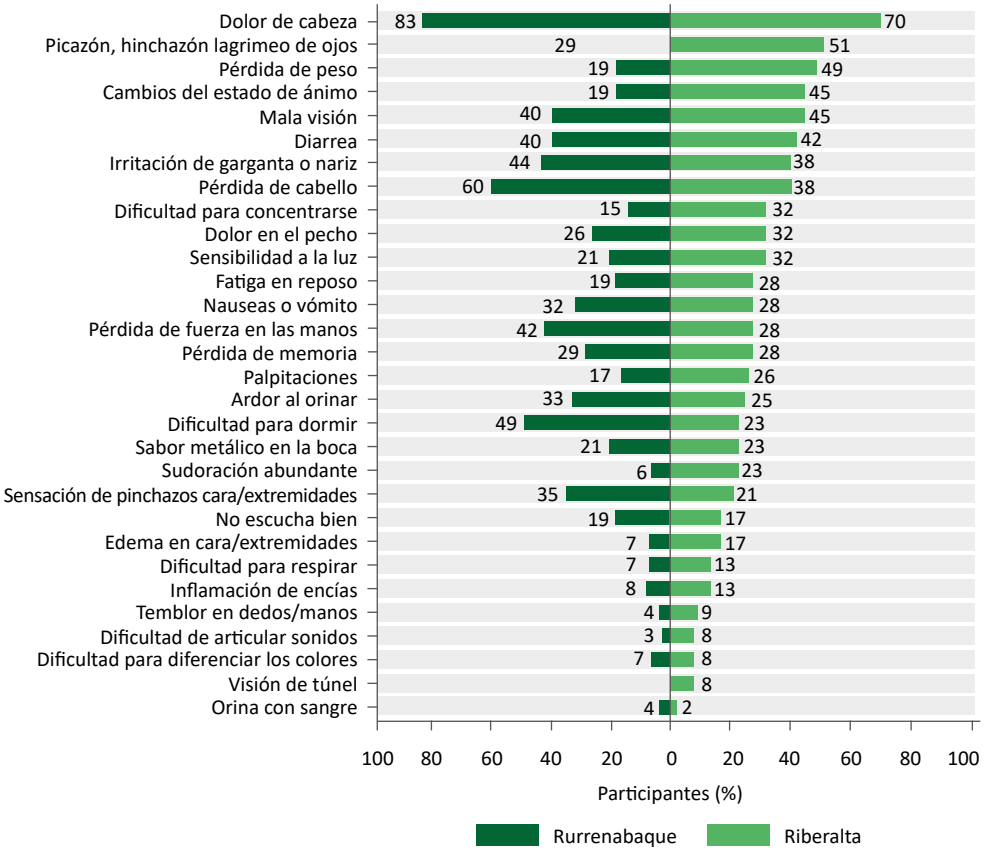
Figura 2.3. Principales tóxicos a los que están expuestas las personas de Rurrenabaque y Riberalta.



Las respuestas a posibles afectaciones derivadas a la exposición a metales pesados y otros contaminantes, aparecen descritas en la Figura 2.4. De aquí pueden resaltarse diversidad de datos interesantes. En primer lugar, las voluntarias de Rurrenabaque registran experimentar dolor de cabeza de forma más frecuente que las de Riberalta (83 vs. 70%). Las mujeres de Rurrenabaque y Riberalta manifestaron tener problemas de audición en un 19 y 17%, respectivamente, aunque este fue mayor para mala visión (40 vs. 45%). Manifestaciones como diarrea o garganta/nariz irritada estuvieron cercanos al 40% para ambas localidades, y en lo concerniente a caída del cabello, la prevalencia para Rurrenabaque fue alta (60%) y mayor que para Riberalta (38%).

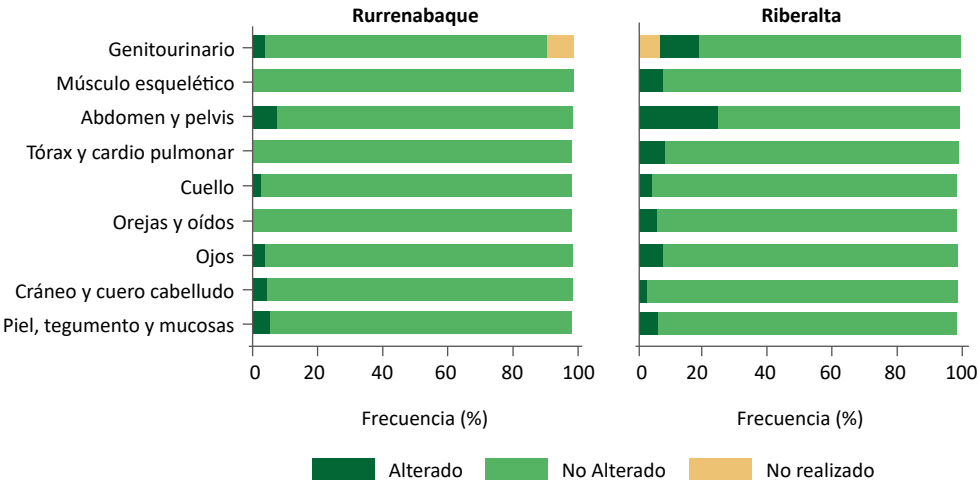
Posibles alteraciones neurológicas como dificultad para dormir o sensación de pinchazos en cara/extremidades registraron valores superiores en las mujeres de Rurrenabaque (49 y 35%) en comparación con las de Riberalta (23 y 21%). Algunas manifestaciones asociadas con la exposición crónica a mercurio, tales como temblor en dedos y manos, dificultad para diferencias colores y para articular sonidos, estuvieron por debajo del 9% para ambas comunidades.

Figura 2.4. Principales afectaciones posiblemente relacionadas con la exposición a tóxicos metálicos manifestadas por los participantes de Rurrenabaque y Riberalta.



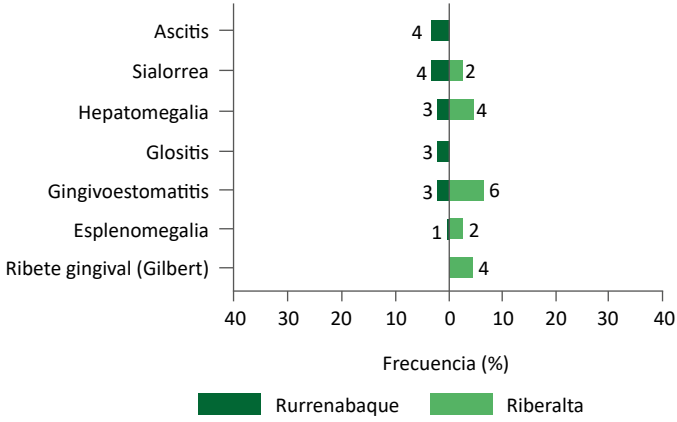
Las manifestaciones relacionadas con problemas en distintas áreas del cuerpo identificadas en las voluntarias de Rurrenabaque y Riberalta son presentadas en la Figura 2.5. Sobresale, con una frecuencia superior al 20%, los problemas de abdomen y pelvis para las voluntarias de Riberalta, así como problemas genitourinarios (~15%) para esta misma comunidad. De resto, problemas a nivel músculo-esquelético, tórax, orejas y oídos, ojos, cráneo y piel, estuvieron bajos en frecuencia (<5-10%).

Figura 2.5. Alteraciones en el cuerpo en las participantes de Rurrenabaque y Riberalta.



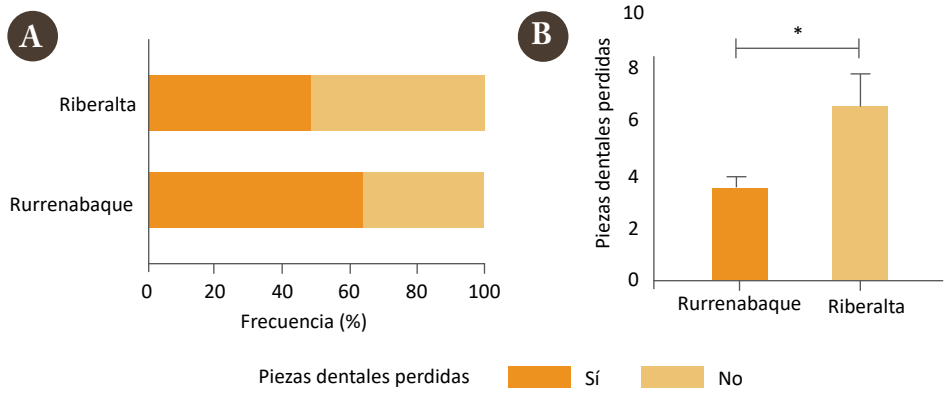
Otras manifestaciones encontradas durante el examen médico aparecen mostradas en la Figura 2.6. Aunque de baja frecuencia, sobresalen la gingivoestomatitis en un 6% para las voluntarias de Riberalta, así como la hepatomegalia y el ribete gingival (4%) para esta misma comunidad.

Figura 2.6. Otras manifestaciones identificadas por el profesional de la salud en los participantes de Rurrenabaque y Riberalta.



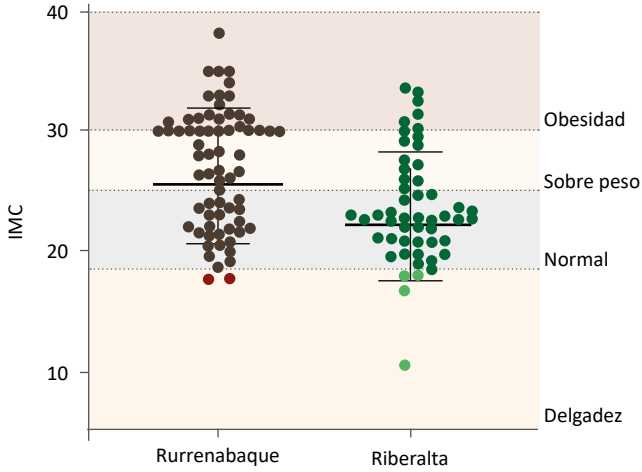
Un rasgo sobresaliente para ambas comunidades fue la frecuencia de pérdida de piezas dentales, con 61 y 49% para Rurrenabaque y Riberalta, respectivamente, siendo el número de piezas perdidas significativamente mayor por persona en las voluntarias de Riberalta (Figura 2.7).

Figura 2.7. Frecuencia relativa (a) y promedio (b) de pérdida de piezas dentales. El asterisco indica diferencias significativas entre los dos sitios con p-valor < 0.05 (prueba T-Student).



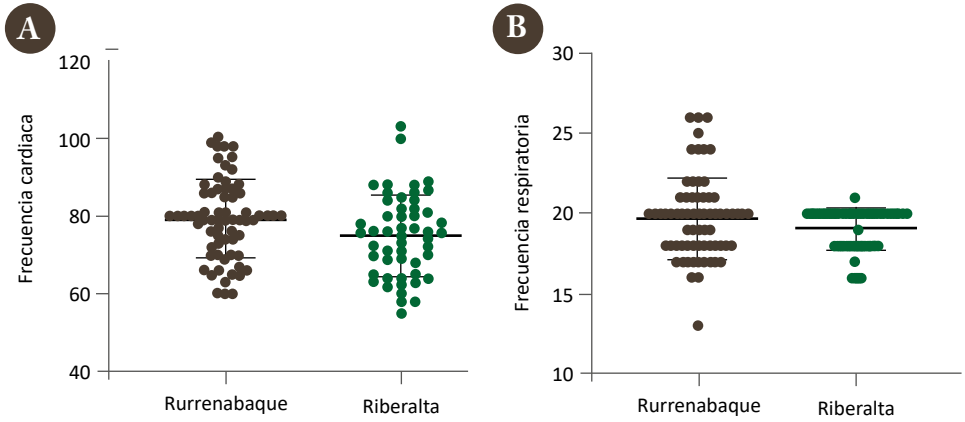
Los valores de índice de masa corporal (IMC) registrado para las voluntarias de Rurrenabaque y Riberalta aparecen en la Figura 2.8. El valor de tendencia central sugiere que las mujeres de Riberalta tienen un IMC que las cataloga como en sobrepeso, mientras que las de Riberalta aparece normal. De igual forma, el número de mujeres con obesidad en Rurrenabaque es mucho mayor que el registrado para Riberalta.

