UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS

DIRECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESCUELA DE FÍSICA

MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN HIDROGEOLOGÍA

TESIS

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

PRESENTA: RODRIGO ALEJANDRO PALACIOS ORDENES

PREVIA OPCIÓN AL GRADO DE MÁSTER EN:

RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN HIDROGEOLOGÍA

ASESORES: DOCTORA. NELLY MONTCOUDIOL

DOCTORA. TANIA PEÑA

MÁSTER. PABLO RODRÍGUEZ

TEGUCIGALPA, M.D.C. HONDURAS, C.A.

29 DE ENERO, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS

DIRECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESCUELA DE FÍSICA

MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN HIDROGEOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, TEGUCIGALPA, HONDURAS.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS:

DOCTOR. ODIR AARÓN FERNÁNDEZ FLORES

RECTOR

ABOG. JOSE ALEXANDER ÁVILA VALLECILLO

SECRETARIO GENERAL

DOCTOR. ARMANDO EUCEDA

DIRECTOR DE POSTGRADOS

DOCTORA. TANIA PEÑA

COORDINADORA DE LA MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN HIDROGEOLOGÍA

29 DE ENERO, 2024

Agradecimientos

Desde que inicié este proceso formativo no sabía el camino de aprendizaje, retos y barreras que me esperaban, por ello agradezco a mis asesores, Dra. Nelly Montcoudiol, Dra. Tania Peña y MSc. Pablo Rodríguez, quienes me brindaron sus consejos, revisiones y sobre todo paciencia, además de haber impulsado mi espíritu de investigador.

A mi mamá Soledad Ordenes de Palacios y mi hermana Cristina Palacios, por su apoyo incondicional en todo momento, esta investigación está dedicada a ustedes; les doy las gracias por estar para mí en todo momento y haber fomentado el deseo de seguir creciendo académica y profesionalmente.

A los Pequeños Mineros y Mineros Artesanales del municipio de El Corpus-Choluteca, quienes me han permitido ser partícipe de los procesos operativos de la MAPE de oro y me han hecho sentir un poblador más del municipio. Mi mayor admiración a ustedes por su trabajo, dedicación y valentía al ejercer esta noble labor en la Mina Cuculmeca y alrededores.

A los pobladores y miembros de la Alcaldía Municipal de El Corpus, por su apoyo en las giras de campo y campañas de muestreo.

A El Platek, CEIRH, COP's 4 y planetGOLD, por el financiamiento para análisis de laboratorio, giras de campo y gestiones, que hicieron posible llevar a cabo la investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, a través de la Dirección del Sistema de Estudios de Posgrado, por la beca otorgada en el marco del Programa para la mejora de la eficiencia terminal de los estudios de posgrado, que me permitió realizar una pasantía de investigación en el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) ubicado en Hannover, Alemania. También agradezco a la Dra. Nelly Montcoudiol por haberme recibido en el Instituto, y más que asesorarme; hacerme ver un mundo de posibilidades en la investigación científica.

A mis amigos de la maestría, amistades, docentes de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras y la Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán, quienes me impulsaron a sacar mi mayor potencial y destacar en todo momento, en el aspecto educativo, profesional y personal.

Tabla de contenido

Lista de ecuaciones VI

Lista de figuras VII

Lista de mapas IX

Lista de tablas IX

Abreviaturas 1

Acrónimos 2

Glosario 4

Resumen 6

Abstract 7

Introducción 8

1. Capítulo I: Delimitación del problema 10

1.1 Descripción de la problemática 10

1.2 Justificación de la investigación 11

1.3 Límites de la investigación 12

A. Espacial 12

B. Temporal 12

C. Recursos 13

1.4 Definición del problema: 13

2. Capítulo II: Objetivos 15

2.1 Objetivo general 15

2.2 Objetivos específicos 15

3. Capítulo III: Marco de referencia 16

3.1 Marco Institucional 16

3.2 Marco legislativo 17

3.3 Marco teórico 20

A. Recursos hídricos 20

B. Hidroquímica 20

C. Mercurio 27
4. Capítulo IV: Descripción del medio 34
4.1 Situación geográfica y demográfica 34
4.2 Morfología 35
4.3 Geología local 36
4.4 Hidrogeología 40
4.5 Tipo de suelos 41
A. Chinampa 41
B. Coray 41
C. Suelos de los Valles 42
4.6 Uso de suelo 43
4.7 Hidrografía 45
4.8 Climatología 45
A. Caracterización de la temperatura 46
B. Caracterización de la precipitación 48
5. Capítulo V: Metodología 51
5.1 Tipo de investigación 51
5.2 Diseño de la investigación 51
A. Metodología para selección de sitios de muestreo de matrices de agua y sedimento 51
B. Metodología para selección de análisis fisicoquímicos por matriz 54
C. Metodología para muestreo en matriz ambiental de agua 55
D. Metodología para muestreo en matriz ambiental de sedimento 60
E. Métodos analíticos 64
F. Corrección de códigos utilizados en reportes de laboratorio 66
6. Capítulo VI: Análisis e interpretación de los datos 67
6.1 Resultados de censo de fuentes de agua subterránea en zona de estudio 67
6.2 Resultados de censo de rastras y lagunas de descarga en zona de estudio 69
6.3 Resultados en matriz ambiental de agua 71

A. Resultados de medición de parámetros fisicoquímicos para agua superficial y subterránea previo a la toma de muestra 71

B. Control de calidad de los análisis y mediciones de parámetros fisicoquímicos in situ de agua subterránea y superficial 73

I. Suma de cationes y aniones en meq/L y cálculo de balance iónico (B.I) 73

II. Cálculo de Sólidos Disueltos Totales 74

III. Cálculo de conductividad eléctrica 74

IV. Relación de conductividad eléctrica medida/100 = ∑aniones =∑cationes 76

V. Resultados del control de calidad de parámetros fisicoquímicos 77

C. Caracterización hidroquímica 78

D. Resultados de metales traza en agua subterránea y superficial 81

I. Resultados de hierro, plomo, manganeso y cadmio en época seca 81

II. Resultados de hierro, plomo, manganeso, cadmio y cobre en época lluviosa 82

III. Resultados de mercurio-total en agua en época lluviosa 82

6.4 Microbiología del agua (CTE y CTE) 85

6.5 Resultados en matriz ambiental de sedimento 87

A. Resultados de medición de parámetros fisicoquímicos, previo a la toma de muestras en ríos y lagunas de descarga que contenían sedimentos muestreados. 87

B. Resultados de mercurio-total en sedimentos 89

7. Capítulo VII: Discusión de resultados 95

7.1 Censos 95

A. Censo de fuentes de agua subterráneas 95

B. Censo de rastras y lagunas de descarga 95

7.2 Matriz ambiental: agua 96

A. Hidroquímica 96

B. Metales traza 97

C. mercurio-total en agua 98

D. Microbiología (CTO y CTE) 100

7.3 Matriz ambiental: sedimento 100
A. mercurio-total en sedimentos 100
8. Capítulo VIII: Conclusiones 103
9. Capítulo XIV: Recomendaciones 104
9.1 Formalización y fiscalización de la actividad minera 104
9.2 Concientización sobre efectos del mercurio y educación ambiental formal e informal 105
9.3 Asesoramiento Estatal en actividades agrícolas y ganaderas 105
9.4 Saneamiento de las fuentes de agua que serán utilizadas para consumo humano 105
9.5 Estudios futuros 105
10. BIBLIOGRAFÍA 106
11. Contribución científica 116
11.1 Congresos 116
A. Nombre del Congreso: VI Encuentro Bienal de Investigación y Posgrado Centroamérica y el Caribe, Nicaragua 2023. 116
B. Nombre del congreso: Congreso científico de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) 116
11.2 Trabajos de investigación 116
A. Título de la investigación: Calidad del Agua y Contaminación por Mercurio en la Microcuenca Río Calderas: Aportes de la MAPE de oro, en El Corpus-Choluteca. 116
12. ANEXOS 117
12.1 Ficha para censo de fuentes de agua subterránea 117
12.2 Etiquetas para envío de muestras de sedimento a laboratorio Eurofins 118
12.3 Datos hidroquímicos, cálculo de concentraciones de carbonato y bicarbonato y resultados de control de calidad de datos hidroquímicos. 119
12.4 Resultados de análisis de laboratorio de iones mayoritarios, nutrientes y metales traza en época seca. Llevados a cabo en CEIRH, Honduras. 123
12.5 Resultados de análisis de laboratorio de iones mayoritarios, nutrientes y metales traza en época lluviosa. Llevados a cabo en CEIRH, Honduras. 140

12.6 Resultados de análisis de laboratorio de cloruro en época seca. Llevados a cabo en Laboratorio de Análisis Clínico MQ, Honduras. 155

12.7 Resultados de análisis de laboratorio de cloruro en época lluviosa. Llevados a cabo en Laboratorio de Análisis Clínico MQ, Honduras. 171

12.8 Resultados de análisis de laboratorio de Hg-total en sedimentos en época seca. Llevados a cabo en Eurofins, Estados Unidos. 185

12.9 Resultados de análisis de laboratorio de Hg-total en sedimentos en época lluviosa. Llevados a cabo en Eurofins, Estados Unidos. 206

12.10 Resultados de análisis de laboratorio de Hg-total en agua, en época lluviosa. Llevados a cabo en Eurofins, Estados Unidos. 249

12.11 Resultados de análisis de laboratorio de microbiología en agua en época lluviosa. Llevados a cabo en Laboratorio de Investigación Teasdale Corti, Honduras. 284

Lista de ecuaciones

$B, I, \% = (Sum\ cationes + sum\ aniones)(sum\ cationes - sum\ aniones) \times 100$ Ecuación 1: Fórmula para cálculo de balance iónico (Appelo & Postma, 2005) 21

$\mathrm{H2CO3} \leftrightarrow \mathrm{H} + +\mathrm{HCO3} -$ $\mathrm{K1} = \mathrm{H} + [\mathrm{HCO3}-][\mathrm{H2CO3}] = 10 - 6.3$ Ecuación 2: Equilibrio en un sistema de ácido carbónico, con constante de equilibrio K1 aproximada a 25°C (Appelo & Postma, 2005). 74

$\mathrm{HCO3}- \leftrightarrow \mathrm{H} + + \mathrm{CO32} -$ $\mathrm{K2} = \mathrm{H} + [\mathrm{CO32}-][\mathrm{HCO3}-] = 10 - 10.3$ Ecuación 3: Equilibrio en un sistema de ácido carbónico, con constante de equilibrio K2 aproximada a 25°C (Appelo & Postma, 2005). 74

$[\mathrm{Alk}] = \mathrm{HCO3} - +2 \times [\mathrm{CO32}-]$ Ecuación 4: Concentración de Alcalinidad, reescrita de (Appelo & Postma, 2005) 75

$\mathrm{K2} = [\mathrm{H}+] \times [\mathrm{CO32}-][\mathrm{HCO3}-]$ Ecuación 5: Constante de equilibrio K2, reescrita de (Appelo & Postma, 2005). 75

$[\mathrm{HCO3}-] = [\mathrm{Alk}]1 + 2\mathrm{K}210 - \mathrm{pH}$ Ecuación 6: Concentración de Bicarbonato, reescrita de (Appelo & Postma, 2005). 75

$\mathrm{CO32}- = [\mathrm{Alk}]10 - \mathrm{pHK2} + 2$ Ecuación 7: Concentración de Carbonato, reescrita de (Appelo & Postma, 2005). 75

Lista de figuras

Figura 1: especiación relativa (%) de dióxido de carbono ($CO2$), bicarbonato ($HCO3-$) y carbonato ($CO32-$) en el agua, en función del pH. Ejemplo dado a una temperatura de 20°C y una conductividad eléctrica de 250 µS/cm (Perdersen, O, et al., 2013).....22
Figura 2: métodos utilizados en las operaciones de la MAPE, para la extracción de oro con mercurio (Veiga & Hylander, 2017). 28
Figura 3: modelo conceptual de los seis estados del flujo del Hg desde concentraciones bajas, asociadas con eventos de lluvia (Briggs & Gustin, 2013, citado por O'Connor et al., 2019). 30
Figura 4: modelo conceptual para el ciclo de mercurio en la cuenca (Valdelamar Villegas & Olivero Verbel, 2020).....31
Figura 5: gráfico de temperaturas media, máxima y mínima de la Cuenca del Rio Sampile (IHCIT-UNAH, 2017).....47
Figura 6: precipitaciones media, máxima y mínima de la Cuenca del Río Sampile (IHCIT-UNAH, 2017).....49
Figura 7: proceso llevado a cabo para selección de sitios de muestreo para matrices ambientales de agua y sedimento en zona de estudio. 54
Figura 8: materiales y equipo utilizado para muestreo y análisis in-situ.....57
Figura 9: toma de sedimentos en sustratos blandos y de granos finos, compuestos por limos y arcillas (CHR01 y CHR02).....63
Figura 10: trabajo de campo durante el censo de pozos. 68
Figura 11: etapa de beneficiado en rastras. 70
Figura 12: temperaturas medidas en cuerpos de agua previo a la toma de muestras, en las épocas seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de origen de agua superficial, comprendidas entre ríos y lagunas de descarga de rastras. En letra normal son las muestras de agua subterránea.....72
Figura 13: valores de pH en cuerpos de agua previo a la toma de muestras, en las épocas seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de origen de agua superficial, comprendidas entre ríos y lagunas de descarga de rastras. En letra normal son las muestras de agua subterránea.....72
Figura 14: conductividad eléctrica medida en cuerpos de agua previo a la toma de muestras, en las épocas seca y lluviosa del 2022. 73
Figura 15: sólidos Disueltos Totales calculados (TDS) vs conductividad eléctrica (EC). Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de agua subterránea, comprendidas entre pozos perforados, malacate y manantiales. En letra normal las muestras de agua superficial, comprendidas entre ríos y lagunas de descarga de rastras.....74

Figura 16: C.E calculada versus C.E medida. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de agua subterránea, comprendidas entre pozos perforados, malacate y manantiales. En letra normal las muestras de agua superficial, comprendidas entre ríos y lagunas de descarga de rastras.....76
Figura 17: comparación entre la conductividad eléctrica medida/100, la suma de los aniones y la suma de los cationes. Se presenta de izquierda a derecha, los sitios muestreados de época seca (SJAM1 a RS-06) a época lluviosa, donde (SJAM1 a CHPPW) pertenecen a agua subterránea y (SJA4C a RS-06) a agua superficial.....77
Figura 18: diagrama de Stiff para época seca. En verde: muestras de agua subterránea; en naranja: agua superficial. Donde n=10.....79
Figura 19: diagrama de Stiff para época lluviosa. En verde: muestras de agua subterránea; en naranja: agua superficial. Donde n=6.....80
Figura 20: colas con mercurio expuestas a cielo abierto para secado (CHR02).....84
Figura 21: temperaturas medidas en cuerpos de agua que contenían sedimentos, previo a la toma de muestra en época seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de lagunas de descarga. En letra normal las muestras de río.....88
Figura 22: pH medidos en cuerpos de agua que contenían sedimentos, previo a la toma de muestra en época seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de lagunas de descarga. En letra normal las muestras de río.....88
Figura 23: conductividades eléctricas medidas en cuerpos de agua que contenían sedimentos, previo a la toma de muestra en época seca y lluviosa del 2022 en épocas seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de origen de lagunas de descarga. En letra normal las muestras de río. 89
Figura 24: laguna de descarga en Los Chagüites (CHR01).....91
Figura 25: laguna de descarga en Los Chagüites (CHR02).....91
Figura 26: lagunas de descarga CHR03 y CHR031. 91
Figura 27: presa para retención de sedimentos en San Juan Arriba (SM-062).....92
Figura 28: recuperación de oro por pobladores de El Corpus, en San Juan Abajo (RS-06).....93
Figura 29: Batea utilizada para recuperación de oro amalgamado en ríos. 93
Figura 30: descarga de rastra al aire libre en vivienda de Los Chagüites.....94
Figura 31: flujo de la descarga hacia el Río Calderas, a través de desagüe subterráneo hacia el Río Calderas. 94
Figura 32: descarga de rastra por desagüe subterráneo (indicado en recuadro rojo).....94
Figura 33: ficha para censo de pozos en zona de estudio.....117
Figura 34: etiquetas para envío de muestras de sedimento a Eurofins, Tacoma-Washington...118

Lista de mapas

Mapa 1: ubicación geográfica del área de estudio. 35
Mapa 2: zonas altimétricas en área de estudio. 36
Mapa 3: litología y fallas, en el área de estudio, adaptado de (IHCIT-UNAH, 2017). 39
Mapa 4: unidades hidrogeológicas y fallas, en área de estudio, adaptado de (IHCIT-UNAH, 2017). 40
Mapa 5: suelos de Simmons en área de estudio, adaptado de (FAO, 1969). 42
Mapa 6: cobertura de suelos en área de estudio, adaptado de (Instituto Nacional de Conservación Forestal, 2019). 44
Mapa 7: red hidrográfica en área de estudio, (IHCIT-UNAH, 2017). 45
Mapa 8: temperatura media anual en la Cuenca Rio Sampile (IHCIT-UNAH, 2017). 46
Mapa 9: precipitación anual en la Cuenca Sampile (IHCIT-UNAH, 2017). 49
Mapa 10: sitios muestreados de agua subterránea y superficial. 56
Mapa 11: sitios muestreados de sedimento. 61
Mapa 12: fuentes de agua subterránea censadas en área de estudio. 67
Mapa 13: censo de lagunas de descarga de rastra en área de estudio. 69
Mapa 14: censo de rastras en área de estudio. 70

Lista de tablas

Tabla 1: marco institucional ambiental de Honduras en relación con minería y uso de mercurio, y calidad del agua. 16
Tabla 2: marco legislativo del recurso hídrico, minero y su relación con el mercurio. 17
Tabla 3: conductividad molar de los iones en el agua a 25°C (Landolt & Bornstein, 1960, citado por Appelo & Postma, 2005) 22
Tabla 4: iones de interés y concentraciones en cuerpos de agua, (UNESCO-WHO-UNEP, 1996). 24
Tabla 5: valores recomendados y máximos para coliformes totales y fecales (Ministerio de Salud, 1995). 27
Tabla 6: propiedades de compuestos específicos del mercurio (Armstrong, 1990, citado por O'Connor et al., 2019). 29
Tabla 7: valores máximos admisibles de mercurio en agua y sedimento para asegurar la protección de vida acuática y el consumo humano. 33
Tabla 8: unidades hidrogeológicas en área de estudio. 40
Tabla 9: usos de suelo en área de estudio (Instituto Nacional de Conservación Forestal, 2019). 43
Tabla 10: estaciones utilizadas para la caracterización climática, (IHCIT-UNAH, 2017). 46

Tabla 11: sitios muestreados y coordenadas geográficas para muestras de agua subterránea y superficial. Donde n=15 para época seca y n=14 para época lluviosa.....55
Tabla 12: uso y tipos de pozos muestreados.....56
Tabla 13: recipientes, volumen y preservación utilizados para el muestreo de agua.....58
Tabla 14: sitios muestreados y coordenadas geográficas para análisis microbiológico (CTO y CTE). Donde n=15. 59
Tabla 15: sitios muestreados y coordenadas geográficas para muestras de sedimento. Donde n=12 para época seca y n=11 para época lluviosa.....60
Tabla 16: equipo utilizado según el tipo de sustrato presente en el área de estudio.....62
Tabla 17: analitos de interés, nombre de laboratorios y ubicación geográfica. 64
Tabla 18: métodos analíticos utilizados por laboratorio. Donde: LD= Límite de detección, LC= Límite de cuantificación.....65
Tabla 19: corrección de códigos por matriz. 66
Tabla 20: información recopilada mediante censo pozos en zona de estudio. Las coordenadas están en el sistema el sistema proyectado WGS 1984 UTM zona 16N. 68
Tabla 21: resultados del censo de rastras y lagunas de descarga en zona de estudio.....69
Tabla 22: resultados de medición de parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua subterránea y superficial, para época seca y lluviosa. 71
Tabla 23: Muestras que cumplen con criterio de ≤ 22.94% en B.I. 78
Tabla 24: sitios utilizados para Diagrama de Stiff de época lluviosa. Donde n=6.....79
Tabla 25: concentraciones de metales traza en época seca. Donde: ND= no determinado y <LD = inferior al límite de detección y n=15. Los límites de detección y/o cuantificación están descritos en Tabla 18.....81
Tabla 26: concentraciones de metales traza en época lluviosa. Donde: ND= no determinado, y n=14. Los límites de detección y/o cuantificación están descritos en Tabla 18.....82
Tabla 27 : categorización en función del valor máximo admisible de Hg-total en agua.....83
Tabla 28: concentraciones de Hg-total en agua superficial y subterránea. Donde n=14.....83
Tabla 29: resultados de coliformes totales (CTO) y termotolerantes (CTE) en agua subterránea y superficial. Donde n=15.....85
Tabla 30: resultados de parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua que contenían sedimentos muestreados, para época seca y lluviosa.....87
Tabla 31: categorización en función del valor máximo admisible de Hg-total en sedimentos. 90
Tabla 32: concentraciones de mercurio total en sedimentos. 90
Tabla 33: datos hidroquímicos proveídos por CEIRH. 119
Tabla 34: cálculo de concentraciones de carbonato y bicarbonato a partir de alcalinidad-total .120

Tabla 35: resultados obtenidos en control de calidad de datos hidroquímicos 122

Abreviaturas

°C	grados Celsius
Ca	calcio
$CaCO_3$	carbonato de calcio
Cd	cadmio
C.E	conductividad eléctrica en µs/cm
Cl^-	ion cloruro
CTE	coliformes termotolerantes
CTO	coliformes totales
Cu	cobre
eq/L	Equivalentes por litro
Fe	hierro
Gg	gigagramo
°	grados
g/L	gramos por litro
Hg	mercurio
Hg-total	mercurio-total
HNO_3	ácido nítrico
K	potasio
L	Litro
LC	Límite de cuantificación
LD	Límite de detección
meq/L	miliequivalentes por litro
Mg	magnesio
mg/cm3	miligramo por centímetro cúbico
mg/kg	miligramo por kilogramo
mg/L	miligramo por litro
Mn	manganeso
n	Número de sitios muestreados
Na	sodio
NH_4^+	ion amonio
NO_2^-	ion nitrito
NO_3^-	ion nitrato
Pa	pascales
Pb	plomo
pH	Potencial de hidrógeno
PM	Población Minera
PNM	Población No Minera
PO_4^{3-}	ion fosfato
PVC	cloruro de polivinilo
$S.cm^2/mol$	Siemens por centímetro cuadrado por mol
SO_4^{2-}	ion sulfato
UFC	Unidades formadoras de colonias
µg/kg	microgramo por kilogramo
µS/cm	microsiemens por centímetro

Acrónimos

CEIRH	Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico
CESCCO	Centro de Estudios y Control de Contaminantes
DAM	Drenaje Ácido de Minas
DICTA	Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria
ERSAPS	Ente Regulador de Servicios de Agua Potable y Saneamiento
GEF	Global Environment Facility, por sus siglas en inglés (Fondo para el Medio Ambiente Mundial)
GIRH	Gestión Integrada del Recurso Hídrico
IHCIT	Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
INHGEOMIN	Instituto Hondureño de Geología y Minas
ISQG	Canadian interim sediment quality guidelines, por sus siglas en inglés (Directrices canadienses temporales, sobre la calidad de los sedimentos).
MAPE	Minería Artesanal y en Pequeña Escala
MPA	Mejores prácticas ambientales
MTD	Mejores técnicas disponibles
MUDP	Miljøteknologisk Udviklings-og Demonstrationsprogram, por sus siglas en danés (Programa Danés de Desarrollo y Demostración de Tecnologías Ambientales)
PEL	Probable effect levels, por sus siglas en inglés (niveles de efectos probables).
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente
SAG	Secretaría de Agricultura y Ganadería
SERNA	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente
TDS	Total Dissolved Solids, por sus siglas en inglés (Sólidos disueltos totales)
UMA	Unidad Municipal Ambiental
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
UTM	Universal Transverse Mercator, por sus siglas en inglés (Universal Transversal de Mercator)
USDA	United States Department of Agriculture, por sus siglas en inglés (Departamento de Agricultura de Estados Unidos)

USEPA/EPA	United States Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América)

Glosario

- Acarreo: transporte de la broza extraída en la mina, hasta el sitio donde se llevará a cabo la etapa de beneficiado.
- Amalgama: aleación o mezcla homogénea de dos o más metales. Cuando las partículas de mercurio entran en contacto con el mineral, se forma una masa plástica de la cual se puede separar el oro por medio de una destilación o el quemado directo (Ministerio de Energía y Minas, s.f.).
- Azogue: sinónimo del mercurio utilizado en comunidades de Minería Artesanal y en Pequeña Escala de oro.
- Azolvado: cuerpo de agua que se encuentra obstruido por sedimentos.
- Batea: recipiente de madera o metálico en forma cónica, que se utiliza para lavar arena, o muestras de roca molida, a fin de separar el oro (o materiales de densidades extremas) y otros metales preciosos (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- Beneficiado: etapa en la cadena de valor del oro que comprende los procesos físicos, químicos y/o fisicoquímicos, que se emplean para extraer o concentrar las partes valiosas de un agregado de minerales y/o para purificar, fundir o refinar metales (Presidencia de la República, 2013).
- Colas: materiales resultantes de procesos de lixiviación o concentración de minerales, los cuales pueden ser nuevamente tratados o desechadas (Ministerio de Minas y Energía, 2003). Estas también pueden ser conocidas como relaves mineros, colas de arenilla o arenillas.
- Concentrados de oro: estos son utilizados durante el proceso de amalgamación, donde solo una pequeña parte del material tratado (''concentrado''), el cual se ha producido gravimétricamente, se pone en contacto con el mercurio en un ambiente parcial o totalmente cerrado (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- Doré: mezcla impura y sin refinar de oro metálico y plata. Este se produce mediante la fundición de concentrados de oro y plata, arenas o precipitados (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- Extracción: proceso de extracción de rocas, minerales o ambos, para disponer con ellos fines industriales, comerciales o utilitarios (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- Geomembrana: láminas geosintéticas que se utilizan para la contención de líquidos en procesos mineros, medioambientales y agrícolas. Se caracterizan por su resistencia mecánica, permeabilidad y durabilidad en el medioambiente (MINAE, et al).
- Molienda: esta etapa se considera como la más importante en la cadena de valor del oro, ya que ahí es cuando se libera el mineral y se hace accesible para las demás etapas de la cadena de valor del oro (MINAE, et al). En este proceso se utiliza el mercurio, para formar una amalgama con el oro, la cual posteriormente será quemada utilizando un gas, para obtener una pieza final de oro, libre de mercurio.
- Oro de placer o depósito de placer: depósito mineral detrítico formado por la acción de agua, corrientes y el viento. También se conoce como una masa de grava, arena u otro material similar que contiene minerales valiosos: oro, plata, platino, entre otros (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- Paneo: método utilizado en minería artesanal de oro, a través del uso de una batea para recuperar oro amalgamado presente en cuerpos de agua superficial; naturales o artificiales.

- Quema expuesta: esta se produce cuando los mineros aplican calor directamente a la amalgama al aire libre, generando emisiones de mercurio a la atmósfera (ONU medio ambiente-Global Mercury Partnership-Minamata Convention ON Mercury, 2017).
- Rastra: estructura artesanal utilizado para molienda de mineral, donde se realiza la captura de oro empleando mercurio (MINAE, et al).
- Retorta: es un dispositivo utilizado para la captura de mercurio, durante la quema de la amalgama. Normalmente estos sistemas capturan entre el 75% y el 95% del mercurio presente en la amalgama y reducen la exposición a vapores de mercurio, cuando se utilizan correctamente (PNUMA, 2012 citado por ONU Medio Ambiente-Global Mercury Partnership-MINAMATA CONVENTION ON MERCURY, 2017).

Resumen

El Corpus es un municipio del departamento de Choluteca, Honduras. Históricamente se conoce como uno de los primeros municipios mineros en beneficiar oro con mercurio, actualmente se lleva a cabo en estructuras artesanales llamadas rastras, donde se utiliza Hg y genera relaves contaminados con él. Asimismo, vertidos en cuerpos de agua superficial, subterránea y suelo.

Esta investigación se llevó a cabo en la microcuenca Río Calderas, tomando como muestra cinco aldeas, durante época seca y lluviosa del año 2022. La metodología de la investigación es del tipo mixta-descriptiva, ya que pretende demostrar la relación entre la etapa de beneficiado de oro y la presencia de Hg-total en las matrices de agua y sedimento. Además, caracterizar la calidad de fuentes de agua subterránea y superficial, utilizando parámetros fisicoquímicos priorizados, para evaluar su idoneidad para uso, consumo humano y animal y protección de ecosistemas.

En agua, se analizaron 15 muestras en época seca y 14 para lluviosa. El Hg-total se analizó durante época lluviosa y las concentraciones detectadas evidencian contaminación en dos fuentes superficiales, con concentraciones de 2.6 y 1.3 µg/L respectivamente, en contraste al valor máximo admisible (1 µg/L) (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995). Para los ocho sitios restantes de agua subterránea y cuatro de agua superficial no se excedió el máximo admisible y se categorizan como presencia baja de Hg-total.

Al contrastar las concentraciones de metales traza con (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995) se evidenció en época seca, que el Fe excede el máximo admisible (0.3 mg/L) para todos los sitios detectados (11) y para Pb se excede el máximo admisible (0.01 mg/L) en 1 sitio. En lluviosa, el Fe lo excede en 4 sitios y el Mn excede el máximo admisible (0.5 mg/L) para 4 sitios.

Las concentraciones detectadas de iones mayoritarios evidenciaron contaminación por NO_3^- producto de agricultura y ganadería para 2 sitios en época seca y 2 para lluviosa. Tomando como valor máximo admisible 0.81 meq/L (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995). Respecto a CTO y CTE en agua, excedieron los valores máximos admisibles (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995) para los 15 sitios en estudio.

La hidroquímica resultante en época seca, presenta una dominancia por el tipo de agua Cálcica-Bicarbonatada ($Ca\text{-}HCO_3$) en un 90% de las muestras, a excepción de un sitio con Cálcica-Magnésica-Bicarbonatada ($Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$). Respecto a lluviosa con 3 tipos de agua: Sódica-Bicarbonatada ($Na\text{-}HCO_3$), Cálcica-Nitratada ($Ca\text{-}NO_3$), y Cálcica-Bicarbonatada ($Ca\text{-}HCO_3$).

En sedimentos se analizaron 12 muestras en época seca y 11 en lluviosa. Se evidenció una relación directa entre el beneficiado y el Hg-total detectado, ya que las mayores concentraciones detectadas fueron para lagunas de descarga de rastras, seguido de sedimentos de río que presentan una descarga directa de rastras y, por último, en sedimentos de río que no presentan descarga directa. En época seca las concentraciones oscilan entre 52.1 a 30,400 µg/kg, y en lluviosa entre 100 a 11,000 µg/kg, categorizándose desde presencia baja y media, hasta contaminación por Hg-total.

En conclusión, debido a la presencia de Hg-total en sedimentos de ríos y lagunas de descarga de rastras, agua superficial y subterránea, asimismo concentraciones de Fe, Mn y NO_3^- y valores de CTO y CTE 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.

Abstract

El Corpus is a municipality located in the department of Choluteca, Honduras. Historically known as one of the first mining municipalities to product gold with mercury, it is currently conducted in artisanal structures called rastras, where Hg is used and generates contaminated tailings with it. Also, discharges into freshwater, groundwater, and soil.

This research was conducted in the Calderas River micro-basin, taking as a sample five villages, during the dry and rainy season of 2022. The methodology of the research is of the mixed-descriptive type since it aims to demonstrate the relationship between the stage of benefit of gold and the presence of total-Hg in the matrices of water and sediment. In addition, characterize the quality of groundwater and surface water sources, for prioritized physico-chemical parameters, to assess their suitability for use, human and animal consumption and protection of ecosystems.

In water, 15 samples were analyzed in dry and 14 for rainy season. Total-Hg was analyzed during rainy season and the concentrations detected show contamination in two freshwater sources, with concentrations of 2.6 and 1.3 µg/L respectively, in contrast to the maximum permissible value (1 µg/L) (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995). For the remaining eight groundwater sites and four freshwater sites the maximum allowable was not exceeded and are categorized as low total-Hg presence.

When comparing the concentrations of trace metals with (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995) in dry season revealed that Fe exceeds the maximum admissible (0.3 mg/L) for all sites detected (11) and for Pb the maximum admissible (0.01 mg/L) in 1 site is exceeded. In rainy season, Fe exceeds it in 4 sites and Mn exceeds the maximum admissible (0.5 mg/L) for 4 sites.

Analysis of major ions showed nitrate contamination from agriculture and livestock for 2 sites in dry season and 2 for rainy season. Taking as a maximum admissible value 50 mg/L of NO_3^- (0.81 meq/L) (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995). Microbiological characterization in water bodies in dry season exceeded maximum admissible for total and thermotolerant coliforms.

The hydrochemistry in dry season shows a dominance by the type of Calcium-Bicarbonate water ($Ca\text{-}HCO_3$) in 90% of the samples, except for a site with Calcium-Magnesium-Bicarbonate ($Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$). Regarding rainy season, 3 types of water were categorized: Sodium-Bicarbonate ($Na\text{-}HCO_3$), Calcium-Nitrate ($Ca\text{-}NO_3$), and Calcium-Bicarbonate ($Ca\text{-}HCO_3$).

In sediments, 12 samples were analyzed in dry season and 11 in rainy season. A direct relationship between gold production and Total-Hg detected was evidenced, since the highest concentrations detected were for rastras discharge lagoons, followed by river sediments that present a direct rastra discharge and, finally, in river sediments which do not present direct discharge. In dry season the concentrations range from 52.1 to 30,400 µg/kg, and in rainy season between 100 to 11,000 µg/kg, categorizing from low and medium presence to contamination by total-Hg.

In conclusion, due to the presence of total mercury in river sediments and rastras tailing ponds sediments, surface water and groundwater, as well as concentrations of Fe, Mn and $\mathrm{NO_3^-}$, CTO and CTE values exceeding the maximum admissible levels and considered as pollutants; water is not suitable for human and animal use, nor is it present at safe levels for the protection of ecosystem life.

Introducción

El Corpus es un municipio situado en el departamento de Choluteca, Honduras. Históricamente, 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, y es conocido como uno de los municipios mineros más grandes del país.

Las etapas en la cadena de valor del oro se dividen en: Proceso extractivo en la Mina Cuculmeca, acarreo, beneficiado de broza en rastras, refogado, fundición, beneficiado de colas con cianuro de sodio y comercialización del producto final (oro). En El Corpus el proceso extractivo, y el beneficiado, corresponden al Derecho de Minería Artesanal y Pequeña Minería (MAPE) pero operan bajo un esquema informal. También operan empresas mineras a gran escala o industrial, que se dedican únicamente al beneficiado de oro.

En el beneficiado 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.

Durante la etapa de quemado de la amalgama, la cual se lleva a cabo de forma expuesta, es decir sin el uso de retortas ni equipo de protección, y en muchas ocasiones en fogones y sitios próximos a las viviendas, se producen emisiones no controladas a la atmósfera, ya que los mineros no utilizan retortas. Esta es la etapa que representa los mayores riesgos a la salud ocupacional de los mineros que laboran en el quemado, por riesgos de exposición al mercurio mediante inhalación.

Por último, otra de las problemáticas ambientales identificadas en la cadena de valor del oro, es el beneficiado de colas con cianuro de sodio, donde previamente a este, se exponen a temperatura ambiente en algunos sitios, para volatilizar el mercurio presente en estas, generando aportes al ciclo global del mercurio.

El área de estudio corresponde a la microcuenca Río Calderas, tomando como muestra cinco aldeas del municipio 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 contra normativa vigente; 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, además elementos como Na, K, Ca, Mg, compuesto como $CaCO_3$, e iones como Cl^-, NO_3^- , NO_2^-, SO_4^{2-} y PO_4^{3-} y, por último, coliformes totales y termotolerantes (CTO y CTE). 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, con el objetivo que sean seguras para uso, consumo humano y animal.

1. Capítulo I: Delimitación del problema

1.1 Descripción de la problemática

El mercurio elemental es un metal pesado que tiene una presión de 0.27 Pa y una densidad de 13.53 $\frac{g}{cm^3}$ a 25°C (Armstrong, 1990, citado por O'Connor et al., 2019), este tiene un color plateado brillante y es líquido a temperatura ambiente. Presenta una solubilidad baja que oscila entre 5.6×10^{-5} y 6.1×10^{-5} g/L a 25 °C (Armstrong, 1990, citado por O'Connor et al., 2019). Este metal es tóxico para la salud humana y posee una amenaza particular para el desarrollo del feto en el útero y en los primeros meses de vida, es por ello por lo que está considerado dentro de los 10 químicos de preocupación para la salud pública (World Health Organization, 2020).

Registros de hace más de 4500 años, datan el uso del mercurio por parte de los colonizadores españoles, con el fin de recuperar metales preciosos de forma extensiva en Sudamérica (Malm, 1998). El uso de mercurio por colonizadores españoles en países de Sudamérica como Perú y Bolivia, y en Norteamérica como México, en un periodo que comprende mediados del siglo 15 (1550), a mediados del siglo 19 (1880); presenta estimaciones cerca de 200,000 toneladas de mercurio liberadas a la atmósfera (Nriagu, 1993, citado por Malm, O, 1998).

Para Nicaragua en Centroamérica, se estima que aproximadamente 40 toneladas de mercurio han sido liberadas al medioambiente, durante 100 años de actividad minera en el departamento de Chontales. Considerando una liberación de 35% en forma de vapor a la atmósfera y un 45% descargado en ríos aledaños, sin tratamiento previo (Benavente, M et al., 2007).

De acuerdo con (MIAMBIENTE-INHGEOMIN-GEF, 2019) para Honduras se estimó mediante un balance de masas, que en la región occidental del país (Quimistán y Macuelizo) se utilizan anualmente 1.57 toneladas de Hg, mientras que en la región sur oriental (Danlí, San Marcos de Colón y El Corpus) se utilizan 8.20 toneladas de Hg anualmente.

Respecto a los usos del mercurio, este tiene una amplia distribución en diversos sectores, por ejemplo, se utiliza en odontología en amalgamas dentales, en la industria para fabricación de productos con mercurio añadido como baterías, bombillas, interruptores y relés eléctricos, y en la minería para amalgamar metales con el fin de recuperar oro y plata principalmente.

El mercurio se puede liberar o emitir al medio ambiente no intencionalmente, por ejemplo, de procesos de combustión a cielo abierto de residuos sólidos, donde hay productos con mercurio añadido descartados o porque forma parte de la composición natural de las materias primas en el sector del cemento, carbón y petróleo; cuando son empleados como combustibles fósiles para la generación de energía.

En Honduras existe la Minería Industrial, pero además de ella está la Minería Artesanal y en Pequeña Escala (MAPE) de minerales metálicos y no metálicos. Dentro de estas últimas, hay una en particular que se ha especializado en la explotación de yacimientos auríferos, como una fuente de subsistencia para los pobladores de las zonas aledañas a boca minas, denominada MAPE de oro. Se identifica que al menos existen 6 regiones de explotación de la MAPE en Honduras, distribuidas en los departamentos de Olancho, El Paraíso, Choluteca, Francisco Morazán, Copan y Santa Bárbara (MIAMBIENTE-CESCCO-PNUMA-GEF, 2017).

En la MAPE de oro, para el beneficiado se utilizan distintos métodos, pero el principal es la molienda en rastra, donde se utiliza el mercurio durante el proceso de molienda. El mercurio se adhiere al oro, formando una amalgama que facilita su separación de la roca, arena u otro material. Luego, se funde la amalgama para evaporar el mercurio y obtener el oro que usualmente está amalgamado con otros metales como cobre y hierro. Durante este proceso de fundición se emiten liberaciones no controladas a la atmósfera, suelo y por consiguiente a los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos.

El uso de mercurio para el beneficiado en este sector representa un problema, pues al no tener esquemas formales de explotación minera, así como, de salud y seguridad ocupacional, los mineros y operadores de rastras son los que mayormente se ven expuestos al mercurio; de igual manera lo están los pobladores de las comunidades que utilizan fuentes de agua superficial o subterránea para satisfacer necesidades básicas, pues generalmente los desechos mineros del beneficiado (colas) que no son beneficiadas con cianuro de sodio, se depositan en lagunas artificiales o promontorios sin ningún tipo de control ambiental, contaminando las fuentes de agua próximas a las lagunas.

1.2 Justificación de la investigación

En el año 2009 la administración del PNUMA inició negociaciones sobre un Convenio Mundial de mercurio, debido a los efectos nocivos de este metal y sus compuestos a nivel mundial. Las negociaciones concluyeron en 2013 y entró en vigor el 16 de agosto del 2017 como el Convenio de Minamata del mercurio (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019). Este convenio fue ratificado en Honduras el 22 de marzo del 2017.

En el año 2018, la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (en ese entonces, MiAMbiente) a través del proyecto “Gestión Ambientalmente Racional de Mercurio y Productos Conteniendo Mercurio y sus Desechos del Sector de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala de Oro y del sector Salud”, conocido como Proyecto GAR Mercurio, realizó un estudio de exposición al mercurio en la MAPE utilizando indicadores biológicos para evaluar exposición crónica en cabello y exposición aguda (vapor de mercurio) en la orina, en una muestra de 183 mineros y sus familias en el municipio de El Corpus.

