

# CALIDAD DEL AGUA Y CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN LA MICROCUENCA RÍO CALDERAS: APORTES DE LA MAPE DE ORO, EN EL CORPUS, CHOLUTeca-HONDURAS

**Abstrac ID 808**

## WATER QUALITY AND MERCURY POLLUTION IN THE MICRO-BASIN RÍO CALDERAS: GOLD ASM CONTRIBUTIONS IN EL CORPUS-CHOLUTeca.

Rodrigo Alejandro Palacios Ordeñez  
 Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras  
 Email:-----

### RESUMEN

Históricamente El Corpus-Choluteca, se conoce como uno de los primeros municipios mineros en beneficiar oro con mercurio en Honduras. En el estudio se tomaron como muestra cinco aldeas del municipio, en época seca y lluviosa del año 2022 en las matrices de agua y sedimentos. La metodología de la investigación es del tipo mixta (cuantitativa-cualitativa) descriptiva. Se analizó Hg-total en época lluviosa y se detectó contaminación en dos fuentes superficiales con concentraciones de 2.6 y 1.3 µg/L respectivamente. Respecto a metales traza, en época seca el Fe excede el máximo admisible (0.3 mg/L) para todos los sitios detectados (11) y para Pb se excede (0.01 mg/L) en 1 sitio. En lluviosa, el Fe lo excede en 4 sitios y el Mn excede (0.5 mg/L) para 4 sitios.

En sedimentos las mayores concentraciones detectadas para Hg-total fueron para lagunas de descarga, seguido de sedimentos de río que presentan una descarga directa de rastras y, por último, en sedimentos de río que no reciben descargas. En época seca las concentraciones oscilan entre 52.1 a 30,400 µg/kg, y en lluviosa entre 100 a 11,000 µg/kg. Debido a la presencia de Hg-total en sedimentos de ríos y lagunas de descarga, agua superficial y subterránea, asimismo concentraciones de Fe, Mn que exceden los máximos admisibles; el agua no es apta para uso, consumo humano y animal, ni está presente en niveles seguros para la protección de la vida ecosistémica.

Palabras clave: Contaminación, hidroquímica, MAPE, mercurio, metales traza.

### ABSTRACT

Historically, El Corpus-Choluteca is known as one of the first mining municipalities to benefit gold with mercury in Honduras. The study sampled five villages in the municipality, in the dry and rainy season of 2022 in the water and sediment matrices. The research methodology is of the mixed (quantitative-qualitative) descriptive type. Hg-total was analyzed in rainy season and contamination was detected in two surface sources with concentrations of 2.6 and 1.3 µg/L respectively. For trace metals, in dry season the Fe exceeds the maximum allowable (0.3 mg/L) for all sites detected (11) and for Pb it is exceeded (0.01 mg/L) at 1 site. In rainy season, Fe exceeds it in 4 sites and Mn exceeds (0.5 mg/L) for 4 sites.

In sediments the highest concentrations detected for Hg-total were for discharge lagoons, followed by river sediments that present a direct discharge of rastras and, finally, in river sediments that do not receive discharges. In dry season concentrations range from 52.1 to 30,400 µg/kg, and in rainy season from 100 to 11,000 µg/kg. Due to the presence of total Hg in sediments from rivers and discharge ponds, surface, and groundwater, as well as concentrations of Fe and Mn; water is not suitable for human and animal use, nor is it present at safe levels for the protection of ecosystem life.

Key words: ASM, hydrochemistry, mercury, pollution, trace metals.

## Introducción

Históricamente El Corpus, se conoce como uno de los primeros municipios mineros en procesar oro en el país utilizando azogue (mercurio), esto data de la colonización por parte los españoles y en la actualidad es la principal actividad económica llevada a cabo por los pobladores del municipio. En el beneficiado (proceso fisicoquímico de separación de un metal de interés de la broza) a nivel de la MAPE de oro, se lleva a cabo la molienda en estructuras artesanales llamadas rastras, durante este proceso se utiliza mercurio para amalgamar oro, que posteriormente será quemado utilizando gas de acetileno, para obtener una pieza final de oro, libre de mercurio. El volumen de agua producido durante la molienda en rastra es descargado en lagunas artificiales de construcción artesanal, que no están diseñadas para almacenar temporalmente dicho volumen, por ello, cuando alcanzan su máxima capacidad volumétrica, descargan en el suelo próximo a estas, cuerpos de agua superficial y/o subterránea.

El área de estudio corresponde a la microcuenca Río Calderas (Figura 5), tomando como muestra cinco aldeas de El Corpus: San Juan Arriba, El Corpus, San Juan Abajo, Los Chagüites y El Naranjal.

Estas aldeas fueron seleccionadas debido a la influencia de operaciones de beneficiado de la MAPE de oro. El objetivo de esta investigación es poder demostrar y relacionar las actividades operativas de la MAPE de oro, con la presencia de Hg-total en cuerpos de agua subterránea, superficial, sedimentos de ríos y lagunas de descarga de rastras. Además, se pretende determinar la calidad de fuentes de agua

subterráneas y superficiales, a través de la comparación de las concentraciones detectadas de parámetros priorizados (Fe, Pb, Mn, Cd y Cu) contra normativa vigente de Honduras; con el fin de evaluar su idoneidad para uso, consumo humano y animal, y protección de ecosistemas.