Figura 2.8. Índice de masa corporal de los participantes de Rurrenabaque y Riberalta.



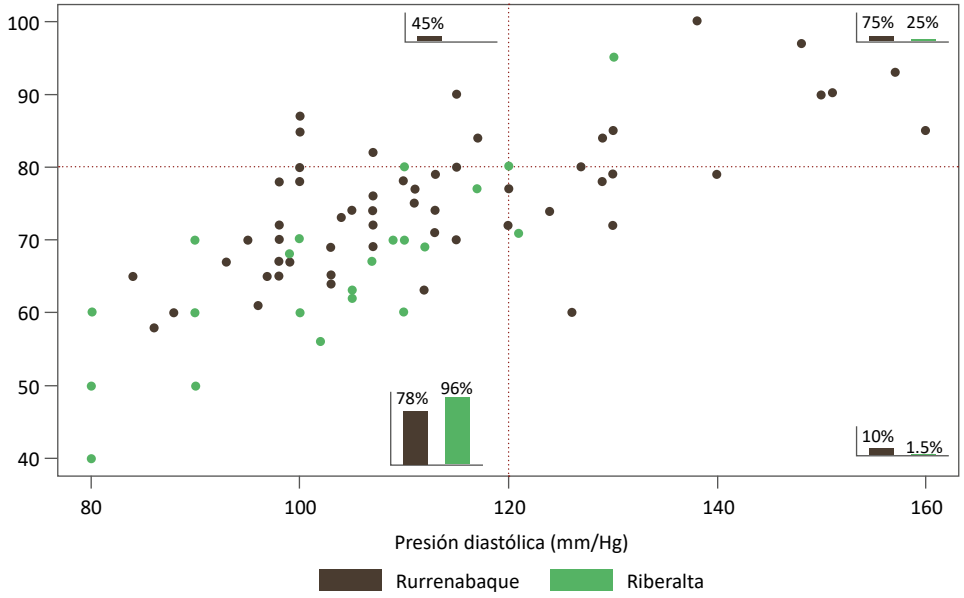
Los valores registrados para frecuencia cardíaca y respiratoria para las mujeres voluntarias de Rurrenabaque y Riberalta aparecen en la Figura 2.9. En cuanto al primer parámetro, la medida de tendencia central y variabilidad de los datos es similar en ambas poblaciones. No obstante, para el caso de frecuencia respiratoria, las mujeres de Riberalta presentaron valores mucho más homogéneos.

Figura 2.9. Frecuencia cardíaca (a) y respiratoria (b) de los participantes de Rurrenabaque y Riberalta.



Por último, la relación entre presión arterial diastólica y sistólica para las voluntarias examinadas es presentada en la Figura 2.10. La frecuencia de mujeres de Rurrenabaque y Riberalta con presión arterial normal es del 78 y 96%, respectivamente. Para Rurrenabaque el 4.5% de las valoradas presentó presión sistólica superior a 80 mm Hg, mientras que este valor fue cero para Riberalta. Por su parte, para la presión diastólica, 10% de las mujeres de Rurrenabaque registraron valores superiores a 120 mm Hg, mientras que las de Riberalta alcanzaron 1.5%. Valores superiores a los normales para las dos presiones fueron registradas en el 7.5 y el 2.5% de las mujeres de Rurrenabaque y Riberalta, respectivamente. Estos valores están en concordancia con los observados para el IMC.

Figura 2.10. Presión arterial diastólica y sistólica de los participantes de Rurrenabaque y Riberalta.



3 ANÁLISIS DEL EXTENDIDO DE SANGRE PERIFÉRICA

Introducción

Las poblaciones de Riberalta y Rurrenabaque destacan por su amplia variedad cultural debido a su interacción con la diversidad Amazónica que las rodea, aunque representan dos realidades distintas; la primera está situada en el departamento de Beni y se encuentra establecida como un centro económico y cultural en el corazón de la Amazonía boliviana. Por otro lado, Rurrenabaque está ubicado en el departamento de Beni y destaca por su ubicación privilegiada en la puerta de entrada de la Reserva Nacional Madidi, considerada como uno de los ecosistemas más diversos del mundo. Actualmente, estos dos municipios se encuentran habitados por diferentes grupos indígenas que recurren a la medicina tradicional, como los curanderos con conocimientos en el uso de plantas medicinales para el tratamiento de diferentes afecciones a la salud. Es importante resaltar que las patologías que más afectan a estas personas son la Enfermedad Diarreica Aguda (EDA), Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), Neumonía, Parasitosis, Desnutrición y Dermatitis (Tanner & TAPS Bolivia Study Team, 2014).

A pesar del desarrollo constante de los analizadores de hematología y de los grandes avances de la hematología clínica en general, el Extendido de Sangre Periférica (ESP), continúa siendo el "estándar de oro" para el diagnóstico hematológico (Huayta, 2022). Esta prueba proporciona información valiosa sobre la morfología y el número de las células sanguíneas a través de una revisión visual con ayuda de un microscopio (Mohammed et al., 2014). El ESP es realizado como complemen-

to del cuadro hemático automatizado. En caso de presentarse una alarma en los índices eritrocitarios primarios, secundarios o cuando el médico, por las condiciones clínicas del paciente, lo considere necesario, su revisión será indispensable para identificar alteraciones morfológicas presentes en las células sanguíneas.

Aunque no se han establecido valores de referencia universales para los parámetros hematológicos debido a variaciones según el sexo, la raza, la edad y la altitud, ciertos valores han sido estandarizados según las características de cada población (Terry-Leonard y Cabrera-Cuéllar, 2022).

Por otra parte, muchas enfermedades presentan manifestaciones hematológicas evidenciadas en el cuadro hemático como cambios cuantitativos que pueden ser validados mediante la revisión del extendido, por lo que es importante conocer todos los parámetros relacionados con esta prueba y su interpretación clínica.

Con el fin de abordar diferentes alteraciones a la salud de los individuos de estos dos sitios fue realizado un muestreo a de sangre a mujeres, realizando 121 Hemogramas y Extendidos de Sangre Periférica, con el objetivo de conocer su estado de salud hematológico.

Serie Roja

La primera línea evaluada con el ESP es la serie roja, conformada por los eritrocitos, los cuales son células con un tamaño aproximado de 7-8 micrómetros de diámetro longitudinal. Éstas son creadas a partir de la diferenciación de una célula madre hematopoyética multipotencial y contienen una proteína llamada hemoglobina, que transporta oxígeno desde los pulmones a todas las partes del cuerpo (Hernández-Mendoza, 2024).

Los eritrocitos tienen forma de disco bicóncavo de un grosor de 2.5 micrómetros en su punto más grueso y de 1 micrómetro o menos en el centro, además un volumen de 80 a 100 fentolitros, este un parámetro determinado en el cuadro hemático automatizado, denominado Volumen Corpuscular Medio (VCM), y clasifica a los glóbulos rojos en microcíticos, normocíticos y macrocíticos (Maya, 2020). Cuando el VCM está por encima del rango de referencia se establece que existe una macrocitosis, por el contrario, si son inferiores, microcitosis, siendo esta última ocasionada por la disminución de la producción de hemoglobina, principal componente de los eritrocitos. Normalmente la causa

de esta alteración es el déficit de hierro, o la inhabilidad de utilizar el hierro (Cappellini et al., 2020).

La evaluación del tamaño de los eritrocitos en los ESP evaluados es mostrada en la Figura 3.1. Al evaluar el tamaño de los eritrocitos en el extendido, y considerando la parametrización del VCM, uno de los hallazgos más relevantes en la población evaluada fue la presencia de microcitosis en un 57%, y al categorizar esta alteración, la microcitosis moderada ocurrió para 50.8 % de los individuos (Figura 2).

Figura 3.1. Tamaño relativo de los glóbulos rojos.

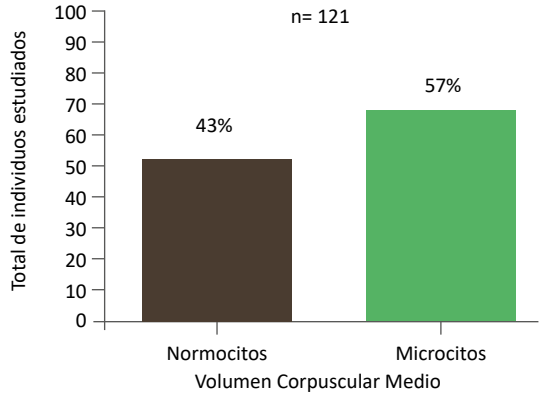
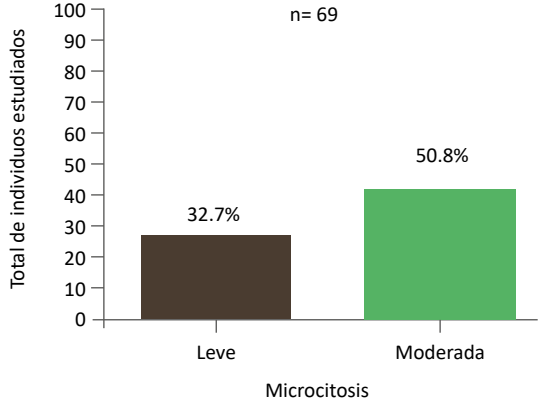


Figura 3.2. Distribución del porcentaje de microcitosis evaluado en los individuos de una población de Bolivia.



En un análisis automatizado, la Hemoglobina Corpuscular Media (HCM) establece la carga media de hemoglobina de cada eritrocito e identifica cuando hay presencia de hipocromía. Según datos epidemiológicos de la Organización Mundial de Salud, el 24.8% de la población humana padece de anemia; esta es considerada como una condición en la que los eritrocitos tienen menos hemoglobina de lo normal (OMS, 2019). La microcitosis acompañada de anemia e hipocromía conforman la triada de una de las anemias más comunes a nivel mundial, denominada anemia ferropénica (Buttarello, 2016). La principal causa de esta anemia es la disminución o mala absorción de hierro, que ocasiona una reducción en la producción de hematíes o una mayor rapidez en su destrucción.

En los individuos evaluados la presencia de hipocromía fue observada en un 60.3 % (Figura 3.3). Si se asocia este dato con los resultados observados para el bajo tamaño de los eritrocitos (57%), puede inferirse una disminución de los niveles de hemoglobina en más del 50% de la población estudiada, con un 46.3% clasificado como hipocromía moderada (Figura 3.4).

Figura 3.3. Determinación de la Hemoglobina Corpuscular Media en individuos de una población de Bolivia.