El estudio del proyecto GAR Mercurio tuvo una muestra de 87 personas, y concluyó que “La exposición crónica a mercurio en la comunidad MAPE es marcada en la población minera (PM) (95.4%) y ya se evidencia en la Población No Minera (PNM) (21%). Independiente de su ocupación la PNM (48.96%) se encuentra expuesta al mercurio y el factor ambiental revela la presencia de mercurio en PNM (98.96%).” Además, la intoxicación por mercurio tuvo un predominio en el sexo masculino (55.72%) coincidente con la cadena de valor de la MAPE en El Corpus (Ocupacional). Los limites diagnósticos de detección en orina para ambas poblaciones (PM y PNM), resultan más específicos cuando se hace su relación con los valores de creatinina para su normalización.” (Proyecto GAR Mercurio PNUD-GEF/MiAmbiente, 2021). Los resultados de este estudio expresan una preocupación alarmante y relaciona directamente la exposición a mercurio a través del trabajo, alimentación y saneamiento.

Las personas involucradas en la cadena de valor del oro de El Corpus están distribuidas entre los mineros de túnel, acarreadores, operarios de rastras, fundidores de amalgama, comercializadores de oro y demás involucrados.

Se debe de considerar a la MAPE de oro como la principal actividad económica de los pobladores del municipio, y como un medio económico que sirve para alcanzar la seguridad alimentaria y nutricional. Se sobreentiende que es una actividad necesaria para la subsistencia de los mineros y las familias dependientes de ellos, y que su operación no puede cesar sin generar repercusiones negativas en la calidad de vida de los pobladores.

Debido a que los pobladores utilizan fuentes de agua superficiales para recuperación de oro amalgamado, que es depositado en ríos y quebradas por vertidos no controlados de las rastras, y es arrastrado producto de escorrentía superficial, y estas mismas fuentes son utilizadas para el lavado de ropa, limpieza de utensilios de cocina de los hogares, y consumo de agua por el ganado; por ello resulta fundamental, evaluar el grado de contaminación ambiental ocasionado por el mercurio proveniente de la MAPE de oro. Esto permitirá conocer como la actual dinámica de operación de las actividades de la MAPE, puede ser optimizada, con el fin de reducir los impactos nocivos en seres humanos, biota y a nivel general en los ecosistemas.

En concordancia con el planteamiento anterior, también se busca realizar una caracterización hidroquímica y microbiológica (CTO y CTE), con el objetivo de proporcionar información de carácter científico, que permita a los habitantes utilizar tanto las fuentes de agua superficiales y subterráneas, de manera segura, y para los tomadores de decisiones implementar acciones enfocadas al mejoramiento de la calidad de estas.

1.3 Límites de la investigación

A. Espacial

La zona de trabajo está comprendida por la microcuenca declarada Río Calderas, situada en el municipio de El Corpus, en el departamento de Choluteca. Esta microcuenca tiene un área de 39.21 km^2.

Considerando los sitios priorizados por influencia de la MAPE, se seleccionaron 5 aldeas pertenecientes al municipio: San Juan Arriba, El Corpus, San Juan Abajo, Los Chagüites y El Naranjal.

B. Temporal

Los resultados del estudio reflejan una temporalidad que corresponde puntualmente a época seca y lluviosa del año 2022. Se dividen en dos temporalidades con el fin de obtener muestras representativas de sedimentos y agua, para contrastar ambas temporalidades e interpretar las variaciones que tengan los analitos de interés en la microcuenca.

En la matriz de agua, se llevaron a cabo 2 campañas de muestreo, correspondientes a época seca en el mes de abril del 2022 en 15 sitios y en octubre del 2022 en 14 sitios, tanto en época seca como en lluviosa se analizaron iones mayoritarios, nutrientes y metales traza. Los mismos sitios de época seca se utilizaron para el análisis de microbiología del agua (CTE y CTO), y los de época lluviosa para el análisis de Hg-total.

Para la matriz de sedimentos, se llevaron a cabo 2 campañas de muestreo, correspondientes a época seca en el mes de enero del 2022 en 12 sitios y octubre del 2022 en 11 sitios, analizando en ambas temporalidades Hg-total.

C. Recursos

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), implementado por el Consorcio 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 elementos (Na, K, Ca y Mg), nutrientes (NO_3^- , NO_2^-, SO_4^{2-} y PO_4^{3-}, alcalinidad-total ($CaCO_3$) y metales traza (Fe, Mn, Cu, Pb, Cd) fueron financiados por el CEIRH.

1.4 Definición del problema:

La MAPE de oro en El Corpus utiliza generalmente el mercurio, conocido como azogue por los mineros, para beneficiar oro en la etapa de molienda de la broza en rastras. Según el censo elaborado para esta investigación, al mes de octubre del 2022, se contabilizaron 45 rastras en la zona de estudio, además, algunas de estas cuentan con lagunas de descarga para la disposición temporal de las colas, antes de ser comercializadas.

Según narrativas de un operador y propietario de rastra de la aldea de Los Chagüites, menciona que tanto el tiempo de molienda, como la cantidad de mercurio utilizada, está supeditada a un muestreo previo para identificar cuantitativamente la cantidad de oro que puede existir por saco de broza. De forma que, si se determina que un saco de broza puede tener 5 g de oro, y se realiza una molienda de 10 sacos, durante un tiempo de 2.5 horas, será necesario utilizar 1 lb de mercurio.

Mediante otra entrevista a un propietario de rastra, este mencionó que una aproximación útil, es utilizar 1 gramo de mercurio, por cada gramo de oro que contenga un saco de broza (20 sacos de broza equivalen a ~1 tonelada). Estas aproximaciones brindan la idea que el uso de mercurio es arbitrario y depende de los factores expuestos anteriormente.

De acuerdo con (MIAMBIENTE-INHGEOMIN-GEF, 2019) se estimó mediante un balance de masas, que en la región occidental de Honduras (Quimistán y Macuelizo) se utilizan anualmente 1.57 toneladas de Hg, mientras que en la región sur oriental (Danlí, San Marcos de Colón y El Corpus) se utilizan 8.20 toneladas de Hg anualmente. Asimismo, se estimó que de esas 9.77 toneladas a nivel de las dos regiones, el 70% de los relaves mineros se libera a cuerpos de agua y suelo, por las pérdidas que se producen en las colas, debido a la baja eficiencia en el proceso de amalgamación, lo cual equivale a una liberación de 6.84 toneladas anuales.

De la cantidad de mercurio liberada anualmente, se produce un 30% de emisiones a la atmósfera, debido a las malas prácticas mineras durante la quema expuesta de la amalgama y quema en zonas residenciales al aire libre, en las cuales no se utilizan retortas. Esto equivale emisiones anuales de 2.93 toneladas de gas de mercurio liberado, a nivel nacional (MIAMBIENTE-INHGEOMIN-GEF, 2019).

Se identificó un primer problema ambiental, producido cuando las lagunas de descarga exceden la capacidad máxima de retención y no son vaciadas, donde algunas descargan directamente a cuerpos de agua superficial y otras al suelo.

Claro está, que la MAPE de oro en la zona de estudio utiliza grandes cantidades de agua (una rastra con capacidad de procesar 1 tonelada de broza emplea aproximadamente 5 m^3 durante una molienda que dura 8 horas. Esta cantidad de agua dependerá del desgaste que experimenten las piedras de la estructura, su tamaño y cantidad de broza utilizada por molienda; según datos proporcionados por un propietario de rastras de El Corpus.

La molienda en rastra representa un método húmedo y con pocas medidas adoptadas para mitigar pérdidas de agua, además, emplea mercurio para beneficiar el oro y sus colas de desecho (contaminadas con éste) son depositadas directamente sobre el suelo, liberando paulatinamente el mercurio a las fuentes de agua superficiales, acuíferos, sedimentos, suelo y atmósfera.

Un segundo problema identificado es el reciclado del agua utilizada para la operación de las rastras en un sitio de beneficiado, ubicado en Los Chagüites, donde las descargas del proceso son filtradas a través de un sistema artesanal, y vertidas en un pozo malacate, con el fin de volver a utilizarse en el proceso de beneficiado en rastras. Generando contribuciones de mercurio a las aguas subterráneas.

Un tercer problema identificado es la construcción de lagunas de descarga sin un diseño de contención para las descargas, ni tampoco la instalación de una geomembrana textil para evitar filtraciones al subsuelo y acuífero. En dos sitios se identificó la construcción de lagunas próximas a pozos perforados y excavados, potenciando la vulnerabilidad de los acuíferos a contaminación por mercurio.

En una investigación llevada a cabo en El Corpus en el año 2014, se llevó a cabo un diagnóstico de calidad de agua en dos quebradas influenciadas por actividad minera artesanal. Esta investigación buscó cuantificar el impacto de la actividad de minería artesanal e industrial en la red hidrográfica del municipio mediante un muestreo en época lluviosa. Concluyó que el recurso hídrico superficial estaba siendo contaminado por minería artesanal y ligeramente contaminado por minería industrial en algunos sitios. El Hg-total en agua se encontró en el rango de <0.05 a 9103 ng. L^{-1} (Urioste, 2014).

Una situación que se presenta en Honduras, en los estudios relacionados a contaminación por mercurio, es que existe escasa información científica de referencia en el uso de Hg en la MAPE a nivel de detalle. Únicamente se cuenta con los estudios elaborados por el Proyecto GAR de Mercurio 2016-2017, donde se estimó una relación de 4.8g de Hg por un 1 g de Au producido (MIAMBIENTE-INHGEOMIN-GEF, 2019). Esto genera la necesidad de poder generar nueva información científica, que sea utilizada para la toma de decisiones a nivel de gobierno local y central.

El mercurio al ser un metal que se evapora fácilmente arriba de 20°C, y sumado a esto, se quema para poder separarlo de la amalgama producida en la etapa de beneficiado, genera emisiones no controladas a la atmósfera. El riesgo de exposición se intensifica mediante esta actividad y por el uso de batea en los ríos, al recuperar “oro de placer”, el cual se encuentra en sedimentos en ríos, producto de escorrentía superficial, de las descargas no controladas de las rastras.

2. Capítulo II: Objetivos

2.1 Objetivo general

- Demostrar el impacto de la contaminación por mercurio de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala (MAPE) de Oro en agua y sedimentos, en la Microcuenca Río Calderas, en el municipio de El Corpus, Choluteca.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar los aportes de mercurio-total proveniente de la MAPE de oro en cuerpos de agua superficial, subterránea y sedimentos en la Microcuenca Río Calderas.
- Caracterizar el perfil hidroquímico y microbiológico (CTO Y CTE) de las fuentes principales de agua superficial y subterránea para establecer indicadores de calidad del recurso hídrico.
- Evaluar el estado de calidad del agua, en función de su idoneidad para consumo y uso humano y la preservación de ecosistemas, utilizando parámetros estandarizados y normativas vigentes, con el propósito de generar recomendaciones basadas en evidencia para la toma de decisiones a nivel local y central.

3. Capítulo III: Marco de referencia

3.1 Marco Institucional

A nivel institucional en Honduras y en concordancia con la Ley General de Ambiente (República de Honduras; Secretaría de Recursos Naturales Y Ambiente, 1993), la regulación de la actividad del sector MAPE a nivel minero y ambiental, asimismo, el uso de mercurio en el proceso de beneficiado de oro y el aseguramiento de la calidad del agua para consumo humano está regulada por las instituciones descritas en la Tabla 1.

Tabla 1: marco institucional ambiental de Honduras en relación con minería y uso de mercurio, y calidad del agua.

Institución	Campo de acción
Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA)	Este ente estatal de la República de Honduras, a través de direcciones como el Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO) y la Dirección de Evaluación y Control Ambiental (DECA), regulan el uso y aplicación de productos químicos en el proceso de beneficiado en el sector MAPE. La Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH) es la responsable de conducir asuntos relacionados con la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH), incluyendo su medición, evaluación, conservación y concesión de aprovechamiento.
Instituto Hondureño de Geología y Minas (INHGEOMIN)	Es el ente estatal de la República de Honduras, ejecutor de la Política Nacional del sector minero a nivel central, emisión de Permisos de Pequeña Minería Metálica y encargado de regular el uso de sustancias químicas en la actividad minera, a través de unidades técnicas como MAPE, Ambiente y Seguridad, y Capacitaciones.
Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS)	Institución desconcentrada adscrita a la Secretaría de Estado en los Despachos de Salud, con funciones de regulación y control sobre los Prestadores de servicio de agua potable y saneamiento a nivel nacional.
Alcaldía Municipal de El Corpus	La Alcaldía Municipal de El Corpus a través de la Unidad Municipal Ambiental (UMA) funge como la autoridad minera a nivel local, y cuenta con la potestad para emitir permisos de Minería Artesanal Metálica, asimismo debe de velar por el cumplimiento y medidas de mitigación ambiental para las actividades mineras.

3.2 Marco legislativo

En este apartado se abordará de forma resumida el marco político y legislativo de Honduras como se muestra en Tabla 2, en lo que concierne a temas relacionados a ambiente, salud ecosistémica, salud ocupacional, minería, calidad de agua y otros aspectos relacionados al sector MAPE.

Tabla 2: marco legislativo del recurso hídrico, minero y su relación con el mercurio.

Instrumento/Decreto/ Artículo	**Objetivo**	**Fecha de publicación**	**Fuente**
Constitución de la República de Honduras. Decreto No. 131, Artículo 145.	Reconocer el derecho a la protección de la salud, deber de los ciudadanos a participar en la protección de la comunidad y el deber del estado de proteger la salud de las personas.	11 de enero de 1982.	(Gobierno de la República de Honduras, 1982)
Convenio de Minamata sobre el mercurio. Artículo 7. Anexo C.	Obligar a las partes a tomar medidas para reducir y cuando sea factible eliminar el uso de mercurio y sus emisiones en la MAPE. Como parte de los esfuerzos nacionales se deben de implementar planes de acción nacionales para resolver problemas relacionados con el mercurio y peligros en este sector. Los planes de acción nacional deben de incluir: metas para reducción, medidas para eliminar amalgamación del mineral en bruto, quema expuesta de amalgama y en zonas residenciales, y lixiviación de cianuro en sedimentos, mineral en bruto o rocas que se han beneficiado con mercurio, sin eliminar primero el mercurio presente.	Adoptado en la Conferencia de Plenipotenciarios en 2013 en Kumamoto, Japón y ratificado en Honduras en agosto del 2017.	(Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019)
Ley General de Minería Decreto No. 238-2012 Artículo 9, 24. Artículo 86, 89. Artículo 91	La MAPE de oro se clasifica como minería metálica, y con el fin de llevar a cabo la extracción del mineral de la brosa se utilizan procesos físicos, químicos o fisicoquímicos denominados beneficiado. La Pequeña Minería son las actividades mineras que utilizan medios mecánicos sencillos, mientras que la artesanal se denomina al aprovechamiento del recurso minero mediante técnicas exclusivamente manuales. Estas actividades serán supervisadas por la Unidad Municipal Ambiental (UMA), con el	2 de abril del 2013.	(Presidencia de la República, 2013)

Instrumento/Decreto/ Artículo	Objetivo	Fecha de publicación	Fuente
	fin de velar por el cumplimiento y medidas de mitigación ambiental que se establecen en el Manual de Buenas Prácticas Minero-Ambiental.		
Ley General de Aguas. Decreto N°181-2009. Artículo 43 y Artículo 44.	Las acciones de protección tienen como propósito asegurar la cantidad y calidad del recurso hídrico ante efectos antropogénicos. Las autoridades del agua o municipales pueden autorizar el vertido de aguas residuales en cuerpos receptores permitidos, siempre y cuando estas no contengan contaminantes o tóxicos. Es mandatorio el tratamiento de estas aguas si tienen sustancias no permitidas. El vertido de estas aguas está exento a zonas de recarga e infiltración y obras de captación de agua.	14 de diciembre del 2009.	(Poder Legislativo, 2009)
Ley General de Ambiente. Decreto No.104-93. Artículo 63 y 64.	Prohibir a los concesionarios mineros el vertimiento de desechos tóxicos o no tóxicos, no tratados en fuentes del recurso hídrico. Los residuos sólidos provenientes de minería serán tratados para evitar la contaminación de cuerpos de agua superficial, suelo y aire.	30 de junio de 1993.	(República de Honduras; Secretaría de Recursos Naturales Y Ambiente, 1993)
Normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario. Acuerdo No.058. Artículo 12 y Artículo 6.	No realizar descargas al alcantarillado que puedan ocasionar daños a la salud, problemas a los trabajadores o el sistema. Las descargas directas o indirectas a un cuerpo receptor deberán de cumplir con las concentraciones máximas permisibles, para mercurio se utiliza como valor máximo admisible 0.01 mg/L.	13 de diciembre de 1997.	(Secretaría de Salud, 1996)
Norma Técnica para la calidad del Agua Potable. Acuerdo No. 084.	En ella podemos encontrar los valores recomendados y máximos admisibles de los parámetros fisicoquímicos, parámetros para sustancias no deseadas y para sustancias con significado para la salud. En los parámetros de sustancias inorgánicas con significado para la salud hace	4 de octubre de 1995.	(Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995)

Instrumento/Decreto/ Artículo	Objetivo	Fecha de publicación	Fuente
	referencia al mercurio con un valor máximo admisible de 0.001mg/L.		
Reglamento para la Gestión Ambientalmente Racional del mercurio y productos con mercurio añadido. Acuerdo Ejecutivo No. 002-2020.	Proteger la salud humana y el ambiente de emisiones y liberaciones antropógenos de mercurio y compuestos de mercurio.	25 de junio del 2021.	(Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2021)
Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales. Acuerdo Ejecutivo No. 003-2020. Artículo 49.	La preservación de flora, fauna acuática y costera, es aquella que se asegura mediante una cantidad y calidad de agua que cumpla con los valores permisibles y que no ponga en riesgo la salud ecosistémica.	Jueves 13 de mayo del 2021.	(Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2021)
Reglamento Especial para Minería Artesanal y la Pequeña Minería. Acuerdo Ejecutivo No. 088-B-2018 Artículo 14	Las actividades de explotación en la Pequeña Minería que utilicen mercurio en sus procesos de recuperación están obligadas a acatar las disposiciones del artículo 7 del Convenio de Minamata, específicamente las malas prácticas que se desprendan del anexo C de dicho Convenio.	29 de abril del 2019.	(Presidencia de la República, 2019)
Reglamento Especial de Seguridad y Salud Ocupacional en la Actividad Minera de Honduras. Acuerdo Ejecutivo No. 002-2017. Artículo 156	No aplicar mercurio en procesos de molienda, este debe de ser utilizado solo en concentrados de oro, al final de procedimientos gravimétricos. Para quemar el mercurio utilizar retortas adecuadas, asegurándose de hacerlo lejos de viviendas.	23 de febrero del 2018.	(Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas, 2018)

3.3 Marco teórico

A. Recursos hídricos

En esta sección se brindan conceptos claves del ciclo hidrológico y sus componentes, con el fin de relacionar las modificaciones que puede tener el mercurio en este.

I. Hidrología superficial

- Escorrentía: una vez que el agua entra en contacto con el terreno, una parte queda retenida en pequeños surcos, a este almacenamiento se le conoce como superficial, y en su mayoría este vuelve pronto a la atmósfera en forma de vapor. La otra parte circula sobre la superficie, se concentra en arroyos y más tarde desemboca en los ríos, a esto se le conoce como escorrentía superficial (Custodio & Llamas, 1983).

  El mercurio utilizado en la MAPE de oro es liberado de forma indirecta, a través de la deposición de colas contaminadas en suelos, riberas de ríos y quebradas que drenan a las fuentes de agua superficial y subterráneas, que finalmente llegan al mar. En un estudio llevado a cabo por (Hurley et al, 2001, citado por US EPA, 2006), indica que la carga de mercurio en los tributarios es un ingreso significativo por parte del mercurio proveniente de un lago, sugiriendo que los procesos de escorrentía y erosión, pueden ser las mayores fuentes de mercurio en un lago.

- Caudal base: es el que se incorpora a una corriente de agua, procedente principalmente de aguas subterráneas, aunque también de lagos y glaciares, durante periodos largos de tiempo donde no se produce precipitación (Organization & United Nations Educational, 2012). Autores como (Emmerton, et al., 2022) afirman que el agua subterránea en regiones pequeñas y áridas donde hay ríos, representa una proporción importante de agua en los canales, que a menudo se diluye con un enlace de partículas-Hg-total; durante el caudal base.

II. Hidrología subterránea

- Acuífero: es un embalse subterráneo, en un medio poroso natural (formación geológica), de dimensiones variables, capaz de almacenar un fluido en sus poros y permitir su movimiento bajo la acción de fuerzas gravitatorias. Cuando este está saturado, es un sinónimo de acuífero y unidad hidrogeológica (Custodio & Llamas, 1983).

- Nivel freático, superficie freática o piezométrica: superficie de la zona saturada en un acuífero libre, en la cual la presión hidrostática es igual a la atmosférica (Organization & United Nations Educational, 2012).

B. Hidroquímica

I. Análisis químico y caracterización de los tipos de agua

- El análisis hidroquímico: este se usa para poder caracterizar e identificar los procesos que ocurren entre el agua y la roca (Kortatsi, 2006).

- Balance Iónico: como plantea (Bencer et al., 2015) y (Kopacek et al., 2001) la confianza y precisión de los métodos analíticos puede ser evaluada por el error del balance iónico.

Según (Appelo & Postma, 2005), la suma considera los cationes Na^+, K^+, Mg^{2+} y Ca^{2+} y los aniones Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-} y NO_3^-. Algunas veces otros elementos contribuyen significativamente, por ejemplo, el ion ferroso Fe^{2+} o el ion amonio NH_4^+ en agua subterránea en condiciones reductoras. Este se calcula como se presenta a continuación:

$$(B.I,\ \%) = \frac{(sum\ cationes + sum\ aniones)}{(Sum\ cationes - sum\ aniones)} \times 100$$ Ecuación 1: Fórmula para cálculo de balance iónico (Appelo & Postma, 2005)

Donde las concentraciones de los cationes y aniones se expresan en meq/L.

- Origen natural de los tipos de agua: la composición química de los cuerpos de agua superficiales y subterráneas es determinada por factores como composición de precipitación, presencia de minerales en el suelo de la cuenca y acuíferos, climatología y topografía. La combinación de estos puede generar diversos tipos de agua que cambian a lo largo de la cuenca y en el tiempo (Güler et al., 2002).

- Diagrama de Stiff: es un método para graficar la suma de los cationes y aniones mayoritarios, en meq/L. Estos diagramas permiten comparar la composición de los tipos de agua en un estudio (Kashi & Khoshab, 2015).

II. Parámetros fisicoquímicos

- Temperatura: en aguas superficiales está influenciada por factores como: altitud, latitud, estación, circulación de los vientos, nubosidad y profundidad en el cuerpo de agua. Existe una causalidad entre cambios en procesos físicos, químicos y biológicos en masas de agua por efecto de la temperatura. Asimismo, la tasa de reacciones aumenta con la evaporación y volatilización de sustancias en el agua producto de un incremento en la temperatura y sucede de la misma forma con la solubilidad de gases en el agua (UNESCO-WHO-UNEP, 1996).

- Conductividad eléctrica del agua: es una medida de la capacidad de agua para conducir corriente eléctrica y está influenciada por la variación de sales minerales, disociación de iones y su carga, movilidad de iones y solidos disueltos. La conductividad se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu S/cm^{-1}$) y para una masa de agua dada se relaciona con las concentraciones de sólidos disueltos totales y los iones principales, es por ello por lo que es útil para conocer tener un punto de partida sobre las variaciones de iones temporalmente y determinar influencia por contaminación cuando los valores permisibles de esta se exceden (UNESCO-WHO-UNEP, 1996).

  La conductividad eléctrica puede ser calculada, y su comparación con la medida en campo permite identificar problemas con los datos. Para este procedimiento es necesario multiplicar la conductividad molar en $S.cm^2/mol$, como se indica en la Tabla 3, por las concentraciones de los iones en mol/L y luego sumar las conductividades individuales de los iones (Appelo & Postma, 2005).

Tabla 3: conductividad molar de los iones en el agua a 25°C (Landolt & Bornstein, 1960, citado por Appelo & Postma, 2005)

Ion	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}
conductividad molar (S.cm²/mol)	50.1	73.5	106	119	76.35	44.5	160

- pH: es una medida del equilibrio ácido de una solución y se define como el negativo del logaritmo a la base 10 de la concentración de iones de hidrógeno. Esta variable ayuda a evaluar y conocer procesos biológicos y químicos asociados con abastecimiento y tratamiento del agua, asimismo se usa para determinar la pluma de efluentes en cuerpos de agua (UNESCO-WHO-UNEP, 1996).

  En aguas no expuestas a contaminación, el pH es controlado por el equilibrio entre iones de dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato (Figura 1). También puede verse afectado por compuestos naturales como ácidos húmicos y fúlvicos (UNESCO-WHO-UNEP, 1996).

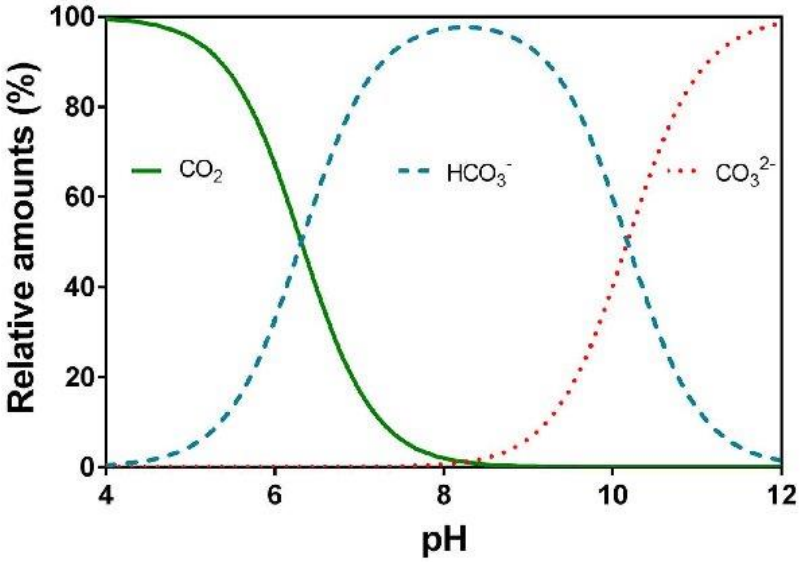


Figura 1: especiación relativa (%) de dióxido de carbono (CO_2), bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}) en el agua, en función del pH. Ejemplo dado a una temperatura de 20°C y una conductividad eléctrica de 250 µS/cm (Perdersen, O, et al., 2013).

- Sólidos disueltos totales (TDS): la cantidad de sólidos disueltos totales en un cuerpo de agua se puede incrementar por la extracción de minerales y recursos energéticos. El aumento de los TDS en zonas mineras se puede deber a la influencia de una fuente minera en el cuerpo de agua cuando hay caudales altos y cuando ocurre un aumento del transporte del material coloidal (Butler & Ford, 2019).

III. Parámetros químicos:

- Iones mayoritarios: estos se encuentran presentes en aguas superficiales y subterráneas, sus concentraciones dependen de condiciones como: medio geológico, climatología de la zona y actividades antropogénicas y tiempo de residencia del agua.

A continuación, se presenta un listado de los iones mayoritarios y elementos de interés para este estudio:

- sodio (Na): las fuentes del ion Na^+ y Cl^- incluyen contribuciones producto de deposición atmosférica, interacción suelo-agua y roca-agua y aguas de salmuera (Panno et al, 2002, citado por S.V Panno et al., 2006). Las fuentes de estos iones se originan por actividad humana, relacionada a uso de agroquímicos, efluentes de sistemas privados y sistemas sépticos municipales, desechos fecales de ganado y rellenos sanitarios municipales (S.V Panno et al., 2006).

- potasio (K): aunque las concentraciones de potasio encontradas en el agua para consumo son generalmente bajas y no presentan efectos para la salud, la alta solubilidad del cloruro de potasio y su uso en dispositivos para tratamiento de agua como suavizantes de agua, pueden generar una exposición significativa (WHO-HSE-WSH, 2007).

- calcio (Ca): dado que el calcio es un elemento litófilo, que desempeña un papel importante en la composición de aguas subterráneas y en el medioambiente (Jovic & Jovanovic, 2004, citado por Dibal et al., 2019), el calcio puede lixiviarse en aguas subterráneas producto de rocas cristalinas del basamento (Dibal, H.U et al., 2019). Los minerales que lixivian estos elementos pueden ser: Apatita, hornblenda, epidota, biotita, turmalina, magnesita y espinel (Clare & Rhodes, 1999, citado por Dibal, H.U., 2019).

- magnesio (Mg): se han observado relaciones positivas entre magnesio, potasio y sodio en aguas de zonas donde hay presencia de agricultura (Cymes & Szymczyk, 2005 y Orzepowski & Pulikowski, 2005 citado por Sapek, S., 2014). También el magnesio puede ser lixiviado producto de la interfaz agua subterránea y suelo, por minerales ferromagnesianos oscuros como olivino, piroxenos y anfíboles (Dibal, H.U et al., 2019).

- cloruros (Cl^-): existen muchas fuentes antropogénicas y naturales de cloruros en las aguas. Las fuentes naturales incluyen: deposición atmosférica, agua subterránea salina profunda y meteorización química de la roca. En fuentes antropogénicas se incluye: cloruros utilizados para control de polvo, tratamiento de agua para consumo y aguas residuales, agricultura, producción de energía y rellenos sanitarios (USGS, 2015).

- carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-): la presencia de carbonatos y bicarbonatos influye indirectamente en dureza y alcalinidad del agua. Para el caso del carbonato inorgánico CO_2, surge de la atmósfera y respiración de seres vivos. Los aportes de sales de carbonato y bicarbonato se deben a la meteorización de rocas y en áreas de rocas no carbonatadas el bicarbonato y carbonato se originan completamente en la atmósfera y suelo, mientras que, para rocas carbonatadas, la roca en sí contribuye en un 50% el contenido de carbonato y

bicarbonato presentes en el agua. Las cantidades relativas de estos y de ácido carbónico para agua pura, se relacionan con el pH (6-8.2) en combinación al proceso de meteorización donde el bicarbonato es el anión dominante en la mayoría de las aguas superficiales (Figura 1) y el carbonato poco común ya que para que este ocurra se necesitan pH mayores a 9 (UNESCO-WHO-UNEP, 1996).

Con el fin de resumir las concentraciones de iones en distintos tipos de agua, asociación con rocas, y presencia por vertidos industriales, se presenta la Tabla 4:

Tabla 4: iones de interés y concentraciones en cuerpos de agua, (UNESCO-WHO-UNEP, 1996).

Ion	**Concentraciones en cuerpos de agua**
Na^+	En aguas naturales oscilan entre 1 mg/L hasta 10^5 mg/L.
K^+	10 mg/L en concentraciones bajas y en altas hasta 100 y 25,000 mg/L.
Ca^{2+}	< 15 mg/L típicamente y para rocas asociadas con carbonatos desde 30-100 mg/L.
Mg^{2+}	Para aguas dulces 1mg/L a > 100 mg/L.
CO_3^{2-}	Aguas subterráneas 10 mg/L.
HCO_3^-	Aguas superficiales son ocasionalmente < 500 mg/L, y comúnmente < 25 mg/L.
Cl^-	En manantiales presentan concentraciones inferiores a 10 mg/L.
SO_4^{2-}	En aguas naturales está presente entre 2mg/L y 80 mg/L en presencia de vertidos industriales pueden superar los 1000 mg/L.

IV. Nutrientes

- nitratos (NO_3^-): en aguas subterráneas se pueden encontrar de fuentes antropogénicas por lixiviación de fertilizantes, producto de escorrentía superficial, desechos humanos y también por nitrificación de materia orgánica. Naturalmente se produce por fuentes minerales y animales. Esta especie química es la forma del nitrógeno más oxidada (Akiwumi et al., 2012).

  El origen de nitratos en aguas subterráneas no siempre es claro, ya que son relativamente estables, pero pueden ser fijados en el suelo o ser reducidos a nitrógeno o amonio. En el trópico y subtrópico donde hay altas temperaturas y precipitaciones atmosféricas, por dicho motivo están expuestas a una fácil contaminación de origen orgánico (Fernández & Vázquez Taset, 2006).

- nitritos (NO_2^-): cuando la materia orgánica se encuentra en la zona no saturada y suelo y posterior a la zona saturada sufre una serie de transformaciones de manera escalonada, con influencia por bacterias y microbios que se encuentran en esa zona (Feodorova, 1985, citado por Fernández et al, 2006). Los nitritos de forma natural se encuentran en suelos con un pH mayor a 7.7. Los fertilizantes nitrogenados pueden originar nitritos en lugar de nitratos cuando son aplicados en suelos con un pH a partir de 7-7.3, cuando ocurre esto la concentración de nitritos en el suelo alcanza magnitudes similares a la de nitratos con una concentración máxima de 100 mg/L (Guerra, 1979, citado por Fernández et al., 2006).

- sulfato (SO_4^{2-}): el sulfato es un anión común en el agua, está ampliamente distribuido en varios ambientes naturales, y juega un rol importante en los ciclos biogeoquímicos. Debido a que comúnmente es un componente constante en el agua, la contaminación por sulfatos suele ser descuidada. Las fuentes naturales incluyen la disolución de minerales sulfatados (yeso), oxidación de minerales sulfurosos (pirita) y precipitación. Respecto a las fuentes antropogénicas, pueden provenir de infiltración de aguas residuales, fertilizantes, detergentes sintéticos, aguas residuales industriales y drenaje de minas (Wang & Zhang, 2019).

  Las cargas de sulfatos en aguas subterráneas aumentan no solo por fuentes antropogénicas, sino por el bombeo de aguas subterráneas de formaciones geológicas profundas en zonas de escasez de agua y mineras (Archana et al., 2018; Horst et al., 2011, citado por Torres et al., 2020).

- fosfatos (PO_4^{3-}): el ion fosfato se forma a partir del fósforo inorgánico que está presente como mineral e interactúa en el ciclo de este elemento en el medioambiente. Las precipitaciones pueden contener fosfatos que se filtran en suelos agrícolas y luego en cuerpos de agua próximos (Bolaños et al., 2017).

  Las fuentes de origen de fosfatos pueden deberse a uso indiscriminado de abonos orgánicos con fosfatos solubles, debido a su alta solubilidad estos pueden estar presentes en aguas de escorrentía provenientes de riego y en la lluvia, las cuales pueden infiltrarse hasta el acuífero. Otra posible fuente de estos, puede ser vertidos urbanos con residuos de detergentes que contienen fosfatos inorgánicos en su composición como alcalinizadores (Bolaños et al., 2017).

V. Metales traza

- cadmio (Cd): el cadmio en contraste con otros elementos tóxicos como arsénico (As) y mercurio (Hg), ingresa directamente al cuerpo humano a través de fuentes de alimentos terrestres como los vegetales. Este elemento ocurre usualmente desde 5 µg/L en el agua del suelo (Smolders y Mertens, 2013, citado por Kubier et al., 2019) hasta 1 µg/L en el agua subterránea (Naseem et al, 2014 citado por Kubier et al., 2019).

- cobre (Cu): el cobre es un constituyente natural del suelo, y puede ser transportado en corrientes y cursos de agua a través de la escorrentía; ya sea por meteorización natural o degradación del suelo (Georgopoulos et al., 2001). En ausencia de una fuente industrial específica, la escorrentía es el mayor factor que contribuye a los elevados niveles de cobre en el agua de río (Nolte, 1988, citado por Georgopoulos et al., 2001).

- hierro (Fe): el hierro es de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Usualmente el agua subterránea se contamina con hierro en estado de valencia (+II) y la hace inutilizable por consideraciones estéticas. Por otro lado, los óxidos de hierro, que se forman en depósitos sobre la oxidación aérea del hierro disuelto, promueven el crecimiento de microorganismos en el agua (Das et al., 2006). Las descripciones del fenómeno de drenaje ácido de minas (DAM) se enfocan en la oxidación de la pirita hacia la forma disuelta del hierro, sulfatada y protonación ácida; se adecuan a minas superficiales y rocas residuales, donde la escorrentía lava la mayor parte de las superficies. Pero esto no aplica para minas profundas, ya que el agua ingresa por

alimentadores principales, y sigue su curso a un limitado número de vía de drenajes, hacia sumideros de deshidratación (Younger, 2002).

- manganeso (Mn): el manganeso se puede encontrar como un contaminante natural en el agua de consumo, el cual puede afectar el olor y color del agua. Este elemento se puede encontrar en la corteza de la tierra, y a través de la percolación del agua en el suelo y la roca; se puede disolver este mineral, llegando hasta el agua subterránea (Dvorak & Schuerman, 2021).

- mercurio (Hg): el mercurio elemental es un metal que tiene una presión de 0.27 Pa, una densidad de 13.53 $\frac{g}{cm^3}$ y una solubilidad en agua de 5.6×10^{-5} a 6.1×10^{-5} g/L a 25°C (Armstrong, 1990, citado por O'Connor et al., 2019), este tiene un color plateado brillante y es líquido a temperatura ambiente. La cantidad global de mercurio acumulado en el suelo es bastante amplia, se asume que ronda entre el rango de 250-1000 w, a pesar que el mercurio puede ocurrir naturalmente en suelos por su geología, o a través de eventos naturales como incendios forestales y erupciones volcánicas; una proporción significativa de mercurio es atribuida a actividades antropogénicas, con una estimación de 86 Gg acumulado en el suelo (Obrist et al, 2018, citado por O'Connor et al, 2019).

- plomo (Pb): el plomo es el elemento número 34 más común en la litósfera, con una abundancia de 12.5-15 mg/kg. El plomo tiene numerosas fuentes industriales que ocasionan emisiones al medioambiente las cuales incluyen fundición en minería, fundición de hierro y acero. También tiene fuentes puntuales como pintura con aditivos de plomo, pesticidas y relaves mineros que pueden ocasionar aportes al medioambiente en grandes ordenes de magnitud, mayores a los rangos normales (Clausen et al., 2011).

VI. Parámetros microbiológicos: coliformes totales y termotolerantes

- Grupo coliformes: son aquellas bacterias anaerobias facultativas, gramnegativas, que no forman esporas. Las cuales tienen forma de bastoncillos y desarrollan colonias rojas con un brillo metálico (dorado) dentro de 24 a 35 horas en un medio de tipo extremo que contiene lactosa (Divya & Solomon, 2016).

- Fuentes de coliformes: estos se generan por contaminación de desechos de animales y humanos, los cuales, por lixiviación del estiércol, descarga séptica y de aguas residuales tratadas inadecuadamente, pueden drenarse a los cuerpos de agua (Divya & Solomon, 2016).

- coliformes totales: son un grupo de bacterias que se encuentran en el medioambiente. El E. coli (Escherichia coli) es el único miembro de coliformes totales que se encuentra solo en intestino de mamíferos (Divya & Solomon, 2016). Cada persona descarga entre 100-400 mil millones de coliformes por día, además de otro tipo de bacterias. Aunque estos son inofensivos para el hombre, se utilizan como un organismo indicador de patógenos difíciles de determinar. La presencia de E. coli en agua indica contaminación fecal reciente y ayuda a demostrar la posible presencia de patógenos como bacterias, virus y parásitos, causantes de enfermedades (Divya & Solomon, 2016).

- coliformes termotolerantes: estos son representativos de contaminación por heces fecales, pero son menos confiables como índice de estas, a comparación del E. coli (Medema et al, 2003 citado por Foppen y Shijven, 2006).

  La Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable de Honduras, en el cuadro 1 sobre parámetros bacteriológicos, menciona los valores recomendados y máximos admisibles para coliformes totales y fecales (Tabla 5).

Tabla 5: valores recomendados y máximos para coliformes totales y fecales (Ministerio de Salud, 1995).

Origen	Parámetro	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Agua no tratada que entra en el sistema de distribución.	Coliformes totales	0	3
	Coliformes fecales		0

C. Mercurio

En esta sección se abordan los procesos relacionados al uso de mercurio en la MAPE, fuentes, transformación en el medioambiente, riesgos por exposición, valores máximos admisibles en agua para consumo humano y protección de la vida acuática, y valores máximos admisibles en sedimentos.

I. Uso del mercurio en el proceso productivo de la MAPE:

En la cadena de valor de la MAPE de oro, se utiliza el mercurio para el proceso del beneficiado. Este consiste en la separación del mineral de la broza mediante procesos fisicoquímicos, donde se utiliza el mercurio para producir una amalgama de mercurio que atrapa metales como el oro y la plata. Esta amalgama se quema en el proceso de refogueo hasta obtener una pieza de oro libre de mercurio. El proceso de amalgamación se explica a continuación:

- La amalgamación del oro es uno de los procesos de extracción de oro más antiguos. Este consiste en añadir mercurio al mineral del oro o plata, el cual forma una amalgama o pasta. Cuando esta está formada, se puede separar de otros minerales y materiales a través del paneo. Luego de este proceso, la amalgama se exprime a mano en un trozo de tela para poder eliminar el exceso de mercurio que no se encuentra amalgamado al oro (Veiga et al., 2014).
- Para realizar el proceso de separación de la amalgama, la cual contiene de 40-50% de mercurio, se puede hacer por descomposición utilizando un soplete con gas propano o gasolina, a temperaturas alrededor de 460 °C (Veiga et al., 2014).
- Sin embargo, otros autores como (Veiga & Hylander, 2017) afirman que la humectación del oro por mercurio no es un verdadero proceso de aleación, sino un fenómeno de sorción moderadamente profundo, que implica la interpenetración de los dos elementos. Tomando en cuenta que la tensión superficial del mercurio es mayor que la del agua, pero menor que la del oro, se adsorbe sobre la superficie de las partículas del oro. El mercurio actúa como un medio denso, donde el oro se hunde en el mercurio, mientras que el material de desecho más ligero flota.