Para ello, se llevaron a cabo dos muestreos de fuentes de agua subterránea y superficial, y dos muestreos de sedimentos en ríos y lagunas de descargas de rastras, distribuidos respectivamente en época seca y lluviosa del año 2022. En la matriz de agua se analizó metales traza como Hg-total, Fe, Pb, Mn, Cd y Cu. Respecto a la matriz de sedimento, se focalizó en análisis de Hg-total.

Esta investigación busca brindar insumos para los tomadores de decisiones a nivel central y local, para implementar acciones orientadas a la protección ambiental, sanitaria y laboral, donde se inicie un proceso de formalización progresiva de la MAPE de oro, migrando a las mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA), utilizando técnicas de minado seguras y tecnologías de beneficiado libres de mercurio. Además, que se pueda iniciar un proceso de saneamiento de las fuentes de agua superficial y subterránea.

## Metodología

### Tipo de investigación

Esta investigación es del tipo mixta (cuantitativa y cualitativa) descriptiva, ya que pretende demostrar la relación que existe entre el proceso de beneficiado de oro en la MAPE, y la presencia de Hg-total en cuerpos de agua superficial, subterránea, sedimentos de río y sedimentos de lagunas artificiales para descarga de rastras, a través de una triangulación de las concentraciones de Hg-total detectadas en las matrices ambientales de agua y

sedimentos, y el vínculo con el proceso de beneficiado en rastras y vertidos no controlados en cuerpos de agua superficial y subterránea.

En la matriz ambiental de sedimentos, se analizó el Hg-total en época seca y lluviosa. Respecto a la matriz de agua, se analizó solamente Hg-total en época lluviosa.

También se buscó caracterizar la calidad de fuentes de agua subterránea y superficial, con relación a parámetros fisicoquímicos priorizados, contenidos en la Norma Técnica para Calidad de Agua Potable de Honduras, con el fin de evaluar su idoneidad para uso y consumo humano. Analizando también en la matriz ambiental de agua: iones mayoritarios, nutrientes, metales trazas, coliformes totales y termotolerantes.

#### Metodología para selección de sitios de muestro en matrices de agua y sedimento

Esto permitió conocer el área de estudio de manera geográfica y operativamente en las actividades MAPE, con el fin de tener un panorama preliminar que ayudó a seleccionar los sitios de muestreo como se detalla a continuación:

- Revisión de información bibliográfica y geoespacial.
- Giras de reconocimiento de la zona de estudio.
- Censo de fuentes de agua subterráneas en aldeas de San Juan Arriba, San Juan Abajo, Los Chagüites y El Naranjal.
- Censo de rastras (n=45) y lagunas de descarga artificiales de rastra (n=28).



Figura 1. Rastra operativa, con laguna de descarga, ubicada en San Juan Arriba.

#### Criterios para selección de sitios de muestreo en matriz de agua:

- Fuentes subterráneas operativas y con potencial para ser utilizadas para uso humano y animal.
- Pozo donde descargan rastras.
- Ríos donde descargan rastras y lagunas de estas.
- Ríos utilizados por pobladores para actividades domésticas y consumo de ganado.
- Supuestos de transporte de mercurio por escorrentía superficial desde cuenca alta.

#### Criterios para selección de sitios de muestreo en matriz de sedimentos:

- Lagunas de descarga de rastras construidas próximas a pozos excavados y perforados (Figura 3).
- Sedimentos de ríos que reciben descargas directas de rastras,
- Sedimentos de ríos que no reciben descargas de rastras.
- Supuestos de transporte de mercurio por escorrentía superficial desde cuenca alta.
- Ríos utilizados por pobladores para actividades domésticas, consumo de ganado y recuperación de oro de placer.



Figura 2. Batea utilizada para recuperación de oro de placer (arrastrado por escorrentía superficial, proveniente las descargas de rastras).

## Resultados

### Resultados de metales traza en agua subterránea y superficial.

Con el fin de diagnosticar las fuentes de agua subterránea y superficial que puedan ser utilizadas para consumo humano, se analizaron metales trazas en época seca (Tabla 5: concentraciones de metales traza en época seca. Donde: ND= no determinado y  $<LD$  = inferior al límite de detección y  $n=15$ . Tabla 5) y lluviosa (Tabla 6), a excepción de mercurio que se presenta en (Tabla 2).

En los sitios de muestreo de esta sección, se incluye una laguna de descarga (CHR02), considerando que en esta descargan 2-3 rastras operativas y luego que estas alcanzan la capacidad máxima volumétrica, descargan en un pozo malacate (CHRPm), para luego volver a reutilizarse en el siguiente proceso de beneficiado.

Como un criterio de selección de los sitios aptos para utilizarse como fuentes para consumo humano, se utilizan los valores máximos admisibles contemplados en la Norma Técnica para la Calidad de Agua Potable (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995), descritos en parámetros para sustancias no deseadas y parámetros para sustancias inorgánicas con significado para la salud.

### Resultados de mercurio-total en agua en época lluviosa

Para determinar la idoneidad de las fuentes de agua superficial (exceptuando laguna de descarga) y aguas subterráneas, para uso, consumo humano y animal, se contrastaron los valores detectados con la Norma Técnica para Calidad de Agua Potable de Honduras, a través de una categorización tipo semáforo (Tabla 1), tomando como valor máximo admisible para mercurio ( $1.0 \mu\text{g/L}$ ) (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995).