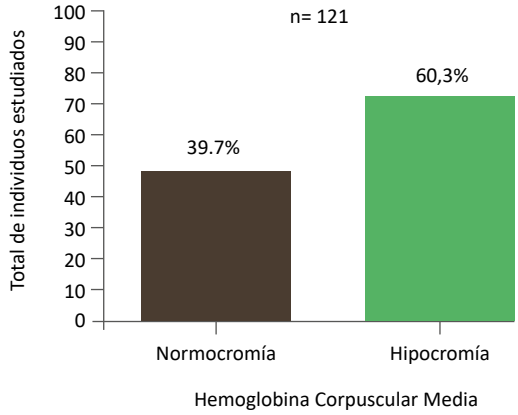
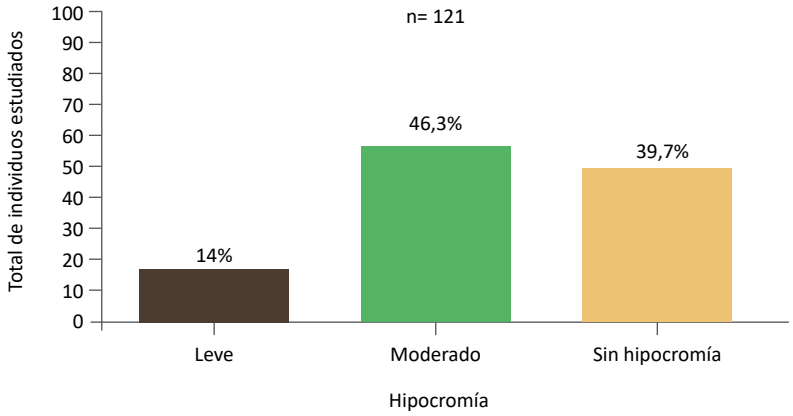


Figura 3.4. Hipocromía en los ESP de individuos de una población de Bolivia.



Poiquilocitosis

En condiciones normales los eritrocitos son células anucleadas, sin organelos, carecen de mitocondrias y ribosomas, por lo que su capacidad para permanecer en la circulación depende de la simple, pero excelente estructura adaptativa de su membrana bicóncava. Siempre que exista una variación en la morfología descrita se habla de poiquilocitosis, anomalía que no tiene significado clínico. Sin embargo, debe reportarse cada una de las formas celulares predominantes al revisar el extendido (Argüello et al., 2022), dado que identificar la existencia de una alteración morfológica de los eritrocitos es relevante y necesario para el diagnóstico de ciertas enfermedades. Como es el caso de la drepanocitosis, donde los eritrocitos tienen forma de medialuna, principal signo de anemia de células falciformes. Otro ejemplo son los esquistocitos o glóbulos rojos fragmentados que indican anemia hemolítica, y los dacriocitos, eritrocitos en forma de lágrimas, los cuales son característicos de la mielofibrosis (Steinberg, 2020).

En la revisión de los ESP de la población evaluada fue observada una población eritrocitaria heterogénea constituida por anulocitos (Figura 3.5), eliptocitos, dacriocitos, esquistocitos, entre otras. Fue evidente el predominio de anulocitos (Figura 3.6) correspondientes a glóbulos rojos en forma de anillo que se caracterizan por tener un aumento de la claridad central y palidez Estos están asociados principalmente con hipocromía y hemoglobinas bajas, características de algunos trastornos hematológicos como anemia ferropénica severa y Beta talasemia.

Figura 3.5. Presencia de poiquilocitosis en los ESP de individuos de una población de Bolivia. En la imagen (a) se observa la presencia de anulocitos, en la imagen (b) se observan tanto anulocitos como estomatocitos.

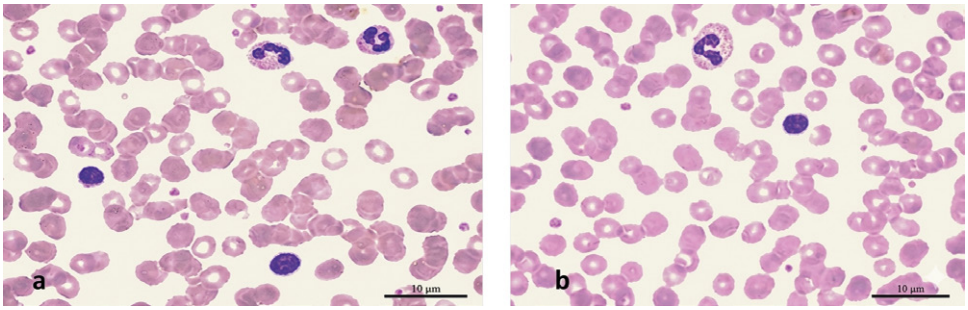
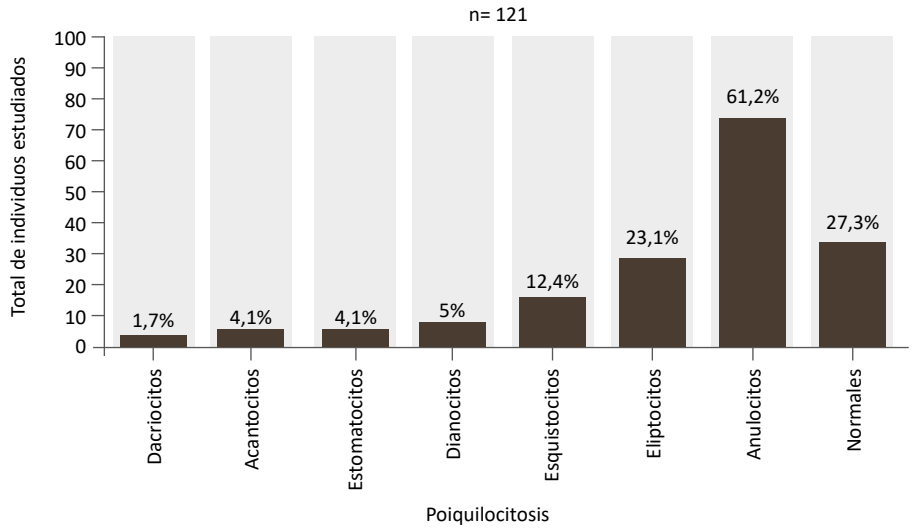


Figura 3.6. Distribución de la poiquilocitosis observada en los extendidos de sangre periférica de los individuos participantes.



Serie leucocitaria

Los leucocitos son células del sistema inmunitario del cuerpo humano que ayudan a combatir infecciones y otras enfermedades. Son producidos en la médula ósea y se encuentran en la sangre y en el tejido linfático (Rubio et al., 2020). Además, son derivados de células madres hematopoyéticas y las únicas

células sanguíneas que se encuentran en todo el organismo (Abbas et al., 2022). Según sus características morfológicas y funcionales se clasifican en dos tipos: granulocitos y agranulocitos, clasificación que es relevante para diagnóstico de una infección o enfermedad, debido a que según el agente etiológico así será la línea de respuesta leucocitaria (Hottz et al, 2021).

En los individuos evaluados no se encontraron alteraciones morfológicas graves (Leucemias). Dentro de las alteraciones fue observada la presencia de linfocitos atípicos (17.4%) y células vacuoladas (15.7%) (Figuras 3.7 y 3.8).

Figura 3.7. Distribución de leucocitos en extendido de sangre periférica.

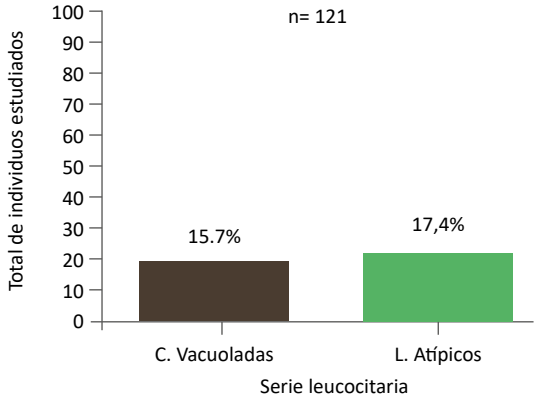
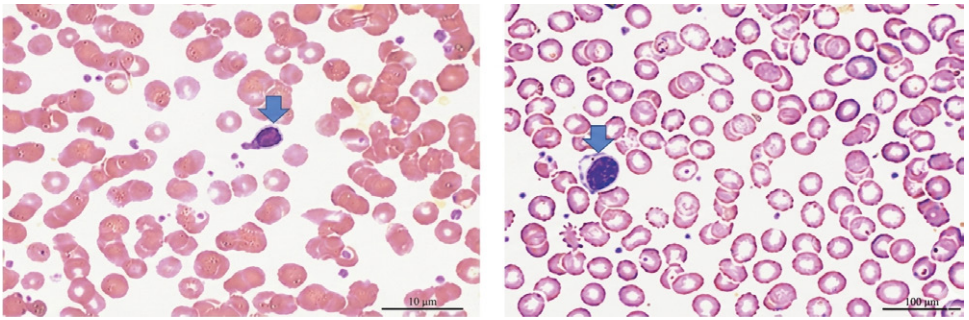


Figura 3.8. Linfocitos atípicos presentes en extendidos de sangre periférica de algunos individuos de la muestra estudiada.

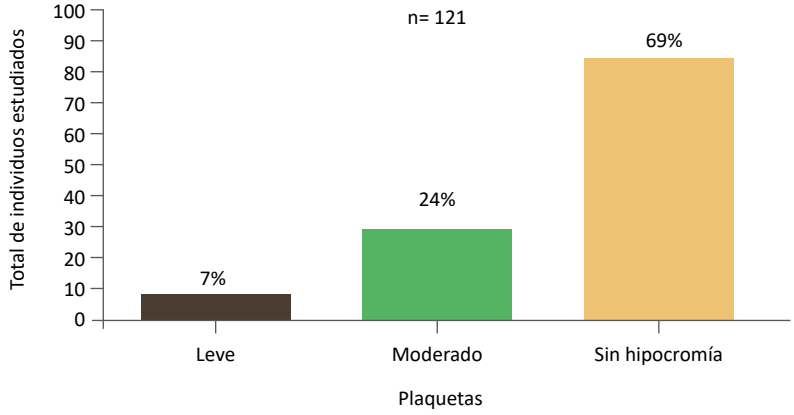


Plaquetas

Las plaquetas son fragmentos de células anucleadas de la médula ósea, importantes en la formación de coágulos sanguíneos para frenar un sangrado y para facilitar la cicatrización de heridas. Además, son fuente natural de factor de crecimiento y tienen un tamaño entre 1 y 3 µm. Al igual que en las demás líneas celulares, en el ESP se evalúa su morfología y número, siendo igualmente importante la detección de inclusiones celulares.

La evaluación de la serie plaquetaria de los ESP señaló que el 69% de las plaquetas presentó morfología normal (Figura 3.9). Sin embargo, se observaron algunas alteraciones plaquetarias como macroplaquetas en el 24% de los individuos y cúmulos plaquetarios en un 7%. Es importante resaltar que la presencia de macroplaquetas se relaciona con enfermedades mieloproliferativas que cursan con trombocitosis y anemia perniciosa (Conde-Sanabria, 2023).

Figura 3.9. Discriminación de individuos con alteraciones en la morfología de la serie plaquetaria.



Resultados de la evaluación de extendidos de sangre periférica de acuerdo con la población de procedencia.

La distribución de frecuencias asociadas con los distintos parámetros derivados del ESP evaluados en Rurrenabaque y Riberalta son mostrados en la Tabla 3.1. Los parámetros evaluados muestran un comportamiento diferente

de acuerdo con el tipo de parámetro. Los datos de Hemoglobina Corpuscular Media e hipocromía en la población de Rurrenabaque, ya que fueron considerablemente más altos en comparación con la población de Riberalta. Además, el porcentaje de anulocitos en la población de Rurrenabaque también fue superior (88.2%). Estos hallazgos son significativos, dado que existe una relación directa entre la presencia de anulocitos e hipocromía, lo que sugiere indicios de hemoglobinas bajas que podrían estar asociadas con una deficiencia de hierro.