En la MAPE de oro se utiliza una variedad de procesos de amalgamación, de los cuales se abordan los más comunes como se muestra en Figura 2, y se explica a continuación:

- Amalgama de mineral entero: el mercurio se mezcla con todo el mineral en cajas de bombeo y la amalgama es descargada en esclusas o canales a través de un proceso gravimétrico; o todo el mineral se amalgama utilizando placas de cobre.
- Amalgamación de concentrados: el mercurio se mezcla con concentrados en licuadoras o barriles; la separación de la amalgama de otros materiales pesados se logra mediante paneo en cajas de agua, lagunas artificiales o en los márgenes del arroyo.

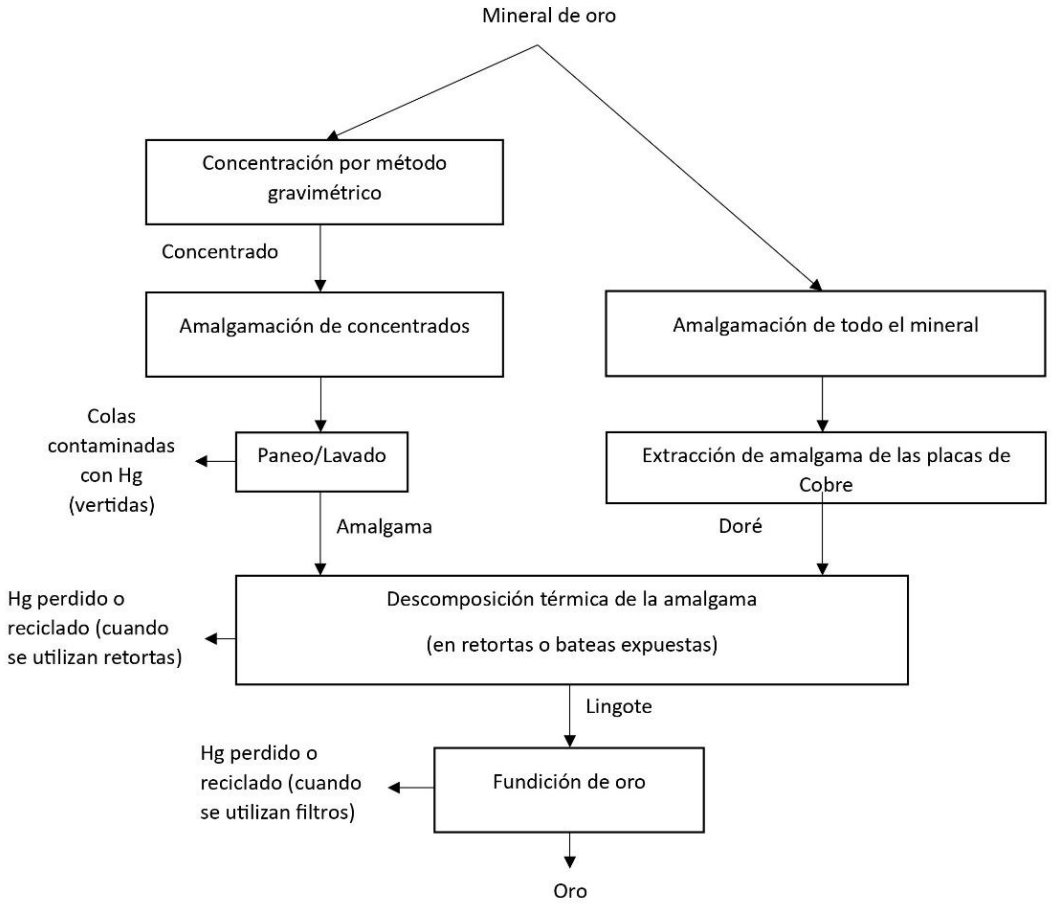


Figura 2: *métodos utilizados en las operaciones de la MAPE, para la extracción de oro con mercurio (Veiga & Hylander, 2017).*

II. Especiación química del mercurio, transformación y disponibilidad en el medio:

- Especiación del mercurio: el mercurio puede existir en el suelo en diferentes estados y especies, donde cada uno tiene propiedades diferentes (Tabla 6), lo cual añade complejidad a la evaluación de sitios contaminados.
- Estados de oxidación del mercurio: el mercurio cuenta con tres estados de oxidación; Hg (0) (mercurio elemental), Hg(I)(mercurioso), Hg(II)(mercúrico), esta última forma no es estable bajo condiciones medioambientales típicas, por esto es raro observarlo (O'Connor et al., 2019).

Tabla 6: propiedades de compuestos específicos del mercurio (Armstrong, 1990, citado por O'Connor et al., 2019).

Species	Name	Solubility in water (g/L)	Henry's law constant (atm-m^3/mol)	Vapor pressure (Pa)	Density (g/cm^3)
Hg^0	Elemental mercury	5.6×10^{-5} to 6.1×10^{-5} (25 °C)	7.1×10^{-3} to 8.7×10^{-3} (25 °C)	0.27 (25 °C)	13.53 (25 °C)
		49.6×10^{-6} (20 °C)	7.3×10^{-3} (20 °C)	0.16 (20 °C)	
$HgCl_2$	Mercuric chloride	28.6 to 73.3 (25 °C) 66 to 69 (20 °C)	7.1×10^{-10} (25 °C) 3.6×10^{-10} (20 °C)	9.00×10^{-3} (20 °C)	5.43 (25 °C)
$HgSO_4$	Mercuric sulfate	Decomposes to mercury oxide sulfate and sulfuric acid	–	–	6.47 (25 °C)
Hg_3O_6S (isomer)	Mercury oxide sulfate	0.03 (16 °C)	–	–	6.44
HgS	Mercury sulfide	2×10^{-24} (25 °C)	–	–	8.1 (25 °C)
HgO	Mercuric oxide	0.043 to 0.053 (25 °C)	7.1×10^{-7} (25 °C)	9.20×10^{-12} (25 °C)	11.14 (25 °C)
$HgBr_2$	Mercuric bromide	6.12 to 6.77(25 °C)	–	–	6.03 (25 °C)
HgI_2	Mercuric iodide	0.06 (25 °C)	–	–	6.36 (25 °C)
$Hg(NO_3)2$	Mercuric nitrate	20	–	–	4.30 (25 °C)
Hg(CN)2	Mercuric cyanide	93 (14 °C)	–	–	4.00 (25 °C)
CH_3HgCl	Methyl mercuric chloride	< 0.10 (21 °C)	4.7×10^{-7} (25 °C) 3.8×10^{-7} (15 °C)	1.10 to 1.76 (25 °C)	4.06 (20 °C)
$(CH_3)_2Hg$	Dimethyl mercury	Slightly soluble. Most sources state "negligible", NRC (2000) reports 1 g/L (21 °C)	6.4×10^{-3} to 7.6×10^{-3} (25 °C)	8.31×10^3 (25 °C) 7.80×10^3 (23.7 °C)	3.19 (20 °C)
CH_3HgOH	Methyl mercuric hydroxide	1 to 10 (21 °C)	–	0.90	–

- Tipos de enlaces que tiende a formar el mercurio: los compuestos de mercurio son diferentes de la mayoría de otros compuestos metálicos ya que estos tienden a involucrar enlaces covalentes, en vez de enlaces iónicos. Los compuestos organo-Hg se definen por su enlace C-Hg, el cual es covalente (O'Connor et al., 2019). La existencia de este enlace es la que diferencia los compuestos organo-Hg de los compuestos inorgánicos de mercurio, ya que los orgánicos están enlazados a materia orgánica (US EPA, 1996, citado por O'Connor et al., 2019).

- Liberación del Hg del suelo a la atmósfera: las especies volátiles del Hg como Hg^0 y el dimetil-Hg, debido a su alta volatilización y susceptibilidad a la oxidación, están típicamente presente solo en la atmósfera. Sin embargo, puede estar presente como una fase libre en suelos fuertemente contaminados por actividades antropogénicas (derrames) (O'Connor et al., 2019). La deposición del Hg (0) a los suelos, ocurre en escalas espaciales y temporales; largas (Lin et al, 2010, citado por O'Connor et al., 2019).

  El mercurio atmosférico Hg^{2+} es casi siempre, rápidamente dispuesto en la pedosfera por deposición seca o húmeda. Una vez introducido en el suelo, rápidamente forma sales inorgánicas de mercurio y minerales, como $HgCl_2$, Hg^O y HgS. También, bajo condiciones adecuadas, puede formar compuestos órgano-mercuriales (O'Connor et al., 2019) y Tabla 6.

  Relación entre concentraciones bajas de Hg y precipitaciones: durante los eventos de lluvias, (Briggs & Gustin, 2013, citado por O'Connor et al., 2019), proponen un mecanismo que sugiere seis escenarios (Figura 3), como se detalla a continuación:

- Infiltración inicial (Escenario A): el agua desorbe Hg^0 de los suelos, y desplaza mercurio elemental gaseoso, por sus siglas en inglés (GEM) a la atmósfera como un pulso.
- Agua de lluvia (Escenario B): esta se infiltra aún más en el subsuelo, liberando las especies de Hg^{2+} en el suelo, las cuales pueden disolverse en su fase acuosa, y el Hg^0 sorbido en el suelo; puede desorberse a GEM, pero se debe de considerar que el flujo de Hg se limita cuando los suelos están saturados de agua.
- Luego del término de la lluvia (Escenario C): el flujo del Hg se incrementa, a medida aumenta la energía del medio (radiación solar o temperatura) y también, por procesos abióticos o bióticos de reducción del mercurio.
- En suelos que pierden humedad (Escenario D): cuando pierden humedad, el flujo del mercurio se reduce y es conducido por el movimiento ascendente del vapor del agua, lo cual aporta Hg^{2+} disuelto y GEM a la superficie.
- En zonas vegetáceas (Escenario E): el movimiento es conducido por la evapotranspiración.
- En suelos secos (Escenario F): cuando estos se vuelven efectivamente secos, el flujo de Hg es significativamente reducido.

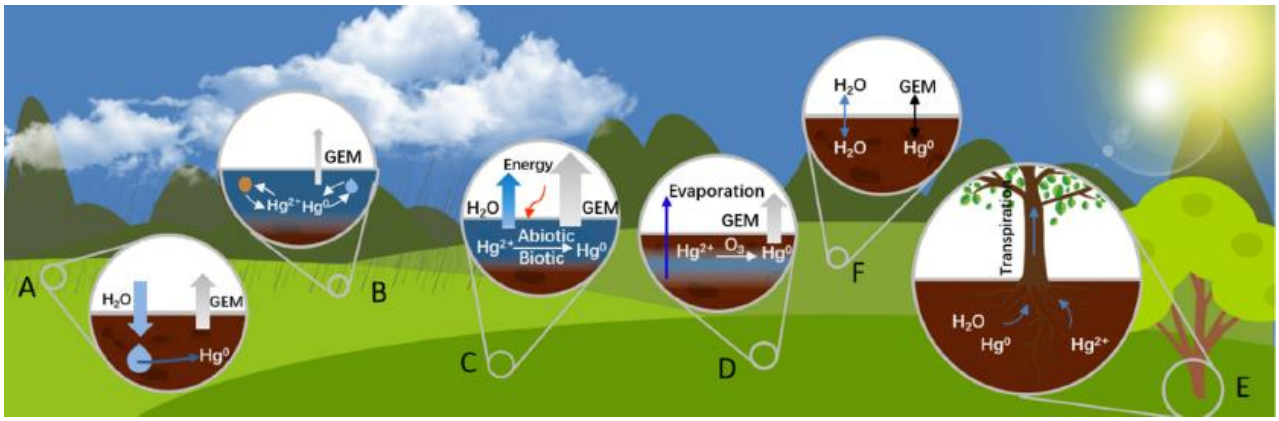


Figura 3: modelo conceptual de los seis estados del flujo del Hg desde concentraciones bajas, asociadas con eventos de lluvia (Briggs & Gustin, 2013, citado por O'Connor et al., 2019).

- Factores que determinan la salida del mercurio de la cuenca: la salida del mercurio de la cuenca es una función de su biogeoquímica, uso de suelo, deposición atmosférica y clima (Bishop & Lee, 1997, citado por Gabriel & Williamson, 2004).
- Ciclo del mercurio en aguas superficiales: en áreas alejadas de fuentes puntuales, el mercurio atmosférico llega al agua superficial de los ecosistemas, ya sea por deposición directa a los lagos o por escorrentía de las cuencas. Cuando ocurre deposición seca o húmeda a las cuencas y superficies de los lagos, asimismo en ecosistemas terrestres, la especie predominante del mercurio es Hg (II), el cual puede ser reducido a Hg (0) y ser volatilizado a la atmósfera. Una porción pequeña de Hg (II) es convertida a la forma más tóxica del mercurio, el metil-mercurio (MeHg). La metilación del mercurio es un proceso biológicamente mediado, que es facilitado por algunas cepas de bacterias reductoras de sulfato y hierro (Sellin, 2009). Los procesos detallados anteriormente, más la influencia de mercurio al ciclo global, por los vertidos no controlados de rastras, se esquematizan en la Figura 4.

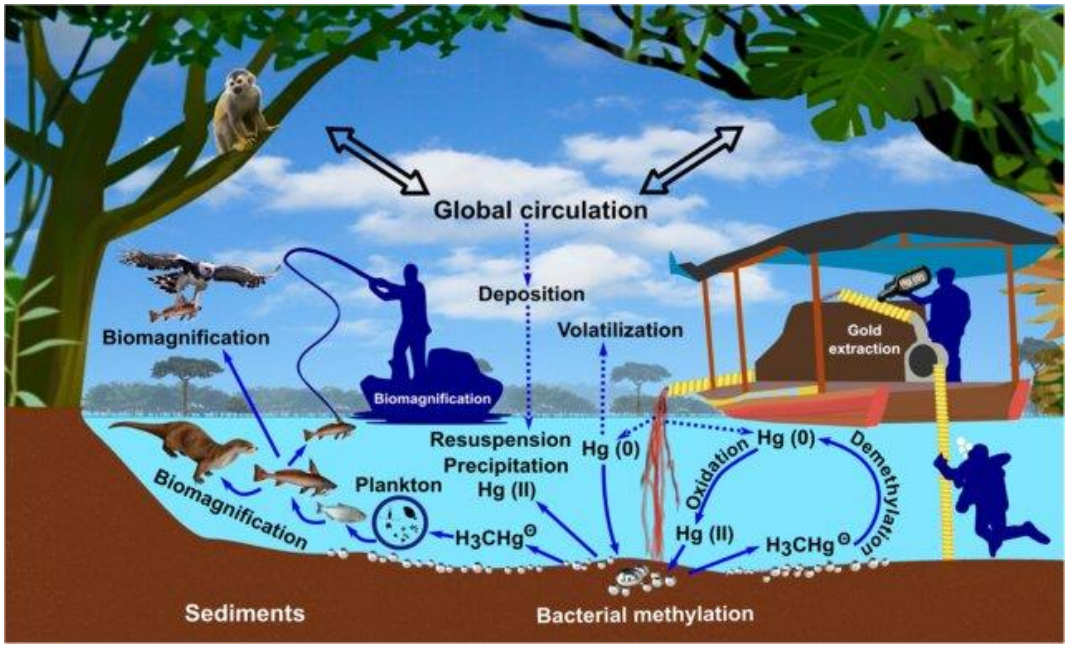


Figura 4: modelo conceptual para el ciclo de mercurio en la cuenca (Valdelamar Villegas & Olivero Verbel, 2020)

II. Fuentes de exposición al mercurio

- Exposición al mercurio según especiación: según (Kulig, 1998, citado por Taber, K, 2008) la exposición al mercurio va a depender de la especiación de este, como se detalla a continuación:
  mercurio-elemental: derrames de dispositivos que contienen mercurio, como: termómetros, barómetros, esfigmomanómetros, exposición laboral, amalgamas dentales, inyecciones o ingestión.
  mercurio-inorgánico: ingestión de baterías rotas y exposición a calomelano (mineral formado por cloruro de mercurio).
  mercurio-orgánico: exposición a fungicidas y germicidas, e ingesta de mariscos (en especial si son predadores).

- Exposición al mercurio elemental por la MAPE: concentraciones de Hg en la orina, han evidenciado que involucrados en el proceso extractivo, sus familiares y aquellas personas de comunidades mineras de oro; están expuestas a niveles peligrosos de vapor de Hg elemental. Esta evidencia incluye niveles urinarios extremadamente elevados e incluso se reportaron concentraciones de Hg en niños que trabajan en las minas y niños que viven en áreas de influencia por la MAPE (Gibb & O'Leary, 2014).

III. Riesgos de Exposición al mercurio y sus efectos

- Exposición crónica al mercurio: el envenenamiento crónico por mercurio inorgánico está caracterizado por el desarrollo de tremores, perturbaciones físicas, y alteración en la conducta. Estas últimas dos se conocen como eretismo mercurial. Los efectos neuroconductuales producidos por vapores de mercurio se categorizan en 4 grupos: a) Perturbaciones al sistema motor, b) deterioro de la capacidad intelectual, c) alteraciones del estado mental y d) neurotoxicidad periférica (Reiko Kishi et al., 1994). El nivel de mercurio en la orina, usualmente expresado en μg Hg/g creatinina o μg Hg/Litro de orina; es comúnmente utilizado como un indicador de exposición crónica a vapor de mercurio y/o compuestos inorgánicos de mercurio, y a diferencia del metil-mercurio, estos compuestos no se acumulan en el cabello (Taber et al., 2008)

  La exposición crónica a mercurio puede producirse por técnicas de manufactura como la elaboración de fieltros para sombreros y fabricación de vidrio plateado para espejos (Taber et al., 2008).

- Exposición aguda al mercurio: la exposición aguda producida por inhalación a altas concentraciones de vapor de mercurio causa neumonitis que puede guiar a una falla respiratoria y a la muerte (Bradley Rowens et al., 1991).

- Exposición al metil-mercurio en el embarazo: estudios epidemiológicos han relacionado la exposición a esta especiación con efectos neurológicos en madres y en el desarrollo de sus hijos (Selin, 2009).

  Investigaciones toxicológicas y epidemiológicas, posteriores al desastre medioambiental ocurrido en la Bahía de Minamata en la década de 1950, han encontrado que la exposición a niveles bajos de monometilmercurio (MMHg) principalmente de mariscos, puede perjudicar el desarrollo neurológico del feto y bebés (NRC/NAS, 2000, Suzuki et al. 1991 citado por Sonke et al., 2013).

- Efectos comunes en involucrados en la MAPE de oro: la afectación neurológica, es el efecto común más reportado entre trabajadores de la MAPE de oro, este incluye temblor, ataxia, problemas de memoria y visión. Estas afectaciones ocurren también en consumidores de pescado de fuentes aguas debajo de actividades mineras (Gibb & O'Leary, 2014).

- Riesgo de exposición al mercurio en proceso tradicional de la MAPE de oro: en el proceso de extracción, separación y acarreo de la broza el riesgo es nulo, mínimo o moderado, pero durante el proceso de molienda donde se fabrica la amalgama a partir de mercurio líquido y la broza; el riesgo es alto, liderando este riesgo hasta el quemado de la amalgama, el cual representa el mayor riesgo del proceso por el contacto con los vapores de mercurio que se forman (Proyecto GAR Mercurio PNUD-GEF/MiAmbiente, 2021).

IV. Valores máximos admisibles de mercurio para consumo humano y vida acuática, en matriz de agua y sedimento.

A continuación, se presenta en Tabla 7, un resumen de los valores máximos admisibles de mercurio en agua y sedimento según los siguientes entes reguladores:

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (United States Environmental Protection Agency, 2022).
- Organización Mundial de la Salud (WHO) (World Health Organization, 2011).
- Consejo de Ministros de Medio Ambiente de Canadá (CCME) (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1997).
- Ministerio de Salud de Honduras (Ministerio de Salud, 1995).

Tabla 7: valores máximos admisibles de mercurio en agua y sedimento para asegurar la protección de vida acuática y el consumo humano.

Ente regulador	**Concentración para consumo humano o protección de la vida acuática**	**Hg para agua potable proveniente de fuentes superficiales o subterráneas**	**Hg-total en sedimentos**
EPA	Vida acuática	1.4 µg/L	Sin valor de referencia
WHO	Consumo humano	6 µg/L para mercurio inorgánico	
CCME	Protección de la vida acuática	0.026 µg/L para mercurio inorgánico	170 µg/kg peso seco (ISQG[1])
			486 µg/kg peso seco (PEL[2])
Ministerio de Salud de Honduras	Consumo humano	0.001 mg/L para Hg-total	Sin valor de referencia

[1] ISQG: Canadian interim sediment quality guidelines, por sus siglas en inglés (Directrices canadienses temporales, sobre la calidad de los sedimentos).

[2] PEL: Probable effect levels, por sus siglas en inglés (niveles de efectos probables).

4. Capítulo IV: Descripción del medio

En este capítulo se realizará una descripción breve del contexto geográfico, demográfico, morfología, geología, hidrogeología, hidrología, climatología y tipo y usos de suelo. Con los respectivos mapas que ayudarán a relacionar la información presentada.

4.1 Situación geográfica y demográfica

El Corpus (Mapa 1) tiene una extensión territorial aproximada de 242 km², está conformado por 17 aldeas y 244 caseríos registrados en el Censo Nacional de Población y Vivienda de 2013, el código de identificación geográfica de El Corpus, Choluteca es 0605 (INE, 2013).

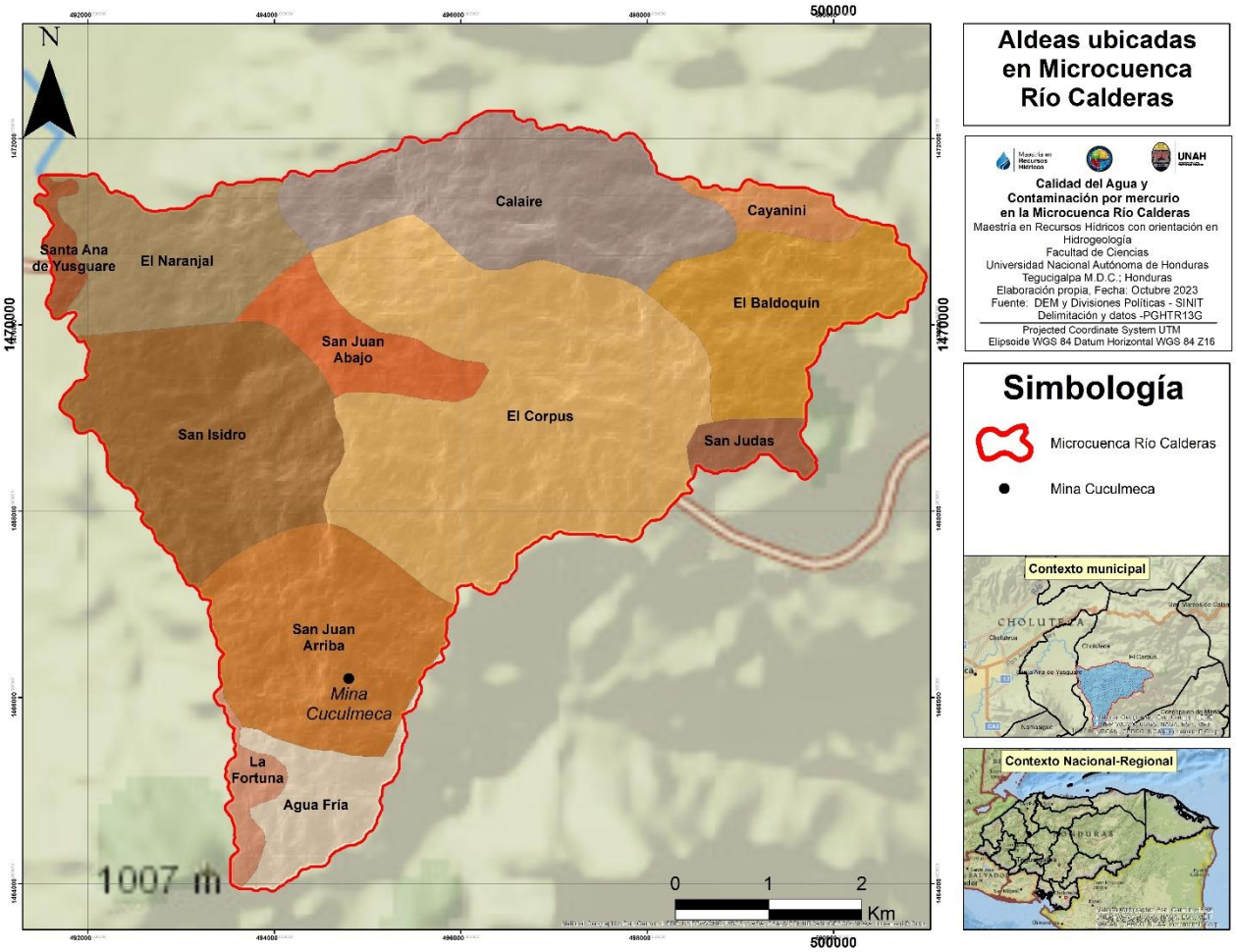
Según el censo del (INE, 2019), la población del municipio proyectada hasta el 2018 está compuesta por 25,845 personas, de las cuales 13,508 son hombres y 12,337 mujeres. Este dato resulta interesante ya que, al tener una población con proporciones similares de ambos sexos, los únicos implicados en la cadena de valor del oro son los hombres.

La zona de trabajo está comprendida por la microcuenca declarada “Calderas” (Mapa 7), situada en el municipio de El Corpus. Esta microcuenca tiene un área de 39.21 km^2, considerando los sitios priorizados por influencia de la MAPE se utilizaron como muestra 5 aldeas pertenecientes al municipio: San Juan Arriba, El Corpus, San Juan Abajo, Los Chagüites y El Naranjal. Los Chagüites y San Juan Arriba, representan 2 de las principales aldeas del municipio donde se lleva a cabo el beneficiado de oro por la MAPE.

La aldea de San Isidro se conoce por los pobladores del municipio como: “Los Chagüites”, motivo por el cual en este estudio será referida por ese nombre. Nótese que en el Mapa 1 al noroeste de la microcuenca está situado Santa Ana de Yusguare, este no representa una aldea del municipio de El Corpus, sino; un municipio del departamento de Choluteca, pero se encuentra circunscrito en la Microcuenca Calderas y no fue tomado como muestra para este estudio.

Límites geográficos del municipio:

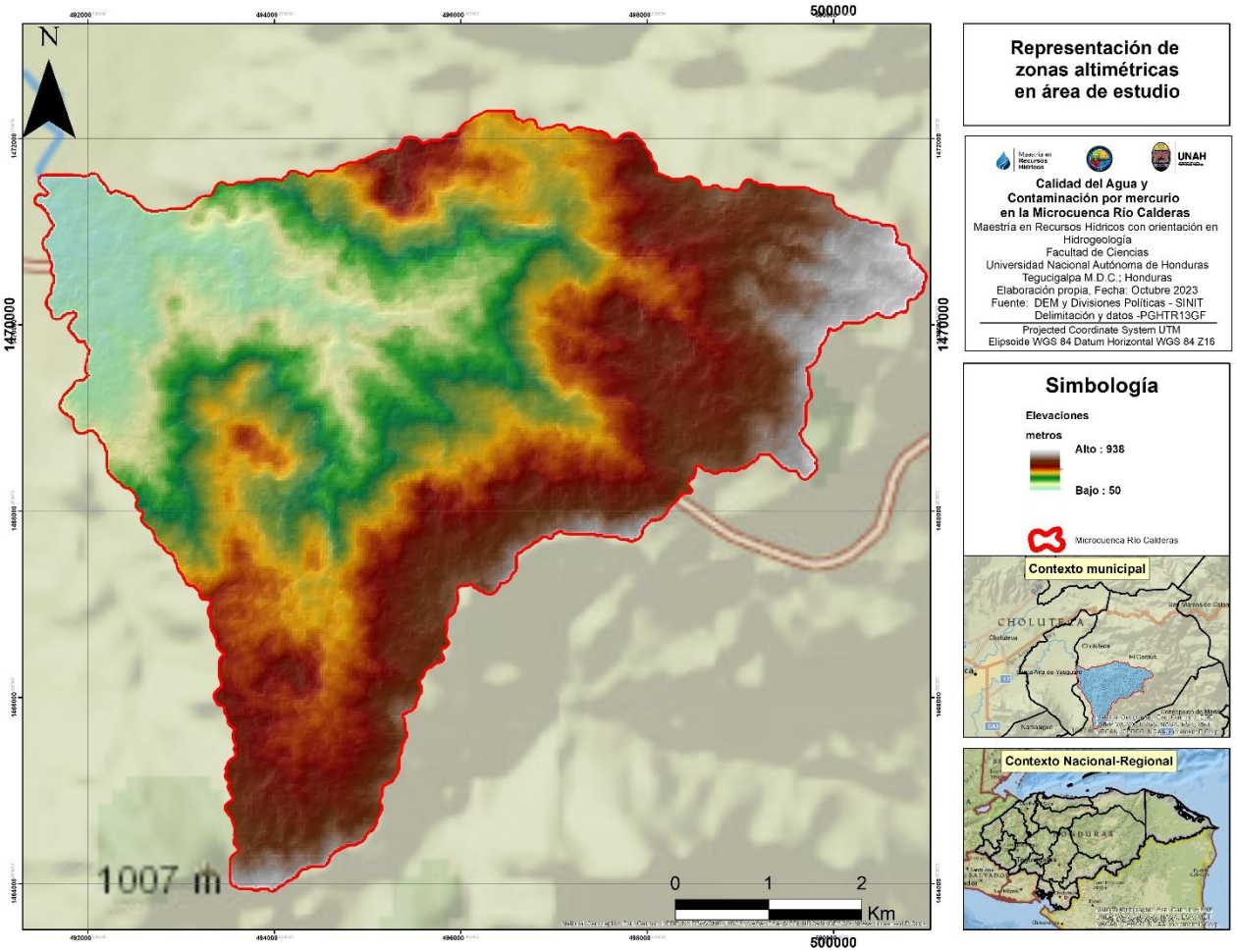
- Norte: municipio de Apacilagua.
- Sur: municipio de El Triunfo.
- Este: municipio de Concepción de María.
- Oeste: municipio de Santa Ana de Yusguare.



Mapa 1: ubicación geográfica del área de estudio.

4.2 Morfología

- Altimetría: en el Mapa 2 se presentan las elevaciones de la zona de estudio, las cuales van desde 939 metros en la parte alta de la cuenca, hasta 50 metros en la parte baja. Cabe recalcar que las actividades extractivas de la MAPE de oro se llevan a cabo en la cuenca alta y las actividades de beneficiado se distribuyen desde la cuenca alta (tonos blanco y rojo), cuenca media (tonos amarillo y verde) y cuenca baja (tono celeste).



Mapa 2: zonas altimétricas en área de estudio.

4.3 Geología local

La estratigrafía del área de estudio se enmarca en el Grupo Padre Miguel inferior, esto corresponde principalmente a rocas volcánicas piroclásticas, tobas andesíticas y tobas riolíticas.

"Las sierras y mesetas de origen volcánico aparecieron durante el Terciario y Cuaternario en el norte de Centroamérica, cubriendo una parte del sur y noroeste del territorio hondureño fronterizo con Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Las primeras erupciones de lava y ceniza volcánica fueron el origen de la formación Matagalpa de andesita, basalto y tobas de la misma composición litológica. En una segunda etapa, las erupciones fueron de carácter explosivo en regiones de extraordinario volumen de ceniza y otros materiales piros clásticos, acompañados de flujo de lava riolítica, lo que dio origen a las rocas volcánicas del grupo Padre Miguel, representado por ignimbritas, tobas, riolitas y sedimentos piroclásticos riolíticos asociados." (Reconco, 2019).

A continuación, se presenta una descripción detallada de la geología local encontrada en el área de estudio, que se enmarca en la microcuenca declarada Río Calderas. Esta descripción es parte del estudio de (IHCIT-UNAH, 2017), recopilado del informe de geología.

La acumulación de rocas volcánicas tobáceas es muy notable al sur de El Salvador, sureste de Honduras y noroeste de Nicaragua, los espesores de capas generalmente de 5 a 20 m incrementan hacia al noroeste, desde Nicaragua hacia Honduras, alcanzando espesores de 50 a 120 m en la frontera con Honduras. Han sido clasificados como piedra pómez y flujos de cenizas o ignimbritas, sin embargo, se trata de ignimbritas dacíticas y riolíticas, con una inclinación regional media de 5° hacia el oeste formando bloques tectónicamente separados.

La variabilidad de las facies es muy bien representada en el área de estudio, se puede observar un perfil en el que se puede observar la alternancia de capas de ignimbritas soldadas con estructura euxaticas y menos soldadas con horizontes de fragmentos de roca (líticos), con espesores de hasta 120 m. Las rocas que forman la parte superior muestran un mayor grado de soldadura y se desintegran formando columnas, mientras que las rocas de la parte inferior son menos soldadas y se desintegran formando bloques.

Capas más profundas muestran una pseudoestratificación sub-horizontal, condicionadas por una serie de depósitos de ceniza y capas de ceniza con fragmentos líticos de tamaño de arena media, el espesor de dichas capas no es superior a 1.20 m.

Se han identificado derrames de basalto y depósitos de ceniza cubriendo las acumulaciones de depósitos de ignimbritas.

La secuencia volcánica Terciaria será definida de la propuesta por (Parsons Cons, 1972, citado por IHCIT-UNAH, 2017) y (Weyl et al. 1980 citado por IHCIT-UNAH, 2017). Se han definido dos grupos importantes de rocas dacitas y riolita ignimbríticas. Así mismo se han encontrados paquetes de ignimbritas riolíticas soldadas con líticos y textura euxaticas, intercaladas con capas de toba de grano fino (co-ignimbritas de caída y depósitos de oleada).

Sumado a estos se encuentra la presencia de cuerpos intrusivos principalmente granitos y granodioritas, las que presentan diferentes grados de alteración, así mismo se han originados productos de alteración de estos.

Estos intrusivos en general están meteorizados, especialmente cuando se encuentran formando extensas zonas. El tipo de meteorización predominante en estas áreas es aquella en que los feldespatos están alterados a caolín o arcilla y la biotita a clorita. La roca por lo general conserva su estructura granítica, pero es friable. Otra característica de esta meteorización es el contraste de los suelos areno arcillosos claros con los suelos rojizos de las andesitas, y también hace resaltar los diques de intrusivos jóvenes y diques pegmatitícos que son más resistentes a la meteorización.

Datos radiométricos utilizando el método K-Ar (Weyl et al. 1980 citado por IHCIT-UNAH, 2017) han demostrado que la edad es de 18,6 o 19,1 millones de años, es decir, Mioceno Inferior.

A continuación, se describe la litología encontrada en la microcuenca (Mapa 3), todas incluidas dentro del Grupo Somoto, con edades de Mioceno Inferior a Plioceno Inferior.

- Ignimbritas riolíticas: se distribuyen ampliamente en el área de estudio, siendo la unidad más representativa después de los basaltos. Son de color gris, beige a gris oscuro, dependiendo del grado de alteración de los minerales secundarios que la componen. Son rocas compactas, poco alteradas, formadas por minerales de cuarzo y biotita, principalmente.

Se han identificado otras unidades de ignimbritas riolíticas menos compactas, no se han hecho una subdivisión como tal debido a la falta de correlación espacial con otros puntos. Sin embargo, es importante mencionarlo ya que constituyen unidades locales de importancia hidrogeológica.

- Tobas e ignimbritas: generalmente de color beige, alteradas, poco compactas y porosas. En San Juan Arriba existe una toba ignimbrítica aglomerática de color blanco con presencia de líticos de cuarzo, biotita, basalto y pómez.

Unidades ignimbríticas: estas corresponden a Brechas, Ignimbritas, Andesitas, Residuales, depósitos Coluviales, como se detalla a continuación:

- Brechas e ignimbritas: son rocas volcánicas pertenecientes al Grupo Coyol Inferior, dentro de este grupo se incluyen las secuencias de rocas acidas y rocas básicas, estas rocas ocupan una gran extensión de la parte este de la subcuenca.

Se trata de brechas alteradas de color gris claro con fragmentos de basalto en una matriz de ceniza y plagioclasas alteradas poco compacta, fracturas verticales sobreyacen a las riolitas (pómez vesicular).

- Brechas: generalmente son de color beige, gris claro a blanco, presentan fragmentos angulosos de basalto y andesitas en un cemento silíceo, son compactas y casi no presentan fracturas. Un pequeño deposito observado cerca de San Juan Arriba, El Corpus y El Cacao, corresponde a una brecha aglomerática formada de fragmentos de basalto, andesita y pómez, presenta fracturas con aberturas de hasta 0.5 cm, el cemento es una ceniza compacta. El espesor estimado es de 100 m. En estas rocas ocurren mineralizaciones de oro.

- Andesitas: la andesita es de color gris verdoso con facies dacítica y aglomerado con aglutinación de fragmentos basálticos y andesíticos y otras rocas en menor escala, están cortadas por intrusivas ácidas con xenolitos de andesitas, contiene minerales secundarios tales como cuarzo, zeolita (natrolitas).

Se encuentran principalmente en la microcuenca Calderas, en el límite con la microcuenca Caleros.

- Residual: las rocas que han sido alteradas y no han sufrido erosión y transporte significativo se les conocen como residual, estas rocas afloran principalmente en la zona de Santa Rosa, dentro de la microcuenca Calderas y Calero, las rocas han sido alteradas y forman conos de deyección, principalmente las ignimbritas, lo que ha originado el desarrollo de gruesas capas de material alterado, principalmente arcillas, arenas arcillosas y suelos limosos.

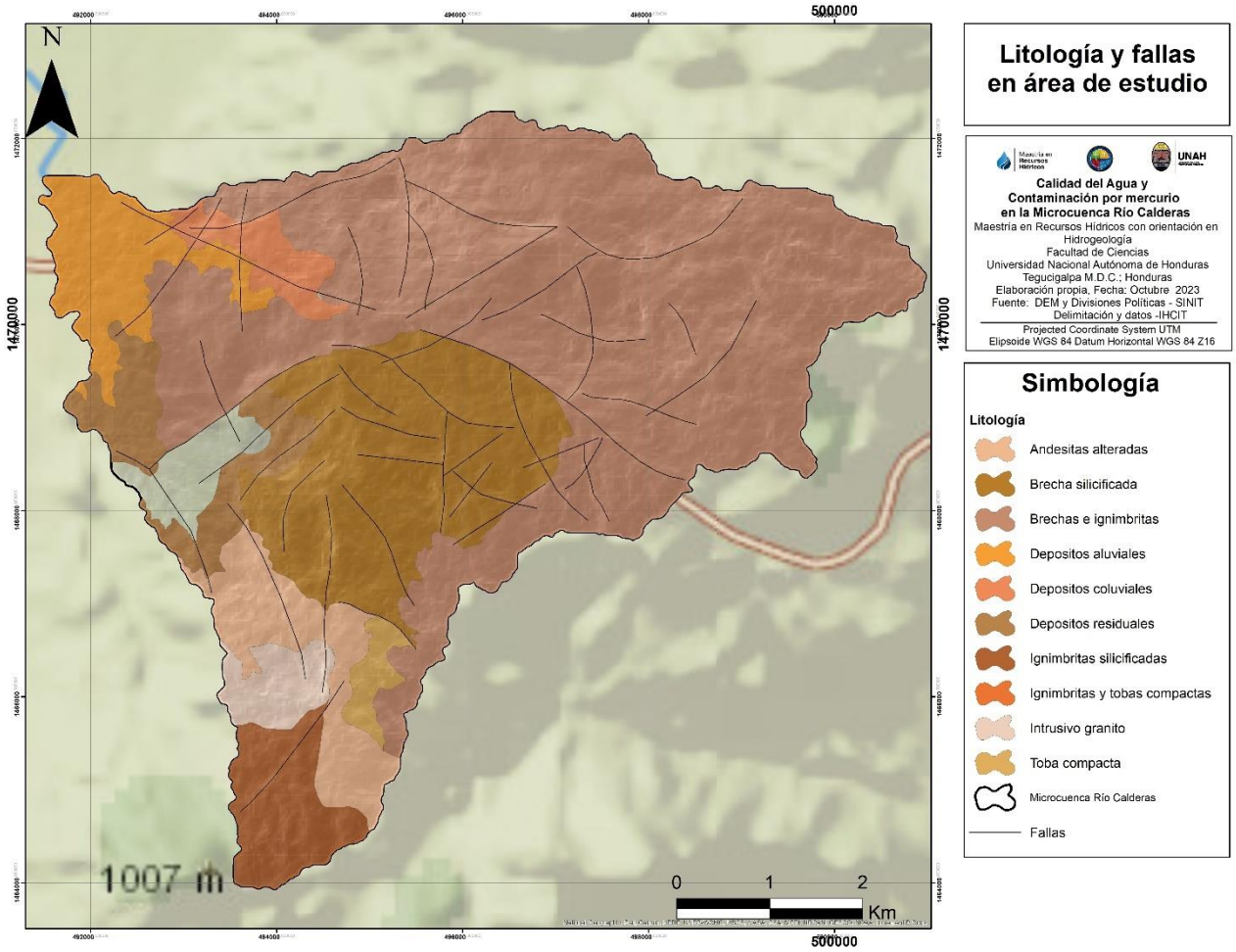
Son de color negro, beige, rojo y café oscuro, dependiendo de mineral secundario que ha sido alterado, el principal tipo de alteración observada ha sido la de tipo hidrotermal, así también se observan alteraciones químicas originando suelos lateríticos y suelos montmorilloniticos.