En esta categorización, el color rojo representa valores con excedencia del máximo admisible y se categoriza como contaminación. En contraste, el color amarillo representa un rango que considera la mitad del valor máximo admisible y que no lo sobrepase, y se categoriza como presencia media. Por último, el color verde representa valores por debajo de la mitad del máximo admisible y se considera como presencia baja de Hg-total.

Este tipo de categorización permite identificar sitios contaminados (color rojo), así como aquellos que podrían potencialmente contaminarse (color amarillo y verde) como se presenta en la Tabla 1 y que se debe realizar un monitoreo de ellos debido al potencial de bioacumulación y biomagnificación a través de cadenas tróficas del mercurio.

En la Tabla 2 se resumen los resultados obtenidos de Hg-total en época lluviosa (octubre) del año 2022.

Tabla 1.

Categorización en función del valor máximo admisible de Hg-total en agua.

|                 |                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------|
| Contaminación   | Mayor al valor máximo admisible ( $1 \mu\text{g/L}$ ) |
| Presencia media | Entre $1 \mu\text{g/L}$ y $0.5 \mu\text{g/L}$         |
| Presencia baja  | Menor a $0.5 \mu\text{g/L}$                           |

Tabla 2.

Concentraciones de Hg-total en agua superficial y subterránea. Donde n=14.

| Sitio | Tipo de fuente | $\mu\text{g/L}$      | Categorización |
|-------|----------------|----------------------|----------------|
| SJAM1 | Subterránea    | $9 \times 10^{-3}$   |                |
| SL1   |                | $8.2 \times 10^{-3}$ |                |
| SL2   |                | $8.5 \times 10^{-2}$ |                |
| RCPP  |                | $3.9 \times 10^{-3}$ |                |
| CPT   |                | $5.2 \times 10^{-3}$ |                |
| CHRPm |                | $4.1 \times 10^{-2}$ |                |
| CHRPJ |                | $7.3 \times 10^{-2}$ |                |
| CHR03 | Superficial    | $6.2 \times 10^{-3}$ |                |
| SJA4C |                | 0.3                  |                |
| SJAAM |                | 0.13                 |                |
| RS-04 |                | 0.19                 |                |
| RS-05 |                | 0.2                  |                |
| CHR02 |                | 1.3                  |                |
| RS-06 |                | 2.6                  |                |

De los 14 sitios analizados, sólo 2 se categorizan como contaminación por Hg-total. En el sitio RS06, mismo que corresponde donde se tomó una muestra de sedimento, se detectó una concentración de  $2.6 \mu\text{g/L}$ , categorizándose como contaminación por presencia de Hg-total. En el sitio CHR02 que corresponde a una laguna de descarga, mismo donde se tomó una muestra de sedimento (Figura 3), se detectó una concentración de  $1.3 \mu\text{g/L}$ . Durante este muestreo, las rastras operativas estaban descargando en dicha laguna, ya que la laguna número tres (más próxima a la rastra) no estaba en funcionamiento.

Tomando en consideración que el sitio CHR02 genera vertidos a un cuerpo receptor (pozo malacate con código CHRPm), se debe de contrastar la concentración detectada  $1.3 \mu\text{g/L}$  con la concentración máxima admisible para mercurio ( $10 \mu\text{g/L}$ ) contemplada en (Secretaría de Salud, 1996), y se determina que la concentración máxima admisible no se excede.



Figura 3. Laguna de descarga de rastra en Los Chagüites (CHR02).

#### Resultados de mercurio-total en sedimentos

Debido a que en Honduras no se cuenta con una Guía para la calidad de sedimentos, que considere protección a la vida acuática y/o humana, se tomó como referencia la del (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1997), esta contempla un valor máximo admisible de  $170 \mu\text{g/kg}$  para la protección de vida acuática; tomando en cuenta este valor, se categorizó la contaminación y presencia de mercurio en sedimentos, mediante 3 colores como se presenta en la Tabla 3.

En esta categorización, el color rojo representa valores con excedencia del máximo admisible y se categoriza como contaminación. En contraste, el color amarillo representa un rango que considera dos tercios del valor máximo admisible y que no lo sobrepase, y se categoriza como presencia media. Por último, el color verde representa una presencia baja, que contempla valores detectados menores a dos tercios del máximo admisible. Esta categorización tipo semáforo, se ha implementado con el propósito de identificar los sitios contaminados (color rojo), así como aquellos que podrían potencialmente contaminarse (color amarillo y verde).

Tabla 3.  
Categorización en función del valor máximo admisible de Hg-total en sedimentos.

|                 |                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------|
| Contaminación   | Mayor al valor de referencia (170 $\mu\text{g/kg}$ ) |
| Presencia media | Entre 113.33 $\mu\text{g/kg}$ y 170 $\mu\text{g/kg}$ |
| Presencia baja  | Menor a 113.33 $\mu\text{g/kg}$                      |

En el Tabla 4 se resume los resultados obtenidos de Hg-total en época seca (enero) y lluviosa (octubre) del año 2022, indicando la categorización de cada sitio.