Por otro lado, en la serie blanca no se encontraron alteraciones morfológicas asociadas a patologías en ninguna de las dos poblaciones.

Tabla 3.1. Distribución de frecuencias para parámetros derivados del ESP evaluados en Rurrenabaque y Riberalta.

Parámetros	Rurrenabaque n=51		Riberalta n=70	
Serie Roja				
Volumen Corpuscular Medio*	**Normal**	**Microcitosis**	**Normal**	**Microcitosis**
	9.8%	90.2%	27.1%	72.9%
	Chi-cuadrado=4.5 p=0.003			
Microcitosis	**Leve**	**Moderada**	**Leve**	**Moderada**
	41.2%	58.8%	12.9%	32.9%
	Chi-cuadrado=0.9 p=0.33			
Hemoglobina Corpuscular Media*	**Normal**	**Hipocromía**	**Normal**	**Hipocromía**
	11.8%	88.2%	41.4%	58.6%
	Chi-cuadrado=11.2 p=0.001			
Hipocromía*	**Leve**	**Moderada**	**Leve**	**Moderada**
	29.4%	58.8%	2.9%	38.6%
	Chi-cuadrado=5.5 p=0.019			
Poiquilocitosis	**Esquistocitos/ Eliptocitos**	**Anulocitos**	**Esquistocitos/ Eliptocitos**	**Anulocitos**
	11.7%	88.2%	10.65%	38.6%
	Chi-cuadrado=5.5 p=0.019			
Serie leucocitaria	**Normal**		**Normal**	
	100%		100%	
Serie plaquetaria	**Cúmulos/ Macroplaquetas**	**Normal**	**Macroplaquetas**	**Normales**
	25.5%	74.5%	32.9%	65.7%
	Chi-cuadrado=0.53 p=0.467			

* Estos datos fueron construidos utilizando como valores de referencia los obtenidos en los valores médicos de los estudios internacionales.

En síntesis, la población evaluada mostró presencia significativa de microcitosis e hipocromía, hallazgos que sugieren disminución de los niveles de hemoglobina y que, en conjunto, resultan consistentes con la sospecha de anemia ferropénica u otras condiciones relacionadas. Además, la identificación de poiquilocitosis en los extendidos de sangre periférica indica alteraciones morfológicas relevantes en los eritrocitos. En la serie leucocitaria, los valores permanecieron dentro de límites normales; aun así, surgieron alteraciones como linfocitos atípicos y células vacuoladas, con posible asociación a diferentes condiciones patológicas y necesidad de correlación clínica. Por último, un porcentaje significativo de individuos presentó macroplaquetas y cúmulos plaquetarios, hallazgo con posible relación con enfermedades mieloproliferativas, lo cual amerita evaluación complementaria, especialmente molecular, según el contexto clínico (Combaluzier et al., 2023).

4 EVALUACIÓN HEMATOLÓGICA AUTOMATIZADA

Los resultados generales de cuadro hemático para las mujeres de Rurrenabaque y Riberalta son mostrados en la Tabla 4.1. Por su parte, las comparaciones de los datos obtenidos de la población participante con los valores de referencia son presentadas en la Tabla 4.2, señalando los valores de referencia para las mujeres adultas (no embarazadas), así como el porcentaje de participantes que estuvieron por fuera de los rangos de referencia (por debajo o por encima del valor de referencia).

Tabla 4.1. Resultados de análisis hematológicos para la muestra de población participante del municipio de Rurrenabaque y Riberalta, Bolivia.

Parámetro	Rurrenabaque		Riberalta	
	x̄±EE (Mediana)	(Min-Max)	x̄±EE (Mediana)	(Min-Max)
WBC (103/mm3)	8.82 ± 0.34 (8.57)	(4.57 – 15.08)	7.4 ± 0.2 (7.2)	(4.0-14.4)
LYM (103/mm3)	2.70 ± 0.10 (2.73)	(1.56– 5.15)	2.3 ± 0.0 (2.2)	(1.3–5.0)
MID (103/mm3)	0.68 ± 0.04 (0.61)	(0.32 -1.67)	0.92 ± 0.03 (0.90)	(0.40-1.60)
GRAN (103/mm3)	5.45 ± 0.28 (5.13)	(2.57 – 9.86)	4.17 ± 0.14 (4.05)	(1.70–9.60)
LYM (%)	31.67 ± 1.09 (30.4)	(16.9 – 50.20)	31.7 ± 0.8 (31.5)	(18.0–48.4)
MID (%)	7.85 ± 0.45 (7.33	(3.15 – 20.65)	12.7 ± 0.4 (11.8)	(6.70-21)
GRAN (%)	60.5 ± 1.3 (60.8)	(41.15 – 78.70)	55.6 ± 0.8 (55.4)	(40.1-71.1)
RBC (106/mm3)	4.62 ± 0.06 (4.61)	(3.72 - 5.37)	4.54 ± 0.05 (4.59)	(3.62–5.61)
HGB (g/dL)	12.8 ± 0.2 (12.8)	(9.9 – 15.10)	12.02 ± 0.12 (12.1)	(9.60–14.4)
HCT (%)	39.8 ± 0.5 (39.9)	(32.1 – 46.30)	40.6 ± 0.4 (40.7)	(34.2–48.8)
VCM (fL)	86.6 ± 0.7 (87.4)	(72.7 - 95.2)	89.6 ± 0.44 (90.3)	(80.6 – 97.4)

Parámetro	Rurrenabaque		Riberalta	
	x̄±EE (Mediana)	(Min-Max)	x̄±EE (Mediana)	(Min-Max)
HCM (pg)	27.8 ± 0.3 (27.7)	(22.4 – 31.10)	26.4 ± 0.2 (26.7)	(22.4 – 28.8)
CHCM (g/dL)	32.1 ± 0.1 (32.0)	(30.5 – 33.5)	29.5 ± 0.1 (29.5)	(27.8–30.7)
IDE %	13.5 ± 0.1 (13.4)	(12.2 – 16.95)	15.4 ± 0.1 (15.2)	(13.2–21.0)
PLT (103/mm3)	287.4 ± 7.4 (281.3)	(167– 386.5)	293.8 ± 8.3 (295)	(111-577)
PCT (%)	0.28 ± 0.01 (0.28)	(0.16 - 0.38)	0.26 ± 0.01 (0.26)	(0.13–0.43)
VPM (fL)	9.9 ± 0.1 (9.8)	(8.2 – 11.8)	8.9 ± 0.1 (8.8)	(7.0 - 11.5)

x̄, Promedio; EE, Error estándar; Min, Valor mínimo; Máx, Valor máximo; WBC, recuento total de leucocitos; LYM, recuento absoluto de linfocitos; MID, recuento absoluto del grupo "MID" o "células intermedias"; GRAN, recuento absoluto de granulocitos; LYM (%), porcentaje de linfocitos; MID (%), porcentaje del grupo "MID"; GRAN (%), porcentaje de granulocitos; RBC, recuento de eritrocitos; HGB, concentración de hemoglobina; HCT, hematocrito; VCM, volumen corpuscular medio; HCM, hemoglobina corpuscular media; CHCM, concentración de hemoglobina corpuscular media; IDE, índice de distribución eritrocitaria; PLT, recuento de plaquetas; PCT, plaquetocrito; VPM, volumen plaquetario medio.

En la serie roja, hasta el 72% de las mujeres evaluadas en Rurrenabaque mostraron valores de hematocrito (HCT) por fuera de los valores de referencia, mientras que en Riberalta la frecuencia fue del 61.4%, indicativos de procesos de anemia. Estos resultados estuvieron acompañados de cambios en el parámetro de Hemoglobina Corpuscular Media (HCM, pg) que informa sobre el contenido medio de hemoglobina (Hb) de cada hematíe, el cual alcanzó un 50% por fuera del valor de referencia en Rurrenabaque y un 81.4% en Riberalta. La concentración de Hemoglobina Corpuscular Media (CHCM) disminuida (por debajo de 30 mg/dL es considerada hipocromía y aparece bajo condiciones de síntesis insuficiente de hemoglobina), presentó 100% valores fuera del valor de referencia para la población de Riberalta. En general, todos estos parámetros han sido reportados disminuidos en anemias microcíticas hipocrómicas de diversa etiología (Tirrens, 2015), corroborado en los extendidos de sangre periférica donde las poblaciones presentan alto porcentaje de microcitos, hipocromía y poiquilocitosis (Ver tabla 4.1)

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4.2, las participantes de Rurrenabaque tuvieron recuento de glóbulos blancos por fuera de los valores de referencia hasta en un 22%, mientras que las de Riberalta fue sólo de 4.3%, sin foco aparente de infección en el momento de desarrollar las valoraciones médicas.

En este marco, el patrón diferencial observado sugiere heterogeneidad biológica y analítica entre localidades: en Rurrenabaque, la leucocitosis acompañada de linfocitosis (20% fuera de rango) y granulocitosis (8% fuera de rango) es compatible con un escenario de activación inmune donde pueden coexistir procesos infecciosos y fenómenos de hipersensibilidad, frecuentes cuando confluyen parasitosis, alergias y condiciones de vida adversas; en contraste, en Riberalta el predominio de eventos clasificados como "células en diferenciación hacia monocitos" (67%) debe interpretarse con cautela, dado que esa categoría puede agrupar macroplaquetas, cúmulos plaquetarios u otras morfologías no contempladas por los parámetros del analizador, situación corroborada mediante los extendidos de sangre periférica. En conjunto, estos hallazgos respaldan que, en poblaciones vulnerables de países en vía de desarrollo, las desigualdades socioeconómicas, educativas y étnicas están íntimamente soportadas en plataformas de malnutrición (Batis et al., 2020). Esto promueve estados de anemia y alteraciones leucocitarias que favorecen una mayor carga de infecciones e inflamación, que trascienden en lo intergeneracional (Bourke et al., 2016), y donde la verificación microscópica resulta crítica para evitar interpretaciones sesgadas por artefactos preanalíticos o de clasificación automatizada.

Tabla 4.2. Comparación de los valores de referencia y los resultados obtenidos los principales parámetros hematológicos evaluados en la población del municipio de Rurrenabaque y Riberalta, Bolivia.

			Rurrenabaque		Riberalta	
	IR*		Dentro IR (%)	Fuera IR (%)	Dentro IR (%)	Fuera IR (%)
WBC (103/mm3)	4.5	11.3	88	22	95.7	4.3
LYM (%)	20.0	40.0	80	20	87.1	12.9
GRAN (%)	44.0	74.0	92.0	8.0	95.7	4.3
MID (%)	2	11	92.0	8.0	32.9	67.1
RBC (106/mm3)	4.1	5.4	92.0	8.0	85.7	14.3
HGB (g/dL)	11.8	14.8	84.0	16.0	67.1	32.9
HCT (%)	41.4	54.0	28.0	72.0	38.6	61.4
VCM (fL)	80.0	95.0	88.0	12.0	98.6	1.4
HCM (pg)	28.0	33.0	50.0	50.0	18.6	81.4
CHCM (g/dL)	33.0	36.0	6.0	94.0	0	100
IDE %	11.5	14.5	98.0	2.0	20	80

			Rurrenabaque		Riberalta	
	IR*		Dentro IR (%)	Fuera IR (%)	Dentro IR (%)	Fuera IR (%)
PLT (103/mm3)	150	450	100	0	97.1	2.9
VPM (fL)	7.5	12.2	100	0	98.6	1.4

IR*, Intervalo de referencia basado en bibliografía consultada; WBC, recuento total de leucocitos; LYM (%), porcentaje de linfocitos; GRAN (%), porcentaje de granulocitos; MID (%), porcentaje del grupo "MID"; RBC, recuento de eritrocitos;; HGB, concentración de hemoglobina; HCT, hematocrito; VCM, volumen corpuscular medio; HCM, hemoglobina corpuscular media; CHCM, concentración de hemoglobina corpuscular media; IDE, índice de distribución eritrocitaria; PLT, recuento de plaquetas; VPM, volumen plaquetario medio.