Dentro de esta unidad de rocas alteradas y como parte más inferior se presenta la roca totalmente meteorizada de color gris oscuro a verde parduzco con abundantes manchas negras, biotita. Su meteorización ocurre a partir de diaclasas, generando una irregularidad con

núcleos de roca rodeados de material arenoso con abundante limo y arcilla. El espesor estimado es de 85 m.

- Depósitos coluviales: son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño, pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en las vertientes del territorio montañoso, habiéndose formado por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y la acción de la gravedad. Se constituyen principalmente de grandes bloques de ignimbritas, tobas y andesitas, ocasionalmente bloques de granitos.

  Se observan principalmente en las microcuencas Calderas, en la aldea San Juan Arriba, y los bloques son constituidos por granito.



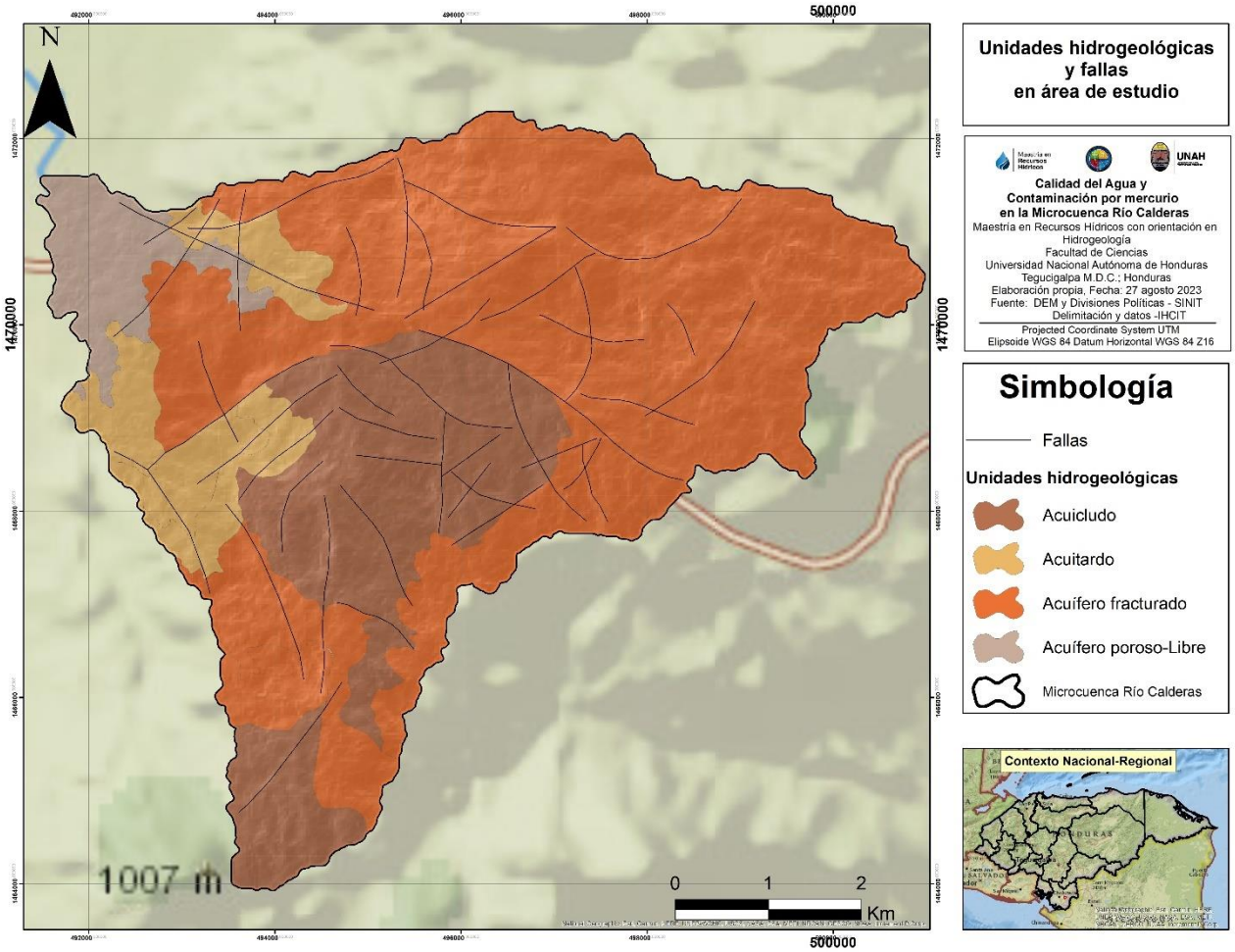
Mapa 3: litología y fallas, en el área de estudio, adaptado de (IHCIT-UNAH, 2017).

4.4 Hidrogeología

En la Tabla 8 y Mapa 4 se presentan las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio y el área correspondiente a cada una. Las fuentes de captación corresponden a pozos perforados, excavados (malacate) y manantiales, como se detalla en la Tabla 20 y se pueden visualizaren el Mapa 12.

Tabla 8: unidades hidrogeológicas en área de estudio.

Unidad hidrogeológica	Área km^2
Acuícludo	9.09
Acuífero fracturado	24.08
Acuífero poroso - Libre	2.26
Acuitardo	3.78



Mapa 4: unidades hidrogeológicas y fallas, en área de estudio, adaptado de (IHCIT-UNAH, 2017).

4.5 Tipo de suelos

Según la clasificación de tipos de suelos, recabada de los trabajos de Simmons y extraída de (FAO, 1969), se pueden encontrar tres tipos en la zona de estudio: Chinampa, Coray y Suelos de los Valles, como se presenta en el Mapa 5.

A. Chinampa

Los suelos Chinampa son suelos bien avenados, profundos, formados sobre gneis o esquisto de grano grueso, ocupan un relieve colinoso o escarpado con pendientes que oscilan frecuentemente entre 20 y 40%. Están asociados con suelos Danlí y Jacaleapa, pero se distinguen de los primeros por la naturaleza del material de partida y de los segundos por la profundidad de la capa del suelo. Se encuentran en el Departamento de Choluteca y en El Paraíso, al sudeste de la ciudad de El Paraíso.

El suelo superficial, hasta una profundidad de unos 25 cm, es franco-arenoso muy fino a franco-arcilloso-arenoso fino, friable, pardo oscuro. La reacción es mediana a ligeramente ácida con un pH 6.0 aproximado. El subsuelo, hasta una profundidad de unos 75 cm, es franco-arcillo-arenoso, pardo amarillento a pardo rojizo, friable. La reacción es muy ácida con pH 5.0 a 5.5. Debajo de este subsuelo hay gneis meteorizado blando o esquistos de grano grueso, que se deshace en franco-arcillo-arenoso cuando se le frota entre los dedos. La reacción es muy ácida, de pH 5.0 a 5.5. Normalmente, no se presenta la roca dura a profundidades inferiores a 2 metros. La vegetación natural en los suelos Chinampa es el pinar con algunos ejemplares de roble y liquidámbar.

B. Coray

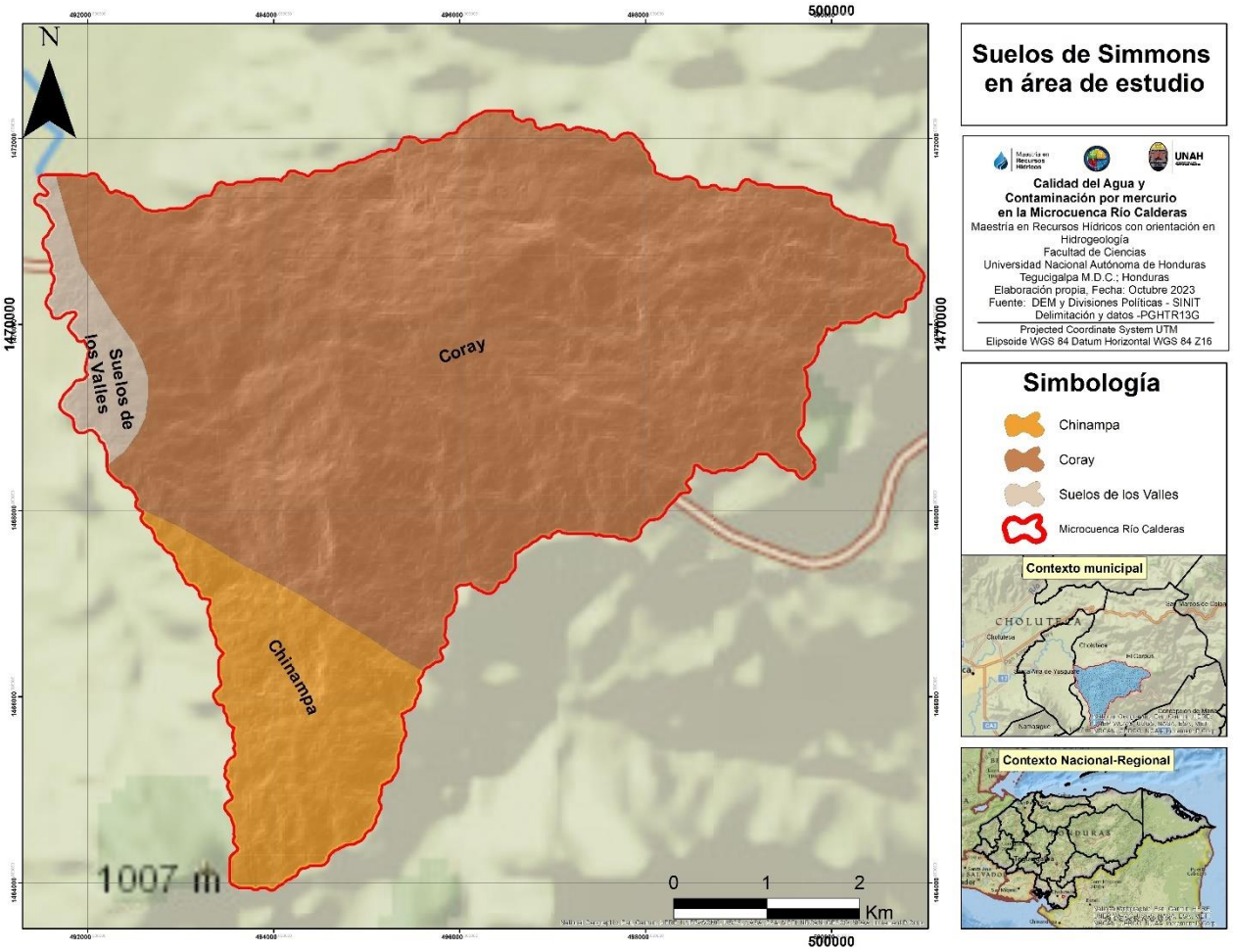
Los suelos Coray son suelos bien avenados, poco profundos, formados sobre ignimbritas, ocupan un relieve muy ondulado o colinoso en la región de colinas del Pacífico, con altitudes frecuentes inferiores a 600 metros. Son normales en ellos las pendientes de 15 a 25% que en algunos lugares llegan hasta el 40%. Se parecen a los suelos Pespire, con los que están asociados, pero se distinguen de ellos por la naturaleza de la roca madre, basaltos o ignimbritas oscuras, el espesor de la capa de suelo y la presencia de un subsuelo de color rojizo en los suelos Pespire. Se parecen a los suelos Ojojona existentes en altitudes superiores y se distinguen de éstos, de una manera más o menos arbitraria, a 600 metros de altitud, aunque también en el límite inferior de crecimiento del pino, y por el predominio de pendientes pronunciadas en los suelos Ojojona.

El suelo superficial, hasta una profundidad de unos 15 cm es franco a franco limoso, pardo oscuro, friable y fácil de trabajar. El subsuelo, hasta una profundidad de 30-50 cm es franco limoso, pardo oscuro friable. La reacción en todo es ligeramente ácida (pH 6.0 aproximadamente). Normalmente la roca madre es una ignimbrita clara, de color que oscila del gris a la púrpura claro, y en relativamente pocos sitios es blanca.

En algunos lugares, especialmente donde la roca madre es muy clara, puede haber granos de cuarzo, y el suelo puede ser franco arenoso. En gran parte del área son frecuentes las piedras en la superficie. Incluidas en las áreas representadas en el mapa hay otras pequeñas, donde la pendiente es inferior al 10% y el suelo más profundo. Esas áreas se cultivan corrientemente de forma permanente. Se incluyen también otras áreas en que se ha depositado material arrastrado por lixiviación de áreas vecinas, determinando un suelo arcilloso negro y pesado.

C. Suelos de los Valles

Los suelos de los valles comprenden la mayor parte de la superficie de Honduras apta para el cultivo intensivo. Están muy esparcidos y existen en todos los departamentos. Muchos parecen ser que ocupan lugares que fueron en un tiempo lagos formados por movimientos orogénicos que cerraron el curso de ríos; otros son terrazas fluviales o restos de lo que fue un tiempo fondo marino. Muchos de los valles internos, o comprendidos entre montañas, se encuentran a altitudes que oscilan entre 500 a 800 metros sobre el nivel del mar y están rodeados de montañas que se alzan a más de 1,000 metros de altitud. Este tipo de suelo corresponde a la zona noroeste de la microcuenca, conformada por el municipio de Santa Ana de Yusguare, el cual no fue seleccionado como muestra de este estudio.



Mapa 5: suelos de Simmons en área de estudio, adaptado de (FAO, 1969).

4.6 Uso de suelo

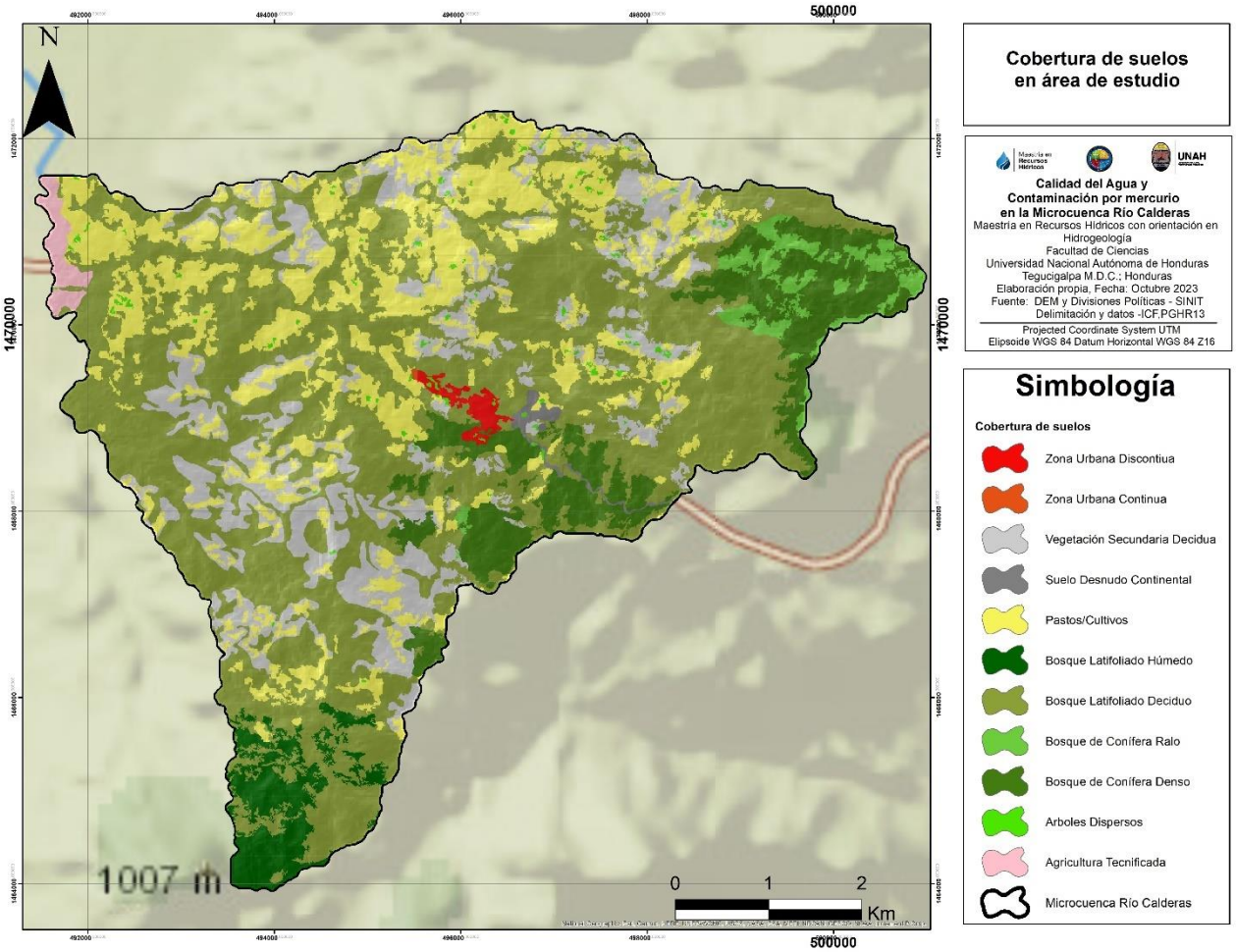
El uso de suelo en el área de estudio se encuentra ocupado principalmente por Bosque Latifoliado Deciduo, y pastos y cultivos. El primero tiene la característica de tener hojas anchas y perder un gran porcentaje de ellas durante el verano, en consecuencia, de las bajas precipitaciones (Instituto Nacional de Conservación Forestal, 2019), este tipo de bosque representa un 48.87%% del área total de la cuenca con 3920.39 ha (Tabla 9 y Mapa 6).

El segundo uso de suelo, ocupado por pastos y cultivos representa un 20.28% del territorio de la cuenca. Dentro de los cultivos existen diversos de subsistencia, como maíz, frijol, café, aguacate, mango, marañón, ciruelas, entre otros.

Cabe recalcar, que la mayor parte de las rastras operativas están dispersas entre zona urbana discontinua y continua, y en sitios donde había otros usos de suelo como bosques, árboles dispersos, suelo desnudo continental, pastos y cultivos, que fueron talados, con el fin de instalar las rastras.

Tabla 9: usos de suelo en área de estudio (Instituto Nacional de Conservación Forestal, 2019).

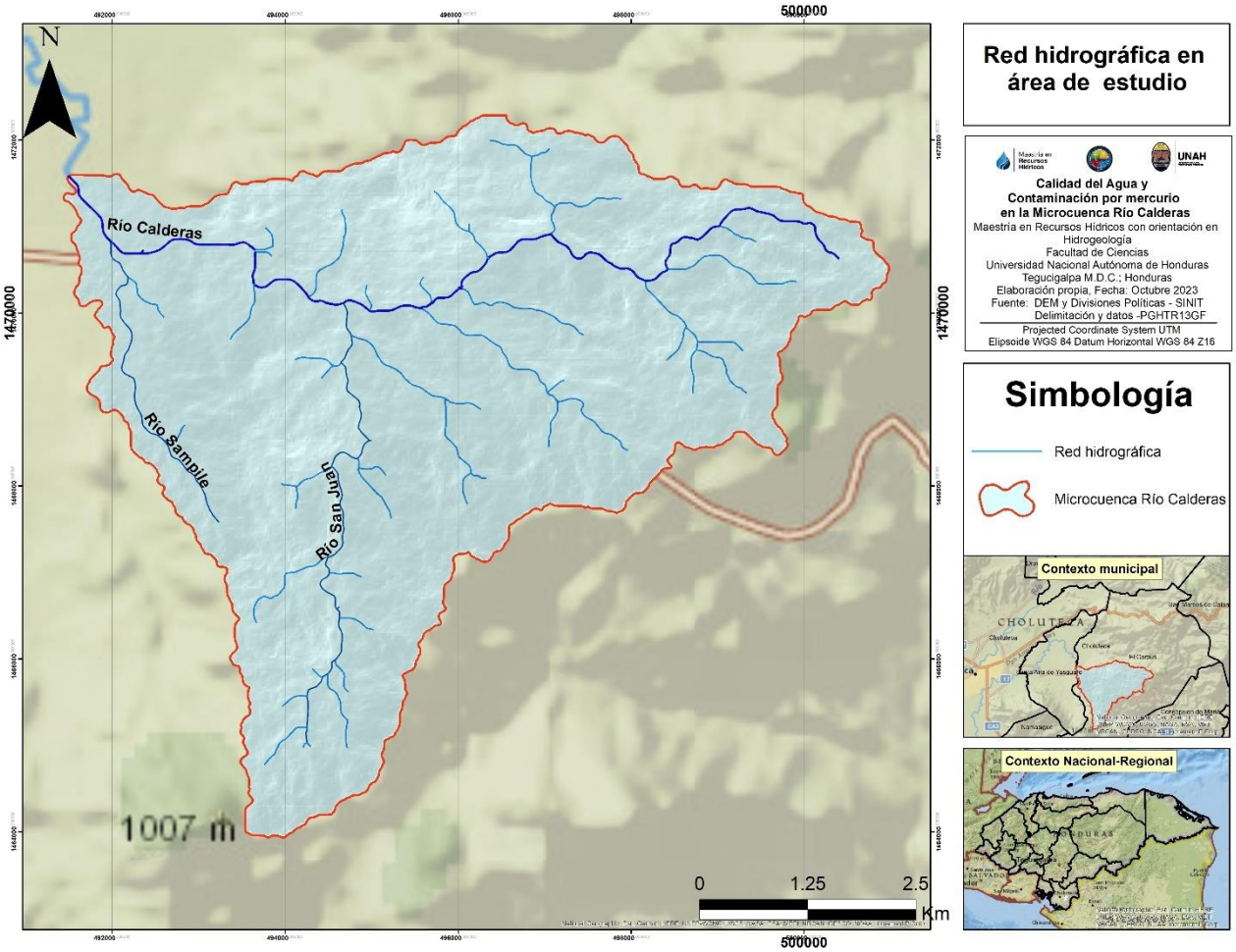
Uso de suelo	Área ha	% territorio de la cuenca
Zona Urbana Continua	0.70	0.02
Suelo Desnudo Continental	17.25	0.44
Arboles Dispersos	19.31	0.49
Zona Urbana Discontinua	22.58	0.58
Agricultura Tecnificada	32.99	0.84
Bosque de Conífera Ralo	80.85	2.06
Bosque Latifoliado Húmedo	124.12	3.17
Bosque de Conífera Denso	365.38	9.32
Vegetación Secundaria Decidua	546.31	13.94
Pastos/Cultivos	795.05	20.28
Bosque Latifoliado Deciduo	1915.85	48.87



Mapa 6: cobertura de suelos en área de estudio, adaptado de (Instituto Nacional de Conservación Forestal, 2019).

4.7 Hidrografía

La hidrografía local se enmarca en la microcuenca declarada Río Calderas, con un área de 39.21 km^2, perteneciente a la Cuenca del Río Sampile. En esta microcuenca se identifica al Río Calderas como principal, y los ríos Sampile y San Juan como afluentes o tributarios, como se muestra en el Mapa 7.



Mapa 7: red hidrográfica en área de estudio, (IHCIT-UNAH, 2017).

4.8 Climatología

A continuación, se presenta una descripción de la climatología local de la Cuenca del Río Sampile, extraído del estudio de (IHCIT-UNAH, 2017).

Se presenta la caracterización climática del área en la que se emplaza la Cuenca del Rio Sampile. Los resultados se han obtenido de un análisis de los datos meteorológicos observados en las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional SMN y de la Secretaría de Recursos Naturales, Ambiente y Minas (MiAmbiente+) que se ubican próximas a la cuenca en estudio con un periodo de datos de 1976-2005, a continuación, se presenta la Tabla 10 con el detalle de las estaciones.

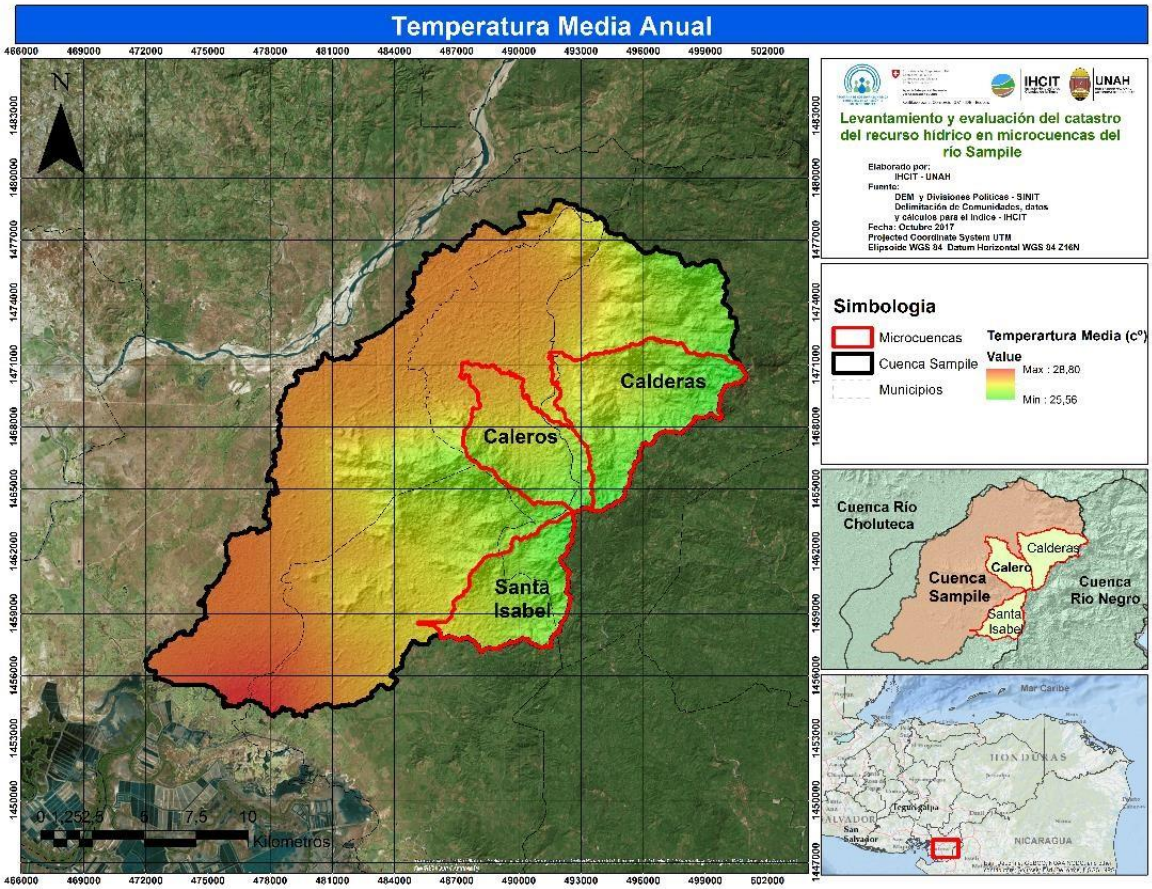
Tabla 10: estaciones utilizadas para la caracterización climática, (IHCIT-UNAH, 2017).

Estación	Latitud	Longitud	Altitud msnm
Choluteca	1472316,4452	483373,6291	39
Namasigüe	1459810,074	485252,1219	40
Marcovia	1468920,145	466121,229	10
El Corpus	1469052,709	496539,9474	440
El Triunfo	1450037,521	501053,7964	100
San Marcos de Colon	1485526,674	521499,3473	960

A. Caracterización de la temperatura

El comportamiento anual de la temperatura presenta un marcado ciclo estacional. Sin embargo, la orografía del territorio hondureño juega un papel importante y debido a su presencia, la temperatura se comporta inversamente proporcional a la altura, debido a esto la cuenca alta y media de la cuenca presenta valores más bajos de temperatura.

El promedio anual de las temperaturas dentro de la Cuenca del Rio Sampile presenta valores que oscilan alrededor de 23.5°C en las partes altas de la cuenca y 29.5°C en las partes bajas de la cuenca, como se muestra en el Mapa 8.



Mapa 8: temperatura media anual en la Cuenca Rio Sampile (IHCIT-UNAH, 2017).

Al analizar las medias mensuales de la temperatura de la cuenca se observa que los valores oscilan entre 23.5 y 26.7°C, las temperaturas mínimas medias presentan sus valores más bajos (debido a la perdida de energía durante la noche y en la madrugada por irradiación) los meses de enero y febrero con valores de 14.4 y 14.7°C respectivamente, mientras que las temperaturas máximas medias muestran su valor máximo (debido a la cobertura nubosa y al mayor ingreso de radiación solar) en el mes de mayo con un valor de 35.4 °C (Figura 5).

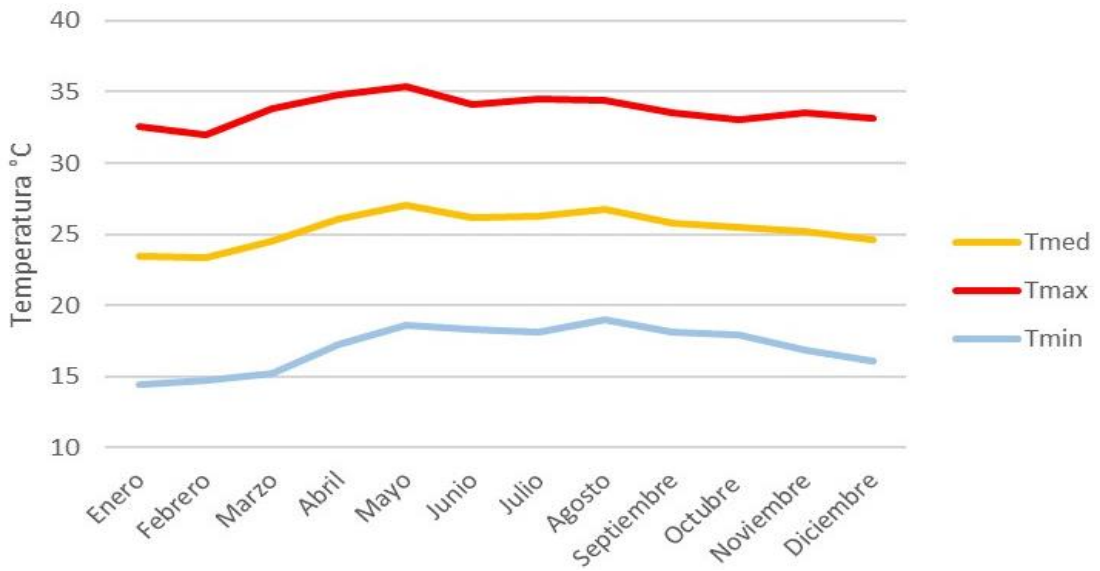


Figura 5: gráfico de temperaturas media, máxima y mínima de la Cuenca del Rio Sampile (IHCIT-UNAH, 2017).

Las temperaturas mínimas en los meses de abril a agosto aumentan a lo largo de la cuenca, en la zonas bajas y medias este incremento se debe al aumento de radiación recibida en estos meses, mientras que en las partes altas dicho aumento está relacionado con la presencia de nubosidad y precipitaciones pluviales, estas condiciones no permiten el descenso de la temperatura mínima ya que evitan el escape de la radiación en forma de calor hacia afuera del planeta y en segundo lugar la precipitación pluvial actúa como un termoregulador en el ambiente. Los meses de septiembre a febrero disminuye debido a la ocurrencia de cielos mayormente despejados esto se debe a la disminución de nubosidad y precipitación, así como la entrada de masas frías al territorio nacional, debido a sus bajas magnitudes sus efectos son mínimos en zona de la cuenca.

Las temperaturas máximas se presentan en las partes bajas y medias de la Cuenca del Rio Sampile, a medida que se asciende hacia la parte alta la temperatura máxima disminuye debido a la orografía, además de esto se debe de tener en cuenta que el descenso de la humedad atmosférica en los meses de abril a septiembre provocado por la radiación solar que es máxima en estos meses es una consecuencia del incremento de temperatura del aire durante el día. Durante los meses de octubre a febrero se observa una disminución en los valores máximos de temperatura.

B. Caracterización de la precipitación

El estudio de (IHCIT-UNAH, 2017) presenta una caracterización de la precipitación de la Cuenca del Río Sampile, donde se circunscribe la microcuenca declarada Calderas. Este estudio presenta el comportamiento climático que incide en el régimen de precipitación a nivel de toda la cuenca.

El comportamiento climatológico de la Cuenca del Rio Sampile está relacionado con fenómenos meteorológicos de diferentes escalas que modulan las variables climáticas en esta región, asociándose al desplazamiento norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la convección y el transporte de humedad desde el océano pacifico, ondas tropicales, vaguadas, brisa marina (monzón) y ocasionalmente ciclones tropicales. Durante la estación lluviosa, estos sistemas y efectos locales se intensifican impulsando el régimen de precipitación pluvial.

El viento durante el día es predominantemente del suroeste que corresponde a brisas del mar y vientos ecuatoriales. Durante la noche predominan los vientos calmos y los correspondientes con brisas de montaña con direcciones noreste originadas en las montañas ubicadas en la cuenca media y alta.

En el acumulado de las precipitaciones en la Cuenca del Rio Sampile se observa el papel importante que juega la orografía. Los vientos provenientes del golfo dan a lugar a la precipitación en el valle debido a su contenido de humedad, donde luego se da una mayor concentración de la precipitación a sotavento a los lugares más altos de la cuenca y posteriormente se da la disminución de la precipitación mientras los vientos se van adentrando a las cadenas montañosas.

La precipitación media anual sobre el área de la Cuenca del Río Sampile presenta valores que oscilan entre 1459 a 3773 milímetros anuales. En el Mapa 9 se observa que en la zona suroeste de la cuenca es el lugar en el que se presentan los mayores acumulados de precipitación, esto debido al transporte de humedad proveniente del océano pacifico. El comportamiento de la precipitación pluvial muestra una clara relación con la altura, las mayores cantidades de precipitación se ubican en la parte más alta de la cuenca media.

En la Cuenca del Río Sampile se presentan dos estaciones bien definidas: una seca que va desde noviembre a abril y otra lluviosa desde mayo a octubre; con un régimen pluviométrico bimodal, con valores pico, entre mayo y junio y septiembre y octubre, y con una reducción de la precipitación entre julio y agosto relacionados a la canícula o veranillo, en el mes de septiembre se presentan las precipitaciones más intensas (Figura 6).

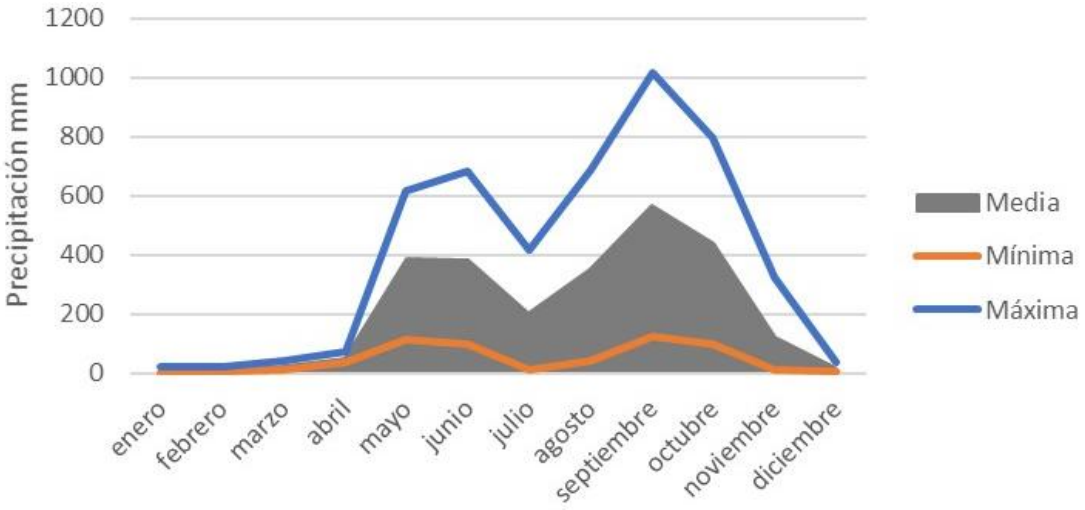
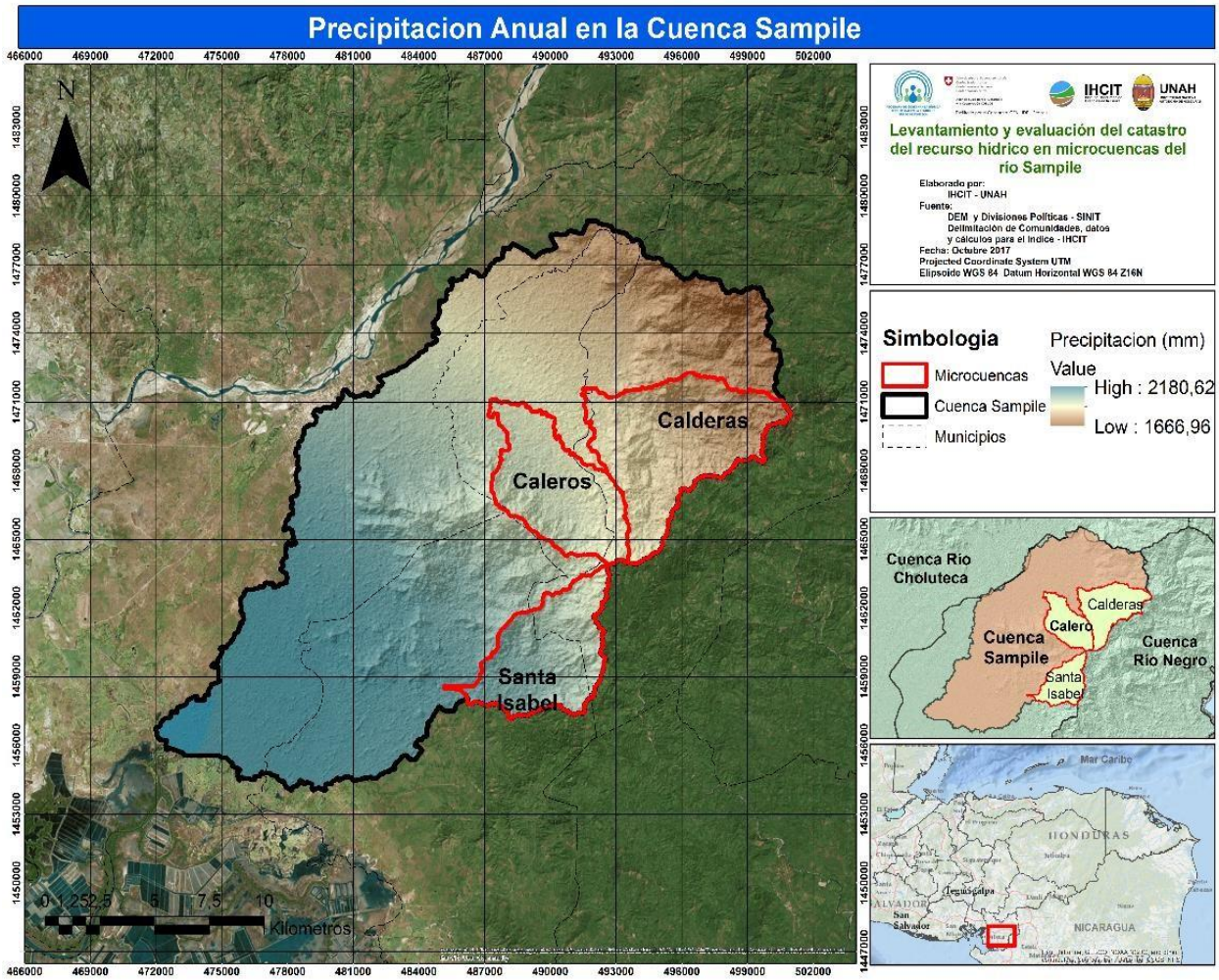


Figura 6: precipitaciones media, máxima y mínima de la Cuenca del Río Sampile (IHCIT-UNAH, 2017).



Mapa 9: precipitación anual en la Cuenca Sampile (IHCIT-UNAH, 2017).

La precipitación en la región de estudio se ve influenciada por las fases frías y cálidas de La Oscilación del Sur El Niño. En su fase cálida (Niño) provoca una disminución en los acumulados de precipitación, en los meses de agosto y septiembre estas disminuciones alcanzan los 127 y 108 mm respectivamente por debajo de la media, mientras que en los años Niña se presenta un aumento de la precipitación con valores que aumentan alrededor de 211 y 175 mm por encima de la media.

Durante los eventos extremos secos (por debajo del percentil 10) en la región sur del país, se presentan reducciones en la precipitación anual de un 34% que equivale aproximadamente a 454 mm, mientras que en los eventos extremos lluviosos (por encima del percentil 90) se puede alcanzar un 46% de aumento en la precipitación lo que equivale a 600 mm.

La Cuenca del Río Sampile por su ubicación geográfica presenta características tropicales, sin embargo, se ve afectada por fenómenos meteorológicos subtropicales y extra tropicales. La precipitación en las partes baja, media y alta de la cuenca se ve influenciada por el constante flujo de humedad proveniente del océano pacífico y en un menor porcentaje por la Zona de Convergencia Intertropical.

5. Capítulo V: Metodología

5.1 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 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.

5.2 Diseño de la investigación

A continuación, se aborda la metodología que se utilizó para los diversos procesos de esta investigación:

A. Metodología para selección de sitios de muestreo de matrices de agua y sedimento

Esta inicia desde la revisión de información bibliográfica y geoespacial, continuando por giras de reconocimiento para observar operación de rastras, giras de identificación de sitios de descarga de rastras, censo de fuentes de aguas subterráneas y, por último, censo de rastras y lagunas de descarga.