Tabla 4.  
Concentraciones de mercurio total en sedimentos.

| Sitio  | Origen del sedimento | concentración ( $\mu\text{g/kg}$ ) época seca | Categorización | Concentración ( $\mu\text{g/kg}$ ) época lluviosa | Categorización | Promedio de concentraciones |
|--------|----------------------|-----------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| SM-052 | Río                  | 9,950                                         |                | 270                                               |                | 5110                        |
| SM-053 | Río                  | 9,650                                         |                | 180                                               |                | 4915                        |
| SM-054 | Río                  | 6,610                                         |                | 190                                               |                | 3400                        |
| RS-05  | Río                  | 421                                           |                | 110                                               |                | 265.5                       |
| RS-01  | Río                  | 60.2                                          |                | 100                                               |                | 80.1                        |
| RS-02  | Río                  | 52.1                                          |                | Sin toma de muestra                               |                |                             |
| SM-057 | Río                  | 114                                           |                |                                                   |                |                             |
| RS-05  | Río                  | 224                                           |                | 170                                               |                | 197                         |
| RS-04  | Río                  | 197                                           |                | 150                                               |                | 347                         |
| CHR031 | Laguna               | Sin toma de muestra                           |                | 6,300                                             |                |                             |
| CHR03  | Laguna               | 18,500                                        |                | 4,400                                             |                | 11,450                      |
| CHR01  | Laguna               | 15,700                                        |                | 7,100                                             |                | 11400                       |
| CHR02  | Laguna               | 30,400                                        |                | 11,000                                            |                | 20,700                      |

Resultados de hierro, plomo, manganeso y cadmio en época seca

En la Tabla 5 se presentan en color rojo los valores que exceden el máximo admisible. En el caso del

Fe, se excede para todos los sitios detectados (11) y para Pb, solo en el sitio SJA4C.

Respecto al Mn y Cd, no se detectaron concentraciones que excedan el máximo admisible para los sitios donde se detectó presencia del metal o que las concentraciones fueron superiores al límite de detección del equipo.

Tabla 5.  
Concentraciones de metales traza en época seca. Donde:ND= no determinado y <LD= inferior al límite de detección y n=15.

| Código | Fuente      | Valores máximos admisibles (mg/L) |                   |                      |                   |
|--------|-------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
|        |             | Fe (0.3)                          | Pb (0.01)         | Mn (0.5)             | Cd (0.03)         |
|        |             | Concentraciones (mg/L)            |                   |                      |                   |
|        |             | Fe                                | Pb                | Mn                   | Cd                |
| SJAM1  | Subterránea | ND                                | ND                | 3.5×10 <sup>-4</sup> | <LD               |
| SL1    | Subterránea | 1.53                              | <LD               | <LD                  | <LD               |
| SL2    | Subterránea | 4.1                               | N.D               | 0.01                 | <LD               |
| RCP    | Subterránea | N.D                               | 1.0               | 2.0                  | 1.0               |
|        |             |                                   | ×10 <sup>-3</sup> | ×10 <sup>-3</sup>    | ×10 <sup>-3</sup> |
| CPT    | Subterránea | N.D                               | 3.0               | 5.0                  | N.D               |
|        |             |                                   | ×10 <sup>-3</sup> | ×10 <sup>-4</sup>    |                   |
| CHRP   | Subterránea | 2.92                              | N.D               | 0.01                 | <LD               |
| CHRPJ  | Subterránea | 3.96                              | 3.3               | 0.04                 | 4.0               |
|        |             |                                   | ×10 <sup>-3</sup> |                      | ×10 <sup>-4</sup> |
| CHR03  | Subterránea | N.D                               | N.D               | 3.3                  | N.D               |
|        |             |                                   |                   | ×10 <sup>-4</sup>    |                   |
| CHPP   | Subterránea | 0.45                              | <LD               | 0.01                 | <LD               |

| Código | Fuente      | Valores máximos admisibles (mg/L) |        |          |        |
|--------|-------------|-----------------------------------|--------|----------|--------|
|        |             | Fe                                | Pb     | Mn (0.5) | Cd     |
|        |             | (0.3)                             | (0.01) |          | (0.03) |
|        |             | Concentraciones (mg/L)            |        |          |        |
|        |             | Fe                                | Pb     | Mn       | Cd     |
| W      | a           |                                   |        |          |        |
| SJA4C  | Superficial | 15.42                             | 0.09   | <LD      | N.D    |
| SJAAM  | Superficial | 6.68                              | 0.01   | N.D      | 4.0    |
| RS-04  | Superficial | 2.63                              | 0.01   | 0.01     | 1.2    |
| RS-05  | Superficial | 2.17                              | <LD    | 0.01     | 1.3    |
| CHR02  | Superficial | 3.02                              | ND     | 0.01     | 8.8    |
| RS-06  | Superficial | 0.93                              | ND     | 0.01     | 1.2    |

Resultados de hierro, plomo, cadmio y cobre en época lluviosa.

En la Tabla 6 se presentan en color rojo, los valores que exceden el máximo admisible. Para el Fe se excede el valor máximo en SL2, RCPP, CHRPM y CHRPMJ, y para el Mn en SL2, CHRPM, CHR02 y RS-06.