El Índice de Distribución Eritrocitario (IDE) en la comunidad de Riberalta mostró una variación significativa en las participantes (80% por fuera del IR), indicando presencia de heterogeneidad en las poblaciones de glóbulos rojos en la sangre, con morfologías diversas.

La serie plaquetaria en general no presentó variaciones significativas en el recuento o morfología de estas.

Los resultados obtenidos para análisis bioquímicos en la población participante se muestran en la Tabla 4.3. Los valores promedio de Creatinina osciló en 0.91 y 0.81 mg/dl, para la enzima Aspartato Aminotransferasa (AST), el valor promedio fue 27.17 y 20.9 UI/L, en tanto para la Alanino Aminotransferasa (ALT) fue 29.0 y 15.10 UI/L para Rurrenabaque y Riberalta respectivamente. Las enzimas hepáticas presentaron valores sugestivos de afección hepática los cuales fueron socializados con los médicos.

Tabla 4.3. Resultados obtenidos para análisis bioquímicos en la población participante.

Variable	Rurrenabaque (n: 50)		Riberalta (n: 70)	
	x̄±EE (Mediana)	(Min-Máx)	x̄±EE (Mediana)	(Min-Máx)
Creatinina (mg/dL)	0.91 ± 0.02 (0.88)	(0.71 – 1.75)	0.81 ± 0.02 (0.82)	(0.52 – 1.01)
ALT/GPT (U/L)	29.0 ± 6.31 (15.7)	(6.98 – 436.3)	15.1 ± 1.16 (12.2)	(5.24 – 38.4)
AST/GOT (U/L)	27.17 ± 2.02 (22.7)	(8.73 – 108.2)	20.99 ± 1.18 (17.45)	(12.2 – 45.4)
FAL (U/L)	266.34 ± 9.84 (245.6)	(126.9 – 501.4)	290.60 ± 21.51 (251.6)	(151.3 – 1040)

Variable	Rurrenabaque (n: 50)		Riberalta (n: 70)	
	x̄±EE (Mediana)	(Min-Máx)	x̄±EE (Mediana)	(Min-Máx)
GGT (U/L)	45.56 ± 4.95 (29.2)	(10.88 – 264.5)	29.23 ± 2.06 (24.2)	(12.98 – 64.3)
Albúmina (g/dL)	4.69 ± 0.06 (4.65)	(3.34 – 6.71)	4.98 ± 0.09 (5.02)	(3.02 – 6.01)
Proteínas Totales (g/dL)	7.29 ± 0.05 (7.31)	(6.39 – 8.34)	7.09 ± 0.08 (7.07)	(5.51 – 8.02)
Colesterol (mg/dL)	175.66 ± 4.37 (171.0)	(88.9 – 283.0)	163.57 ± 4.16 (156.4)	(113.88 – 222.9)
C-HDL (mg/dL)	47.44 ± 1.29 (45.0)	(31.15 – 75.9)	49.58 ± 1.78 (49.4)	(29.15 – 85.22)
Triglicéridos (mg/dL)	137.75 ± 9.29 (113.4)	(37.58 – 405.5)	134.25 ± 14.14 (108.9)	(43.12 – 552.8)
Ácido Úrico (mg/dL)	4.40 ± 0.12 (4.29)	(2.87 – 6.96)	3.69 ± 0.14 (3.53)	(2.17 – 5.76)
Úrea (mg/dL)	29.49 ± 1.10 (27.88)	(13.56 – 54.4)	26.50 ± 1.22 (26.13)	(1.67 – 53.59)
LDH (U/L)	175.24 ± 4.24 (173.98)	(70.19 – 254.8)	195.83 ± 5.33 (194.3)	(126.53 – 301.4)
Bilirrubina Directa (mg/dL)	0.18 ± 0.01 (0.10)	(0.10 – 0.40)	0.14 ± 0.01 (0.10)	(0.1 – 0.3)
Bilirrubina Total (mg/dL)	0.68 ± 0.03 (0.70)	(0.20 – 1.20)	0.76 ± 0.04 (0.70)	(0.2 – 1.6)

x̄, Promedio; EE, Error estándar; Min, Valor mínimo; Máx, Valor máximo; ALT/GPT, alanino aminotransferasa; AST/GOT (UI/L), aspartato aminotransferasa; FAL, fosfatasa alcalina; GGT, gamma-glutamil transferasa; C-HDL, colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad); TRIG, triglicéridos; LDH, lactato deshidrogenasa.

El reporte de resultados por fuera de los rangos de referencia para los análisis bioquímicos son mostrados en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Comparación de los resultados obtenidos para análisis bioquímicos y valores de referencia en la población participante.

Variable	IR*	Rurrenabaque (n: 50)		Riberalta (n: 70)	
		Dentro IR (%)	Fuera IR (%)	Dentro IR (%)	Fuera IR (%)
Creatinina (mg/dL)	0.7 – 1.37	90	10	97.1	2.9
ALT/GPT (U/L)	0 - 32	88	12	81.4	18.6

Variable	IR*	Rurrenabaque (n: 50)		Riberalta (n: 70)	
		Dentro IR (%)	Fuera IR (%)	Dentro IR (%)	Fuera IR (%)
AST/GOT (U/L)	0 - 31	88	12	80	20
FAL (U/L)	0 – 240	40	60	47.1	52.9
GGT (U/L)	9 - 39	80	20.0	65.7	34.3
Albúmina (g/dL)	3.5 – 5.3	72	28	90	10
Proteínas Totales (g/dL)	6.2 – 8.5	98	2	100	0
Colesterol (mg/dL)	<190	78	22	67.1	32.9
C-HDL	45 - 65	56	44	48.6	51.4
Triglicéridos (mg/dL)	150	76	24	62.9	37.1
Ácido Úrico (mg/dL)	2.4 – 5.7	94	6	88.6	11.4
Úrea	10 - 50	92	8	94.3	5.7
LDH (U/L)	125 - 220	76	24	85.7	14.3
Bilirrubina Directa (mg/dL)	0.2	76	24	88	12
Bilirrubina Total (mg/dL)	1.0	78	22	76	24

ALT/GPT, alanino aminotransferasa; AST/GOT (UI/L), aspartato aminotransferasa; FAL, fosfatasa alcalina; GGT, gamma-glutamil transferasa; C-HDL, Colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad); LDH, lactato deshidrogenasa.

Las participantes presentaron variaciones respecto al valor de referencia en la ALT en un 12 y 18.6%; en la AST 12 y 20% y en la FAL en un 60 y 52.9 para Rurrenabaque y Riberalta respectivamente. Estos resultados deberán ser analizados en conjunto con la anamnesis médica, especialmente aquellos casos con elevación de todas las enzimas hepáticas, de igual manera sería necesario realizar exámenes complementarios como ecografía de hígado y vías biliares para conocer el estado hepático, dado que la AST y FAL tienen diversos factores de aumento a nivel hepático u óseo.

En relación con los resultados para la gamma-glutamiltransferasa (GGT), marcador sérico bien establecido para la enfermedad hepática, también mostró valores altos en algunos individuos. Sin embargo, recientemente su utilidad predictiva va más allá, relacionándose con un mayor riesgo de una multitud de enfermedades y afecciones, incluidas enfermedades cardiovasculares, la diabetes, el síndrome metabólico y la mortalidad por todas las causas (Koenig y Seneff, 2015). En este sentido, es un marcador importante que debe ser considerado en ambas poblaciones, especialmente Riberalta donde el 34.3% de las participantes tiene niveles por fuera del rango de referencia.

En relación con el perfil lipídico, el colesterol total tuvo valores por fuera de lo reportado en un 22 y 32.9% en Rurrenabaque y Riberalta, respectivamente, con un porcentaje cercano de valores para la HDL y los Triglicéridos, por fuera de lo establecido. Antes estos resultados es importante destacar que existen reportes científicos que relacionan una creciente carga de enfermedades no trasmisibles con países de ingresos bajos, los cuales son más vulnerables y menos resilientes debido al bajo acceso a servicios de salud, medicamentos y políticas efectivas (Yeates et al., 2015).

Consideraciones finales

Este estudio piloto, realizado en comunidades indígenas de las cuencas de los ríos Beni y Madre de Dios (Bolivia), señala un escenario donde la minería artesanal de oro aluvial introduce mercurio al ambiente, entra a la cadena trófica, contamina peces y, por consumo habitual, alcanza a la población. El enfoque en mujeres adultas responde a vulnerabilidad biológica y social, con relevancia directa para embarazo, lactancia y cuidado familiar. Los objetivos cubren tres frentes: cuantificar mercurio total en cabello, estimar prevalencia de indicadores seleccionados de salud y explorar relaciones entre exposición y variables clínicas; para ello, el trabajo combinó entrevistas, valoración médica, evaluación auditiva y toma de muestras (sangre, mucosa oral y cabello) dentro de un proceso con consentimiento informado y articulación comunitaria.

En el componente sociodemográfico y ambiental aparece un patrón consistente de precariedad estructural: predominio de ausencia de servicio sanitario domiciliario y consumo de agua sin tratamiento, junto con manejo de residuos basado en quema y baja cobertura de recolección formal. A ello suma un perfil educativo y ocupacional heterogéneo entre territorios, con mayor analfabetismo en Riberalta, y predominio de actividades agrícolas en Rurrenabaque; además, Riberalta aporta, en promedio, mujeres de mayor edad. Este entramado, configurado por pobreza, agua insegura, saneamiento insuficiente y exposición doméstica a combustibles, configura un marco de riesgo para enfermedades crónicas, infecciones, inflamación persistente y menor capacidad de respuesta del sistema de salud local (Wolf et al., 2023).

En la valoración clínica general, el informe describe condiciones con impacto funcional y potencial efecto intergeneracional: hipertensión como problema

relevante y anemia en más de la mitad de las mujeres, con un cuadro compatible con deterioro del bienestar y reducción de capacidad funcional. También aparece pérdida dentaria en un porcentaje alto, con implicaciones para nutrición, salud general y riesgo cardiometabólico por dietas más blandas y densas en carbohidratos. A lo anterior se suma el reporte de dificultades auditivas con impacto sobre comunicación y vida diaria, un hallazgo que, en contextos de vulnerabilidad social, amplifica barreras educativas, laborales y de acceso efectivo a atención en salud.

Los resultados de laboratorio, planteados como lectura funcional de órganos clave (hígado, riñón, tiroides) y del estado hematológico, dan coherencia biológica al perfil clínico descrito. El propio resumen vincula los casos con niveles más altos de mercurio con un patrón de laboratorio "preocupante", compatible con compromiso hepático y renal, inflamación, estrés oxidativo y alteraciones hematológicas, con énfasis en anemia. En términos de salud pública, esta convergencia (clínica + biomarcadores) sugiere que la exposición no ocurre en aislamiento: actúa sobre un terreno de carencias estructurales (agua, saneamiento, nutrición, atención), lo cual tiende a aumentar susceptibilidad y magnitud del daño.

Finalmente, el componente de exposición muestra un nivel de alarma: nueve de cada diez mujeres con mercurio total en cabello por encima de 1 ppm y siete de cada diez en rangos asociados con riesgo cardiovascular; además, la cuenca del Beni registra promedios más altos que la del Madre de Dios. La lectura integradora apunta a una necesidad inmediata de intervención sostenida, con acciones simultáneas sobre reducción de exposición (sin comprometer seguridad y soberanía alimentaria basada en pescado), vigilancia biomédica y ambiental, y mejoras en agua y saneamiento, priorizando gestantes, lactantes y niñez. Bajo este marco, el estudio no solo identifica magnitud del problema; también delimita una ruta de respuesta intersectorial que combine salud, ambiente y determinantes sociales.