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:

I. Revisión de información bibliográfica y geoespacial:

- Análisis del estudio de “Levantamiento y Evaluación del catastro del recurso hídrico en microcuencas del Río Sampile” (IHCIT-UNAH, 2017), este permitió conocer las caracteristicas geológicas, hidrológicas, climáticas e hidroquímicas; permitiendo tener un panorama preliminar a nivel de 3 microcuencas que se encuentran dentro de la Cuenca del Río Sampile. En el aspecto hidrogeológico de este estudio, sólo se identificó un pozo malacate dentro del censo llevado a cabo. Esto generó la necesidad de llevar a cabo un levantamiento de fuentes de agua subterráneas.
- Análisis del documento “Panorama de la actividad Minería Artesanal y de Pequeña Escala de Oro en el municipio de El Corpus”’ (MIAMBIENTE-CESCCO-PNUMA-GEF, 2017), este estudio permitió conocer las regiones de explotacion MAPE de oro de Honduras, asimismo profundizar en el proceso histórico de beneficiado de oro y uso de mercurio.

- Análisis de la tesis de (Urioste, 2014) con el fin de contar con datos de las concentraciones de mercurio-total y metil-mercurio, en dos quebradas influenciadas por actividad minera industrial y artesanal, en el año 2014.
- Análisis de información geoespacial del municipio, provisto por el Programa de Gobernanza Hídrica de la Región 13 a través del geoportal asociado (Agua de Honduras, s.f.).

II. Giras de reconocimiento de la zona de estudio

En el mes de junio del 2021, se llevaron a cabo giras de acompañamiento al equipo del proyecto de Remediación y Eliminación de mercurio en la MAPE de El Platek. En esta gira se observó el funcionamiento de las rastras, sitios de descarga, y se mapearon los potenciales sitios que podían ser utilizados para llevar a cabo la ejecución del proyecto. Cabe recalcar que los resultados de Hg-total de este estudio fueron utilizados para la línea base de mercurio del proyecto.

Se realizaron entrevistas a los propietarios y operarios de rastras, acerca del funcionamiento del equipo y rendimientos de recuperación del oro utilizando mercurio. Permitiendo tener un panorama más amplio, de las consideraciones a tener a la hora de diseñar el estudio.

También se visitaron los ríos y quebradas pertenecientes a las aldeas de San Juan Arriba, San Juan Abajo, Los Chagüites y El Naranjal.

III. Censo de fuentes de agua subterráneas en aldeas de San Juan Arriba, San Juan Abajo, Los Chagüites y El Naranjal

La metodología utilizada para el censo se basa en la planteada por (Sanders, 1998), esta contempla el procesamiento de toma de datos, medición de parámetros, utilización de equipos e interpretación de resultados. Con el fin de recabar la información necesaria para este censo, se utilizó la ficha provista por el IHCIT.

Este censo se llevó a cabo entre el 7-8 de abril del 2022, en conjunto con miembros de la Unidad de Catastro y Oficina de la Mujer, de la Alcaldía Municipal de El Corpus. En el apartado de anexos, se presenta la ficha utilizada para el censo (Figura 33) y en el apartado de resultados (Tabla 20) los aspectos mencionados a continuación:

- Ubicación geográfica de los pozos a través de coordenadas latitud-longitud, convirtiéndolas a Universal Transversal Mercator (UTM), zona 16N; utilizando un GPS Garmin.
- Valores de profundidad (obtenidos a través de registros de los dueños y trabajadores de los sitios) y medición de nivel freático del pozo, con una sonda de nivel de 300 metros. Esto solamente aplica a los pozos malacate o excavados, y pozos perforados que tenían tubería de monitoreo.
- Medición de pH y temperatura utilizando un pH-metro portátil pH2+ marca OAKTON.
- Medición de conductividad eléctrica del agua con un conductímetro portátil CTS marca OAKTON.
- Caudal de explotación, tiempo de explotación del acuífero, uso del agua, viviendas a las que alimenta y tipo de bomba. Esta información se generó a través de una entrevista estructurada con los dueños de vivienda o trabajadores pertenecientes al sitio de muestreo.

IV. Censo de rastras y lagunas de descarga artificiales

Entre los días 21 y 22 de septiembre del 2022, como una actividad del proyecto de Remediación y Eliminación de mercurio en la MAPE, se llevó a cabo un censo de rastras y lagunas, en la zona de estudio. En la Tabla 21, se presentan los resultados del censo de rastras y lagunas de descarga por aldeas de la zona de estudio.

Para el censo de rastras se elaboró un instrumento de recolección de información, que contenía los siguientes aspectos:

- Nombre de aldea.
- Coordenadas geográficas.
- Propietario de rastra.

Considerando las etapas mencionadas anteriormente, la selección de sitios de muestreo se resume en *Figura 7* y a continuación se detallan los criterios para selección de sitios de muestreo:

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.
- 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.

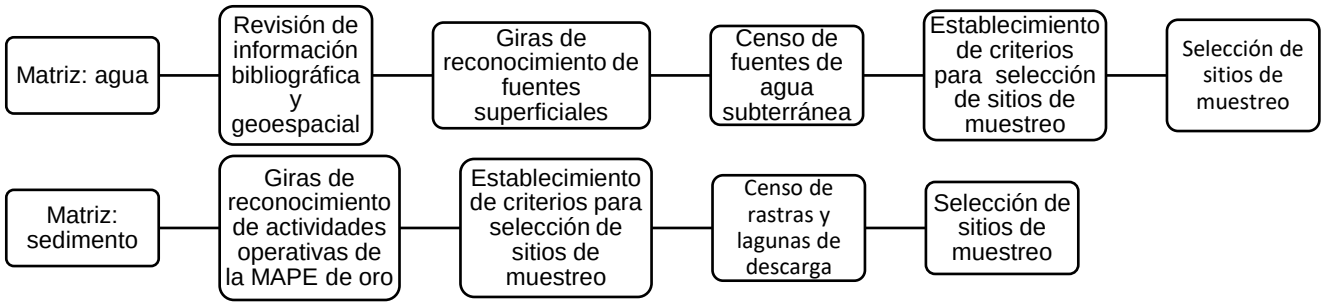


Figura 7: proceso llevado a cabo para selección de sitios de muestreo para matrices ambientales de agua y sedimento en zona de estudio.

B. Metodología para selección de análisis fisicoquímicos por matriz

A continuación, se expone la metodología utilizada para la selección de los parámetros para análisis fisicoquímicos llevados a cabo, en las matrices ambientales de agua y sedimentos.

I. Matriz agua

La selección de parámetros por analizar surgió de la revisión bibliográfica de la Norma Técnica para Calidad de Agua Potable de Honduras (Ministerio de Salud, 1995). Ante lo cual se priorizó la capacidad analítica del laboratorio del CEIRH-UNAH y el laboratorio de Investigación Teasdale Corti de la carrera de Biología de la UNAH , para llevar a cabo los análisis de parámetros químicos y microbiológicos considerados en la Norma. Tomando en cuenta la clasificación propuesta en eta Norma se llevaron a cabo los análisis de los siguientes parámetros:

- Parámetros fisicoquímicos: cloruros, sulfatos, calcio, cobre, magnesio, sodio, potasio, carbonato de calcio (contemplado como dureza) y conductividad eléctrica.
- Parámetros para sustancias no deseadas: nitritos, nitratos, hierro y manganeso.
- Parámetros para sustancias inorgánicas con significado para la salud: cadmio, cobre, mercurio y plomo.
- Parámetros bacteriológicos: coliformes totales y termotolerantes.
- Otros no contemplados en la Norma: fosfatos, pH y temperatura.

No se encontró con un laboratorio que cumpliera con los requerimientos del Proyecto de El Platek, para el análisis de Hg-total, debido a ello el análisis se llevó a cabo en el laboratorio Eurofins en Tacoma-Washington, Estados Unidos.

II. Matriz sedimento

Para la matriz de sedimento se seleccionó el parámetro de Hg-total, tomando en consideración la concordancia con la necesidad del levantamiento de una línea base de mercurio para el Proyecto de El Platek. Para el análisis de Hg-total, se presentó la misma limitante de encontrar un laboratorio que cumpliera con los requerimientos del Proyecto, debido a ello el análisis se llevó a cabo en el laboratorio Eurofins en Tacoma-Washington, Estados Unidos.

C. Metodología para muestreo en matriz ambiental de agua

Metodología de muestreo para análisis de mercurio-total, metales traza, iones mayoritarios y alcalinidad-total:

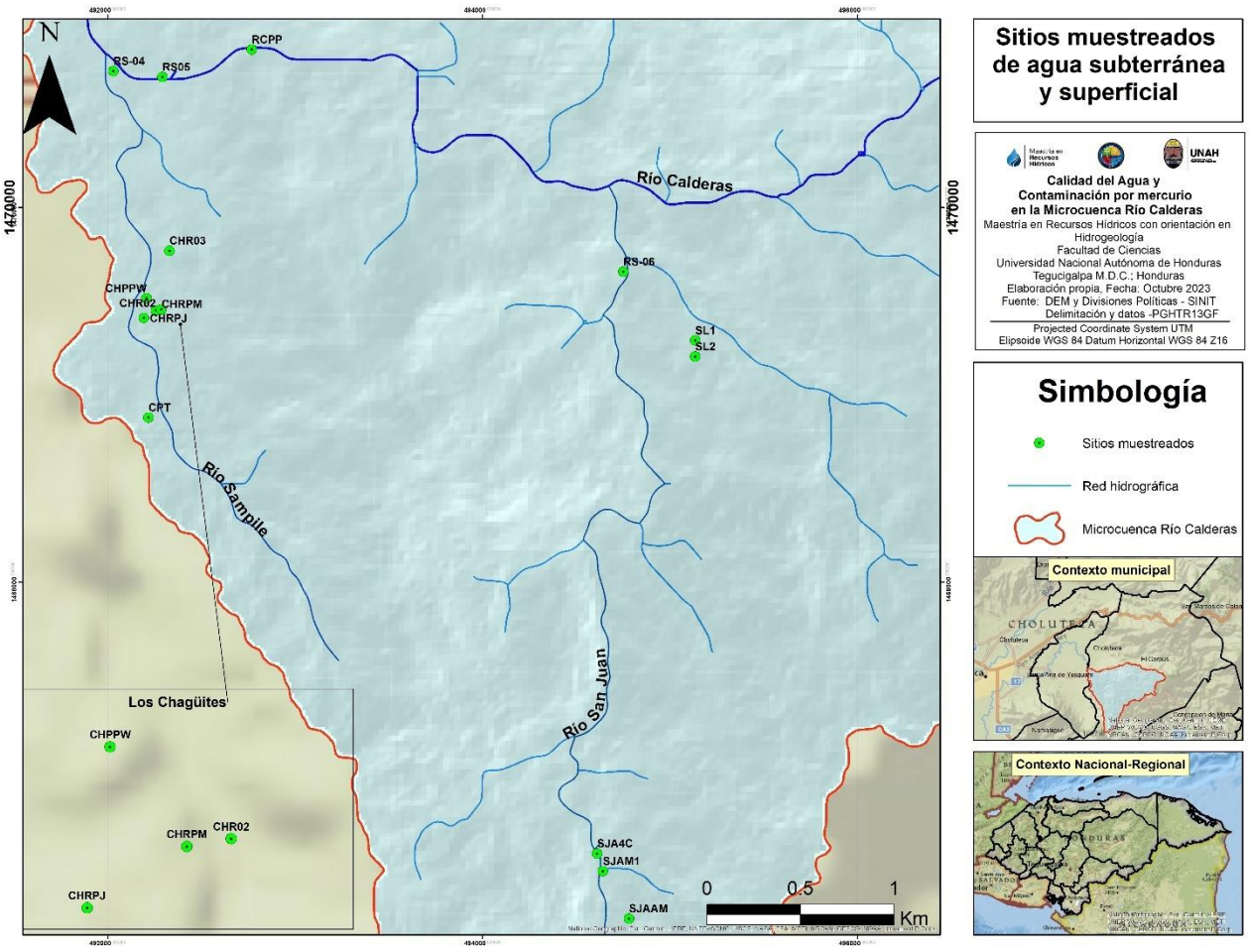
En la Tabla 11 se presenta la información de los sitios muestreados y sus coordenadas geográficas, en el sistema proyectado WGS 1984 UTM zona 16N. En el Mapa 10 se presentan los sitios muestreados y en la Tabla 12 se indica el uso de las fuentes de agua subterránea.

Tabla 11: sitios muestreados y coordenadas geográficas para muestras de agua subterránea y superficial. Donde n=15 para época seca y n=14 para época lluviosa.

Aldea	Descripción del sitio	Tipo de fuente	Código	Latitud	Longitud
San Juan Arriba	Acceso a mina Cuculmeca	Subterránea	SJAM1	494643	1466458
El Corpus	Hacienda de Chago Bellino		SL1	495135	1469291
			SL2	495135	1469205
El Naranjal	Propiedad paralela a venta de material para construcción		RCPP	492768	1470844
Los Chagüites	Propiedad de Gustavo Pinel		CPT	492217	1468879
	Propiedad de German de Jesús Fortín		CHRPM	492257	1469451
	Propiedad frente a German de Jesús Fortín		CHRPJ	492192	1469411
	Tanque de distribución de agua alimentado por pozo perforado		CHR03	492329	1469770
	Pozo comunal		CHPPW	492217	1468879
San Juan Arriba	Cuarta cortina de presa de retención de sedimentos	Superficial	SJA4C	494612	1466552
	Esquina izquierda, antes del puente		SJAAM	494782	1466205
El Naranjal	Zona de descarga de rastra, en puente divisorio de Río Calderas		RS-04	492030	1470729
	Río Calderas, aguas abajo del puente divisorio		RS05	492330	1472211
Los Chagüites	Laguna de descarga		CHR02	492286	1469456
San Juan Abajo	Río San Juan, abajo del puente		RS-06	494751	1469658

Tabla 12: uso y tipos de pozos muestreados

Código	Fuente	Uso
SJAM1	Pozo perforado	Uso humano y operación de rastra
CHR03		Operación de rastra
SL1	Manantial	Agricultura y ganadería
SL2		
RCPP	Pozo malacate	Deshabilitado
CPT	Pozo malacate	Operación de rastras
CHRPM		
CHRPJ		
CHPPW		



Mapa 10: sitios muestreados de agua subterránea y superficial.

La metodología presentada a continuación es la propuesta por (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017) contenida en el Standard “Methods for the examination of Water and Wastewater” (Edición 23), adaptada al equipo disponible y fines de la investigación.

I. Materiales y equipo

- Materiales para muestreo: agua destilada, ácido nítrico (HNO_3), botes plásticos de polietileno de alta densidad (HDPE), jeringas, hielera.
- Equipo para muestreo: pHmetro portátil, conductímetro portátil, sonda para medición de nivel freático de 300 metros, espectrofotómetro DR 3600 (trasladado a campo por técnico de CEIRH) para análisis in-situ, como se observa en Figura 8.

Figura 8: materiales y equipo utilizado para muestreo y análisis in-situ.

El procedimiento seguido para el muestreo y entrega de muestras a los laboratorios fue el siguiente:

II. Procedimiento durante el muestreo

- Medición de parámetros fisicoquímicos: previo a la toma de las muestras se midió la temperatura, pH y conductividad eléctrica del cuerpo de agua, iniciando desde aguas abajo hasta aguas arriba en el caso de ríos. El potencial redox (Eh) no fue medido debido a que no se contaba con equipo disponible.
- Identificación de muestras: cada muestra se rotuló con un código designado para el sitio, fecha y hora de la toma de muestra.
- Toma de muestras: previamente a la toma de muestra se realizó un lavado con agua destilada 3 veces en el laboratorio y en campo la misma cantidad de veces usando el agua del sitio a muestrear, con el fin de poder eliminar trazas de metales, nutrientes o iones presentes en el bote. Luego de esto se colectó la primera muestra de agua para realizar análisis in-situ, posterior a ello se colectó la muestra final y se preservó.
- Análisis de muestras en campo: se llevaron a cabo in-situ los análisis de carbonato de calcio, nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos.
- Preservación de las muestras: con el fin de preservar el potencial de volatilización de los analitos y evitar cambios en el pH de las muestras, se preservaron tomando en cuenta los requerimientos estipulados en (American Public Health Association et al., 2017) y resumidos en Tabla 13.

Tabla 13: recipientes, volumen y preservación utilizados para el muestreo de agua.

Recipiente	Volumen colectado de muestra	Analito	Preservación
Bote de vidrio color ámbar	250 ml	Hg-total	3 ml de HNO_3 (pH<2)+refrigeración a 4°C.
Bote plástico de polietileno de alta densidad (HDPE)	1 L	Na, Ca, Mg, K, Fe, Mg, Cu, Pb, Cd	2.5 ml de HNO_3 (pH<2)+refrigeración a 4°C.
		$CaCO_3$, NO_3^-, NO_2^- y SO_4^{2-}	Esta muestra solo se utilizó para los análisis en campo.
	250 ml	Cl^-	Sin preservación, almacenado a temperatura ambiente en un sitio sin exposición a la luz.

III. Procedimiento después del muestreo:

- Almacenamiento de las muestras: las muestras para análisis de Hg-total fueron almacenadas en el CEIRH-UNAH en refrigeración a una temperatura de 4° Celsius, hasta proceder al envío al laboratorio Eurofins en Tacoma-Washington, Estados Unidos. Las muestras para análisis de iones mayoritarios y metales fueron almacenadas en el CEIRH-UNAH en una refrigeradora a una temperatura de 4° Celsius hasta su análisis. Por último, las muestras para análisis de cloruros se almacenaron en un sitio sin entrada de luz solar a temperatura ambiente hasta la entrega al laboratorio de análisis MQ en Tegucigalpa, Honduras.
- Envío de muestras para análisis de mercurio: las muestras para análisis de Hg-total fueron enviadas al laboratorio Eurofins en Estados Unidos, preservándolas con Gel Packs dentro de una hielera, a una temperatura de 4°C durante el tránsito de la muestra.
- Cadena de custodia: se generó una cadena de custodia para el envío digital al laboratorio Eurofins, que contenía: registro de parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH y conductividad eléctrica), ubicación de los sitios de muestreo, coordenadas geográficas y medio de preservación para la muestra. La cadena de custodia se puede visualizar en 12.10.

Para el envío de muestras a Eurofins no fue necesario una autorización por parte del laboratorio, ni un permiso fitosanitario por parte del Gobierno de Honduras, solamente la redacción de una nota que especificara el destino final de la muestra y el objetivo del análisis.

IV. Limitaciones durante el muestreo

- Debido a limitaciones logísticas, el sitio CHPPW sólo se analizó durante el muestreo de época seca (abril 2022).
- La muestra ENPP se descartó, debido a que las muestras tomadas durante el primer día de muestreo fueron congeladas. Al volver a tomar la muestra, se presentó el problema que el agua se distribuye por día y sectores, los análisis llevados a cabo en campo no se realizaron nuevamente por consideraciones logísticas, y solamente se recolectaron las muestras para iones mayoritarios y metales. Tomando en consideración lo anterior, los resultados de alcalinidad-total y nutrientes, corresponden a un sitio de muestreo y los resultados de iones mayoritarios y metales, a otro sitio. Por este motivo, se descartó dicha muestra para el estudio.

Metodología de muestreo para análisis microbiológico (CTO y CTE):

La selección de fuentes para muestreo correspondió a la totalidad de fuentes subterráneas operativas en la zona, y sitios donde se llevan a cabo actividades para uso humano y consumo animal.

En la Tabla 14 se presenta la información de los sitios muestreados y sus coordenadas geográficas en el sistema proyectado WGS 1984 UTM zona 16N. En el Mapa 10 se presentan los sitios muestreados y en la Tabla 12 se indica el uso de las fuentes de agua subterránea.

Tabla 14: sitios muestreados y coordenadas geográficas para análisis microbiológico (CTO y CTE). Donde n=15.

Aldea	Descripción del sitio	Tipo de fuente	Código	Latitud	Longitud
San Juan Arriba	Acceso a mina Cuculmeca	Subterránea	SJAM1	494643	1466458
El Corpus	Hacienda de Chago Bellino		SL1	495135	1469291
			SL2	495135	1469205
El Naranjal	Propiedad paralela a venta de material para construcción		RCPP	492768	1470844
Los Chagüites	Propiedad de Gustavo Pinel		CPT	492217	1468879
	Propiedad de German de Jesús Fortín		CHRPM	492257	1469451
	Propiedad frente a German de Jesús Fortín		CHRPJ	492192	1469411
	Tanque de distribución de agua alimentado por pozo perforado		CHR03	492329	1469770
	Pozo comunal		CHPPW	492217	1468879
San Juan Arriba	Cuarta cortina de presa de retención de sedimentos	Superficial	SJA4C	494612	1466552
	Esquina izquierda, antes del puente		SJAAM	494782	1466205
El Naranjal	Zona de descarga de rastra, en puente divisorio de Río Calderas		RS-04	492030	1470729
	Río Calderas, aguas abajo del puente divisorio		RS05	492330	1472211
Los Chagüites	Laguna de descarga		CHR02	492286	1469456
San Juan Abajo	Río San Juan, abajo del puente		RS-06	494751	1469658

A continuación, se detalla el procedimiento llevado a cabo para el muestreo de agua para análisis microbiológico, el cual tuvo como objetivo conocer la presencia de coliformes-totales y termotolerantes en agua superficial y subterránea, durante época seca (abril 2022). Este muestreo se realizó en paralelo al de agua subterránea y superficial de dicha época.

I. Materiales

- Bolsas estériles, encendedor, guantes de látex, hielera y hielo.

II. Procedimiento durante el muestreo

- Medición de parámetros fisicoquímicos: previo a la toma de las muestras se midió la temperatura, pH y conductividad eléctrica del cuerpo de agua, iniciando desde aguas arriba hasta aguas abajo en el caso de los ríos. Para el terreno donde están circunscritas 2 lagunas de sedimentación, se procedió a hacer la toma de las muestras desde aguas abajo hacia aguas arriba.

- Toma de muestras: con el objetivo de no contaminar las muestras se utilizaron guantes de látex durante la toma de estas, almacenando la muestra en bolsas estériles, con un volumen aproximado de 100 ml.
- Rotulado de las muestras: las muestras fueron rotuladas manualmente en la bolsa estéril, con marcador permanente indicando la siguiente información: código de muestra, fecha y hora, además de llevar un registro en el cuaderno de campo.
- Preservación de las muestras: las muestras fueron preservadas en una hielera a una temperatura de 4°C, durante la gira de campo.
- Almacenamiento de las muestras: este se llevó a cabo en una refrigeradora a una temperatura de 4 °C durante el primer día de la gira.

III. Procedimiento después del muestreo:

- Las muestras fueron entregadas al laboratorio de Investigación Teasdale Corti, en la carrera de Biología de la UNAH, para su análisis.

IV. Limitaciones en el muestreo:

- Debido a consideraciones logísticas, durante época lluviosa no se llevó a cabo el levantamiento de muestras.

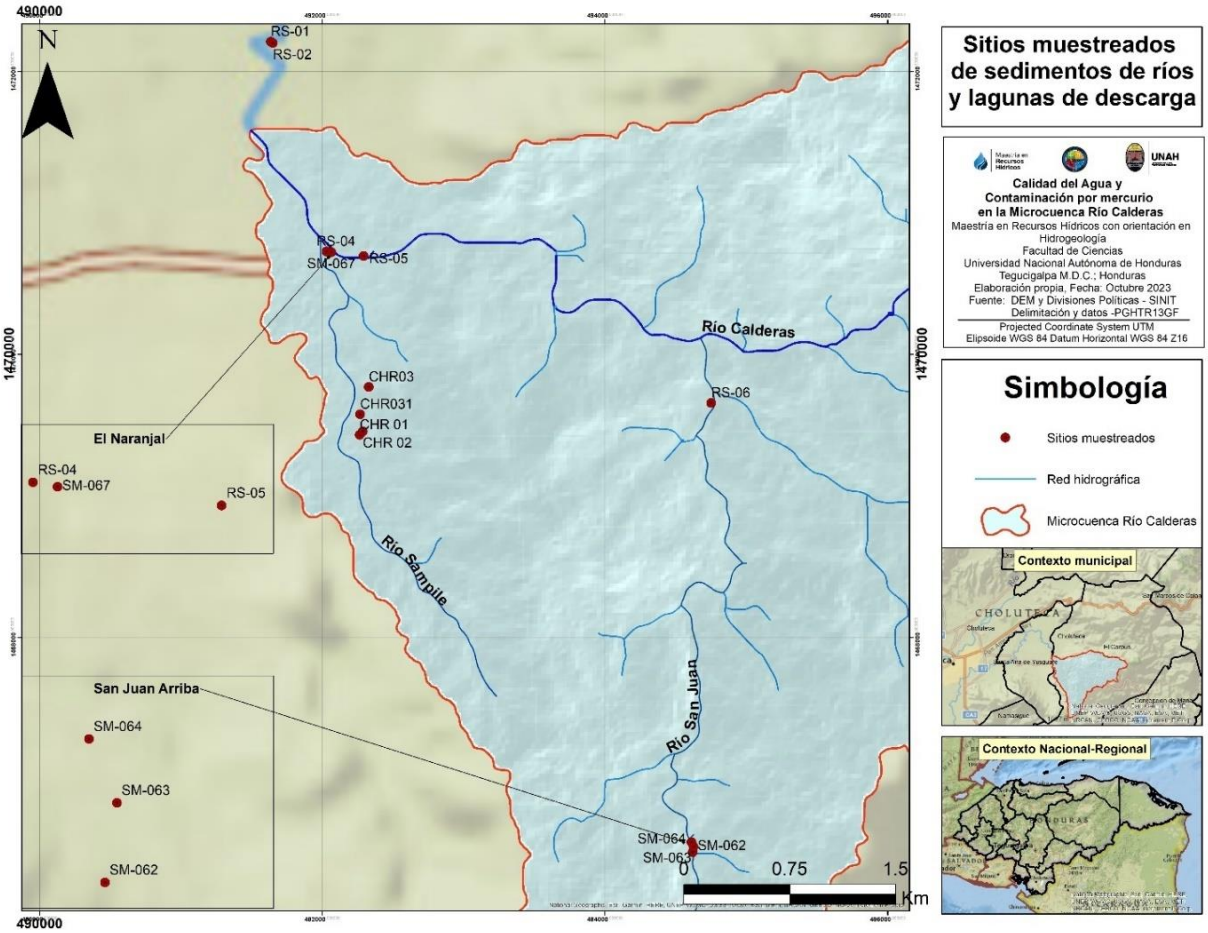
D. Metodología para muestreo en matriz ambiental de sedimento

En la Tabla 15 se presenta la información de los sitios muestreados y sus coordenadas geográficas en el sistema proyectado WGS 1984 UTM zona 16N. En el Mapa 11 se presentan los sitios muestreados.

Tabla 15: sitios muestreados y coordenadas geográficas para muestras de sedimento. Donde n=12 para época seca y n=11 para época lluviosa.

Aldea	Descripción del sitio	Tipo de fuente	Código	Época muestreada	Latitud	Longitud
San Juan Arriba	1ra cortina de presa	Río	SM-062	Seca/ Lluviosa	494620	1466480
	2da cortina de presa		SM-063		494626	1466520
	3ra cortina de presa		SM-064		494612	1466552
San Juan Abajo	Rio San Juan		RS-06		494751	1469658
El Naranjal	Río Calderas		RS-01		491635	1472212
			RS-02	Seca	491650	1472203
			SM-067		492064	1470723
			RS-05	Seca/ Lluviosa	492292	1470697
			RS-04		492030	1470729
Los Chagüites	Laguna de sedimentación próxima a pozo perforado	Laguna de descarga	CHR031	Lluviosa	492268	1469578
	Laguna central		CHR03	Seca/ Lluviosa	492329	1469770
	Tercera laguna de descarga		CHR01		492265	1469431
	Segunda laguna de descarga		CHR02		492286	1469456

Los sitios con código RS-01 y RS-02 se encuentran ubicados en la aldea de El Naranjal, pero no pertenecen a la microcuenca Río Calderas, estos fueron seleccionados para poder determinar si existía contaminación en sedimentos de río que estuvieran alejados de una fuente puntual. Para el caso de una fuente puntual de emisión de mercurio, tomando como referencia la descarga de una rastra próxima al sitio RS-04 existe una distancia de 1.55 km respecto a RS-02 y 1.56 km respecto a RS-01.



Mapa 11: sitios muestreados de sedimento.

La metodología presentada a continuación, es la que se siguió en los 2 muestreos llevados a cabo en la zona de estudio, los cuales tenían como fin conocer las concentraciones de mercurio en sedimento de zonas priorizadas durante la época seca (enero 2022) y en época lluviosa (octubre del 2022) con el fin de analizar las fluctuaciones en las concentraciones de Hg-total entre las dos épocas.

Se tomaron en cuenta las consideraciones de selección de equipo mencionadas en (U.S. Environmental Protection Agency, 2020) donde se menciona que la ubicación física de la muestra que se desea tomar dictará el equipo que se debe de usar. Por eso, previo al muestreo, fue pertinente realizar una gira de reconocimiento de la zona que permitió conocer la topografía del terreno con el fin de evaluar la accesibilidad a los sitios de muestreo e identificar el equipo que se necesitó para muestrear.

V. Materiales y equipo

- Materiales: agua destilada, core de PVC, pala plástica, recipiente plástico, bolsas estériles.
- Equipo: pH-metro portátil, conductímetro portátil, multiparamétrico, draga estilo Van Veen con 140 cm² de capacidad.

VI. Procedimiento durante el muestreo

- Medición de parámetros fisicoquímicos: previo a la toma de las muestras se midió la temperatura, pH y conductividad eléctrica del cuerpo de agua, realizando la medición sobre la sección a muestrear. Iniciando desde aguas abajo hasta aguas arriba en el caso de los ríos. Para el terreno donde están circunscritas 2 lagunas de sedimentación se procedió a hacer la toma de las muestras desde aguas abajo, hacia aguas arriba.
- Toma de muestras: el equipo utilizado para la toma de las muestras dependió de la naturaleza de los sedimentos, según se explica en Tabla 16.

Tabla 16: equipo utilizado según el tipo de sustrato presente en el área de estudio.

Tipo de sustrato	**Tipo de muestra según profundidad**	**Herramienta para la toma de la muestra**	**Zona donde se colectó la muestra**	**Código de la muestra**
Sustratos Blandos y de granos finos compuestos por limos y arcillas	Superficial: ~40-50 cm	Core de PVC	Los Chagüites	CHR01, CHR02, CHR03 (época lluviosa)
	Superficial: ~15 cm	Draga estilo Van Veen con 140 cm² de capacidad	San Juan Arriba	SM062, SM063, SM064
		Pala	Los Chagüites	CHR031, CHR03 (época seca)
Sustratos gruesos y blandos, compuestos por limos, arcillas y arenas	Profundidad: ~1.5-1.7 m		El Naranjal, San Juan Abajo	RS-01, RS-02, RS-05, RS-06, SM-067, RS-04

Procedimiento llevado a cabo para el muestreo según los tipos de sustratos:

<u>Sustratos blandos y de granos finos compuestos por limos y arcillas</u>:

Para muestrear estos sustratos a una profundidad de 40-50cm, se utilizó un Core de fabricación casera mediante el cual se capturaron y vertieron las muestras en bolsas estériles *(Figura 9).* Debido al bajo contenido de agua en el sustrato, no se pudo utilizar una draga.

El Core de la Figura 9, fue fabricado a partir de un Tubo PVC con una válvula manual, la cual al momento de ingresar a la laguna se encontraba abierta y posterior a la toma de la muestra se cerraba. Estos dispositivos son útiles cuando se desea monitorear contaminantes ya que la turbulencia creada por el descenso es mínima, por lo que los finos en la interfaz de agua y sedimento se alteran mínimamente (U.S. Environmental Protection Agency, 2020).

Respecto a las muestras superficiales de ~15 cm, se utilizó una draga para las muestras de río y una pala para las muestras de laguna de descarga, debido a que estas tenían un bajo contenido de agua.

9a) Toma de muestra de sedimentos en laguna CHR01 utilizando core de PVC.

9b) Almacenamiento temporal de muestra de sedimentos en laguna CHR02.

Figura 9: toma de sedimentos en sustratos blandos y de granos finos, compuestos por limos y arcillas (CHR01 y CHR02).

<u>Sustratos gruesos y blandos, compuestos por limos, arcillas y arenas</u>:

Para muestrear sustratos profundos (~1.5-1.7 m) se realizó con ayuda de los pobladores una excavación manual en el río y posteriormente se utilizó una pala para recolectar la muestra, vertiéndola en un recipiente plástico y repitiendo el proceso hasta tener el volumen deseado requerido por el laboratorio (30 g mínimo). Luego, homogenizándola manualmente con una pala plástica pequeña, hasta recolectar la muestra final en bolsas estériles.

El procedimiento utilizado para muestrear a estas profundidades comúnmente es con una draga, pero debido al contenido de arenas y gravas finas, al momento de levantar la draga el volumen final de la muestra colectada no era representativo, debido a que solo se podían capturar gravas gruesas.

- Rotulado de las muestras: fueron rotuladas manualmente en la bolsa estéril, con marcador permanente, indicando código de muestra, fecha y hora. Además, se llevó un registro en el cuaderno de campo.
- Preservación de las muestras en campo: fueron preservadas en una hielera a una temperatura de 4°C.

VII. Procedimiento después del muestreo

- Almacenamiento de las muestras: se almacenaron en el laboratorio en una refrigeradora a una temperatura de 4° Celsius hasta proceder al envío de muestras al laboratorio Eurofins en Tacoma-Washington, Estados Unidos.
- Cadena de custodia: se generó una cadena de custodia para el envío digital, al laboratorio Eurofins, la cual contenía datos de parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua donde se muestreó los sedimentos (temperatura, pH y conductividad eléctrica), ubicación de los sitios

de muestreo, coordenadas geográficas y medio de preservación para la muestra. La cadena de custodia puede visualizarse en 12.8 y 12.9.

- Envío de muestras para análisis en laboratorio: fueron enviadas al laboratorio Eurofins, en una hielera, preservándola a una temperatura de 4°C durante el tránsito.

Nota: Para el envío de muestras a Eurofins, fue necesario solicitar al laboratorio una nota de permiso para remisión de suelos, emitida por parte del USDA (United States Department of Agriculture), la cual contenía los datos de contacto del laboratorio y dirección. Adicional a esto, se debió pegar una etiqueta de material de cuarentena, con los datos del laboratorio (Figura 34).

VIII. Limitaciones en el muestreo

- El sitio CHR031 no se muestreó en época seca, debido a que no existía la laguna de descarga cuando se realizó el muestreo. Pero en época lluviosa, ya se encontraba construida y recibiendo descargas de una rastra operativa, esta laguna es de particular interés ya que es la más próxima al pozo perforado CHR03 (~1.5m).
- En época lluviosa debido al incremento del caudal del río, no se pudo acceder a los sitios RS-02 y SM-067.
- En los sitios CHR02 y CHR03 de la campaña de muestreo en época seca, no se realizaron medición de parámetros fisicoquímicos en el agua, debido que la laguna había sido drenada recientemente.

E. Métodos analíticos

En esta sección se detallan los analitos de interés, laboratorios y ubicación geográfica de estos, donde las muestras fueron analizadas, como se presenta en la Tabla 17. Además, se presentan los métodos analíticos desarrollados por los laboratorios para cada matriz con sus respectivos límites de detección y/o límite de cuantificación, como se presenta en la Tabla 18.

Tabla 17: analitos de interés, nombre de laboratorios y ubicación geográfica.

Matriz	Analito	Laboratorio	Ubicación
Agua	Hg-total	Eurofins	Tacoma, Washington-Estados Unidos
Sedimento			
Agua	Na, K, Mg, Fe, Cu, Pb, Mn, Cd, , NO_3^- , NO_2^-, SO_4^{2-} y PO_4^{3-}	CEIRH, Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra	Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa
	Cl^-	MQ	Tegucigalpa, Honduras
	CTO y CTE	laboratorio de Investigación Teasdale Corti, carrera de Biología	Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa

En la Tabla 18, se detallan los métodos analíticos utilizados por los laboratorios, indicando el límite de detección y/o límite de cuantificación.

Tabla 18: métodos analíticos utilizados por laboratorio. Donde: LD= Límite de detección, LC= Límite de cuantificación.

Tipo de muestra	Analito	Método de análisis	LD y/o LC
Sedimento: matriz húmeda	Hg-total	EPA 1631 Acid digestion and BrCl Oxidation	LD: 0.2 ng/L LC: 0.5 ng/L
Agua		EPA 1631 Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry	LD: 0.2 ng/L LC: 0.2 ng/L
	cloruro	ME 4500-Cl B	LD: 1.3 mg/L
	carbonato de calcio	SM 2320-B	LD: 20 mg/L
	sulfato	USEPA [2] Sulfa Ver 4 method [Method 8051]-Powder Pillows	LD: 2-70 mg/L
	fosfato	Método HACH 8048	LD: 0.02-2.5 mg/L
	calcio	SM 3111-B	LD: 0.5-5 µg Ca/L
	magnesio		LD:0.15-1 µg mg/L
	potasio		LD: 0.2-1.8 µg K/L
	sodio		LD:0.1-0.5 µg Na/L
	nitritos	USEPA Diazotization Method [Method 8507]-Powder Pillows	LD: 0.005-0.350 mg/L $N\text{-}NO_2$
	nitratos	Cadmium Reduction Method [Method 8039] Powder Pillows	LD: 0.3-30 mg/L $N\text{-}NO_3$
	hierro	SM 3111-B	LD: 1-28 µg Fe/L
	manganeso		LD: 0.5-7 µg Mn/L
	cobre		LD:1-22.5 µg Cu/L
	plomo	SM 3113-B SM 3125-B	LD: 2.5-20 Pb µg/L LD:>0.00004 Pb µg/L
	cadmio	SM 3113-B	LD: 0.09-6 µg Cd/L

F. Corrección de códigos utilizados en reportes de laboratorio

Con el fin de unificar códigos que pertenezcan al mismo sitio, pero con distinta nomenclatura en los reportes de laboratorios de época seca y lluviosa, se realizaron los cambios que se detallan en la Tabla 19, especificando la matriz, laboratorio, códigos utilizados en reporte de época seca y lluviosa, y código unificado para el estudio. En los ANEXOS de análisis de laboratorio, se pueden verificar los códigos utilizados inicialmente en campo.

Tabla 19: corrección de códigos por matriz.

Matriz	Laboratorio de análisis	Código época seca	Código época lluviosa	Código unificado/utilizado para estudio
Sedimento	Eurofins	RS-01	RS-06N	RS-01
		RS-05	RS-05N	RS-05
		RS-04	RS-01	RS-04
Agua	IHCIT	RS-02	RS-04=RS-02	RS-04
		RS-01	RS-05=RS-01	RS-05
		SPT	CPT	CPT
	MQ	RS-04	RS05NZ	RS-05N
		RS-02	RS-04N	RS-04
	Eurofins	Sin muestras analizadas	RS-01	RS-04
			RS05N	RS-05
	Teasdale Corti	RS-01	Sin muestras analizadas	RS-05
		RS-02		RS-04

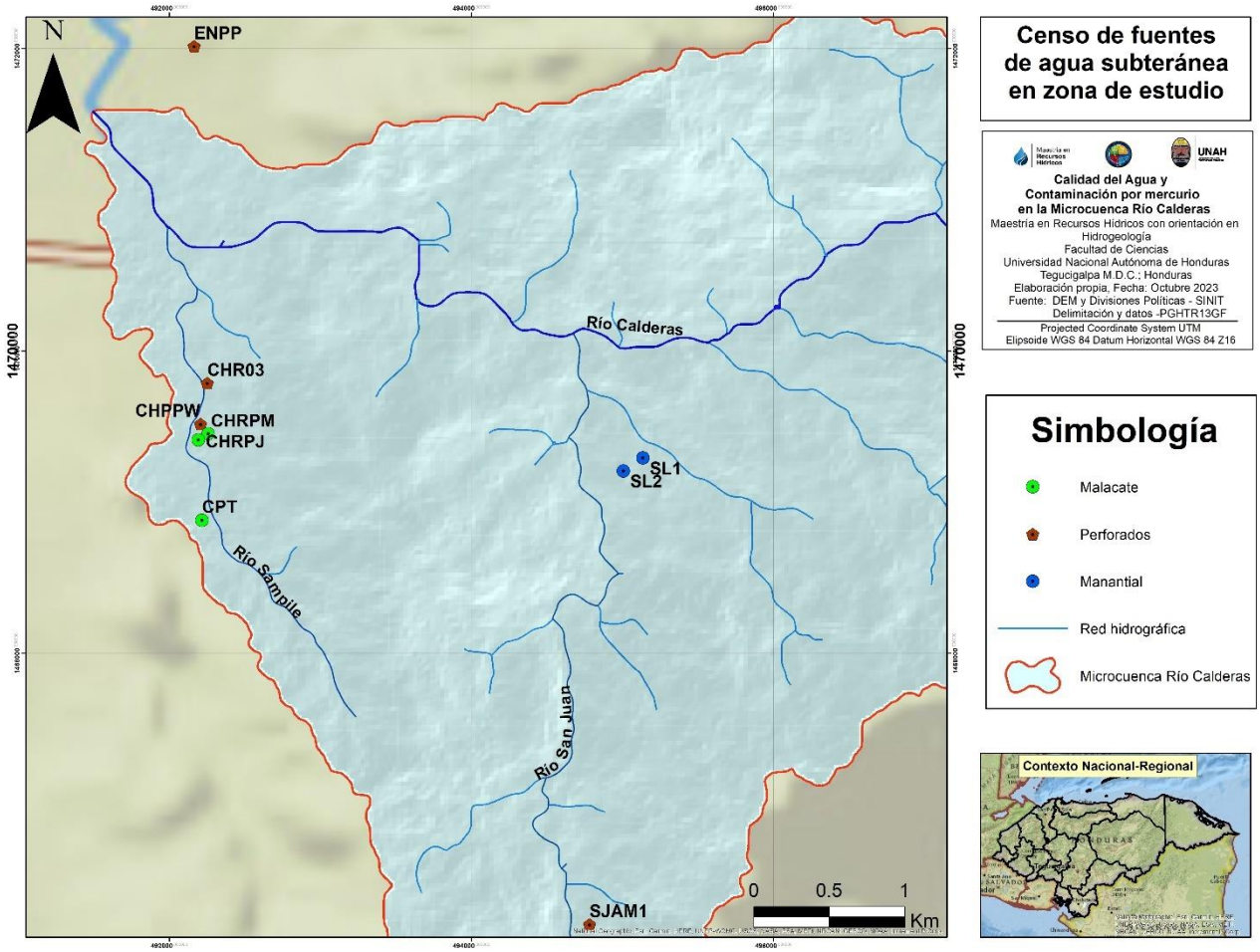
El código de la muestra RS-06 de época seca para sedimento, analizado en Eurofins, fue cambiado por el código SM-067, debido a que el código estaba duplicado. Para ello se verificó la cadena de custodia del muestreo presente en 12.8, con el fin de no confundir geográficamente el sitio.