Respecto al Pb, Cd y Cu, no se detectaron concentraciones que excedan el máximo admisible, para los sitios donde se detectó presencia del metal o que las concentraciones fueron superiores al límite de detección del equipo.

Tabla 6.

concentraciones de metales traza en época lluviosa. Donde: ND= no determinado, y n=14.

| Código                 | Fuente      | Valores máximos admisibles (mg/L) |                       |          |                      |        |
|------------------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------|----------|----------------------|--------|
|                        |             | Fe (0.3)                          | Pb (0.01)             | Mn (0.5) | Cd (0.03)            | Cu (2) |
| Concentraciones (mg/L) |             |                                   |                       |          |                      |        |
|                        |             | Fe                                | Pb                    | Mn       | Cd                   | Cu     |
| SJAM                   | Subterránea | 0.0                               | 2.93x10 <sup>-3</sup> | 0.2      | 1.2x10 <sup>-5</sup> | 0.0    |
| 1                      | nea         | 2                                 | -3                    | 5        | -4                   | 4      |
| SL1                    | Subterránea | 0.1                               | 4.68x10 <sup>-4</sup> | 0.4      | 5x10 <sup>-6</sup>   | 0.0    |
|                        | nea         | 4                                 | -3                    | 3        | 5                    | 6      |
| SL2                    | Subterránea | 0.5                               | 2.11x10 <sup>-2</sup> | 1.9      | 1.6x10 <sup>-3</sup> | 0.0    |
|                        | nea         |                                   | -2                    | 9        | -3                   | 8      |
| RCPP                   | Subterránea | 0.3                               | 4.34x10 <sup>-3</sup> | 0.4      | 1x10 <sup>-5</sup>   | 0.0    |
|                        | nea         | 7                                 | -3                    | 9        | 5                    | 9      |
| CPT                    | Subterránea | 0.1                               | 4.77x10 <sup>-3</sup> | 0.4      | 5x10 <sup>-5</sup>   | 0.0    |
|                        | nea         | 3                                 | -3                    | 7        | 5                    | 6      |
| CHRP                   | Subterránea | 0.7                               | 1.34x10 <sup>-3</sup> | 3.4      | 1x10 <sup>-5</sup>   | 0.0    |
| M                      | nea         | 3                                 | -3                    | 6        | 5                    | 5      |
| CHRP                   | Subterránea | 0.3                               | 1.28x10 <sup>-3</sup> | 1.0      | N.D                  | 0.0    |
| J                      | nea         | 1                                 | -3                    | 2        |                      | 8      |
| CHR0                   | Subterránea | 0.1                               | N.D                   | 0.5      | 1.1x10 <sup>-4</sup> | 0.0    |
| 3                      | nea         | 2                                 |                       |          | -4                   | 2      |
| SJA4                   | Superficial | 0.0                               | 2.26x10 <sup>-9</sup> | 0.3      | 1.2x10 <sup>-4</sup> | <L     |
| C                      | al          | 9                                 | -2                    | 6        | -4                   | D      |
| SJAA                   | Superficial | 0.0                               | 2.86x10 <sup>-6</sup> | 0.3      | 1.2x10 <sup>-4</sup> | <L     |
| M                      | al          | 6                                 | -2                    | 8        | -4                   | D      |
| RS-04                  | Superficial | 0.1                               | 3.76x10 <sup>-3</sup> | 0.4      | 2.9x10 <sup>-4</sup> | 0.0    |
|                        | al          |                                   | -3                    | 3        | -4                   | 4      |
| RS-05                  | Superficial | 0.0                               | 1.72x10 <sup>-9</sup> | 0.4      | N.D                  | 0.0    |
|                        | al          | 9                                 | -3                    | 8        |                      | 5      |
| CHR0                   | Superficial | 0.0                               | 7.95x10 <sup>-5</sup> | 0.6      | 1.7x10 <sup>-6</sup> | 0.1    |
| 2                      | al          | 5                                 | -3                    | 6        | -4                   | 6      |
| RS-06                  | Superficial | 0.1                               | 8.63x10 <sup>-8</sup> | 0.6      | 3.2x10 <sup>-4</sup> | 0.3    |
|                        | al          | 8                                 | -3                    | 5        | -4                   | 2      |

## Discusión

### Mercurio-total en agua

En el sitio que presentó la mayor concentración con  $2.6 \mu\text{g/L}$  y categorizándose como contaminación, corresponde al sitio RS-06 ubicado en San Juan Abajo (Figura 4), mismo sitio que donde se analizó una muestra de sedimento con concentraciones de  $421 \mu\text{g/kg}$  para época seca y  $110 \mu\text{g/kg}$  para época lluviosa. Pese a que este sitio no tiene una influencia directa de rastras, ni lagunas de descarga, es uno de los utilizados de forma intermitente para recuperación de oro, a través del uso de batea por los pobladores.

El oro amalgamado con mercurio, asimismo el mercurio sin amalgamar presente en este sitio es producto de la operación de más de 40 rastras y 28 lagunas de descarga ubicadas en San Juan Arriba, que generan vertidos no controlados en el Río San Juan y por efectos de arrastre por escorrentía superficial, están presentes en el sitio de muestreo.



Figura 4. Recuperación de oro de placer en sitio RS-06 (San Juan Abajo).