5 PERFIL AUDIOMÉTRICO

Introducción

El oído y la audiometría cumplen un papel fundamental en nuestra capacidad para percibir y procesar el mundo que nos rodea a través de los sonidos. El oído no solo nos permite disfrutar de la música, participar en conversaciones y apreciar los sonidos de la naturaleza, sino que también desempeña un rol crucial en nuestra seguridad y orientación en el entorno. La audiometría, por su parte, es utilizada como una herramienta para evaluar y filtrar la salud auditiva de las personas, permitiendo diagnosticar posibles problemas asociados. Este procedimiento mide la capacidad de una persona para escuchar diferentes frecuencias y niveles de sonido, identificando cualquier pérdida auditiva o anomalía en el proceso, y usualmente viene acompañado de una inspección visual del canal auditivo (conocido como otoscopia) con el uso de un otoscopio, el cual facilita observar las bifurcaciones del oído externo, oído medio y el tímpano, permitiendo de esta manera la detección temprana de problemas auditivos y su oportuna intervención (Mirza et al., 2018).

Las alteraciones en la audición o su pérdida pueden afectar significativamente la calidad de vida de una persona, impactando en su comunicación, relaciones sociales y rendimiento académico o laboral (Atherley y Johnston, 1983). Específicamente, la pérdida de esta capacidad auditiva puede tener diversas causas, como genéticas (Morton, 1991); adquiridas por exposición aguda o crónica a niveles elevados de ruido (Basner et al., 2014); congénitas o relacionadas con el envejecimiento (Marazita et al., 1993); por afecciones/enfermedades (Aedo-Sánchez et al., 2024); o incluso, por exposición a contaminantes y agentes ototóxicos (Vlastarakos et al., 2024).

En especial, la contaminación por metales pesados como el mercurio (Hg) ha sido objeto de investigación y preocupación en la comunidad científica en los últimos años, ya que es altamente tóxico y puede liberarse en el medio ambiente a través de diversas fuentes, como por aquellas causadas por actividades mineras, por la liberación de desechos industriales, entre otros. Aunque la relación entre la pérdida de audición y la contaminación por Hg es un campo en desarrollo, se ha observado que este metal no solo afecta al sistema nervioso, sino también a los órganos sensoriales; incluido el oído, donde los niños resultan ser los más vulnerables (Grandjean et al., 1997, Ip et al., 2004). Debido a esto, la realización de diagnósticos auditivos tempranos, particularmente en aquellas personas con mayor vulnerabilidad y riesgo de pérdida, resulta fundamental para el mantenimiento de una vida plena y saludable.

Metodología

Esta investigación, de naturaleza correlacional, se llevó a cabo en el año 2023 y contó con la participación de 109 mujeres indígenas de la cuenca de los ríos Beni, Madre de Dios y Mamoré; específicamente en las comunidades de Riberalta y Rurrenabaque ubicadas en la región amazónica, cerca de la confluencia de los ríos Beni y Tuichi, en el departamento del Beni, Bolivia. El objetivo central de este estudio fue evaluar la salud auditiva de la población afectada.

Población

La población de estudio consistió en 109 mujeres entre los 9 y los 68 años, de la cuenca de los ríos Beni, Madre de Dios y Mamoré, pertenecientes a las comunidades de Riberalta (n= 69) y Rurrenabaque (n=40), en Bolivia. Todas las participantes firmaron un consentimiento informado voluntario, el cual describía el objeto del estudio, alcance, procedimientos, riesgos y beneficios de la investigación. Posterior a ello, fueron entrevistadas con el fin de obtener datos sociodemográfica generales.

Otoscopia

La otoscopia es un procedimiento clínico que busca examinar visualmente el canal auditivo externo y la membrana timpánica. Para llevar a cabo este examen, fue creado un entorno propicio en términos de iluminación y tranquilidad en la medida de lo posible, desarrollando el trabajo en instalaciones de hoteles en las ciudades de Riberalta y Rurrenabaque. Cada paciente fue sentada con la cabeza ligeramente inclinada. El otoscopio, equipado con el espéculo auricular apro-

piado, fue insertado con cuidado en el canal auditivo externo para la visualización de la piel del canal y de la membrana timpánica. Las observaciones relevantes evaluadas fueron la perforación timpánica, enrojecimiento, inflamación, infecciones, obstrucciones con secreciones o tapones de cerumen, entre otros.

Medición audiométrica

Posterior a la otoscopia fue realizada la audiometría, consistente en la medición de la capacidad de un individuo para percibir sonidos a diferentes frecuencias y niveles de intensidad. A cada participante le fue explicado el proceso del examen antes de dar inicio. Seguidamente, cada una fue ubicada en un espacio con ruido mínimo, le fueron puestos auriculares conectados a un audiómetro, y se les pidió que respondieran a una serie de tonos auditivos presentados a diferentes frecuencias y niveles de volumen, levantando la mano como señal acordada para indicar la detección del sonido. Al principio se usó un tono moderado para que el paciente lo reconociera, y luego, mediante la técnica ascendente se emitieron sonidos desde 0 dB, aumentando de 5 en 5 dB como base, hasta encontrar el umbral auditivo de cada persona y para cada oído. Finalmente, los umbrales de cada paciente se registraron en un audiograma (Figura 5.1), que ilustra la capacidad auditiva en diferentes frecuencias.

Las frecuencias evaluadas fueron las siguientes:

250 Hz: considerada de baja frecuencia, ayudó a evaluar la respuesta auditiva en el rango inicial.

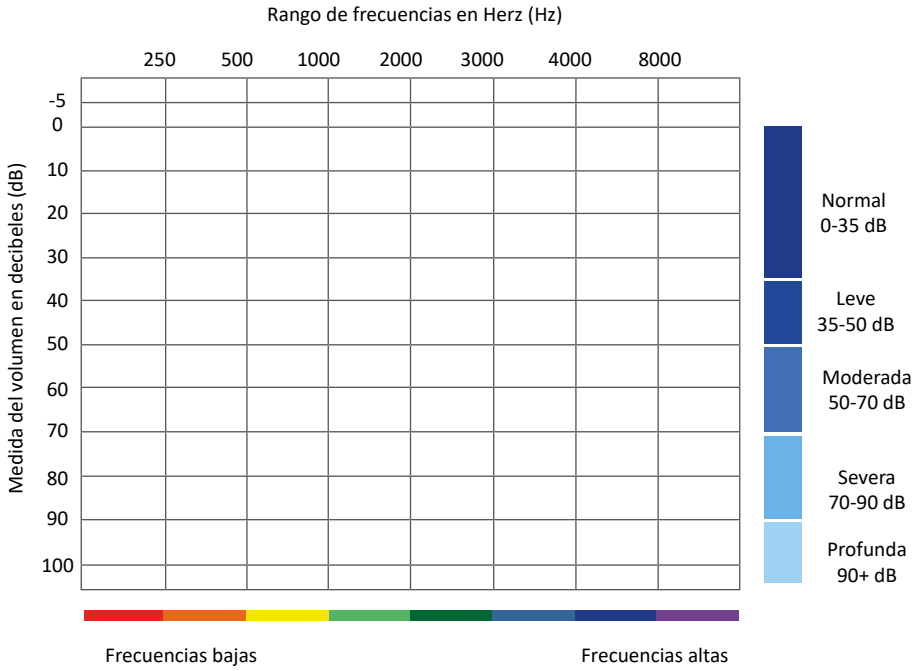
500 Hz: considerada frecuencia de tono bajo, se utiliza para evaluar la audición en la banda de frecuencia más baja.

1000 Hz - 2000 Hz: considerada dentro del rango medio de las frecuencias, siendo importante para la determinación de la audición en el rango medio de frecuencias.

3000 Hz - 4000 Hz: frecuencias de tono medio-alto que pueden indicar problemas en el oído interno y en el sistema auditivo.

Debido a que las condiciones del lugar no permitieron el uso de una cabina insonorizada requerida para el examen, en el tamizaje se respetaron niveles de 0-35 dB como condiciones de normalidad y no de 0-20 dB como es normal en pruebas más rigurosas.

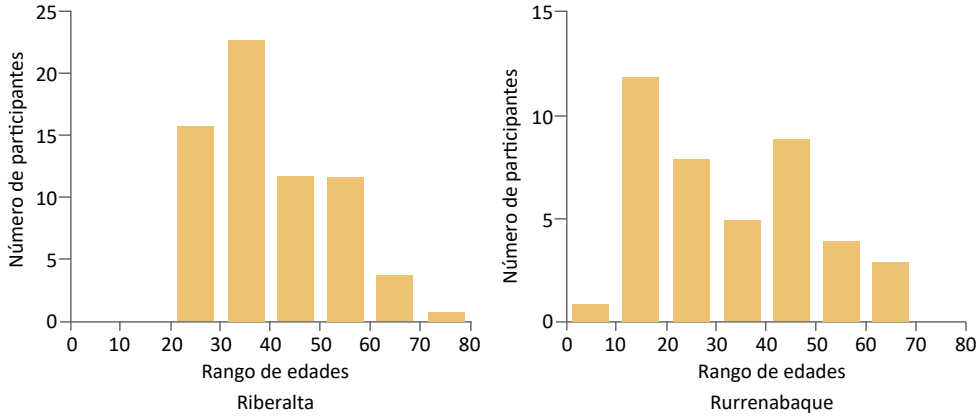
Figura 5.1. Audiograma usado en el estudio.



Resultados

De la población seleccionada y encuestada, se pudo observar que la edad promedio de los participantes estuvo entre los 30-40 años. La mayoría fueron mujeres jóvenes de entre los 20 y 40 años y en menor cantidad, mujeres entre los 60 y 80 años de edad (Figura 5.2).

Figura 5.2. Histograma de distribución de edades de la población participante de las comunidades de Riberalta, a orillas del río Beni, y Rurrenabaque, en la confluencia de los ríos Beni y Tuichi.



Examen otoscópico

En ambas poblaciones, tanto el conducto auditivo externo como la membrana timpánica se encontraban en condiciones normales. Sin embargo, en un número reducido de casos (6 en Rurrenabaque y 7 en Riberalta), los pacientes presentaron secreciones de cerumen que obstruían la visibilidad del conducto auditivo. Así mismo, algunas anomalías fueron encontradas con baja frecuencia, tales como inflamaciones o enrojecimiento de la membrana timpánica (4 casos en Rurrenabaque y 3 en Riberalta). Finalmente, pudo identificarse una alteración en el conducto auditivo externo en un caso de cada ciudad, donde la membrana timpánica estaba vascularizada o el pabellón auricular presentaba una condición inusual, en mujeres de 49 y 56 años de edad, respectivamente.

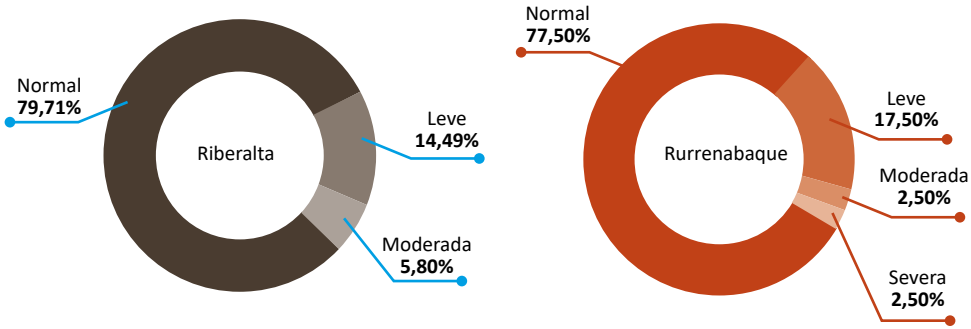
Medición audiométrica

El resultado del examen audiométrico mostró umbrales auditivos aéreos que evidencian sensibilidad auditiva periférica normal; tanto en el oído izquierdo como el derecho, en la gran mayoría de los pacientes de ambas localidades.