6. Capítulo VI: Análisis e interpretación de los datos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del estudio.

6.1 Resultados de censo de fuentes de agua subterránea en zona de estudio

Estas fuentes se dividen en pozos perforado, malacate y manantial (Mapa 12). A partir de los resultados de este y criterios para selección de sitios de muestreo, se determinaron las fuentes subterráneas a muestrear en el estudio, en la Tabla 20 se presenta la información recopilada a través del censo.



Mapa 12: fuentes de agua subterránea censadas en área de estudio.

Tabla 20: información recopilada mediante censo pozos en zona de estudio. Las coordenadas están en el sistema el sistema proyectado WGS 1984 UTM zona 16N.

Aldea	Tipo de pozo	Latitud (m)	Longitud (m)	Beneficiarios	Profundidad (m)	Nivel freático (m)	Caudal gal/min	Temperatura (°C)	pH	EC (µS/cm)
San Juan Arriba	Perforado	0494782	1466205	12 personas	7	S.I.M	10 gal/min	28	7	160
El Naranjal	Malacate	0492768	1470844	No usado	S.I.M	7,4 m	S.I.M	30.2	7.1	590
Los Chagüites	Perforado	0492207	1469516	Sin usar/Sin bomba.	38.1	16 m		S.I.M	S.I.M	S.I.M
	Malacate	0492217	1468879	5 personas	9	4,5 m		28.5	6.9	350
		0492257	1469451	Funcionamiento de la rastra.	S.I.M	9m		33.4	9.7	740
	Pozo perforado	0492251	1469786		120	S.I.M		32.9	7.4	480
	Malacate	0492192	1469411		6	2,80 m		31.4	7.04	490
El Naranjal	Pozo perforado	0492165	1472015	270 familias	55	S.I.M		33	7.6	460
El Corpus	Manantial	495006	1469205	Agricultura y ganadería de la hacienda	S.I.M			S.I.M	S.I.M	S.I.M
		495135	1469291					S.I.M	S.I.M	S.I.M

10a) Medición de nivel freático en pozo malacate en El Naranjal.

10b) Medición de nivel freático en pozo malacate en Los Chagüites.

10c) Equipo utilizado para toma de parámetros fisicoquímicos y coordenadas GPS.

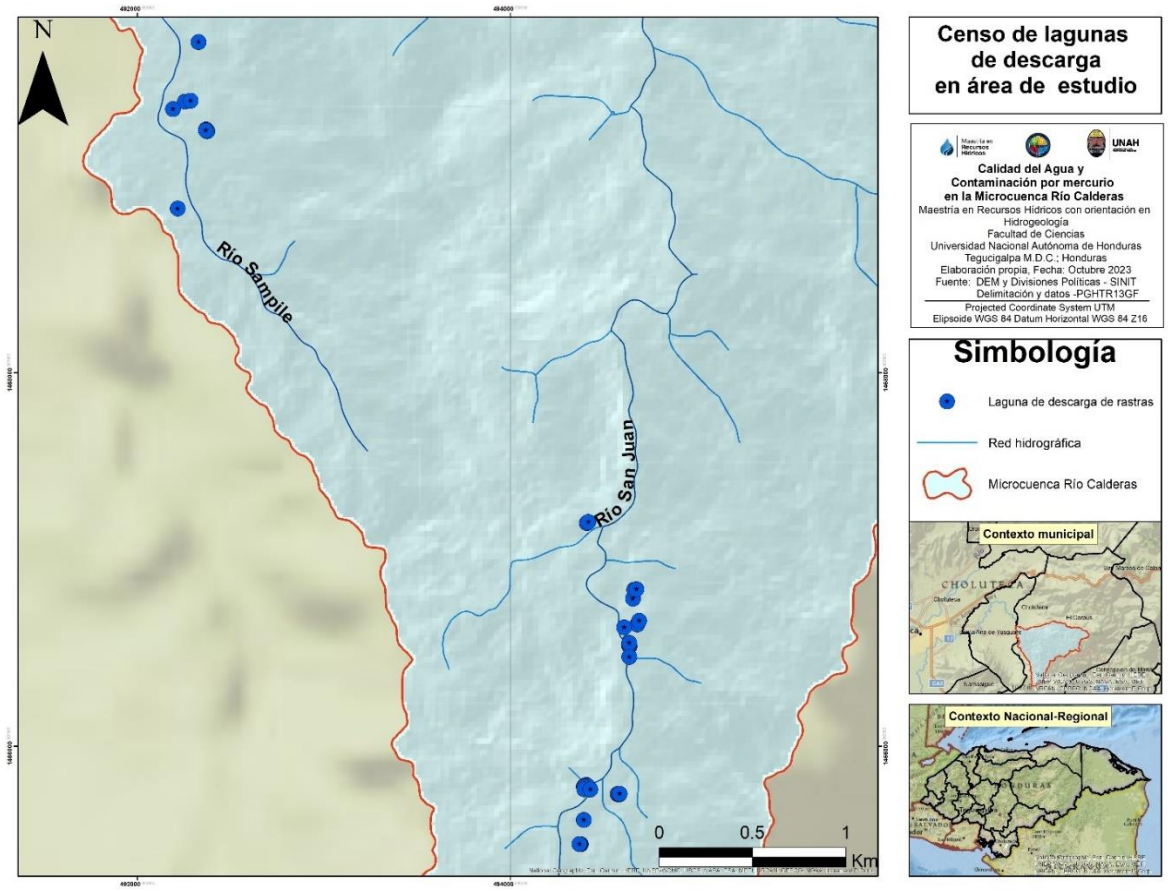
Figura 10: trabajo de campo durante el censo de pozos.

6.2 Resultados de censo de rastras y lagunas de descarga en zona de estudio

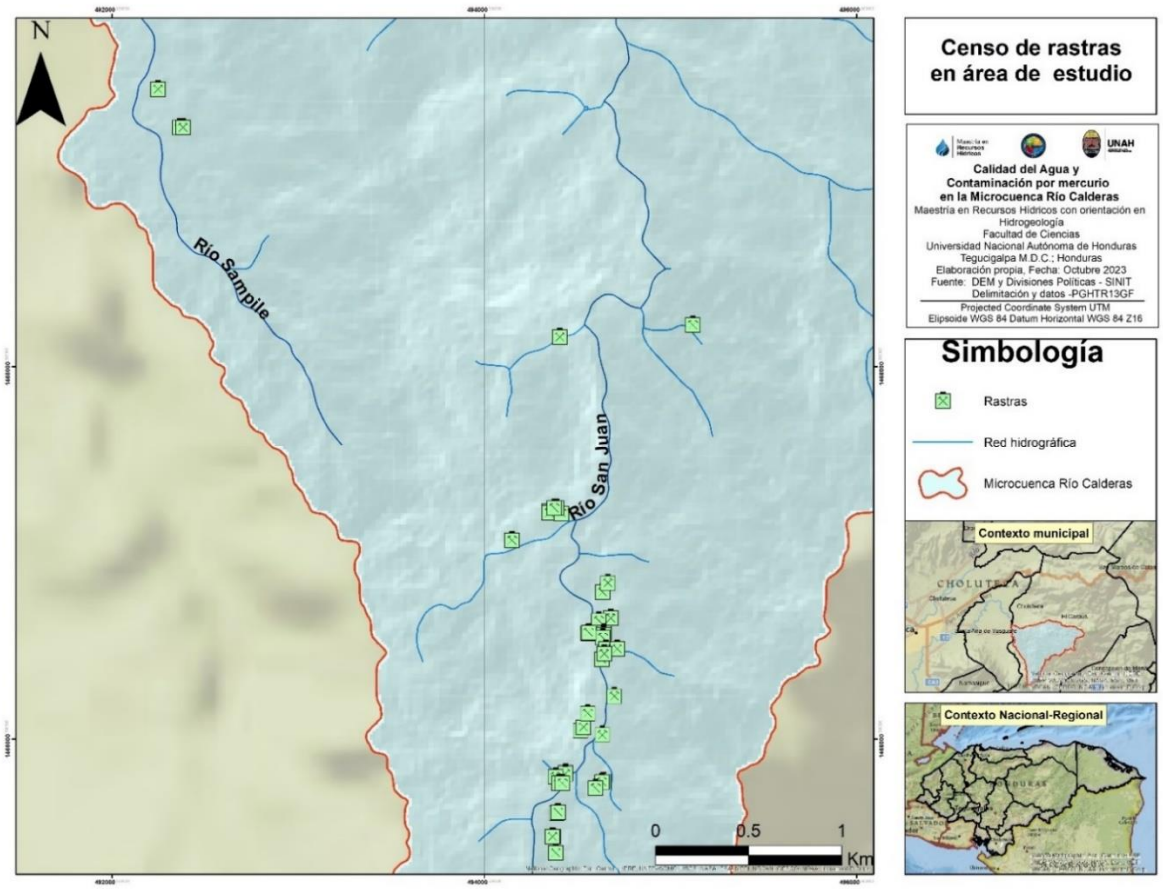
En la Tabla 21 se presentan los resultados del censo de rastras y lagunas de descarga por aldeas. Estos pueden visualizarse geográficamente en el Mapa 13 y Mapa 14. Nótese que en las aldeas de El Naranjal y San Juan Abajo, no se censaron rastras ni laguna de descarga, debido a que en estas aldeas no se llevan a cabo actividades de beneficiado de oro a nivel artesanal.

Tabla 21: resultados del censo de rastras y lagunas de descarga en zona de estudio.

Aldea	Rastras	Lagunas de descarga
San Juan Arriba	40	28
El Corpus	1	0
San Juan Abajo	0	0
Los Chagüites	4	8
El Naranjal	0	0
Total	45	28



Mapa 13: censo de lagunas de descarga de rastra en área de estudio.



Mapa 14: censo de rastras en área de estudio.

La cantidad de lagunas de descarga no es proporcional al número de rastras que operan, puesto que la construcción de lagunas depende de la capacidad productiva de la rastra y del tiempo que se proceda al vaciado de las lagunas, ya que las colas son dinámicas, como se detalla en sección: Lagunas de descarga de rastras.

11a) Rastra operativa en San Juan Arriba.

11b) Lagunas de descarga, de rastra operativa en San Juan Arriba.

Figura 11: etapa de beneficiado en rastras.

6.3 Resultados en matriz ambiental de agua

Los resultados de laboratorio referente a la matriz de agua pueden consultarse en el apartado de ANEXOS.

A. Resultados de medición de parámetros fisicoquímicos para agua superficial y subterránea previo a la toma de muestra

En este apartado se presenta de forma resumida en la Tabla 22, los resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos en fuentes de agua subterránea y superficiales.

Tabla 22: resultados de medición de parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua subterránea y superficial, para época seca y lluviosa.

Sitio	**Tipo de fuente**	**Parámetros fisicoquímicos en época seca**			**Parámetros fisicoquímicos en época lluviosa**		
		pH	**C.E (µS/cm)**	**T (C°)**	**pH**	**C.E (µS/cm)**	**T (C°)**
SJAM1	Subterránea	6.9	150	27.9	6.26	101	28.1
SL1		7.2	360	27.1	7.17	309	27.5
SL2		6.8	470	28	7.23	594	27.4
RCPP		7.4	570	28.9	6.85	1723	28.6
CPT		7	350	30	7.14	343	28
CHRPM		8.9	430	29.7	7.1	1691	27.5
CHRPJ		7.6	528	28.2	6.81	1549	27.3
CHR03		7.2	500	30.9	6.67	271	29.8
CHPPW		7	560	30.7	Sin toma de muestra		
SJA4C	Superficial	8	320	30.1	8.04	1413	26.3
SJAAM		7.3	70	28	7.86	118	26.5
RS-04		8.3	430	27	8.14	1453	27.4
RS-05		8.3	440	27.2	8	1454	27
CHR02		8.7	400	30.6	8.65	1590	30.09
RS-06		8.4	320	29	7.98	1426	24.5

A continuación, se presenta en gráficos los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos en campo durante época seca (abril) y época lluviosa (octubre) del año 2022.

- Temperatura: se registró una temperatura con un máximo de 30.9°C, mínimo de 27°C y un promedio de 28.89 °C para época seca. Respecto a la época lluviosa, con un máximo de 30.09 °C, mínimo de 24.5 °C y un promedio de 27.57 °C (*Figura 12*).

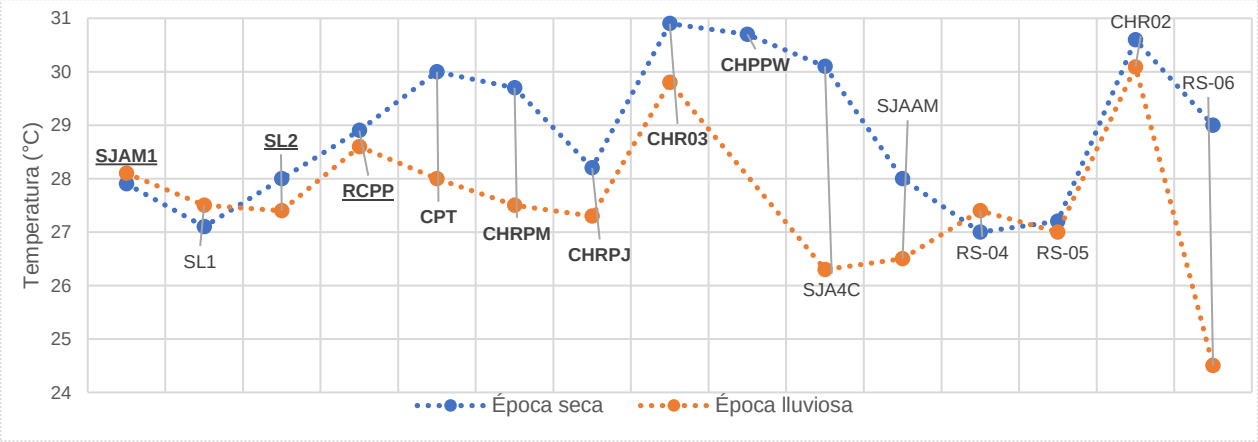


Figura 12: temperaturas medidas en cuerpos de agua previo a la toma de muestras, en las épocas seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de origen de agua superficial, comprendidas entre ríos y lagunas de descarga de rastras. En letra normal son las muestras de agua subterránea.

- pH: se registró un pH con un máximo de 8.9, mínimo de 6.8 y un promedio de 7.67 para época seca. Respecto a la época lluviosa, con un máximo de 6.26, mínimo de 8.65 y un promedio de 7.42 (*Figura 13*).

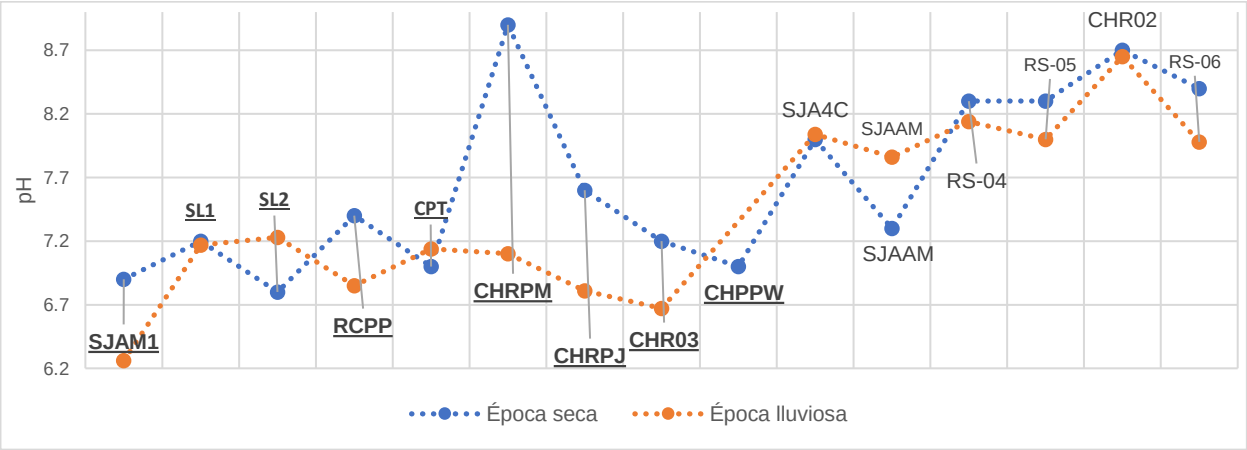


Figura 13: valores de pH en cuerpos de agua previo a la toma de muestras, en las épocas seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de origen de agua superficial, comprendidas entre ríos y lagunas de descarga de rastras. En letra normal son las muestras de agua subterránea.

- Conductividad eléctrica: se registró una conductividad eléctrica con un máximo de 570 µS/cm, mínimo de 70 µS/cm y un promedio de 393 µS/cm para época seca. Respecto a la época lluviosa, con un máximo de 1723 µS/cm, mínimo de 101 µS/cm y un promedio de 1002.5 µS/cm (*Figura 14*).

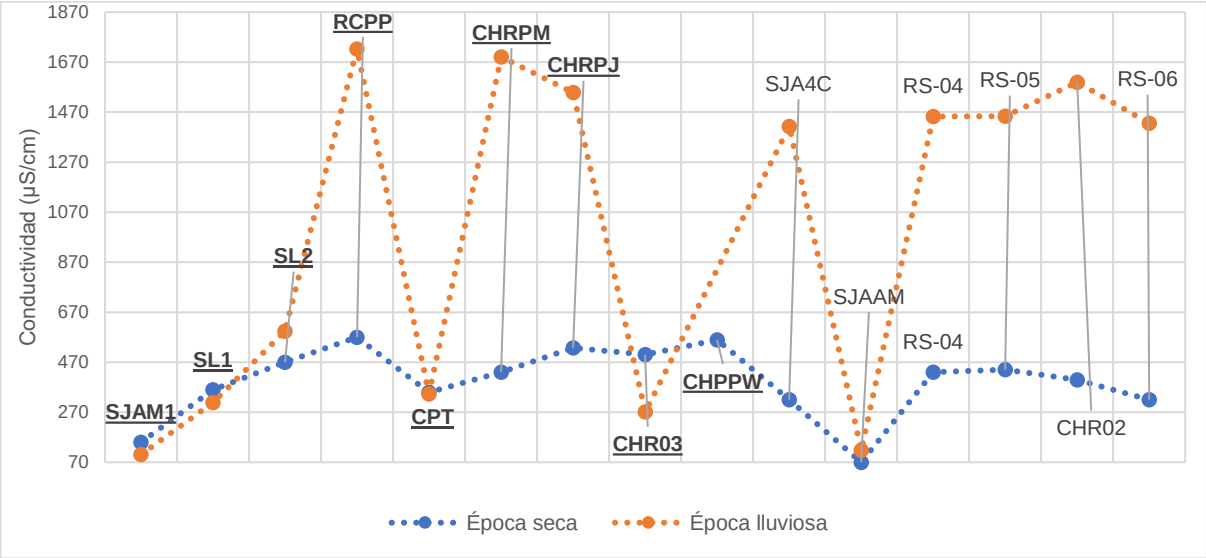


Figura 14: conductividad eléctrica medida en cuerpos de agua previo a la toma de muestras, en las épocas seca y lluviosa del 2022.

B. Control de calidad de los análisis y mediciones de parámetros fisicoquímicos in situ de agua subterránea y superficial

En este apartado se presenta de forma resumida el control de calidad de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ* y analitos de interés analizados en campo y laboratorio, con el fin de descartar muestras que presenten errores en el B.I o considerarlas bajo justificaciones, si estas se encuentran fuera del criterio establecido como permisible. La data analítica y resultados en tabla se presentan en 12.3.

I. Suma de cationes y aniones en meq/L y cálculo de balance iónico (B.I)

Con el fin de realizar el balance iónico, se realizó la suma de los iones, resumiendo los resultados en Tabla 35, considerando los siguientes iones:

- Cationes: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Cu^{2+}, Pb^{2+}, Mn^{2+}, Cd^{2+}
- Aniones: Cl^-, HCO_3^-, CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, NO_2^-, NO_3^-, PO_4^{3-}

Los resultados provistos por el laboratorio CEIRH referentes a Fe, Cu, Pb, Mn y Cd, fueron analizados como elemento-total y no su especiación debido a capacidades analíticas, ante lo cual se tomaron las siguientes consideraciones:

- Metales traza : para Fe, Cu, Pb y Mn se estableció que el estado de oxidación más común de estos en agua es de 2+ y se verificó la variación en el B.I a través del cálculo con otros estados de oxidación de los elementos. Para el caso del Cd este solo tiene estado de oxidación 2+ y el

Hg no fue considerado para el cálculo debido a que este fue detectado en concentraciones trazas y no genera cambios significativos en el cálculo del B.I.

II. Cálculo de Sólidos Disueltos Totales

Para realizar el cálculo de los Sólidos Disueltos Totales (TDS) en (mg/L), se sumaron las concentraciones de todos los iones, nutrientes y metales traza (mg/L) y se estableció una relación con la conductividad eléctrica medida en campo, como sugiere (Hem, 1985 citado por Appelo & Postma, 2005). Se observa que existe una mayor correlación de los datos en época seca, con un $R^2 = 0.4698$ versus época lluviosa con un $R^2 = 0.0433$ (Figura 15).

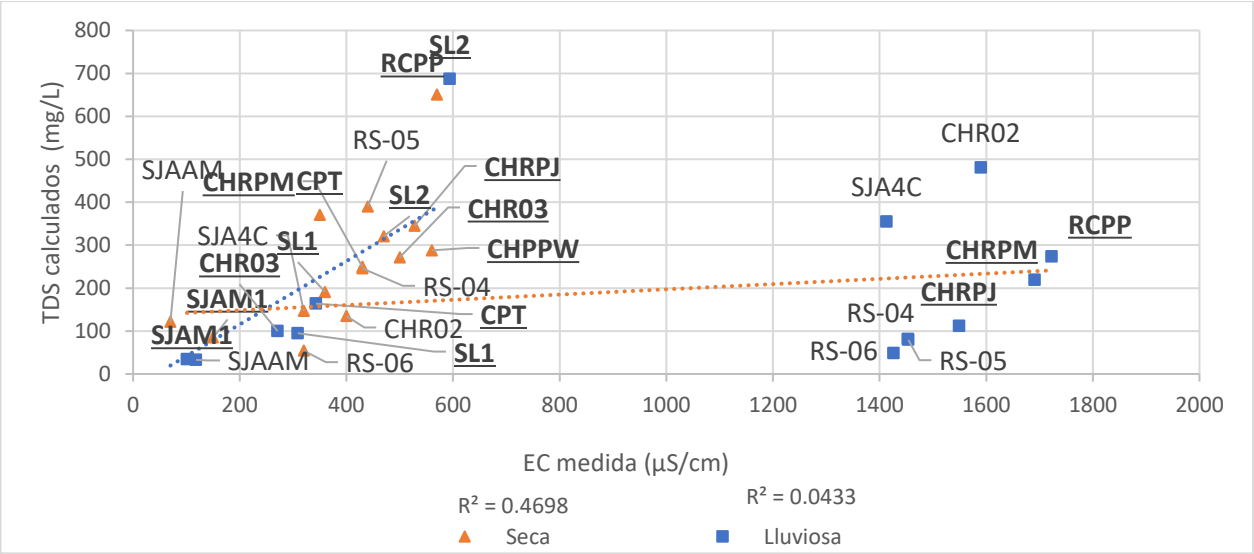


Figura 15: sólidos Disueltos Totales calculados (TDS) vs conductividad eléctrica (EC). Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de agua subterránea, comprendidas entre pozos perforados, malacate y manantiales. En letra normal las muestras de agua superficial, comprendidas entre ríos y lagunas de descarga de rastras.

III. Cálculo de conductividad eléctrica

Este se llevó a cabo tomando en cuenta el procedimiento explicado por (Appelo & Postma, 2005). Debido a que la alcalinidad (Alk) medida en campo fue medida como $CaCO_3$ (mg/L), fue necesario calcular las concentraciones de HCO_3^- y CO_3^{2-}antes del cálculo de conductividad eléctrica. El procedimiento se presenta en Tabla 34.

Esto parte de las ecuaciones propuestas por (Appelo & Postma, 2005), como se muestra a continuación:

$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$ $\quad K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = 10^{-6.3}$ Ecuación 2: Equilibrio en un sistema de ácido carbónico, con constante de equilibrio K1 aproximada a 25°C (Appelo & Postma, 2005).

$HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$ $\quad K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = 10^{-10.3}$ Ecuación 3: Equilibrio en un sistema de ácido carbónico, con constante de equilibrio K2 aproximada a 25°C (Appelo & Postma, 2005).

Donde: K1 y K2 en $\left(\frac{mol}{L}\right)$

Para convertir [Alk] en $\left(\frac{mg}{L}\right)$ a $\left(\frac{eq}{L}\right)$, se realizó la conversión de [CaCO3] dividiendo por 100.0869 $\left(\frac{g}{mol}\right)$.
A partir de las ecuaciones anteriores se obtiene:

$[Alk] = [HCO_3^-] + 2 \times [CO_3^{2-}]$ Ecuación 4: Concentración de Alcalinidad, reescrita de (Appelo & Postma, 2005)

Donde: $[Alk]$ en $\left(\frac{eq}{L}\right)$

$[HCO_3^-]$ en $\left(\frac{mol}{L}\right)$

$[CO_3^{2-}]$en $(\frac{mol}{L})$

Y

$K_2 = \frac{[H^+]\times[CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$ Ecuación 5: Constante de equilibrio K2, reescrita de (Appelo & Postma, 2005).

Donde:

$[HCO_3^-]$ en $\left(\frac{mol}{L}\right)$

$[CO_3^{2-}]$en $(\frac{mol}{L})$

Y despejando para obtener las concentraciones de HCO_3^- en $\left(\frac{mol}{L}\right)$y CO_3^{2-} en $\left(\frac{mol}{L}\right)$, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$[HCO_3^-] = \frac{[Alk]}{1+\frac{2K_2}{10^{-pH}}}$ Ecuación 6: Concentración de Bicarbonato, reescrita de (Appelo & Postma, 2005).

Donde: $[HCO_3^-]$ en $(\frac{mol}{L})$

Y [Alk] en $\left(\frac{eq}{L}\right)$

Y

$[CO_3^{2-}] = \frac{[Alk]}{\frac{10^{-pH}}{K_2}+2}$ Ecuación 7: Concentración de Carbonato, reescrita de (Appelo & Postma, 2005).

Donde: $[CO_3^{2-}]$ en $(\frac{mol}{L})$

Y [Alk] en $\left(\frac{eq}{L}\right)$

Descartando un error en la medición de la conductividad eléctrica en campo, se confirma que existe un error analítico en los resultados de la concentración de los iones. Particularmente, existe una sospecha de los resultados obtenidos de alcalinidad total en época lluviosa, ya que en esta época se evidencia la mayor variación en conductividades eléctricas calculadas versus medidas en campo.

Si se visualiza el R^2 = 0.6841 de época seca versus el de época lluviosa R^2= 0.0873 (*Figura 16*); se evidencia una mejor correlación en época seca (aunque sigue siendo baja). Considerando que

el promedio de los B.I% para época seca es de 20.82% y para lluviosa 32.45%, se concluye que existe un mayor error analítico, en los análisis de época lluviosa. Esto puede generar errores en los cálculos de HCO_3^- y CO_3^{2-}, en consecuencia, afecta los cálculos de la conductividad eléctrica, sumado a los errores de los iones Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^- y SO_4^{2-}.

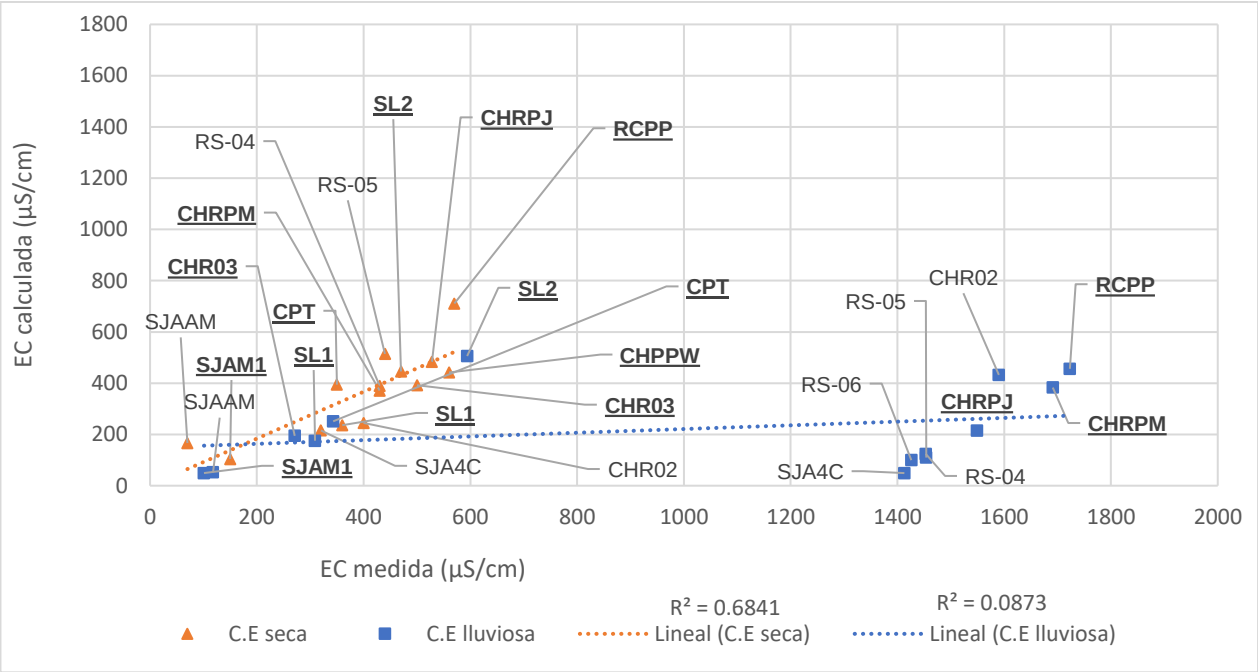


Figura 16: C.E calculada versus C.E medida. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de agua subterránea, comprendidas entre pozos perforados, malacate y manantiales. En letra normal las muestras de agua superficial, comprendidas entre ríos y lagunas de descarga de rastras.

IV. Relación de conductividad eléctrica medida/100 = ∑aniones =∑cationes

Esta relación sugerida por (Appelo & Postma, 2005), donde la conductividad eléctrica está expresada en (µS/cm) y las sumatorias de los iones en (meq/L), se puede utilizar como un control de calidad de los análisis químicos.

- Comparación de conductividad eléctrica medida versus cationes: utilizando como referencia la conductividad eléctrica/100, se observa que en época seca el sitio SL1 presenta una diferencia drástica. Mediante una revisión de los resultados del laboratorio, para el ion Ca^{2+} se obtuvo una concentración de 230.12 mg/L, sin embargo, el promedio de las concentraciones de esta época es de 57.39 mg/L. Si se compara con el resultado obtenido para época lluviosa de 29.94 mg/L, se evidencia una reducción ~10 veces en su concentración.

  Al ser una fuente de agua subterránea, no se espera una reducción tan drástica en un periodo de 6 meses. Por lo cual, se sospecha de un error en la escritura del punto decimal, ya que si este fuera 23.012 mg/L; tendría un valor más aproximado (43.87 mg/L)., al promedio de las concentraciones de época lluviosa (29.94 mg/L). Al realizar una comparación entre el B.I% calculado con el valor sospechoso se obtiene 65.73%, mientras que si se calcula el B.I% utilizando el valor de 23.012 mg/L, se obtiene 7.98%. Este segundo resultado, confirma las

sospechas de un error en la escritura del punto decimal, en vista de esto se utilizó la concentración de 23.012 mg/L Ca^{2+} para los cálculos de control de calidad.

- Comparación de conductividad eléctrica medida versus aniones: en época lluviosa se observa un comportamiento similar al de los cationes (*Figura 17*), tomando en cuenta que no existe un error considerable en la medición de las conductividades; el error en los aniones puede deberse al análisis, de los siguientes iones: NO_3^- , NO_2^-, SO_4^{2-} y PO_4^{3-}, puesto que fueron determinados en campo. Esto aumenta la incertidumbre en los resultados.

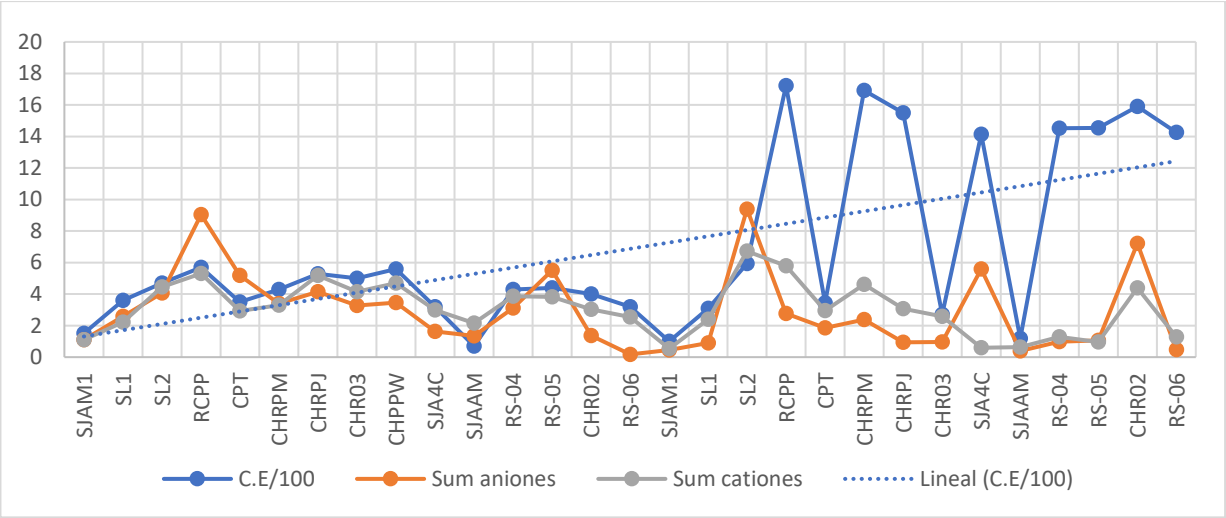


Figura 17: comparación entre la conductividad eléctrica medida/100, la suma de los aniones y la suma de los cationes. Se presenta de izquierda a derecha, los sitios muestreados de época seca (SJAM1 a RS-06) a época lluviosa, donde (SJAM1 a CHPPW) pertenecen a agua subterránea y (SJA4C a RS-06) a agua superficial.

V. Resultados del control de calidad de parámetros fisicoquímicos

Tomando en consideración, que el balance iónico es una herramienta para determinar la confiabilidad de los análisis químicos llevados a cabo en laboratorio o campo, se puede utilizar como un criterio para reanalizar muestras (caso que no aplica para este estudio por la temporalidad en que fueron colectadas, distribuidas entre abril y octubre del año 2022).

Dicho lo anterior, los errores identificados se pueden deber a los iones analizados en campo, esto genera una mayor incertidumbre al seleccionar la data más fiable y con menor error. También los errores se pueden deber a parámetros analizados en laboratorio o incluso a la falta de análisis de otros elementos que tienen influencia en la dinámica hidroquímica de la zona como el cianuro, el cual es utilizado para el beneficiado de colas a nivel artesanal e industrial y por último debe de considerarse un factor de dilución en las concentraciones detectadas.

A partir de los resultados de los controles de calidad, y la imposibilidad de determinar específicamente una causa que genere error en el balance iónico y permita descartar muestras o determinar un porcentaje de error bajo, se determinó que el cuartil 50 de los resultados del balance iónico, corresponde a las muestras con un error menores o iguales a 22.94%. Esto permite caracterizar los tipos de agua, teniendo la precaución que la modelación hidroquímica brinda una

aproximación de la realidad del medio que corresponde al cuartil 50 de las muestras, pero es una aproximación que presenta un error.

En la Tabla 23 se resumen los sitios por época, fuente y el porcentaje de error en el balance iónico.

Tabla 23: Muestras que cumplen con criterio de ≤ 22.94% en B.I.

Código	Época	Fuente	% error en B.I
SJAM1	Seca	Subterránea	0.35
SL1			7.92
SL2			4.48
CHRPM			1.67
CHRPJ			10.98
CHR03			11.81
CHPPW			15.07
SJAAM		Superficial	22.94
RS-04			10.91
RS-05			18.12
SJAM1	Lluvioso	Subterránea	9.35
SL2			16.60
CPT			22.46
RS-04		Superficial	13.74
RS-05			4.60

C. Caracterización hidroquímica

A continuación, se presentan dos diagramas de Stiff, utilizando las muestras que cumplen con un criterio ≤22.94% en B.I (*Tabla 23*), utilizando la data analítica de iones mayoritarios correspondientes a época seca (abril 2022) y época lluviosa (octubre 2022).

Los diagramas de Stiff presentados, se llevaron a cabo con el software de acceso libre “Diagrammes”.

I. Época seca

La *Figura 18* representa un diagrama de Stiff para época seca. Se observa que el 90% de las muestras de época seca (n=9), corresponden al tipo de agua Cálcica-Bicarbonatada (Ca-HCO_3^-), excepto la muestra SJAM1 de tipo Cálcica-Magnésica-Bicarbonatada (Ca-Mg-HCO_3^-). Esto se verifica con las concentraciones del calcio y bicarbonato, que predominan sobre los demás iones y nutrientes. En el caso de la muestra SJAM1, calcio (0.46 meq/L y magnesio (0.44 meq/L) presentan proporciones similares.

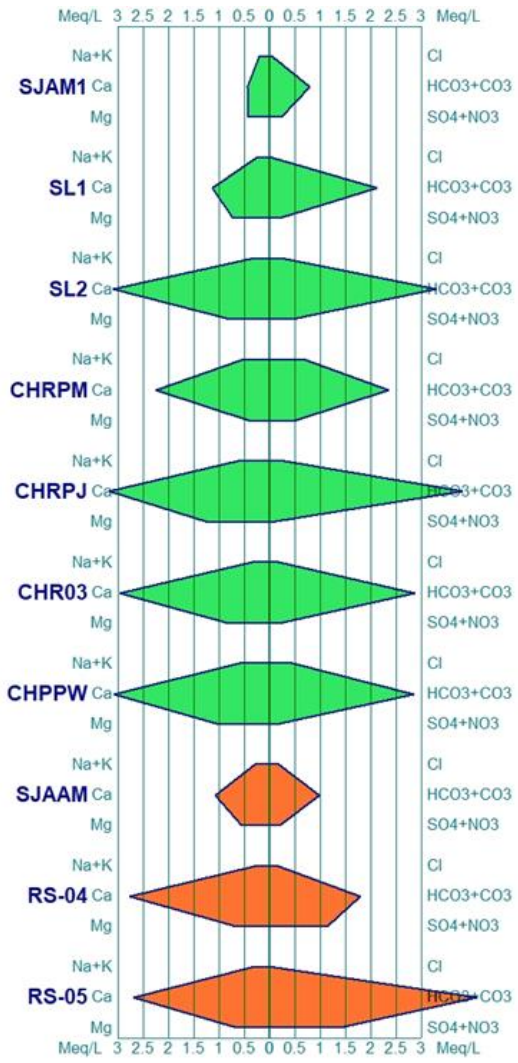


Figura 18: diagrama de Stiff para época seca. En verde: muestras de agua subterránea; en naranja: agua superficial. Donde n=10.

II. Época lluviosa

La *Figura 19* representa un diagrama de Stiff para época lluviosa. Los sitios, fuentes y tipos de agua se detallan en la *Tabla 24*.

Tabla 24: sitios utilizados para Diagrama de Stiff de época lluviosa. Donde n=6.