El otro sitio que presenta contaminación por presencia de Hg-total, es una laguna de descarga de una rastra (CHR02, misma que corresponde a la muestreada para sedimentos) con una concentración de  $1.3 \mu\text{g/L}$ , la cual descarga a un pozo malacate (CHRPm). Sin embargo, las concentraciones de mercurio total en agua

subterránea representaron una presencia baja de Hg-total, encontrándose en un rango de  $3.9 \times 10^{-3}$  a  $8.5 \times 10^{-2} \mu\text{g/L}$ .

Tomando en cuenta las bajas concentraciones detectadas de Hg-total, se debe de considerar el efecto de la temperatura en la solubilidad del mercurio, por ejemplo, la temperatura máxima en el agua para época lluviosa para el sitio CHR02 fue de  $30.09^\circ\text{C}$  y este es uno de los sitios donde se determinó contaminación. Si se relaciona estos resultados con el planteamiento de (Sanemasa, 1975) la solubilidad del vapor de mercurio elemental, por ejemplo, aumenta conforme incrementa la temperatura, en rangos de 20, 30 y  $40^\circ\text{C}$ , la solubilidad en  $\mu\text{g/L}$  es de 45.0, 81.3 y 137 respectivamente para dichas temperaturas. Es por ello por lo que se debe monitorear la temperatura, ya que, a altas temperaturas se generan altas tasas de solubilidad del mercurio en agua, y si se generan pH en condiciones ácidas, el mercurio se vuelve biodisponible en el medio y biomagnificable a través de cadenas tróficas.

Otra comparación apropiada, es con el estudio llevado a cabo por (Abdelaal Ahmed et al., 2022) en el Valle del Nilo-Egipto, donde los niveles detectados de Hg-total en lagunas de descarga de proceso de beneficiado de MAPE de oro, rondan entre los  $1,200\text{--}8,470 \text{ ng/L}$  ( $1.2\text{--}8.47 \mu\text{g/L}$ ). Al compararlo con el valor obtenido para la laguna de descarga CHR02 con una concentración de  $1.3 \mu\text{g/L}$ , presenta un valor aproximado al más bajo reportado para el Valle del Nilo.

### mercurio-total en sedimentos

Debido a la geología de la microcuenca en estudio no hay presencia de minerales de mercurio, por esto se descarta que las concentraciones detectadas sean producto de ello, y se atribuyen a emisiones antropogénica producto de las actividades

operativas de la MAPE de oro. Las concentraciones más altas de mercurio-total están presentes en sedimentos de lagunas de descargas de rastras (CHR02, CHR01 y CHR03), estas presentan valores entre 30,400 y 18,500  $\mu\text{g/kg}$  para época seca y se categorizan como sitios contaminados. Pese a que existe una disminución drástica de las concentraciones en época lluviosa donde se incluye un sitio adicional más (CHR031), se detectaron concentraciones para los cuatro sitios entre 11,000 y 6,300  $\mu\text{g/kg}$ , estos siguen categorizándose como sitios contaminados por Hg-total y son producto de la amalgamación de mineral en bruto.

Al contrastar las concentraciones de mercurio-total para sedimentos de río en época seca, las concentraciones más altas están presentes en sitios como SM-062, SM-063 y SM-064 con concentraciones de 9,950, 9,650 y 6610  $\mu\text{g/L}$  respectivamente y que se categorizan como contaminación, estos sitios experimentan influencia directa de vertidos de lagunas de descarga y rastras. A medida se sigue aguas abajo de estos sitios, y cesa la operación de rastras, se evidencia disminución en las concentraciones, por ejemplo, RS-06 con una concentración de 421  $\mu\text{g/kg}$ , siguiendo aguas abajo con RS-05 con 224  $\mu\text{g/kg}$  y RS-02 que se encuentra fuera de la cuenca con 52.1  $\mu\text{g/kg}$ . El sitio RS-02 sólo experimenta influencia de la descarga de una rastra a través de un drenaje subterráneo, ubicado a 1.55 km sin embargo se detectó la concentración más baja del muestreo.

Si se compara SM-062 que experimenta influencia directa por descarga de rastras con el sitio RS-02, se evidencia una concentración 191 veces menor para RS-02 para época seca. Concluyendo, que las concentraciones más altas en río corresponden a sitios que tienen una emisión directa de la fuente de

contaminación puntual (operación de rastras y vertidos no controlados de estas). Además, la concentración detectada para RS-02 que se categoriza como presencia baja de mercurio-total, y se relaciona con la operación de más de 40 rastras y 28 lagunas de descarga ubicadas en San Juan Arriba y de más de 4 rastras y 8 lagunas de descarga ubicadas en Los Chagüites, que, por efectos de arrastre por escorrentía superficial y subterránea, el mercurio amalgamado y sin amalgamar está presente en el sitio de muestreo.

Esto permite tener una visión amplia de la problemática ocasionada por las malas prácticas ambientales de la MAPE de oro en la etapa de beneficiado, en específico por la amalgamación del mineral en bruto, y la descarga de lagunas de descarga y rastras en cuerpos de agua. Además, se debe tomar en cuenta que las lagunas de descarga de rastras son de construcción artesanal y no cuentan con geomembranas textiles, tampoco plantas de remediación in situ, para recuperar el mercurio presente en lagunas de descarga.