Para el caso de Riberalta, al menos el 20% de las mujeres encuestadas presentó una pérdida leve y moderada de la audición en uno o ambos oídos. En la localidad de Rurrenabaque, fueron obtenidos resultados similares (Figura 5.3).

Debe destacarse que, en esta última comunidad, los casos obtenidos con posible pérdida auditiva fueron mayoritariamente detectados para el oído izquierdo (7 casos en total), y en menor medida para ambos oídos (2 casos en total).

Figura 5.3. Porcentaje de personas con posible pérdida auditiva en las localidades de Riberalta y Rurrenabaque.



En general, las participantes de Riberalta y Rurrenabaque pueden clasificarse dentro de los grados de normalidad y con umbrales auditivos aéreos de sensibilidad auditiva periférica normal.

Conclusiones

Condiciones socio ambientales, hábitos de vida y exposición a factores de riesgo.

Las mujeres indígenas de Rurrenabaque y Riberalta viven en condiciones de pobreza severa, con limitaciones importantes en acceso a agua potable, saneamiento y servicios de salud, lo que aumenta la vulnerabilidad a enfermedades prevenibles y limita la atención médica oportuna.

La población manifiesta bajo consumo de tabaco y alcohol, adecuada práctica de sueño, lectura y actividad artística, aunque la exposición a humo doméstico es frecuente, especialmente en Riberalta.

La dieta, en su componente proteico, está íntimamente ligada al pescado local, con variabilidad en consumo de especies y preparación, constituyendo una vía principal de exposición a mercurio.

Estado de salud de mujeres indígenas participantes en el estudio

Las manifestaciones clínicas más frecuentes incluyen dolor de cabeza (70–83%) y caída del cabello (38–60%); con frecuencia intermedia aparecen visión afectada (40–45%) y síntomas gastrointestinales o irritativos como diarrea e irritación de garganta/nariz (cercanos al 40%); finalmente, problemas de audición aparecen con menor frecuencia (17–19%).

En Riberalta la gastritis es la enfermedad crónica más frecuente (~10%), seguida de hipertensión arterial (~5%).

En Rurrenabaque, hipertensión e infección urinaria presentan prevalencias bajas y similares (~5%).

Alteraciones neurológicas leves, como temblor, dificultad para dormir y pinchazos, son más frecuentes en Rurrenabaque.

La pérdida de piezas dentales es significativa (61% en Rurrenabaque y 49% en Riberalta), con mayor número promedio de dientes perdidos por persona en Riberalta, lo cual impacta negativamente la alimentación y la salud general.

Problemas abdominales y genitourinarios superan el 20% en Riberalta; otras alteraciones músculo-esqueléticas y en piel, cráneo, ojos y orejas son menos frecuentes (<5–10%). Varias manifestaciones clínicas como las cefaleas, abortos, y vómitos, entre otros, son en general más frecuentes que en la población comúnmente evaluada a nivel urbano.

Parámetros hematológicos (sangre)

En el extendido de sangre periférica, la prevalencia de microcitosis, hipocromía y poiquilocitosis fue mayor al 50% en las mujeres evaluadas, lo cual es compatible con anemia ferropénica generalizada, u otras anemias microcíticas. Esta deficiencia significativa de hierro puede estar impactando la capacidad funcional y el bienestar general de las mujeres indígenas.

La serie leucocitaria no mostró alteraciones morfológicas significativas; sin embargo, en algunas personas fueron identificados linfocitos atípicos y células vacuoladas.

La serie plaquetaria mostró macroplaquetas y cúmulos plaquetarios. Estos hallazgos requieren seguimiento mediante análisis clínico según criterio médico.

Parámetros bioquímicos (análisis enzimáticos)

Los análisis de ALT, AST y creatinina muestran valores sugestivos en una fracción de los participantes, compatibles con posible estrés hepático/renal, más pronunciados en Rurrenabaque.

Exposición a mercurio y problemas de salud

Nueve (9) de cada diez (10) personas evaluadas posee niveles de mercurio total en cabello superiores a las máximas recomendadas para la protección de la salud (1 ppm) de acuerdo con agencias internacionales.

Siete (7) de cada diez (10) voluntarias examinadas tiene concentraciones de mercurio total en cabello asociadas con riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares.

Las mujeres de la cuenca del río Beni presentan, en promedio, concentraciones significativamente más altas de mercurio en cabello que las mujeres de la cuenca del río Madre de Dios.

Algunos parámetros hematológicos y bioquímicos muestran asociación con los niveles de mercurio, pero esta relación depende de la procedencia de las participantes.

Los resultados de los análisis sanguíneos en las voluntarias con los niveles más altos de mercurio muestran en algunos aspectos un panorama preocupante. Varios indicadores sugieren manifestaciones de daño en el hígado y los riñones, acompañado de inflamación, estrés oxidativo (un desequilibrio en el organismo que puede dañar las células) y alteraciones en las células de la sangre, especialmente anemia. Estos efectos son más evidentes en la población del río Beni.

Preocupaciones que surgen a partir de casos con afectación en indicadores evaluados.

La toxicidad por mercurio está avanzando de forma silenciosa en las comunidades indígenas, pero sus efectos, profundos y acumulativos, pueden incrementarse por las precarias condiciones socioeconómicas en las que viven dichas personas. Es momento de actuar para reducir la exposición, fortalecer el monitoreo y mejorar el bienestar de las comunidades, desarrollar estrategias para proteger gestantes, lactantes y niñez, procurando con ello evitar consecuencias irreversibles en su salud.

Recomendaciones

Implementar vigilancia biomédica periódica para mercurio en cabello y seguimiento clínico a mujeres, gestantes y lactantes.

Promover consumo seguro de pescado, priorizando especies con menores concentraciones de Hg, sin comprometer seguridad alimentaria.

Desarrollar programas de suplementación con hierro y micronutrientes para mujeres en edad fértil y embarazadas, capacitando a la vez sobre alimentación balanceada que permita mantener la ingesta proteica y reducir riesgo de anemia.

Establecer monitoreo periódico de ALT, AST y creatinina, especialmente en Rurrenabaque, realizando educación sobre factores de riesgo hepático y renal asociados a dieta y exposición ambiental.

Implementar programas de prevención y atención odontológica, auditiva y visual.

Crear un programa de monitoreo comunitario de hipertensión para garantizar su detección y tratamiento tempranos.

Promover reducción de exposición a humo doméstico mediante tecnologías de cocina más limpias ampliamente utilizadas en varias regiones amazónicas.

Mantener y fortalecer actividades culturales, artísticas y deportivas como estrategias de bienestar.

Garantizar acceso a agua segura mediante tratamiento doméstico y comunitario, mejorando la cobertura de servicios sanitarios y promoviendo alternativas sostenibles de disposición de residuos sólidos.

Diseñar intervenciones adaptadas a las particularidades de cada comunidad: atención a mayor exposición a Hg en Rurrenabaque y hacinamiento y heterogeneidad hematológica en Riberalta.

Incorporar liderazgos locales en estrategias de educación y prevención ambiental.

Debe explorarse la posibilidad de reproducir este estudio en población infantil, ya que esta es la más vulnerable a la contaminación por mercurio, particularmente en lo referido a los mecanismos de desarrollo del sistema nervioso.

6 CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN CABELLO Y CORRELACIONES CON LOS PARAMETROS ESTUDIADOS

Los estadísticos relacionados con la concentración de mercurio en cabello medida a las mujeres voluntarias de Rurrenabaque y Riberalta son mostrados en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Concentraciones de mercurio total (Hg-Total) en cabello para mujeres de Rurrenabaque y Riberalta, Bolivia.

Estadístico	Sitio	
	Rurrenabaque	Riberalta
n	53	46
$\mu \pm \sigma\bar{x}$	5.1±0.62	3.0±0.23
Median	3.7	2.6
P75	7.6	3.9
P97.5	17.5	8.14
Mini.	0.3	1.0
Máx.	22	9.0

Las correlaciones entre las concentraciones de mercurio en cabello y algunos parámetros morfométricos y hematológicos evaluados aparecen en la Tabla 6.2 y Tabla 6.3, para Rurrenabaque y Riberalta, respectivamente.

Tabla 6.2. Correlación de Spearman entre la concentración de mercurio y variables morfométricas y hematológicas para mujeres de Rurrenabaque.

Edad	**Peso**	**Estatura**	**IDC**
0.454	-0.143	-0.415	-0.003
0.001	**0.337**	**0.004**	**0.982**
Creatinina	**HDL**	**Ácido Úrico**	**LDH**
0.212	0.173	0.208	0.394
0.152	**0.246**	**0.160**	**0.006**
GGT	**TG**	**FAL**	**Urea**
0.482	-0.045	-0.017	0.175
0.001	**0.765**	0.910	0.238
Albumina	**Colesterol**	**GOT**	**GPT**
-0.237	0.287	0.216	0.116
0.108	**0.050**	**0.145**	**0.438**
P_T	**BD**	**BT**	**WBC**
-0.217	0.140	0.226	0.215
0.143	**0.350**	**0.127**	**0.147**
LYM	**MID**	**GRAN**	**RBC**
0.081	0.188	0.219	-0.291
0.587	**0.206**	**0.140**	**0.047**
HGB (g/dL)	**MCV (fL)**	**CHM (pg)**	**CHCM (g/dL)**
-0.342	0.157	0.042	-0.203
0.019	**0.291**	**0.781**	**0.171**
PLT (103/mm3)	**VPM (fL)**		
-0.234	0.030		
0.114	**0.842**		

Tabla 6.3. Correlación de Spearman entre la concentración de mercurio y variables morfométricas y hematológicas para mujeres de Riberalta.

Edad	**Peso**	**Estatura**	**IDC**
0.013	-0.031	0.181	-0.087
0.917	**0.807**	**0.148**	**0.493**
Creatinina	**HDL**	**Ácido Úrico**	**LDH**
-0.089	-0.049	0.007	-0.162
0.483	**0.701**	**0.957**	**0.197**
GGT	**TG**	**FAL**	**Urea**
-0.005	-0.176	0.141	-0.147
0.970	**0.161**	**0.263**	**0.244**
Albumina	**Colesterol**	**GOT**	**GPT**
-0.026	-0.037	-0.047	-0.068
0.835	**0.771**	**0.713**	**0.592**

P_T	BD	BT	WBC
0.008	0.106	0.050	0.122
0.952	**0.401**	**0.690**	**0.333**
LYM	**MID**	**GRAN**	**RBC**
0.114	-0.009	0.135	-0.011
0.367	**0.945**	**0.284**	**0.934**
HGB	**MCV**	**CHM**	**CHCM**
0.070	0.091	0.131	0.148
0.579	**0.470**	**0.300**	**0.240**
PLT	**VPM**		
0.035	-0.206		
0.783	**0.100**		

Conclusiones

Estado de salud de mujeres indígenas participantes en el estudio:

Las mujeres indígenas de Rurrenabaque y Riberalta viven en condiciones de extrema pobreza, con poco acceso a salud y agua potable. Esto facilita la aparición de enfermedades infecciosas que pueden ser prevenibles.