Sitio	Fuente	Tipo de agua
SJAM1	Subterránea	Sódica-Bicarbonatada (Na-HCO_3)
SL2		Cálcica-Nitratada (Ca-NO_3)
CPT		Cálcica-Bicarbonatada (Ca-HCO_3)
SJAAM	Superficial	Sódica-Bicarbonatada (Na-HCO_3)
RS-04		Cálcica-Bicarbonatada (Ca-HCO_3)
RS-05		

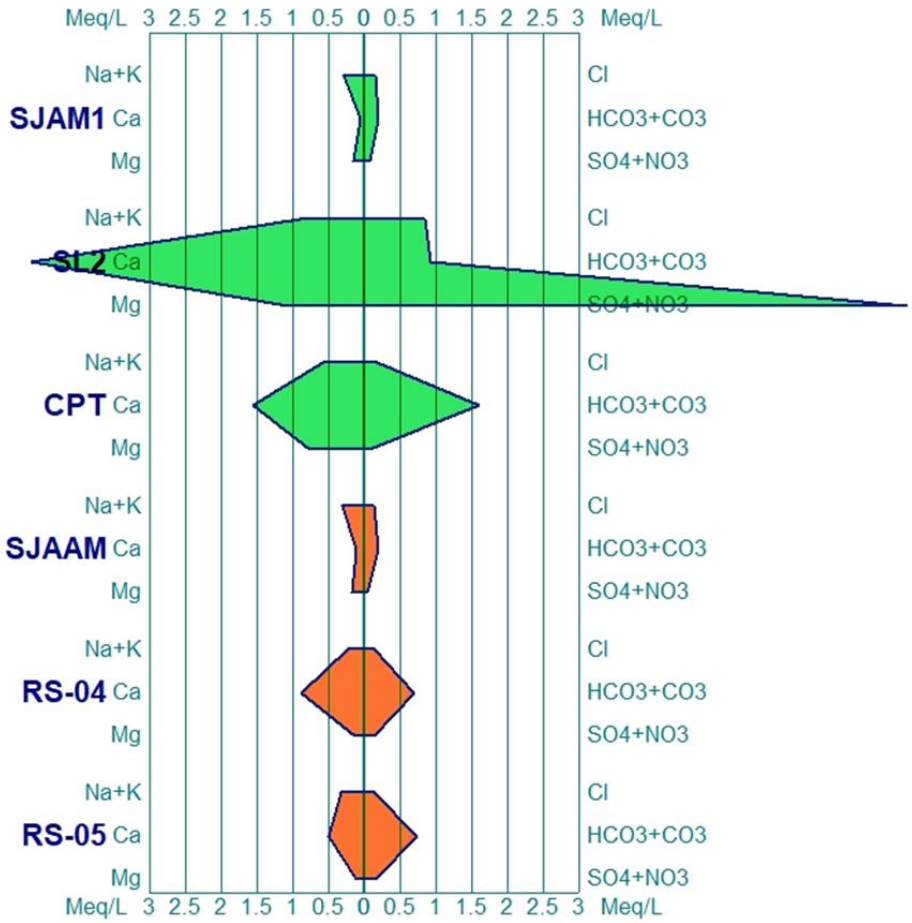


Figura 19: diagrama de Stiff para época lluviosa. En verde: muestras de agua subterránea; en naranja: agua superficial. Donde n=6.

En el sitio SJAM1 se observa una dominancia del ion sodio Na^+ con 0.29 meq/L y del Bicarbonato HCO_3^- con 0.20 meq/L, resultando en un tipo de agua Sódica-Bicarbonatada.

En el sitio SL2 se observa una dominancia del nitrato NO_3^- con 7.38 meq/L, debido a que es un sitio con alta influencia de agricultura y ganadería, puede deberse a lixiviación de fertilizantes y de heces fecales de animales, producto de escorrentía superficial. El ion calcio Ca^{2+} presenta una concentración de 4.65 meq/L resultando en un tipo de agua Cálcica-Nitratada.

En el sitio CPT se observa una dominancia del Bicarbonato HCO_3^- con una concentración de 1.60 meq/L y del ion calcio Ca^{2+}con 1.57 meq/L, resultando en un tipo de agua Cálcica-Bicarbonatada.

En el sitio SJAAM se observa una dominancia del Bicarbonato HCO_3^- con una concentración de 0.20 meq/L y el ion sodio Na^+ con 0.30 meq/L, resultando en un tipo de agua Sódica-Bicarbonatada.

En el sitio RS-04 se observa una dominancia del Bicarbonato HCO_3^- con una concentración de 0.69 meq/L y el ion Ca^{2+} con 0.90 meq/L, resultando en un tipo de agua Cálcica-Bicarbonatada. De la misma forma, para RS-05, el Bicarbonato HCO_3^- presenta una concentración de 0.74 meq y el ion Ca^{2+} con 0.49 meq/L. resultando en un tipo de agua Cálcica-Bicarbonatada.

D. 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 25*) y lluviosa (*Tabla 26*). Se incluye en los sitios de muestreo de esta sección, una laguna de descarga (CHR02), considerando que en esta descargan 2 rastras operativas y luego que estas alcanzan la capacidad máxima volumétrica, descargan en un pozo malacate (CHRPM).

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.

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

En la *Tabla 25* 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 25: concentraciones de metales traza en época seca. Donde: ND= no determinado y <LD = inferior al límite de detección y n=15. *Los límites de detección y/o cuantificación están descritos en Tabla 18.*

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^{-4}	<LD
SL1	Subterránea	1.53	<LD	<LD	<LD
SL2	Subterránea	4.1	N.D	0.01	<LD
RCPP	Subterránea	N.D	1.0×10^{-4}	2.0×10^{-3}	1.0×10^{-5}
CPT	Subterránea	N.D	3.0×10^{-3}	5.0×10^{-4}	N.D
CHRPM	Subterránea	2.92	N.D	0.01	<LD
CHRPJ	Subterránea	3.96	3.3×10^{-3}	0.04	4.0×10^{-4}
CHR03	Subterránea	N.D	N.D	3.3×10^{-4}	N.D
CHPPW	Subterránea	0.45	<LD	0.01	<LD
SJA4C	Superficial	15.42	0.09	<LD	N.D
SJAAM	Superficial	6.68	0.01	N.D	4.0×10^{-4}
RS-04	Superficial	2.63	0.01	0.01	1.2×10^{-4}
RS-05	Superficial	2.17	<LD	0.01	1.3×10^{-4}
CHR02	Superficial	3.02	ND	0.01	8.8×10^{-4}
RS-06	Superficial	0.93	ND	0.01	1.2×10^{-4}

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

En la *Tabla 26* 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 CHRPJ, 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 26: concentraciones de metales traza en época lluviosa. Donde: ND= no determinado, y n=14. *Los límites de detección y/o cuantificación están descritos en Tabla 18.*

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**
SJAM1	Subterránea	0.02	2.93×10^{-3}	0.25	1.2×10^{-4}	0.04
SL1	Subterránea	0.14	4.68×10^{-3}	0.43	5×10^{-5}	0.06
SL2	Subterránea	0.5	2.11×10^{-2}	1.99	1.6×10^{-3}	0.08
RCPP	Subterránea	0.37	4.34×10^{-3}	0.49	1×10^{-5}	0.09
CPT	Subterránea	0.13	4.77×10^{-3}	0.47	5×10^{-5}	0.06
CHRPM	Subterránea	0.73	1.34×10^{-3}	3.46	1×10^{-5}	0.05
CHRPJ	Subterránea	0.31	1.28×10^{-3}	1.02	N.D	0.08
CHR03	Subterránea	0.12	N.D	0.5	1.1×10^{-4}	0.02
SJA4C	Superficial	0.09	2.26×10^{-2}	0.36	1.2×10^{-4}	<LD
SJAAM	Superficial	0.06	2.86×10^{-2}	0.38	1.2×10^{-4}	<LD
RS-04	Superficial	0.1	3.76×10^{-3}	0.43	2.9×10^{-4}	0.04
RS-05	Superficial	0.09	1.72×10^{-3}	0.48	N.D	0.05
CHR02	Superficial	0.05	7.95×10^{-3}	0.66	1.7×10^{-4}	0.16
RS-06	Superficial	0.18	8.63×10^{-3}	0.65	3.2×10^{-4}	0.32

III. 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 27*), tomando como valor máximo admisible para mercurio (1.0 µg/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 28*

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 28* se resumen los resultados obtenidos de Hg-total en época lluviosa (octubre) del año 2022 y los resultados de laboratorio pueden visualizarse en 12.10.

Tabla 27 : categorización en función del valor máximo admisible de Hg-total en agua.

Contaminación	Mayor al valor máximo admisible (1 µg/L)
Presencia media	Entre 1 µg/L y 0.5 µg/L
Presencia baja	Menor a 0.5 µg/L

Tabla 28: concentraciones de Hg-total en agua superficial y subterránea. Donde n=14.

Sitio	Tipo de fuente	µg/L	Categorización
SJAM1	Subterránea	9×10^{-3}	
SL1		8.2×10^{-3}	
SL2		8.5×10^{-2}	
RCPP		3.9×10^{-3}	
CPT		5.2×10^{-3}	
CHRPM		4.1×10^{-2}	
CHRPJ		7.3×10^{-2}	
CHR03		6.2×10^{-3}	
SJA4C	Superficial	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. A continuación, se presentan los posibles factores que explican la contaminación generada en los dos sitios:

En el sitio RS06, mismo que corresponde donde se tomó una muestra de sedimento (Figura 28), se detectó una concentración de 2.6 µg/L, categorizándose como contaminación por presencia de Hg-total. Este sitio, es de vital interés para las personas que recuperan oro con batea, ya que por efectos de escorrentía superficial desde la cuenca alta donde operan más de 40 rastras, se genera arrastre de oro amalgamado y mercurio sin amalgamar hasta este sitio, donde los pobladores a través de una remoción de los sedimentos con métodos manuales y el uso de batea, recuperan el oro amalgamado y mercurio sin amalgamar. Cabe recalcar que en este sitio no existe una descarga de rastras, ni se llevan a cabo actividades de beneficiado en rastras en San Juan Abajo.

En el sitio CHR02 que corresponde a una laguna de descarga, mismo donde se tomó una muestra de sedimento (Figura 25), se detectó una concentración de 1.3 µg/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 µg/L con la concentración máxima admisible para mercurio (10 µg/L) contemplada en (Secretaría de Salud, 1996), y se determina que la concentración máxima admisible no se excede.

Las malas prácticas en el proceso de beneficiado de la MAPE están evidenciadas en las concentraciones de Hg-total detectadas en este sitio, debido a la amalgamación del mineral en bruto. Además, se debe de evaluar los aportes de mercurio que estas malas prácticas generan a la atmósfera y al ciclo global del mercurio, ya que no existe un tiempo definido para la remoción/aprovechamiento de las colas en la laguna. Este sitio es el único a nivel municipal que tiene la presencia de rastras operativas que benefician con mercurio, y el posterior beneficiado con cianuro de las colas generadas.

Antes de llevar a cabo el proceso de beneficiado con cianuro, las colas que han sido removidas de las lagunas son trasladadas a la parte alta del terreno y expuestas al sol hasta que se secan (Figura 20). El impacto ambiental de esta práctica es la evaporación del mercurio de las colas, hacia la atmósfera.

Figura 20: colas con mercurio expuestas a cielo abierto para secado (CHR02).

6.4 Microbiología del agua (CTE y CTE)

En la Tabla 29, se resume los resultados obtenidos de microbiología del agua, a partir de las muestras tomadas en época seca (abril) del 2022, en los mismos sitios muestreados para la caracterización hidroquímica en época seca. Los valores máximos admisibles se describen en Tabla 5.

Tabla 29: resultados de coliformes totales (CTO) y termotolerantes (CTE) en agua subterránea y superficial. Donde n=15.

Código	Ubicación	Fuente	Resultado (UFC/100ml)		Conclusión según norma técnica para la calidad de agua potable en Honduras
			CTO	CTE	
SJAM1	San Juan Arriba	Subterránea	8.0×10^{2}	6.0×10^{2}	No apto para consumo humano
SL1	El Corpus		7.0×10^{3}	1.4×10^{2}	
SL2			6.0×10^{3}	8.0×10^{2}	
RCPP	Río Calderas		6.5×10^{3}	1.9×10^{3}	
CPT	Los Chagüites		1.0×10^{5}	1.4×10^{3}	
CHRPM			6.0×10^{3}	1.5×10^{3}	
CHRPJ			1.0×10^{5}	1.0×10^{4}	
CHR03			2.5×10^{1}	1.9×10^{1}	
CHPPW			$3.8\text{x}10^{3}$	$1.0\text{x}10^{1}$	
SJA4C	San Juan Arriba	Superficial	1.7×10^{5}	8.0×10^{4}	
SJAAM			3.6×10^{5}	1.4×10^{5}	
RS-04	Río Calderas		3.0×10^{4}	1.0×10^{4}	
RS-05			7.0×10^{4}	1.6×10^{4}	
CHR02	Los Chagüites		1.0×10^{3}	1.0×10^{3}	
RS06	San Juan Abajo		1.0×10^{4}	6.0×10^{3}	

Los resultados obtenidos corresponden a los siguientes factores:

- En los sitios con código SJAM1, SJAAM, SJA4C y RS-06, los valores determinados en laboratorio se deben al pastoreo de animales en ecosistemas abiertos, ya que este no se da puntualmente en áreas controladas o restringidas a los animales, sino que, en diversos lugares según la disponibilidad de la materia vegetal, y también en sitios cercanos a fuentes superficiales, con el fin de que los animales puedan pastar, e ingerir agua. La escorrentía

superficial favorece el arrastre de las heces de animales al agua, pese a que las muestras fueron tomadas durante época seca.

- Los sitios SL1 y SL2 se encuentran en una hacienda ganadera ubicada en la aldea de El Corpus, siendo la ganadería y agricultura, las principales actividades económicas desarrolladas en este lugar. Estos 2 sitios corresponden a manantiales ubicados en pendientes bajas del terreno, que se encuentran influenciados por el arrastre de heces fecales de animales, de las zonas altas, producto de escorrentía superficial y regado de árboles frutales como aguacate, mango, marañón y coco.

- El sitio RCPP, corresponde a un pozo malacate ubicado al margen del Río Calderas, este pozo se clausuró, debido a la descarga de una letrina que se encuentra situadas aguas arriba. Por este motivo, es probable que exista infiltración de heces fecales en el acuífero, debido a un sistema de saneamiento mal diseñado y construido.

- Los sitios CHRPM, CHRPJ y CPT corresponden a pozos malacates, que no tienen influencia de ganado o sistemas sanitarios. Los resultados determinados se pueden deber a la infiltración de materia fecal en el acuífero, proveniente de aguas arriba, transportadas por escorrentía subterránea. El mismo factor puede ser la respuesta en el sitio CHR03, que corresponde a un tanque de almacenamiento de agua, abastecido por un pozo perforado.

- El sitio CHR02 fue la única laguna de descarga seleccionada para este muestreo, y los valores obtenidos pueden deberse al planteamiento anterior.

- Los sitios RS-04 y RS-05, se encuentran en el Río Calderas, el cual geográficamente es la divisoria entre la alea de El Naranjal y los Chagüites; por este motivo, es uno de los sitios utilizados por los ganaderos de ambas comunidades para ingesta de agua de animales y pastoreo.

- El sitio CHPPW corresponde a un pozo que se perforó recientemente antes del muestreo. Este no tenía bomba instalada, ni se encontraba en uso. Tampoco tenía influencia por ganadería ni agricultura, debido a esto, los valores detectados pueden provenir por lixiviación de heces fecales de animales que se infiltren en el acuífero aguas arriba del sitio de muestreo o sistemas de saneamiento mal diseñados, en los cuales se infiltre el contaminante aguas arriba; y que ambos contribuyan como fuentes puntuales, mediante procesos de escorrentía subterránea, hacia el acuífero. Se descarta que los aportes de CTO y CTE se deban a eventos relacionados a precipitación, debido a la temporalidad (época seca) y, además, la perforación del pozo se encontraba sellada antes del muestreo.

6.5 Resultados en matriz ambiental de sedimento

Los resultados de laboratorio referente a la matriz de sedimento pueden consultarse en 12.8y 12.9.

A. Resultados de medición de parámetros fisicoquímicos, previo a la toma de muestras en ríos y lagunas de descarga que contenían sedimentos muestreados.

En la Tabla 30 se presenta de forma resumida, los resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos en ríos y lagunas de descarga, que contenían los sedimentos muestreados.

Tabla 30: resultados de parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua que contenían sedimentos muestreados, para época seca y lluviosa.

Sitio	Origen del sedimento	Parámetros fisicoquímicos en época seca			Parámetros fisicoquímicos en época lluviosa		
		pH	C.E (µS/cm)	T (C°)	pH	C.E (µS/cm)	T (C°)
SM-062	Río	8.3	197.00	24.78	7.84	1122	25.2
SM-063		7.9	199.00	28.8	7.87	1413	26.3
SM-064		8.3	200.00	26.3	7.85	1165	26.4
RS-06		8.6	239.00	24.81	7.98	1426	25.4
RS-01		8.3	245.00	27.58	7.98	1426	25.4
RS-02		7.4	245	27.89	Sin toma de muestra		
SM-067		8.1	255.00	25.47			
RS-05		7.9	299	25.2	8	1454	27
RS-04		7.9	259.00	23.87	8.14	1453	28.6
CHR031	Laguna de descarga	Sin toma de muestra			7.88	515	34
CHR03		Sin medición			8.3	516	32.5
CHR01		8.7	396.00	27.22	8.11	1616	29.8
CHR02		Sin medición			8.65	1590	30.9

A continuación, se presentan los resultados, contenidos en gráficos de los parámetros fisicoquímicos medidos en campo, durante época seca (enero) 2022 y época lluviosa (octubre) del año 2022.

- Temperatura: se registró una temperatura con un máximo de 28.8°C, mínimo de 23.87°C y un promedio de 26.19°C para época seca. Respecto a la época lluviosa, con un máximo de 34°C, mínimo de 25.2°C y un promedio de 28.46°C (*Figura 21*)

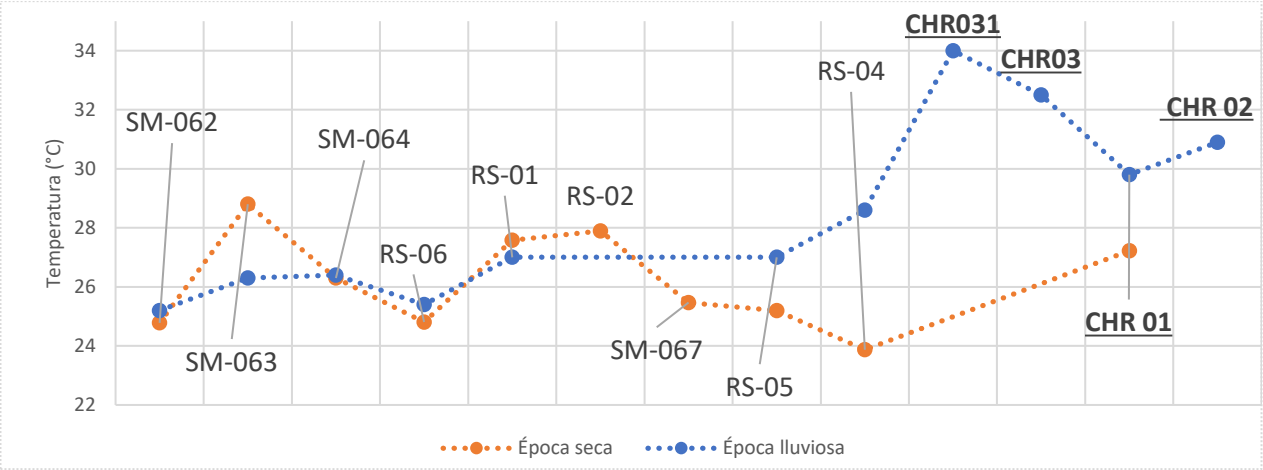


Figura 21: temperaturas medidas *en cuerpos de agua que contenían sedimentos, previo a la toma de muestra en época seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de lagunas de descarga. En letra normal las muestras de río.*

- pH: se registró un pH con un máximo de 8.7, mínimo de 7.4 y un promedio de 8.14 para época seca. Respecto a la época lluviosa, con un máximo de 8.65, mínimo de 7.84 y un promedio de 8.06 (*Figura 22*).

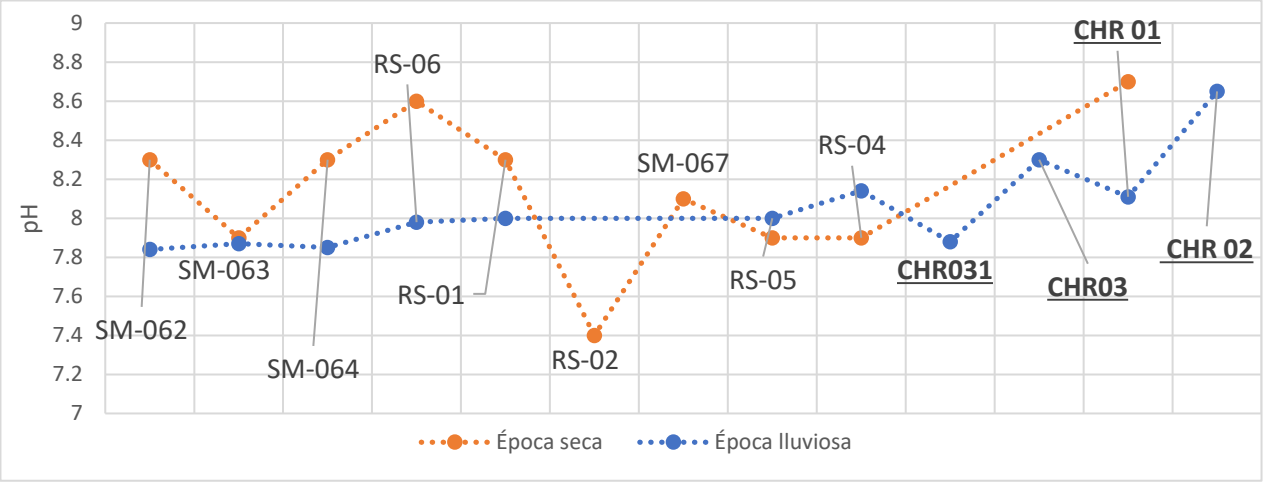


Figura 22: pH medidos en cuerpos de agua que contenían sedimentos, previo a la toma de muestra en época seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de lagunas de descarga. En letra normal las muestras de río.

- Conductividad eléctrica: se registró una conductividad eléctrica con un máximo de 396 µS/cm, mínimo de 197 µS/cm y un promedio de 253 µS/cm para época seca. Respecto a la época lluviosa, con un máximo de 1616 µS/cm, mínimo de 515 µS/cm y un promedio de 1247.64 µS/cm (*Figura 23*).

  Se evidencia un comportamiento atípico en época lluviosa, ya que, debido al incremento de precipitaciones a comparación de época seca, debería de existir una dilución de los iones, en consecuencia, una disminución de la conductividad eléctrica, comportamiento que no se evidenció. También un factor a considerar es la falta de análisis de otros iones que puedan tener influencia en la dinámica de la hidroquímica debido a la geología como el aluminio, o compuestos utilizados para el beneficiado del oro por procesos artesanales o industriales como el cianuro de sodio.

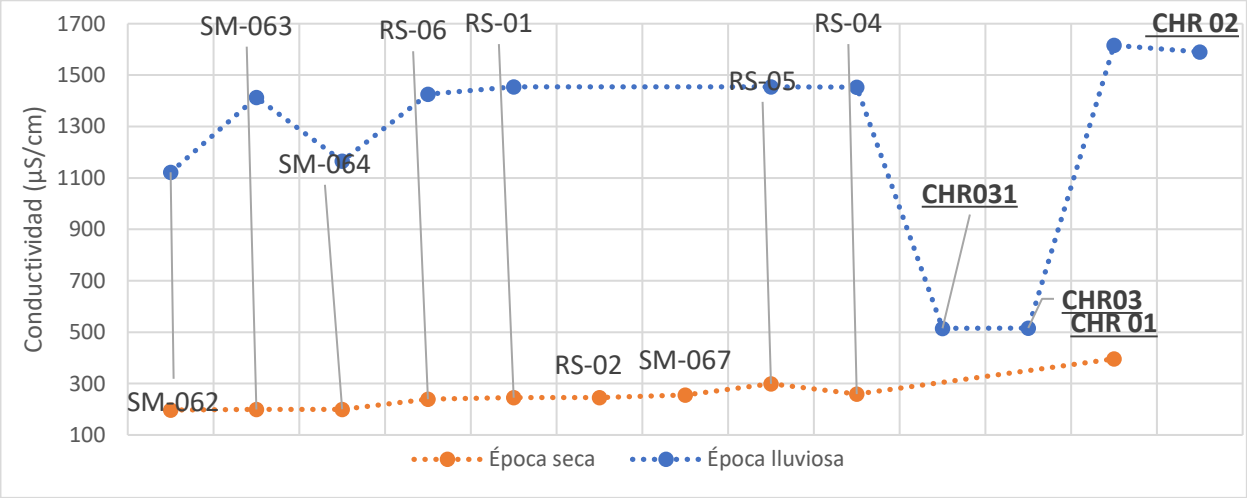


Figura 23: conductividades eléctricas medidas en cuerpos de agua que contenían sedimentos, previo a la toma de muestra en época seca y lluviosa del 2022 en épocas seca y lluviosa del 2022. Los códigos que se presentan en negritas hacen referencia a las muestras de origen de lagunas de descarga. En letra normal las muestras de río.

B. 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 µg/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 31.

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 31: *categorización en función del valor máximo admisible de Hg-total en sedimentos.*

Contaminación	Mayor al valor de referencia (170 µg/kg)
Presencia media	Entre 113.33 µg/kg y 170 µg/kg
Presencia baja	Menor a 113.33 µg/kg

En la Tabla 32 se resume los resultados obtenidos de Hg-total en época seca (enero) y lluviosa (octubre) del año 2022, indicando la categorización de cada sitio. Especificando un promedio entre las concentraciones de época seca y lluviosa.

Tabla 32: concentraciones de mercurio total en sedimentos.

Sitio	Origen del sedimento	concentración (µg/kg) época seca	Categorización	Concentración (µg/kg) época lluviosa	Categorización	Promedio de concentraciones
SM-062	Río	9,950		270		5110
SM-063		9,650		180		4915
SM-064		6,610		190		3400
RS-06		421		110		265.5
RS-01		60.2		100		80.1
RS-02		52.1		Sin toma de muestra		
SM-067		114				
RS-05		224		170		197
RS-04		197		150		347
CHR031	Laguna de descarga	Sin toma de muestra		6,300		
CHR03		18,500		4,400		11,450
CHR01		15,700		7,100		11400
CHR02		30,400		11,000		20,700

I. Lagunas de descarga de rastras

En los sitios CHR02 (Figura 25) y CHR01 (Figura 24) ubicados en la misma propiedad y correspondientes a lagunas de descarga de rastra, se detectaron concentraciones de 30,400 µg/kg y 15,700 µg/kg respectivamente para época seca, categorizándose como contaminación. En época lluviosa se detectó una disminución en las concentraciones de estos sitios con 11,000 µg/kg y 7,100 µg/kg respectivamente, categorizándose como contaminación.

Estas lagunas están ubicadas dentro de una propiedad en Los Chagüites, donde operan tres rastras, las cuales descargan en tres lagunas en dirección aguas abajo del terreno. Ya que esta propiedad no tiene una conexión directa con cuerpos de agua superficial, el volumen de agua excedente de la laguna, proveniente del proceso de beneficiado de la rastra, es descargado en un pozo malacate (CHRPM), y reciclado nuevamente para el funcionamiento de las rastras.

Las lagunas son drenadas una vez que estas alcanzan la máxima capacidad volumétrica. Usualmente drenan primero el agua a otras lagunas que se encuentren vacías o a fuentes de agua superficiales o subterráneas próximas. Posteriormente, proceden a traspasar manualmente las

colas a sacos y comercializarlas en el mercado ilegal, donde cianuran las colas, para beneficiar el remanente de oro que no se pudo recuperar en el proceso de amalgamación con rastras. Es por ello, por lo cual son consideradas como colas dinámicas.

Figura 24: laguna de descarga en Los Chagüites (CHR01).

Figura 25: laguna de descarga en Los Chagüites (CHR02).

Por último, los sitios CHR03 y CHR031 (Figura 26) son lagunas de descarga que fueron seleccionados debido a que existe un pozo perforado aguas abajo de estas. La propiedad cuenta con dos rastras, de las cuales solo una se encontraba operativa durante los muestreos y cuentan con la laguna de descarga con la mayor capacidad volumétrica de toda la aldea. En el sitio CHR03 se detectó una concentración de 18,500 µg/kg en época seca y presentó un descenso a 4400 µg/kg en época lluviosa en ambas temporalidades se categoriza como contaminación por presencia de Hg-total.

Cabe mencionar que la toma de la muestra en época seca para CHR03 fue a una profundidad ~ 2.5 metros, ya que, durante el día del muestreo estaban drenando la laguna para comercializar/beneficiar las colas en el mercado local con cianuro de sodio.

26a) Laguna de descarga en Los Chaguites (CHR03). 26b) Laguna de descarga en Los Chaguites (CHR031).

Figura 26: lagunas de descarga CHR03 y CHR031.

II. Ríos

Los sitios SM062, SM063 y SM064 corresponden a una presa de sedimentación por donde transita el Río San Juan, afluente del Río Sampile (Figura 27), se puede observar que las concentraciones en Hg-total tienen orden de magnitud simulares en época seca (9950, 6650 y 6610 μg/kg respectivamente), y existe una disminución drástica de las concentraciones en época lluviosa (270, 180 y 190 μg/kg). Esta disminución puede deberse al descenso de la operación de las rastras en el periodo de época lluviosa, este factor depende del proceso extractivo en la mina Cuculmeca, el cual es menor durante época lluviosa y por ende puede llegar a cesar la operación de las rastras.

La presa para retención de sedimentos de Juan Arriba (Figura 27) se construyó con el objetivo de retener sedimentos provenientes de aguas arriba, que contengan mercurio amalgamado con oro, para su posterior beneficiado. Sin embargo, esta es una zona que tiene influencia directa de las descargas de rastras, y hasta la fecha dicha presa no ha tenido remoción de los sedimentos ni remediación de mercurio. Además, se encuentra azolvada y hay acumulación de mercurio que drena a la microcuenca, es por ello, por lo cual los pobladores de aldeas aledañas llevan a cabo la recuperación de oro con batea.

Figura 27: presa para retención de sedimentos en San Juan Arriba (SM-062).

En esta zona descargan las rastras ubicadas paralelamente a la Escuela de San Juan Arriba. Estas cuentan con lagunas para retención de sedimentos o descarga, pero la capacidad de almacenamiento no es suficiente para el volumen producido por las rastras. En estos sitios, al sobrepasarse la capacidad máxima de almacenamiento, las lagunas descargan al río directamente.

En el sitio RS-06 (Figura 28) se detectó una concentración de 421 μg/kg en época seca, categorizándose como contaminación por Hg-total. Esto representa un riesgo para los pobladores que practican recuperación de oro con batea. Para época lluviosa se detectaron 110 μg/kg, categorizándose como presencia baja de Hg-total.

Figura 28: recuperación de oro por pobladores de El Corpus, en San Juan Abajo (RS-06).

Figura 29: Batea utilizada para recuperación de oro amalgamado en ríos.

Los sitios RS-01, RS-02, SM-067, RS-05 y RS-04 están ubicados en el Río Calderas, el cual es la divisoria entre las aldeas de Los Chagüites y El Naranjal. A continuación, se detallan las concentraciones detectadas:

- En el sitio RS-01 se detectó una concentración de 60.2 µg/kg para época seca y aumentó a 110 µg/kg para época lluviosa, categorizándose como una presencia baja para las dos épocas.

- En el sitio RS-02 se detectó una concentración de 52.1 µg/kg para época seca, categorizándose como presencia baja. En época lluviosa no se realizó toma de sedimentos, debido al aumento del caudal del río.

- En el sitio SM-067 se detectó una concentración de 114 µg/kg para época seca, categorizándose como presencia media, sin toma de muestra para época lluviosa, debido al aumento del caudal del río.

- En el sitio RS-05 se detectó una concentración de 224 µg/kg para época seca y disminuyó a 170 µg/kg para época lluviosa, categorizándose como contaminación y presencia media, respectivamente para cada época.

- Por último, en el sitio RS-04 se detectó una concentración de 197 µg/kg para época seca y disminuyó a 150 µg/kg para época lluviosa, categorizándose como contaminación y presencia media respectivamente. En este sitio se evidencia uno de los efectos de las malas prácticas en el proceso de beneficiado de oro en la MAPE (Figura 32), ya que existe una descarga de una rastra que se ubica paralelamente al sitio de toma de la muestra, en la entrada a la aldea de Los Chagüites, y descarga próxima a donde la muestra fue tomada.

  Esta rastra descarga a través de un drenaje subterráneo (Figura 32), al Río Calderas, ya que no cuenta con una laguna de descarga en su propiedad. Se observa en la descarga un tono color negro, el cual se debe a la quema de la broza desde su origen, por los operarios de la rastra. Esta práctica es implementada por los mineros, cuando la broza extraída de la mina u otros sitios contiene oro asociado a sulfuros.

Figura 30: descarga de rastra al aire libre en vivienda de Los Chagüites.

Figura 31: flujo de la descarga hacia el Río Calderas, a través de desagüe subterráneo hacia el Río Calderas.

Figura 32: descarga de rastra por desagüe subterráneo (indicado en recuadro rojo).

7. Capítulo VII: Discusión de resultados

7.1 Censos

A. Censo de fuentes de agua subterráneas

Los pozos perforados no tienen tubería de inspección, por ello sólo fue posible medir nivel freático en pozos malacate. Ni tampoco se cuenta con pozos de inspección en ninguna de las aldeas utilizadas como muestra para este estudio.

Los usos de las fuentes varían dependiendo de las actividades económicas que se lleven a cabo en las propiedades donde se muestreó, por ejemplo, en la aldea de Los Chagüites la totalidad de fuentes censadas son utilizadas para operación de rastras, mientras que en El Corpus los manantiales se utilizan para agricultura y ganadería, y en San Juan Arriba la fuente censada se utiliza para uso humano y operación de rastra. Es preciso mencionar que ninguna de las fuentes censadas es utilizada para consumo humano, según narrativa de los propietarios de terreno o trabajadores.

Los manantiales (SL1 y SL2), cuentan con obras para captación de agua, sin embargo, por su diseño y efectos de escorrentía superficial; se genera contaminación por heces fecales del ganado de la hacienda. De la misma forma, debido al uso de agroquímicos en pendientes altas del terreno, se puede generar contaminación por estos.

Es necesario que la Alcaldía Municipal de El Corpus cuente con un censo de fuentes de agua subterránea georreferenciadas, disponibles en un geoportal, que pueda ser utilizado para futuros estudios.

B. Censo de rastras y lagunas de descarga

Al no ser proporcional la cantidad de lagunas censadas (28) con la de rastras (45), esto indica que hay sitios donde operan rastras que no cuentan con una laguna de descarga, por ello se generan vertidos no controlados a cuerpos de agua superficial y suelos.

Las lagunas de descarga son de construcción artesanal y sin diseños ingenieriles, donde usualmente estas consisten en excavaciones manuales o con medios mecánicos, que conforme aumenta la capacidad productiva de las rastras; los propietarios de rastras incrementan el volumen de las lagunas.

Son escasos los sitios donde las colas representen un pasivo ambiental, puesto que conforme se llena la laguna de colas, esta es vaciada por medios manuales, vertida en sacos para su posterior comercialización, y dependiendo de la ubicación del terreno y su conexión con cuerpos de agua superficial o subterránea, el agua que se produce durante la operación de la rastra es vertida en dichos cuerpos o en el suelo.

La operatividad de las rastras tiene fluctuaciones supeditadas a la estacionalidad, siendo mayor en época seca, a comparación de época lluviosa, debido a que la capacidad extractiva de la mina Cuculmeca disminuye debido a la inundación de los túneles en la mina, ya que esta es una mina subterránea.

Existen otros factores que causan fluctuaciones en la capacidad extractiva, como el acceso a la compra de pólvora y uso de maquinaria en la mina, debido a que los mineros no cuentan con permisos para poder utilizar pólvora, estos se utilizan bajo un esquema de trabajo informal, y en consecuencia les imposibilita el uso de forma continua, debido a los costos y disponibilidad en el mercado ilegal de pólvora. Por lo tanto, es imperativo la formalización de los mineros de El Corpus, ya que a través de un esquema de trabajo formal podrán acceder a proyectos de Cooperación y créditos bancarios, que sirvan como insumos para mejorar la seguridad ocupacional en los distintos procesos para el minado y beneficiado del oro, eliminando el uso del mercurio de forma paulatina, conforme se empleen técnicas para beneficiado que reduzcan o eliminen el uso de este contaminante.

7.2 Matriz ambiental: agua

A. Hidroquímica

En época seca se presenta una dominancia en las concentraciones de Bicarbonato $(\mathrm{HCO_3^-})$ y Calcio $(\mathrm{Ca^{2+}})$, esto genera que los tipos de agua que se identificaron en la zona sean Cálcica-Bicarbonatada. A excepción del sitio SJAM1, el cual corresponde a el tipo de agua Cálcica-Magnésica-Bicarbonatada (Ca-Mg-HCO_3)

Sin embargo, en época lluviosa se presentan cuatro tipos de agua: Sódica-Bicarbonatada (Na-HCO_3), Cálcica-Nitratada (Ca-NO_3), Cálcica-Bicarbonatada (Ca-HCO_3) y Sódica-Bicarbonatada (Na-HCO_3).

El diagrama de Stiff es útil para identificar procesos asociados a contaminación por agricultura y ganadería en sitios como RS-05 de época seca y RS-04 en época seca y lluviosa, ya que usualmente se utilizan estos en el Río Calderas para pastoreo e ingesta de agua de animales. En consecuencia, el agua entra en contacto con heces fecales de animales. Si se considera que los pobladores de aldeas aledañas al río como El Naranjal y Los Chagüites utilizan el agua de estas fuentes para actividades del hogar, se debería de tener un manejo adecuado de las actividades ganaderas de la zona.

En época lluviosa también se evidencian procesos de contaminación asociados a agricultura y ganadería en el sitio SL2, este corresponde a un manantial contenido en una estructura de captación de agua. Debido a la ubicación de esta estructura (aguas abajo del terreno) es susceptible a procesos de lixiviación de heces fecales de animales y agroquímicos utilizados en la parte alta del mismo, y en consecuencia contaminación del manantial por efecto de arrastre por escorrentía superficial.

El valor máximo admisible para Nitratos $(\mathrm{NO_3^-})$, según (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995), es de 50 mg/L (0.81 meq/L). La concentración detectada en SL2 es de 7.38 meq/L, superando ~9 veces el valor máximo admisible, específicamente esta puede provenir de la lixiviación de fertilizantes y de la conversión de nitrógeno-orgánico a amonio $(\mathrm{NH_4^+})$ y posteriormente en nitrato $(\mathrm{NO_3^-})$, por bacterias nitrificantes.

La alta presencia de nitrato en el ganado puede causar múltiples problemas como reducción de la fertilidad, aumento de la mortalidad, bajo peso al nacimiento e incluso muerte. En seres humanos

los nitratos pueden ser ingeridos a través de agua para consumo, y entre sus efectos asociados se puede encontrar: cáncer, deformidad en bebés, agrandamiento de la tiroides e inflamación de los nódulos linfáticos. Es por ello, que es vital realizar un tratamiento del agua que será utilizada para consumo, para esto se puede aplicar un tratamiento con un reactor electroquímico, el cual, a comparación de ósmosis inversa e intercambio iónico, tiene costos menores, requiere una menor área para el tratamiento, produce menos lodos y requiere menos materiales químicos (Abaspoor Z, et al., 2014). Siendo una alternativa viable para la zona.

B. Metales traza

El Hg se analiza en la sección C de discusión de resultados.

En los resultados analíticos se debe resaltar que el contraste de las concentraciones detectadas en laboratorio versus los valores máximos admisibles representa una pauta inicial acerca de cuáles sitios se encuentran contaminados (en el caso que se superen los máximos admisibles), pero es importante realizar un monitoreo de los sitios que tienen valores cercanos al máximo admisible, ya que por ejemplo concentraciones para Mn en época lluviosa en sitios como RCPP (0.49 mg/L), CPT (0.47 mg/L), CHR03 (0.5 mg/L) y RS-05 (0.48 mg/L) no exceden el máximo admisible (0.5 mg/L) según (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995) pero si se encuentran cercanos a este, y si se considera la incertidumbre en los análisis de laboratorio, es posible que las concentraciones detectadas presenten realmente valores con rangos mayores o menores en centésimas, respecto al resultado reportado, y en consecuencia podrían categorizarse como sitios contaminados.

I. Hierro

El hierro presenta valores que exceden el máximo admisible (0.3 mg/L) según (Ministerio de Salud, 1995) en los 11 sitios donde se detectó presencia de Fe para época seca, versus 2 sitios para época lluviosa.

Debido a la geología de la zona de estudio, existe presencia de andesitas, las cuales contienen minerales como magnetita (Fe_3O_4) y hematita (Fe_2O_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.

II. Manganeso:

El manganeso presenta valores que exceden el máximo admisible (0.5 mg/L) según (Ministerio de Salud, 1995) en cuatro sitios en época lluviosa. En época seca no se detectaron valores que superen el máximo admisible.

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).