En el presente estudio el valor más bajo detectado en cuerpos de agua donde se muestreo sedimento, para pH fue de 7.4 para época seca y 7.84 para época lluviosa. Es necesario que se puedan mantener estos valores neutros de pH, con el fin de evitar que se generen condiciones ácidas en el medio, y exista liberación de compuestos iónicos del mercurio o metilados, en el agua. También (L. Riba, et al., 2003) menciona que la acidificación de sedimentos produce altos porcentajes de iones libres para todos los metales y la reducción en pH; incrementa la toxicidad asociada a metales traza enlazados a sedimentos, por consiguiente, los valores del pH determinan la especiación química

del metal traza y la toxicidad, produciendo más especies bioacumulables a bajos pH.

#### Metales traza a excepción de mercurio

Hierro: debido a la geología de la zona de estudio, existe presencia de andesitas, las cuales contienen minerales como magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), estas al entrar en contacto con la interfaz agua-suelo, producen aportes de hierro al agua. En época seca se detectaron concentraciones más altas respecto a época lluviosa, debido a que existe una menor dilución del hierro en el agua, al existir una mayor dilución en época lluviosa; las concentraciones detectadas pueden experimentar una reducción, como se observa en los resultados

Manganeso: en el informe de hidroquímica de (IHCIT-UNAH, 2017) se menciona que normalmente se dan valores inferiores a 0.2 mg/L hasta 1 mg/L, sin embargo, en este estudio en época lluviosa se presentaron valores desde 0.25 mg/L hasta 3.46 mg/L. La presencia de manganeso se asocia a presencia de hierro en el agua, los depósitos de hierro y manganeso pueden acumularse en tuberías y tanques de presión, reduciendo la cantidad y presión del suministro de agua. Un problema que se presenta frecuentemente cuando hay concentraciones elevadas de estos elementos, es la presencia de bacterias de hierro o manganeso, siendo un indicador de ello el mal olor del agua, similar a huevo podrido. Estas bacterias pueden aparecer en el suelo, acuíferos poco profundos y algunas aguas superficiales (Dvorak & Schuerman, 2021).

La presencia de estas bacterias no son una cuestión de preocupación, pero pueden formar una capa similar al limo de color rojo-café (presencia de hierro) o negra-café (presencia de manganeso), pudiendo llegar a obstruir los sistemas sanitarios.

Considerando esto, existen opciones de tratamiento para remover el exceso de hierro y manganeso disuelto en agua, para ello pueden utilizarse filtros de oxidación, estos oxidan y filtran los dos elementos, y el tratamiento se aplica comúnmente para concentraciones hasta 1 mg/L (Dvorak & Schuerman, 2021).

#### Conclusiones

Este estudio evidenció la contaminación por mercurio-total proveniente de las actividades operativas de la MAPE de oro en cuerpos de agua superficial, sin embargo sólo excede el máximo admisible ( $1\mu\text{g/L}$ ) en dos sitios: uno en el Río San Juan producto de las descargas de más de 40 rastras ubicadas en San Juan Arriba y que por efectos de escorrentía superficial arrastran mercurio sin amalgamar y oro amalgamado con mercurio hasta el sitio de muestreo, y el otro sitio corresponde a una laguna de descarga, donde se registró la mayor temperatura de los sitios analizados ( $30.09^\circ\text{C}$ ), mientras que los demás sitios de agua superficial y subterránea se categorizaron como una presencia baja de Hg-total y se atribuye a la baja solubilidad del mercurio y su relación con las temperaturas en el cuerpo de agua. Para los sedimentos se determinó que los mayores rangos de contaminación están presentes en lagunas de descarga de rastras, seguido por ríos que tienen descargas directas de rastras y por último presencia media o baja para ríos que no presentan una descarga directa de rastras, atribuyendo estos resultados a las actividades operativas de la MAPE de oro, y descartando que sea debido a la geología de la zona, ya que no hay presencia de minerales de mercurio.

Considerando el potencial de bioacumulación y biomagnificación en cadenas tróficas del mercurio, y la presencia de Hg-total en sedimentos de ríos,

lagunas de descarga de rastras, agua superficial y subterránea, asimismo concentraciones de Fe, Mn que exceden los máximos admisibles y son considerados como contaminantes; el agua no es apta para uso, consumo humano y animal, ni está presente en niveles seguros para la protección de la vida acuática. Por ello es necesario un proceso de saneamiento del agua y la optimización del sector minero, con el fin que el recurso hídrico esté presente en niveles seguros para la calidad ecosistémica, vida humana y animal.

## Agradecimientos

Para las giras de reconocimiento del área, censos de fuentes de agua y lagunas de descarga de rastra, análisis de Hg-total en sedimentos, aguas subterráneas y superficiales, fueron financiados por fondos del Ministerio de Alimentación, Agricultura y Pesca de Dinamarca, a través del Programa Danés de Desarrollo y Demostración de Tecnologías Ambientales (MUDP), a través de un proyecto implementado por El Platek en Honduras.

Se gestionó a través del Proyecto planetGOLD Honduras de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) los insumos para los análisis de iones mayoritarios y los análisis de metales traza fueron llevados a cabo en el Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico (CEIRH) del Instituto de Ciencias de la Tierra (IHCIT) en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Los análisis de metales trazan (Fe, Mn, Cu, Pb, Cd) fueron financiados por el CEIRH-UNAH.