La presión alta es el problema de salud más frecuente (x%). Además, más de la mitad de las mujeres tiene anemia, lo que afecta su capacidad de trabajo y bienestar.

Entre las mujeres evaluadas, los problemas en huesos e hígado son frecuentes. Más de la mitad ha perdido dientes, lo que dificulta su alimentación y salud en general.

Entre el 10% y el 20% de las evaluadas tiene problemas de audición. Esto afecta su comunicación y su vida diaria.

Problemas de salud relacionados al mercurio:

Nueve (9) de cada diez (10) personas evaluadas posee niveles de mercurio total en cabello superiores a las máximas recomendadas para la protección de la salud (1 ppm) de acuerdo con agencias internacionales.

Siete (7) de cada diez (10) voluntarias examinadas tiene concentraciones de mercurio total en cabello asociadas con riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares.

En promedio las mujeres de la cuenca del río Beni tienen significativamente concentraciones de mercurio más altas en cabello en el cabello que las mujeres de la cuenca del río Madre de Dios.

Aunque algunos parámetros hematológicos y bioquímicos poseen cierta asociación con los niveles de mercurio, esta depende de la procedencia de las participantes.

Los resultados de los análisis sanguíneos en las voluntarias con los niveles más altos de mercurio muestran en algunos aspectos un panorama preocupante. Varios indicadores sugieren manifestaciones de daño en el hígado y los riñones, acompañado de inflamación, estrés oxidativo (un desequilibrio en el organismo que puede dañar las células) y alteraciones en las células de la sangre, especialmente anemia. Estos efectos son más evidentes en la población del río Beni.

Muchos efectos de expresión médica como las cefaleas, abortos, y vómitos, entre otros, son en general más frecuentes que en la población comúnmente evaluada a nivel urbano.

Preocupaciones que surgen a partir de casos con afectación en indicadores evaluados.

La toxicidad por mercurio está avanzando de forma silenciosa en las comunidades indígenas, pero sus efectos, profundos y acumulativos, pueden incrementarse por las precarias condiciones socio-económicas en las que viven dichas personas. Es momento de actuar para reducir la exposición, fortalecer el monitoreo y mejorar el bienestar de las comunidades, procurando con ello evitar consecuencias irreversibles en su salud.

Recomendaciones

Implementar un programa territorial de reducción de riesgo por mercurio que integre biomonitoreo periódico en cabello, comunicación de resultados comprensible, seguimiento clínico y priorización de gestantes, mujeres en edad fértil, lactantes y niñez.

Adoptar y financiar guías comunitarias de consumo seguro de pescado (por especie, tamaño y zona) que protejan la salud sin comprometer la seguridad alimentaria, con actualización periódica según evidencia local.

Fortalecer un paquete integral de nutrición y anemia que incluya tamizaje, suplementación con hierro y micronutrientes, educación alimentaria culturalmente pertinente y articulación con acciones de seguridad alimentaria.

Integrar el control de infecciones y parasitosis en la atención primaria, con diagnóstico y manejo según lineamientos disponibles, articulado con acciones de agua segura y saneamiento para reducir reinfección y carga inflamatoria.

Asegurar el monitoreo y la referencia oportuna de función renal y hepática mediante un panel bioquímico básico, con criterios clínicos claros de derivación y seguimiento en población priorizada.

Consolidar un programa comunitario de hipertensión y riesgo cardiometabólico que incluya detección, confirmación, tratamiento continuo, adherencia y seguimiento con apoyo de agentes comunitarios y disponibilidad estable de medicamentos.

Ejecutar una estrategia intersectorial de agua segura, saneamiento y manejo de residuos, con metas por comunidad, cronograma, presupuesto multianual y rendición pública de avances, como base para disminuir infecciones y mejorar la nutrición.

Reducir la exposición a humo intradomiciliario mediante estufas limpias o eficientes, ventilación adecuada y acompañamiento técnico de uso y mantenimiento, con focalización en hogares vulnerables.

Desplegar un plan resolutivo de salud oral que combine prevención, atención básica y rehabilitación funcional según capacidad instalada, con continuidad programática y no solo brigadas aisladas.

Garantizar una ruta completa de evaluación auditiva para casos con sospecha, con confirmación diagnóstica, acceso a manejo y ayudas cuando aplique, y mecanismos de referencia funcionales.

Estandarizar la calidad diagnóstica del hemograma, confirmando hallazgos atípicos con extendido periférico, capacitando al personal en reconocimiento de artefactos y definiendo criterios de alarma para derivación.

Institucionalizar una gobernanza intercultural y una sostenibilidad operativa que incorpore liderazgos indígenas en la planeación y devolución de resultados, forme promotores comunitarios y fortalezca la capacidad resolutiva del primer nivel (insumos, logística y transporte sanitario).

BIBLIOGRAFÍA

Abbas, A.K., Lichtman, A.H., Pillai, S. 2022. Inmunología Celular y Molecular. Elsevier Health Sciences.

Argüello, M., López-Rubio, M., Castilla-García, L. 2023. Autoimmune haemolytic anaemia. Medicina Clínica. 160(1):30-38.

Batis, C., Mazariegos, M., Martorell, R., Gil, A., Rivera, J.A. 2020. Malnutrition in all its forms by wealth, education and ethnicity in Latin America: who are more affected?. Public Health Nutrition. 23(S1):S1-S12.

Bourke, C.D., Berkley, J.A., Prendergast, A.J. 2016. Immune dysfunction as a cause and consequence of malnutrition. Trends in Immunology. 37(6):386-398.

Buttarello, M. 2016. Diagnóstico de laboratorio de la anemia: ¿los parámetros antiguos y nuevos de los glóbulos rojos son útiles en la clasificación y el tratamiento, cómo? International Journal of Laboratory Hematology. 38(Suplemento 1):123-132.

Cappellini, M.D., Russo, R., Andolfo, I., Iolascon, A. 2020. Anemias microcíticas hereditarias. Hematología 2014. Libro del Programa Educativo de la Sociedad Estadounidense de Hematología. 2020(1):465-470.

Combaluzier, S., Quessada, J., Abbou, N., Arcani, R., Tichadou, A., Gabert, J., Costello, R., Loosveld, M., Venton, G., Berda-Haddad, Y. 2023. Cytological diagnosis of classic myeloproliferative neoplasms at the age of molecular biology. Cells. 12(6):946.

Conde-Sanabria, R. 2023. Evaluación de 3 métodos indirectos para el recuento estimado de plaquetas en frotis de sangre periférica Lima-Perú, 2022.

Hernández-Mendoza, N.A. 2024. Eritrocitos. TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río. 11(21):66-68.

Hottz, E.D., Quirino-Teixeira, A.C., Merij, L.B., Pinheiro, M.B.M., Rozini, S.V., Bozza F.A., Bozza, P.T. 2021. Platelet-leukocyte interactions in the pathogenesis of viral infections. Platelets. 33(2):200-207.

Koenig, G., Seneff, S. 2015. Gamma-glutamyltransferase: a predictive biomarker of cellular antioxidant inadequacy and disease risk. Disease Markers. 2015: 818570.

Manjarres-Suarez, A., de la Rosa, J., Gonzalez-Montes, A., Galvis-Ballesteros, J., Olivero-Verbel, J. 2022. Trace elements, peripheral blood film, and gene expression status in adolescents living near an industrial area in the Colombian Caribbean Coastline. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. 32(1):146-155.

Maya, G.C. 2020. Interpretación del hemograma automatizado: claves para una mejor utilización de la prueba. Medicina & Laboratorio. 19(01-02):11-68.

Mohammed, E.A., Mohamed, M.M., Far, B.H., Naugler, C. 2014. Peripheral blood smear image analysis: A comprehensive review. Journal of Pathology Informatics. 5(1):9.

Palomares-Bolaños, J., Caballero-Gallardo, K., Olivero-Verbel, J. 2025. Hematological parameters and mercury exposure in children living along gold-mining-impacted rivers in the Mojana Region, Colombia. Biological Trace Element Research. 203(10):5041-5056.

Rubio, J. L., Hernández, A. C., Villalobos, M.S. 2020. Protocolo diagnóstico de las leucocitosis con formas celulares anormales. Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado. 13(20):1154-1158.

Tanner, S., & TAPS Bolivia Study Team. 2014. Health and disease: exploring the relation between parasitic infections, child nutrition status, and markets. American Journal of Physical Anthropology. 155(2):221-228.

Steinberg, M.H. 2020. Fetal hemoglobin in sickle cell anemia. Blood. 136(21):2392-2400.

Terry-Leonard, N.R., Cabrera-Cuéllar, C. 2022. Hemograma, frotis de sangre periférica, conteo de plaquetas y conteo de reticulocitos en el recién nacido normal y sus variaciones fisiológicas. MediSur. 20(1):129-136.

Valdelamar-Villegas, J., Olivero-Verbel, J. 2020. High mercury levels in the indigenous population of the Yaigojé Apaporis National Natural Park, Colombian Amazon. Biological Trace Element Research. 194(1):3-12.

Wolf, J., Johnston, R. B., Ambelu, A., Arnold, B. F., Bain, R., Brauer, M., Brown, J., Caruso, B. A., Clasen, T., Colford, J. M., Jr, Mills, J. E., Evans, B., Freeman, M. C., Gordon, B., Kang, G., Lanata, C. F., Medlicott, K. O., Prüss-Ustün, A., Troeger, C., Boisson, S., … Cumming, O. (2023). Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation, and hygiene in domestic settings: a global analysis for selected adverse health outcomes. Lancet (London, England). 401(10393):2060–2071.

Yeates, K., Lohfeld, L., Sleeth, J., Morales, F., Rajkotia, Y., Ogedegbe, O. 2015. A global perspective on cardiovascular disease in vulnerable populations. The Canadian Journal of Cardiology. 31(9):1081-1093.



Roger Carvajal Saravia

Es médico de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), especialista en Inmunología Clínica del IMSS (México), Master en Ciencias Biomédicas (Inmunología) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), doctor (PhD) en Biomedicina Experimental (UNAM).

Gestor, fundador y primer director del Instituto SELADIS, de la Maestría en Ciencias Biológicas y Biomédicas, del Instituto de Investigaciones Fármaco-Bioquímicas y del Departamento de Investigación, Posgrado e Interacción Social (DIPGIS) de la UMSA. Exdirector de la Dirección Nacional de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Educación y exViceministro de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Planificación del Desarrollo. En la UNAM fue investigador de carrera del Departamento de Biología Experimental de la Facultad de Medicina, docente del posgrado en Ciencias Biomédicas y miembro de su Consejo Consultivo. Actualmente, es jefe de la Unidad de Biomedicina Experimental e investigador emérito del Instituto SELADIS.

Autor de 65 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales, divulgador científico en temas de salud ambiental e innovación.



Oscar Campanini

Es sociólogo e investigador, con maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Sus trabajos se centran y profundizan en las problemáticas vinculadas al agua, saneamiento, minería, extractivismo, recursos naturales y derechos humanos y ambientales.

Ha desarrollado investigaciones sobre minería aurífera, mercurio, extractivismos y transición ambiental en Bolivia y América Latina, articulando investigación, análisis crítico e incidencia pública en políticas ambientales y de derechos humanos. Sus estudios han contribuido al debate público sobre los impactos económicos, ambientales y sociales de la actividad minera y de la contaminación por mercurio en el país y en la región.

Actualmente, es director del Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB), institución referente en investigación social y ambiental.

Entre sus publicaciones en esta línea destacan El negocio del mercurio en Bolivia (2020), Derechos y violencias en los extractivismos (2019), Las grietas del wólfram (2017), Tras las vetas del tantalio (2017).

Centro de Documentación e Información Bolivia

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en Bolivia

ISBN: 978-9917-9760-9-7