## Referencias

- Abdelaal Ahmed et al. (2022). Emerging mercury and methylmercury contamination from new artisanal and small-scale gold mining along the Nile Valley, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*, 52514–52534.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (1997). Canadian Council of Ministers of the Environment. Obtenido de <https://ccme.ca/en/summary-table>.
- Dvorak, B., & Schuerman, B. (2021). Drinking Water: Iron and Manganese. *NebGuide*, 1-6.
- IHCIT-UNAH. (2017). “Levantamiento y Evaluación del catastro del recurso hídrico en tres microcuencas del Río Sampile”. Tegucigalpa.
- Republica de Honduras Ministerio de la Salud. (1995). Norma Técnica para la Calidad del agua Potable. Recuperado el septiembre de 2013, de <https://encr.pw/PVR10>.
- Sanemasa, I. (1975). The Solubility of Elemental Mercury Vapor in Water. *Bulletin of The Chemical Society of Japan*, 1795-1798.
- Secretaría de Salud. (1996). Normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario. Tegucigalpa, M.D.C.

Calidad del agua y contaminación por mercurio en la microcuenca río calderas: aportes de la mapeo de oro, en el corpus, Choluteca-Honduras.

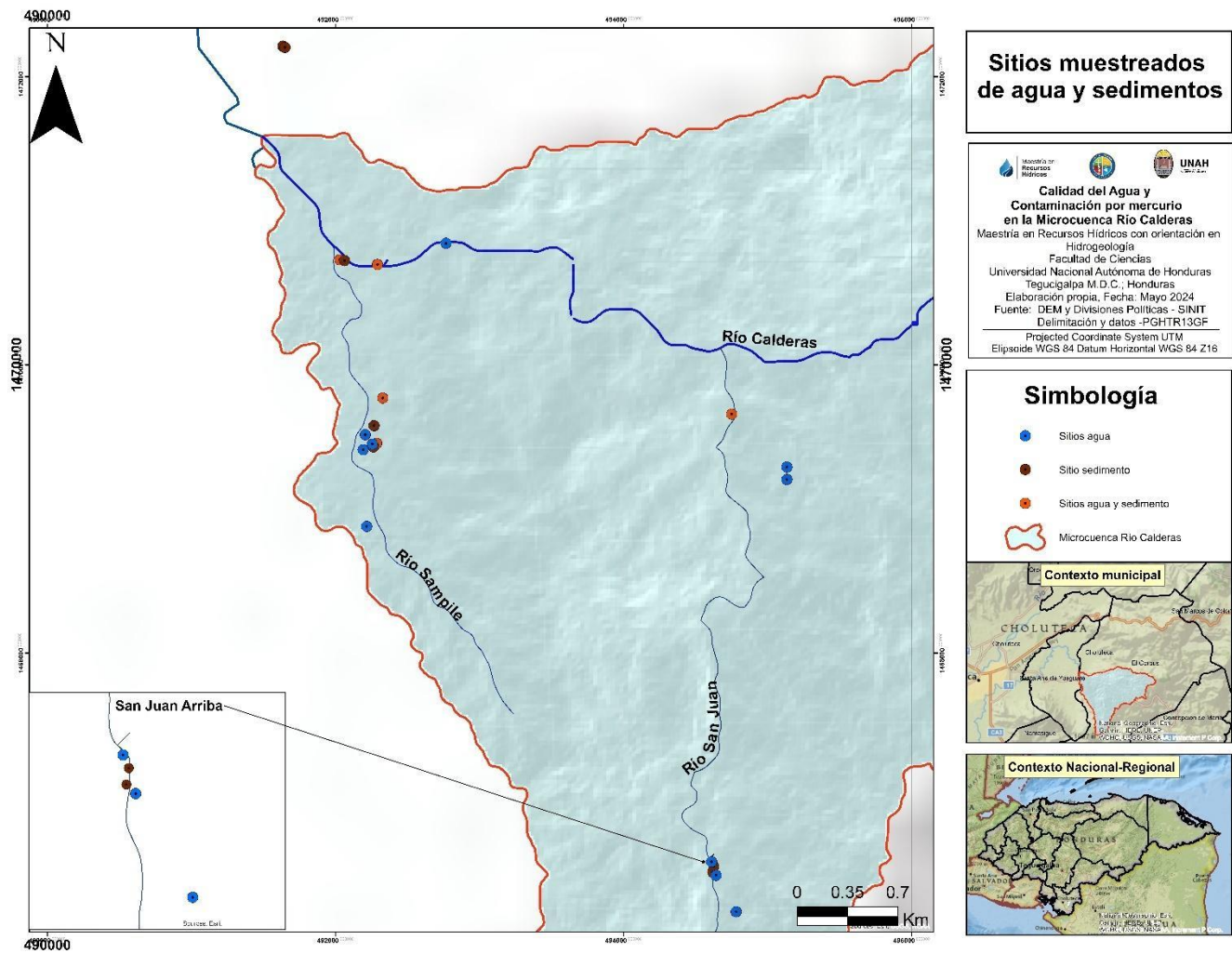


Figura 6: sitios muestreados de agua y sedimento en microcuenca Río Calderas.