Si el agua presenta altos niveles de hierro y manganeso en forma disuelta y sólida, y el tratamiento por filtros de oxidación no reduce la presencia de bacterias; un tratamiento multietapa es necesario. En ese sentido la cloración de choque sirve para reducir la cantidad de bacterias de estos elementos, y es necesario repetirla cada cierto tiempo hasta que disminuya la cantidad de bacterias (Dvorak & Schuerman, 2021).

C. mercurio-total en agua

En el sitio que presentó la mayor concentración con 2.6 µg/L y categorizándose como contaminación, corresponde al sitio RS-06 ubicado en San Juan Abajo, mismo sitio que donde se analizó una muestra de sedimento con concentraciones de 421 µg/kg para época seca y 110 µg/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.

En el Informe Técnico de Monitoreo Ambiental UAS-IT-94-22 de la Mina Clavo Rico (Instituto Hondureño de Geología y Minas, 2022), situada en El Corpus, se analizaron 2 sitios en el mes de junio del 2022, localizados aguas abajo del sitio RS-06 analizado en esta investigación. El sitio con código CR10 (Mina Clavo Rico) ubicado a 233.24 metros del sitio RS-06, reportó una concentración de Hg-total de 0.05 µg/L y el sitio con código CR9 (Mina Clavo Rico) ubicado a 264.96 metros de RS-06, reportó una concentración de Hg-total de 0.083µg/L. Tomando en cuenta el valor máximo admisible para Hg-total de este estudio (1µg/L), estos sitios representan una presencia baja de Hg-total. Pero además permite evidenciar que entre más lejana se encuentra la emisión puntual de mercurio (rastras en San Juan Arriba), menores serán las concentraciones detectadas.

En la investigación de (Urioste, 2014), se analizó el sitio SJ2, el cual está ubicado a una distancia de 32.24 metros aguas arriba de SJAM1 (analizado en esta investigación). Para el sitio SJ2 (Urioste, 2014) se detectó una concentración de Hg-total de 9.1035 µg/L. Si se compara con el valor de referencia, la concentración detectada en 2014 sobrepasa por ~8 veces el valor máximo admisible. El sitio SJAM1 correspondiente a agua subterránea, muestreado en esta investigación, y presentó una concentración para Hg-total de $9 \times 10^{-3} \mu g/L$. Tomando en consideración que el año 2014 tuvo una mayor extracción de material en la Mina Cuculmeca a comparación del 2022,

y por consiguiente generó una mayor operación en la etapa del beneficiado, es por ello por lo que se espera que la concentración para este sitio haya sido mayor hace 9 años.

Otro factor que atribuye la disminución de concentraciones de Hg-total en agua en el 2022, es porque no existía venta de colas al mercado ilegal o legal, para el beneficiado con cianuro de sodio. Según narrativas de propietarios de rastras de El Corpus, la comercialización de colas empezó en el año 2019 y ha continuado de forma ininterrumpida hasta la actualidad. Antes del 2019, las colas usualmente tenían como sitio de disposición final los ríos y suelo circundante a propiedades donde se beneficiaba.

La etapa de beneficiado de colas con mercurio en patios de lixiviación representa contribuciones al ciclo global del mercurio, como se muestra en la *Figura 20*, ya que antes de realizar el proceso de lixiviación, las colas son expuestas a luz solar, con el fin de evaporar el mercurio contenido en ellas. Es preciso mencionar que antes del proceso de beneficiado con cianuro de sodio, no existe una remoción del mercurio contenido en las colas, y luego del proceso de beneficiado con cianuro; las colas cianuradas son descargadas en cuerpos de agua superficial próximos a una planta de operación ilegal.

Al existir un mercado local ilegal, que compre las colas contaminadas con mercurio, fomenta que las malas prácticas ambientales de la MAPE continúen y se generen contribuciones al ciclo global del mercurio. Por esto es necesaria la fiscalización del Estado de Honduras, hacia las actividades de beneficiado con cianuro de sodio, que operan ilegalmente en la zona, y además la promoción de acciones que orienten al proceso de formalización de la MAPE de Oro en El Corpus.

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 µg/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 3.9×10^{-3} a $8.5 \times 10^{-2} \mu g/L$.

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 ℃ 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 °C, la solubilidad en µg/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.

Si se relacionan los demás resultados obtenidos para agua superficial y agua subterránea, que representan una presencia baja de Hg-total, con el planteamiento de (Sanemasa, 1975) y con la baja solubilidad del mercurio-elemental ya que esta oscila entre $5.6 \times 10^{-5}\ y\ 6.1 \times 10^{-5}$ g/L a 25 °C (Armstrong, 1990, citado por O'Connor et al., 2019), es esperable que no se detecten altas concentraciones de Hg-total en agua.

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 1200-8470 ng/L (1.2-8.47 µg/L). Al compararlo con el valor obtenido para la laguna de descarga CHR02 con una concentración de 1.3 µg/L, presenta un valor aproximado al más bajo reportado para el Valle del Nilo.

Por último, se debe de prestar atención a otro impacto ambiental potencial en la zona como el Drenaje Ácido de Minas (DAM), debido a que en algunas aldeas como Los Chagüites (Figura 30), se procesan sulfuros que están asociados al oro, y posterior a que se ha llevado a cabo el proceso de recuperación de oro amalgamado, se descarga el agua del proceso al Río Calderas o a un pozo malacate para el caso específico mencionado en este estudio. Debido a esto se debe realizar el monitoreo del pH en dichos sitios, para verificar que no se esté generando DAM.

D. Microbiología (CTO y CTE)

Factores como el mal diseño y construcción de obras sanitarias como letrinas, pozos excavados diseñados y construidos deficientemente, pastoreo de animales en ecosistemas abiertos y uso de pastizales naturales, e ingesta de agua para animales en ríos; produce la contaminación por coliformes totales (CTO) y termotolerantes (CTE) en aguas superficiales y aguas subterráneas.

Tomando en cuenta los valores máximos admisibles de (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995), tanto las fuentes de agua subterránea, como las superficiales no son aptas para consumo humano, sin un proceso de saneamiento. De los 15 sitios en estudio de época seca, solo CHR02 es una laguna de descarga de rastra, pero es relevante conocer los valores de UFC para CTO y CTE, debido a que el volumen de agua excedente de la capacidad volumétrica de esta laguna descarga en el pozo malacate de la propiedad (CHRPM).

Debido a los efectos en la salud gastrointestinal como la diarrea, por la presencia de CTO y CTE, es imperativo poder mejorar la calidad microbiológica del agua para uso de los pobladores y consumo animal, para ello se puede utilizar una solución diluida de un compuesto de cloro, esta puede ser cloruro de sodio o hipoclorito de calcio. Ambos compuestos tienen las ventajas que son económicos, fáciles de distribuir y utilizar, además de ser efectivos contra la mayoría de las bacterias y patógenos virales. Usualmente la muestra tratada debe ser almacenada en contenedores seguros para evitar la contaminación posterior (Colford & Arnold, 2007).

7.3 Matriz ambiental: sedimento

A. 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 µg/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 µg/kg,

estos siguen categorizándose como sitios contaminados por Hg-total y son producto de la amalgamación de mineral en bruto.

Al contrastrar 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 µg/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 µg/kg, siguiendo aguas abajo con RS-05 con 224 µg/kg y RS-02 que se encuentra fuera de la cuenca con 52.1 µg/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.

El uso de mercurio para el proceso de beneficiado en broza o mineral en bruto y no en concentrados de oro, va en contra de lo estipulado en el anexo C de (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019), el cual busca medidas para eliminar la amalgamación del mineral en bruto, quema expuesta de la amalgama y lixiviación de cianuro en colas procesadas con mercurio, sin una previa eliminación del mercurio.

Según él (Programa de Gobernanza Hídrica Territorial en la Región 13 Golfo de Fonseca, 2017) la recuperación de oro en rastra no sobrepasa el 40% del contenido total de este en la broza. Además, (Fernández Villalobos, 2019) menciona que entre el 40-50% del mercurio se amalgama al oro presente en la broza. Esto quiere decir que entre un 50-60% del mercurio, no se amalgamará en el proceso de molienda, y producto de los vertidos no controlados, se encuentra en sedimentos de ríos. Por otro lado, la presencia de mercurio amalgamado con oro en ríos demuestra la baja eficiencia del proceso de recuperación de la amalgama.

Al no tener un valor de fondo para Honduras, con el fin de comparar los resultados de este estudio, es útil realizar una comparación con otros sitios donde se llevan a cabos actividades de beneficio

de la MAPE de oro con mercurio, pero se debe de considerar que las actividades de beneficio están supeditadas a factores intrínsecos de cada región minera de un país, como la estacionalidad climática, permisos mineros y ambientales obtenidos, tipo de minería (subterránea, cielo abierto, aluvial), disponibilidad de maquinaria y la incidencia de los elementos mencionados anteriormente en la cantidad de material extraído. Por ello las emisiones de mercurio a atmósfera, suelo, sedimentos de ríos, cuerpos de agua superficial y subterráneas; no serán las mismas para cada región.

En ese sentido, la investigación de (Cláudia Carvalhinho, et al., 2007) presenta resultados de Hg-total en sedimentos de cinco ríos en la parte oriental del Cuadrángulo de Hierro, en el estado de Minas Gerais-Brasil, donde presentaron concentraciones que oscilan entre 0.2 a 5.5 µg/g (200-5500 µg/kg) para estación seca y entre 0.02 a 4.2 µg/g (20-4200µg/kg) para estación lluviosa. Las concentraciones determinadas en esta investigación en sedimentos de ríos (SM-062, SM-063, SM-064, RS-06, RS-01,RS-02, SM-067, RS-05 y RS-04) oscilan para época seca entre 52.1 a 9950 µg/kg teniendo un mayor valor máximo, respecto al reportado para el Cuadrángulo de Hierro, y para época lluviosa entre 100-270 µg/kg teniendo un mayor valor mínimo, respecto al reportado para el Cuadrángulo de Hierro en esta temporalidad.

Es imperativo que se establezcan valores máximos admisibles para metales traza, como Hg-total para sedimentos, ya que Honduras carece de Guías para la calidad de estos. En concordancia a ello, se debe realizar un monitoreo ambiental de parámetros fisicoquímicos como el pH, en zonas donde se ha determinado la presencia de mercurio y otros metales traza, como El Corpus. Esto radica en el efecto que tiene el pH en la especiación de metales traza y la migración y transformación de estos. Por ejemplo (Sintorini, M et al., 2021) menciona que, a menor pH, los metales traza pueden ser liberados y de este modo la movilidad se incrementa.

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.

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.

8. Capítulo VIII: 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 (1µg/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 °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.

- La hidroquímica de la zona de estudio en la época seca presenta una dominancia por el tipo de agua Cálcica-Bicarbonatada ($Ca\text{-}HCO_3$) en un 90% de las muestras, a excepción de un sitio que corresponde a Cálcica-Magnésica-Bicarbonatada ($Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$). Respecto a época lluviosa, se categorizaron 3 tipos de agua: Sódica-Bicarbonatada ($Na\text{-}HCO_3$), Cálcica-Nitratada ($Ca\text{-}NO_3$), y Cálcica-Bicarbonatada ($Ca\text{-}HCO_3$). En la microbiología del agua para CTO y CTE en el 100% de los sitios muestreados presenta valores que superan el máximo admisible, y se atribuye al pastoreo e ingesta de agua de animales en ecosistemas abiertos, sistemas sanitarios mal diseñados y construidos deficientemente y, en consecuencia; arrastre y lixiviación de heces fecales, por escorrentía superficial y subterránea. Esto evidencia la necesidad de optimizar el sector ganadero, así como los sistemas de saneamiento de la zona.

- 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 y NO_3^- y valores de CTO y CTE 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, agrícola y ganadero, con el fin que el recurso hídrico esté presente en niveles seguros para la calidad ecosistémica, vida humana y animal.

9. Capítulo XIV: Recomendaciones

9.1 Formalización y fiscalización de la actividad minera

- Es imperativa la formalización de la actividad minera en el municipio de El Corpus, debido a que esta actividad representa el ingreso económico de la mayor parte de habitantes implicados en la cadena de valor del oro, y es un medio para contribuir con la seguridad alimentaria de ellos y sus familias. La formalización puede permitir acceder a proyectos de cooperación y créditos bancarios que contribuyan a la migración de técnicas de beneficiado libres de mercurio. Mientras no exista la migración, se debe de fomentar por parte de la autoridad minera a nivel central de Honduras (INHGEOMIN) y la Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales (SERNA), una migración paulatina a las mejores prácticas ambientales disponibles (MPA), que eviten la amalgamación del mineral en bruto y la quema expuesta de amalgama sin uso de retortas y en zonas residenciales.

- Antes que ocurra la migración de tecnologías, y el cambio en proceso de beneficiado con mercurio en broza a concentrados de oro, es imperativo que los mineros sean capacitados técnicamente en la construcción de lagunas de descarga con diseños ingenieriles, que permitan almacenar el volumen producido por las rastras, con el fin de evitar vertidos no controladas en ríos. Estas lagunas, deberán de contar con geomembranas textiles, para evitar la filtración hacia el subsuelo y acuíferos. Tomando en cuenta que la producción por parte de rastras es infinita en una escala temporal corta, las lagunas serán llenadas y es por ello por lo que se necesita de tecnologías que puedan llevar a cabo la remoción de mercurio presente en estas.

- A fin de reducir riesgos asociados a la exposición de mercurio por inhalación en los mineros, se debe de evitar que realicen la quema de la amalgama de forma expuesta y en zonas residenciales, para ello, una solución temporal es el uso de retortas comunitarias. Esto se debe de aplicar de forma permanente, hasta que no migren a tecnologías libres de mercurio para el proceso de beneficiado.

- Debido a que se realiza el beneficiado de colas que fueron tratadas con mercurio utilizando cianuro de sodio, por empresas legalmente constituidas, que operan con y sin permisos ambientales; es necesario que INHGEOMIN y la UMA de El Corpus realicen un monitoreo ambiental en los sitios de operación, para verificar que existe un proceso previo de descontaminación de mercurio en colas, y que una vez que se lleve a cabo la lixiviación del oro remanente en estas, y que no existan descargas del material beneficiado en cuerpos de agua superficial y suelo, sin las medidas de control ambiental pertinentes.

- El INHGEOMIN, SERNA y la UMA de El Corpus, deben de apuntar a proyectos de Cooperación Internacional que permitan llevar a cabo el tratamiento de mercurio en colas, que utilice un modelo de negocios, que permita pagar a los mineros por el oro remanente recuperado en el proceso de remediación, y dar una Gestión Ambientalmente Racional al mercurio. En este modelo de negocios, se debe de contemplar generar un fondo económico, que permita paulatinamente a los mineros la compra de tecnologías asequibles y no contaminantes.

9.2 Concientización sobre efectos del mercurio y educación ambiental formal e informal

- Para que exista una migración de técnicas, se presenta el reto de cambiar un paradigma que forma parte de la cultura de los mineros del municipio, ante lo cual, se debe de concientizar utilizando dos enfoques: a) Concientizar sobre los efectos nocivos del mercurio, para la salud y a nivel ecosistémico, y b) Contrastar mediante ensayos demostrativos, la baja productividad de una rastra en términos de recuperación del oro, a comparación de técnicas gravimétricas por ejemplo, que ofrecen mejores rendimientos y con tecnologías libres de mercurio.
- La UMA de El Corpus, en conjunto con la Secretaría de Educación y Salud de Honduras, INHGEOMIN y SERNA, deben llevar a cabo campañas de concientización sobre los efectos nocivos del mercurio en el cuerpo humano y a nivel ecosistémico, ya que, si la población de mineros desconoce los efectos de este contaminante, no tendrán un estímulo que les genere interés en mejorar sus prácticas y seguridad ocupacional.

9.3 Asesoramiento Estatal en actividades agrícolas y ganaderas

- La Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), a través de la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA), deben de concientizar y capacitar a los agricultores del municipio acerca de los efectos nocivos a nivel ecosistémico y humano, del uso no controlado de plaguicidas, pesticidas y fungicidas. Además, capacitar a los ganaderos, acerca de cómo realizar correctamente el pastoreo, con el fin de evitar la contaminación del recurso hídrico superficial y subterráneo por CTO y CTE.

9.4 Saneamiento de las fuentes de agua que serán utilizadas para consumo humano

- La Alcaldía de Municipal de El Corpus, a través de la UMA deben de apuntar a la aplicación de Proyectos de Cooperación, que permitan implementar sistemas de saneamiento del agua para mercurio, hierro, manganeso, nitratos, CTO y CTE. Utilizando como valores de línea base, los resultados presentados en este estudio.

9.5 Estudios futuros

- En estudios futuros es necesario llevar a cabo análisis de especiación del mercurio, en sitios puntuales que sean utilizados por los pobladores para realizar actividades de pastoreo de animales, lavado de ropa y utensilios domésticos, asimismo donde se recupere oro de placer con batea.
- Considerando que los efectos más nocivos por exposición al mercurio se generan a través de la inhalación de vapores de mercurio, producto de la quema expuesta de la amalgama, es pertinente llevar a cabo una caracterización de mercurio en la atmósfera en las áreas de influencia de la MAPE de oro.
- Es necesario fortalecer las capacidades analíticas y técnicas para estudios de mercurio y otros contaminantes, a nivel de la academia, laboratorios estatales y privados en Honduras, que puedan acompañar las intervenciones en esta línea de investigación.

10. BIBLIOGRAFÍA

American Public Health Association et al. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.*

Programa de Gobernanza Hídrica Territorial en la Región 13 Golfo de Fonseca. (2017). *Diagnóstico y Capacitación de Mineros Artesanales de la Cuenca del Río Sampile .*

Abaspoor Z, et al. (2014). Evaluation of Nitrate Removal from Wastewater Using Electrochemical Method. *Journal Environmental Treatment Techniques*, 18-21.

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.

Agua de Honduras. (s.f.). *Delimitaciones hidrográficas* . Obtenido de https://aguadehonduras.gob.hn/delimitacioneshonduras/

Akiwumi et al. (2012). Analysis of Nitrates and Nitrites in Groundwater of Ilorin Environs. *Journal of Environmental Science and Engineering*.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 ed., Vol. Part 1000).

Appelo, C., & Postma, D. (2005). *Introduction to groundwater geochemistry.* Amsterdam: A.A. BALKEMA PUBLISHERS.

Archana et al., 2018; Horst et al., 2011, citado por Torres et al. (2020). Tracking nitrate and sulfate sources in groundwater of an urbanized valley using a multi-tracer approach combined with a Bayesian isotope mixing model. *Water Research*.

Armstrong, 1990, citado por O'Connor et al. (2019). Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review. *Environment International*, 747-761.

Benavente, M et al. (2007). Remoción de mercurio de efluentes mineros por biosorción: un caso de estudio en la ciudad de La Libertad, Chontales, Nicaragua. *Nexo*, 47-55.

Bencer et al. (2015). Multivariate statistical analysis of the groundwater of Ain Djacer area (Eastern of Algeria).

Bishop & Lee, 1997, citado por Gabriel & Williamson. (2004). Principal biogeochemical factors affecting the speciation and transport of mercury through the terrestrial environment. *Environmental Geochemistry and Health*, 421-434.

Bolaños et al. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 15-27.

Bradley Rowens et al. (1991). Respiratory Failure and Death Following Acute Inhalation of Mercury Vapor: A Clinical and Histologic Perspective. *Chest*, 185-190. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012369216302689

Briggs & Gustin, 2013, citado por O'Connor et al. (2019). Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review. *Environmental International*, 747-761.

Butler, B., & Ford, R. (2019). Evaluating relationships between total dissolved solids (TDS) and total suspended solids (TSS) in a mining-influenced watershed. *Mine Water Environ*, 18-30.

Canadian Council of Ministers of the Environment. (1997). *Canadian Council of Ministers of the Environment*. Obtenido de https://ccme.ca/en/summary-table

Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. (1999). *Mercury*. Obtenido de https://ccme.ca/en/res/mercury-canadian-sediment-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life-en.pdf

Clare & Rhodes, 1999, citado por Dibal, H.U. (2019). Calcium and Magnesium distribution in Groundwater and food substances in parts of Central Plateau State, Northcentral Nigeria. *Global Journal of Geological Sciences* , 61-73.

Cláudia Carvalhinho, et al. (2007). DISTRIBUIÇÃO E ESPECIAÇÃO DE MERCÚRIO EM SEDIMENTOS DE ÁREAS DE GARIMPO DE OURO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG). *Quim. Nova*, 1088-1094.

Clausen et al. (2011). Migration of Lead in Surface Water, Pore Water, and Groundwater With a Focus in Firing Ranges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 41:1397–1448, 2011*, 1397-1448.

Colford, J. M., & Arnold, B. F. (2007). Treating water with chlorine at point-of-use to improve water quality and reduce child diarrhea in developing countries: A systematic review and meta-analysis. *Am. J. Trop. Med. Hyg*, 354-364.

Custodio, E., & Llamas, R. (1983). *Hidrología Subterranea* (Vol. 1). Barcelona: Ediciones Omega.

Cymes & Szymczyk, 2005 y Orzepowski & Pulikowski, 2005 citado por Sapek, S. (2014). Calcium and Magnesium in Atmospheric Precipitation Groundwater and the Soil solution in long-term meadow experiments. *J. Elem. s*, 191-208.

Das et al. (2006). Removal of iron from groundwater by ash: A systematic study of a traditional method. *Journal of Hazardous Materials*.

Dibal, H.U et al. (2019). Calcium and Magnesium distribution in Groundwater and food substances in parts of Central Plateau State, Northcentral Nigeria. *Global Journal of Geological Sciences*, 61-73.

Divya, A., & Solomon, P. (2016). Effects of Some Water Quality Parameters Especially Total Coliform and Fecal Coliform in Surface Water of Chalakudy River. *Proedia Technology*, 631-638.

Dvorak, B., & Schuerman, B. (2021). Drinking Water: Iron and Manganese. *NebGuide*, 1-6.

Emmerton, et al. (2022). Downstream Modification of Mercury in Diverse River Systems Underscores the Role of Local Conditions in Fish Bioaccumulation. *Ecosystems*, 114-133.

Engstrom, 2007, citado por Sellin. (2009). Global Biogeochemical Cycling of Mercury: A Review. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 43-63.

FAO. (1969). *Los Suelos de Honduras.* Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Feodorova, 1985, citado por Fernández et al. (2006). Origen de los Nitratos (NO3) y Nitritos (NO2) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 1-9.

Fernández Villalobos, N. (2019). Exposición a mercurio de las personas que trabajan en la minería artesanal de oro, Costa Rica, 2015-2016. *Población y Salud en Mesoamérica*.

Fernández, C. D., & Vázquez Taset, Y. M. (2006). Origen de los Nitratos (NO3) y Nitritos (NO2) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 1-9.

GAR Mercurio. (2019). *Evalúan a mineros sobre el impacto del mercurio en su salud*. Obtenido de El PNUD en Honduras: https://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/presscenter/articles/2018/evaluan-a-mineros-sobre-el-impacto-del-mercurio-en-su-salud-.html

Georgopoulos et al. (2001). Environmental copper: Its dynamics and human exposure issues. *Environmental and Occupational Health Sciences Institute (EOHSI)*, 1-173.

Gibb, H., & O'Leary, K. (2014). Mercury Exposure and Health Impacts among Individuals in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining Community: A Comprehensive Review. *Tetra Tech Sciences, Arlington, Virginia, USA*, 667-672.

Gobierno de la República de Honduras. (1982). *CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DE HONDURAS.* Tegucigalpa.

Guerra, 1979, citado por Fernández et al. (2006). Origen de los Nitratos (NO3) y Nitritos (NO2) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y geología*, 1-9.

Güler et al. (2002). Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal*, 455-474.

Hem, 1985 citado por Appelo & Postma. (2005). *GEOCHEMISTRY, GROUNDWATER AND POLLUTION.* Amsterdam: A.A. BALKEMA PUBLISHERS.

Hurley et al, 2001, citado por US EPA. (2006). *Mercury Transport and Fate Through a Watershed.* Washington.

IHCIT-UNAH. (2017). *"Levantamiento y Evaluación del catastro del recurso hídrico en tres microcuencas del Río Sampile".* Tegucigalpa.

INE. (2013). *XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda.* Instituto Nacional de Estadistica , Francisco Morazan . Tegucigalpa: Instituto Nacional de Estadistica. Recuperado el 15 de Enero de 2018, de http://www.redatam.org/binhnd/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=MUNDEP11&lang=ESP

INE. (2018). *El Corpus, Choluteca*. Obtenido de https://www.ine.gob.hn/V3/2018/09/21/el-corpus-choluteca-2018/

INE. (2019). *El Corpus, Choluteca.* Tegucigalpa, M.D.C.

Instituto Hondureño de Geología y Minas. (2022). *Informe Técnico de Monitoreo Ambiental UAS-IT-94-22 Mina Clavo Rico.* Tegucigalpa M.D.C.

Instituto Nacional de Conservación Forestal. (2019). *Geoportal del Sector Forestal de Honduras*. Obtenido de http://geoportal.icf.gob.hn/geoportal/main

Jovic & Jovanovic, 2004, citado por Dibal et al. (2019). Calcium and Magnesium distribution in Groundwater and food substances in parts of Central Plateau State, Northcentral Nigeria . *Global Journal of Geological Sciences*, 61-73.

Kashi, G., & Khoshab, F. (2015). An Investigation of the Chemical Quality of Groundwater Sources. *Donnish Journals*, 18-27.

Kopacek et al. (2001). Element budgets in three Bohemian Forest Lakes and their watersheds in the 2000 hydrological year: III. Plesne Lake. *Silva Gabreta*, 73-86.

Kortatsi, B. (2006). Hydrochemical characterization of groundwater in the Accra plains of Ghana. *Environ Geol*, 299-311.

Kulig, 1998, citado por Taber, K. (2008). Mercury Exposure: Effects Across the Lifespan. *Windows to the brain*, 384-389.

L. Riba, et al. (2003). Bioavailability of heavy metals bound to estuarine sediments as a function of pH and salinity values. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 101-114.

Landolt & Bornstein, 1960, citado por Appelo & Postma. (2005). *GEOCHEMISTRY, GROUNDWATER AND POLLUTION.* Amsterdam: A.A. BALKEMA PUBLISHERS.

Lin et al, 2010, citado por O'Connor et al. (2019). Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review. *Envrionmental International*, 747-761.

Malm, O. (1998). Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 73-78.

Medema et al, 2003 citado por Foppen y Shijven. (2006). *Water Research*, 401-426.

Meza Aliga, et al. (2014). Análisis morfométrico de microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la quebrada de Camiña, Norte Grande de Chile. *Díalogo Andino*, 15-24.

MIAMBIENTE-CESCCO-PNUMA-GEF. (2017). *Panorama de la actividad Minería Artesanal y de Pequena Escala de Oro en el municipio de El Corpus.* Tegucigalpa.

MIAMBIENTE-INHGEOMIN-GEF. (2019). *Informe Narrativo de los Hallazgos del Estudio Panorámico Nacional de la MAPE de Oro en Honduras.* Tegucigalpa M.D.C.

MINAE, et al. (s.f.). *Guía de Buenas Prácticas en la Minería Artesanal y en Pequeña Escala (MAPE) en Costa Rica.*

Ministerio de Energía y Minas. (s.f.). *Glosario de Términos Mineros*. Obtenido de https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/05/4._Glosario_Minero_2006.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2003). *Glosario Técnico Minero.* Bogotá D.C. Obtenido de https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf

Ministerio de Salud. (1995). *Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable.*

Naseem et al, 2014 citado por Kubier et al. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 1-16.

Nolte, 1988, citado por Georgopoulos et al. (2001). Environmental copper: Its dynamics and human exposure issues. *Environmental and Occupational Health Sciences Institute (EOHSI)*, 1-173.

NRC/NAS, 2000, Suzuki et al. 1991 citado por Sonke et al. (2013). Mercury biogeochemistry: Paradigm shifts, outstanding issues and research needs. *Comptes Rendus Geosciences*, 214-225.

Nriagu, 1993, citado por Malm, O. (1998). Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 73-78.

Obrist et al, 2018, citado por O'Connor et al. (2019). Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review. *Environment International*, 747-761.

O'Connor et al. (2019). Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review. *Environental International* , 747-761.

ONU medio ambiente-Global Mercury Partnership-Minamata Convention ON Mercury. (2017). *Elaboración de un plan de acción nacional para reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala.*

Organization, W. M., & United Nations Educational, S. a. (2012). *INTERNATIONAL GLOSSARY OF HYDROLOGY.* Geneva .

Panno et al, 2002, citado por S.V Panno et al. (2006). Characterization and Identification of Na-Cl Sources in Ground Water. *groundWATER*, 176-187.

Parsons Cons, 1972, citado por IHCIT-UNAH. (2017). *"Levantamiento y Evaluación del catastro del recurso hídrico en tres microcuencas del río Sampile".* Tegucigalpa.

Perdersen, O, et al. (2013). Underwater Photosynthesis of Submerged Plants – Recent Advances and Methods. *Frontiers in Plant Science* , 1-19.

PNUMA, 2012 citado por ONU Medio Ambiente-Global Mercury Partnership-MINAMATA CONVENTION ON MERCURY. (2017). *Elaboración de un plan de acción nacional para reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala.*

Poder Legislativo. (2009). Ley General de Aguas. *La Gaceta*, 1-39.

Presidencia de la República. (2013). Ley General de Minería. *La Gaceta*, 23.

Presidencia de la República. (2019). Reglamento Especial para Minería Artesanal y la Pequeña Minería. *La Gaceta*.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). *Convenio de Minamata sobre el Mercurio.* Nairobi, Kenia.

Proyecto GAR Mercurio PNUD-GEF/MiAmbiente. (2021). *Organización Panamericana de la Salud: OPS/OMS.* Obtenido de https://www.paho.org/es/file/119209/download?token=YYqVR0dP

Reconco, D. (2019). Geomorfología, Espeleología y Geositios del Territorio Hondureño. *Revista Milímetro Revista Técnico- Científica de la Universidad Politécnica de Ingeniería* , 30-140.

Reiko Kishi et al. (1994). Residual neurobehavioural effects associated with chronic exposure to mercury vapour. *Occupational and Environmental Medicine*, 35-41.

Republica de Honduras Ministerio de la Salud. (1995). *Norma Tecnica para la Calidad del agua Potable.* Recuperado el Septiembre de 2013, de http://www.salud.gob.hn/transparencia/archivos/regulacion/leyes/NORMA%20TECNICA%20CALIDAD%20AGUA%20POTABLE%20%20Honduras.pdf

República de Honduras; Secretaría de Recursos Naturales Y Ambiente. (1993). *Ley General del Ambiente.* Tegucigalpa.

S.V Panno et al. (2006). Characterization and Identification of Na-Cl Sources in Ground Water. *groundWATER*, 176-187.

Sajil Kumar, 2013, citado por Ravikumar et al. (2015). A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydrochemical processes in groundwater from SRLIS river basin, Karnataka, India. *Earth Science*.

Sanders, L. L. (1998). A Manual of Field Hydrogeology. London: Prentice Hall Inc.

Sanemasa, I. (1975). The Solubility of Elemental Mercury Vapor in Water. *Bulletin of The Chemical Society of Japan*, 1795-1798.

Sapek, B. (2014). Calcium and Magnesium in Atmospheric Precipitation Groundwater and the Soil solution in long-termn meadow experiments. *J. Elem. s*, 191-208.

Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas. (2018). *Reglamento Especial de Seguridad y Salud Ocupacional en la Actividad Minera de Hnduras.* Tegucigalpa.

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. (2021). Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales. *La Gaceta*, 1-44.

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. (2021). *Reglamento para la Gestión Ambientalmente Racional del merucrio y Productos con mercurio añadido.* Tegucigalpa, Honduras.

Secretaría de Salud. (1996). *Normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario.* Tegucigalpa, M.D.C.

Selin, N. (2009). Global Biogeochemical Cycling of Mercury: A Review. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 43-63.

Sellin, N. E. (2009). Global Environmental Law and Treaty-Making on Hazardous Substances: The Minamata Convention and Mercury Abatement. *Global Environmental Politics*, 43-63.

Sintorini, M et al. (2021). Effect of pH on metal mobility in the soil. *DevelopmentIOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.

Smolders y Mertens, 2013, citado por Kubier et al. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 1-16.

Taber et al. (2008). Mercury Exposure: Effects Across the Lifespan. *Windows to the brain*, 384-389.

Torres et al. (2020). Tracking nitrate and sulfate sources in groundwater of an urbanized valley using a multi-tracer approach combined with a Bayesian isotope mixing model. *Water Research* .

U.S. Environmental Protection Agency. (23 de Febrero de 2020). *Sediment Sampling.*

UNESCO-WHO-UNEP. (1996). *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition.* Cambridge.

United States Environmental Protection Agency. (15 de Septiembre de 2022). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table

Urioste, S. A. (2014). Diagnóstico de calidad de agua en dos quebradas influenciadas por actividad minera en el municipio de El Corpus, Choluteca. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano*, 1-41.

US EPA, 1996, citado por O'Connor et al. (2019). Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review. *Environmental International*, 747-761.

USGS. (2015). *Methods for Evaluating Potential Sources of Chloride in Surface Waters and Groundwaters of the Conterminous United States.*

Valdelamar Villegas, J., & Olivero Verbel, J. (2020). *High Mercury Levels in the Indigenous Population of the Yaigojé Apaporis National Natural Park, Colombian Amazon*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/333906155_High_Mercury_Levels_in_the_Indigenous_Population_of_the_Yaigoje_Apaporis_National_Natural_Park_Colombian_Amazon

Veiga et al. (2014). Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. *ELSEVIER*, 351-361.

Veiga, M., & Hylander, L. (2017). Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *Cleaner Production*, 436-447.

Wang, H., & Zhang, Q. (2019). Research Advances in Identifying Sulfate Contamination Sources ofWater Environment by Using Stable Isotopes. *International Journal of Envrionmental Research and Public Health*, 1-13.

Weyl et al. 1980 citado por IHCIT-UNAH. (2017). *"Levantamiento y Evaluación del catastro del recurso hídrico en tres microcuencas del Río Sampile".* Tegucigalpa.

WHO-HSE-WSH. (2007). *Potassium in drinking-water.*

World Health Organization. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality.*

World Health Organization. (1 de Junio de 2020). *10 chemicals of public health concern*. Obtenido de https://www.who.int/news-room/photo-story/photo-story-detail/10-chemicals-of-public-health-concern

Younger, P. L. (2002). Deep mine hydrogeology after closure: insights rom the UK. *Uranium in the Aquatic Environment*, 25-40.

11. Contribución científica

11.1 Congresos

A. Nombre del Congreso: VI Encuentro Bienal de Investigación y Posgrado Centroamérica y el Caribe, Nicaragua 2023.

- Autor: Rodrigo Alejandro Palacios Ordenes.
- Título de la Ponencia: Contaminación por mercurio proveniente de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala de Oro.
- Fecha del evento: 17 de noviembre del 2023.
- Resumen: el estudio tiene por objetivo demostrar el impacto de la contaminación por mercurio en la Minería Artesanal y en Pequeña Escala (MAPE) de oro, en agua y sedimentos de la microcuenca Río Calderas. La metodología de investigación es del tipo mixta-descriptiva, y el estudio se llevó a cabo durante el año 2022 , analizando Hg-total en agua durante época lluviosa, y en sedimentos durante seca y lluviosa. También se analizó en seca CTO y CTE, y en ambas temporalidades metales traza, elementos y iones priorizados. En conclusión, debido a la presencia de Hg-total en sedimentos de ríos y lagunas de descarga de rastras, agua superficial y subterránea, asimismo concentraciones de Fe, Mn y NO_3^- y valores de CTO y CTE 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.
-

B. Nombre del congreso: Congreso científico de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)

- Ponencia para presentar: Calidad del Agua y Contaminación por mercurio en la Microcuenca Calderas: Aportes de la MAPE de oro, en El Corpus-Choluteca.
- Fecha: 2023

11.2 Trabajos de investigación

A. Título de la investigación: Calidad del Agua y Contaminación por Mercurio en la Microcuenca Río Calderas: Aportes de la MAPE de oro, en El Corpus-Choluteca.

- Artículo en construcción.
- Revista: en proceso de gestión.
- Fecha: 2024

12. ANEXOS

12.1 Ficha para censo de fuentes de agua subterránea

Ficha de Información de Aguas Subterráneas

Datos Generales RCPP

Fecha: 7/4/22	Hora: 3:55 pm	Nombre del Sitio: Calderas	
Código de la Muestra	Nombre del Contacto:	Modesto Perez	
319	Tel Contacto:		Personal de Muestreo:
Coordenadas	X: 0492768	Y: 1470844	
Altitud: 108		Precisión:	
Condiciones Climáticas Actuales:			
Uso del Suelo:			
# personas que usan el pozo:		Población de la zona:	

Datos del Pozo

Diámetro:		Tipo de Pozo:	Artesanal	/	Perforado	
Nivel Freático:	7.4m	Estado del Pozo:	En Uso		Abandonado	
Profundidad:		Finalidad del Pozo:	Monitoreo		Producción	
Columna de Agua		Trayectoria de Aguas Lluvias:	Infiltración		Escurrimiento	
Antigüedad	15 años	Sistema de Aguas Lluvias:		Sistema de Agua Potable		
Tipo de Bomba:	Noria	Energía Eléctrica:			Olor	
Caudal de Extracción:		Sistema de Aguas Negras			Sabor	
Intensidad de Lluvias		Letrina		Alcantarillado	Color	
Periodos Húmedos		Periodos de Estiaje				

Parámetros Fisicoquímicos

Temperatura:	30.2 °C	pH:	7.1
Oxígeno Disuelto:	mg/L	Oxígeno disuelto:	%
TDS:	g/L	Conductividad Eléctrica:	596 µS/cm
Salinidad:		Cloro Residual:	
Turbiedad del Agua:		ORP:	

Fuentes Potenciales de Contaminación:

Observaciones:

Ver foto de geología
No usado, sin bomba
Rio Calderas

Figura 33: ficha para censo de pozos en zona de estudio.

12.2 Etiquetas para envío de muestras de sedimento a laboratorio Eurofins

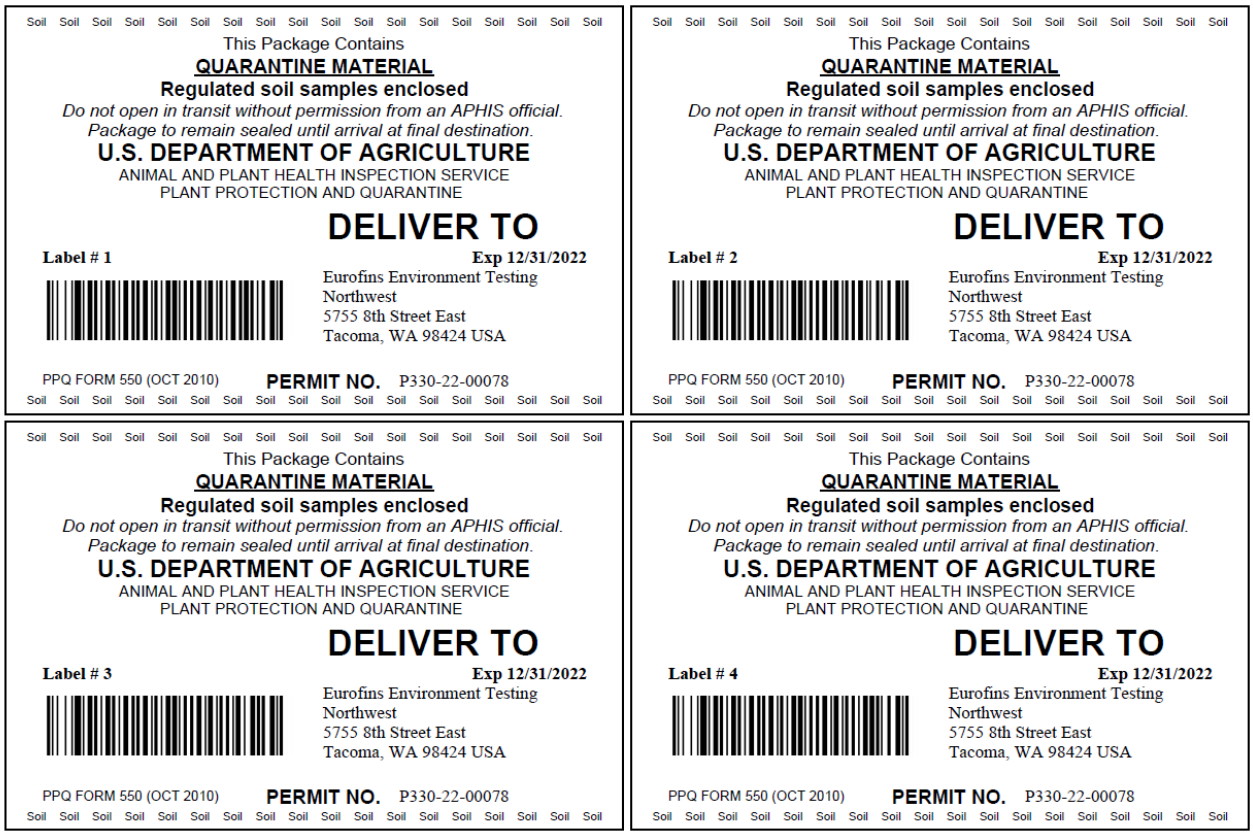


Figura 34: etiquetas para envío de muestras de sedimento a Eurofins, Tacoma-Washington.

12.3 Datos hidroquímicos, cálculo de concentraciones de carbonato y bicarbonato y resultados de control de calidad de datos hidroquímicos.

Tabla 33: datos hidroquímicos proveídos por CEIRH.

Código	Época	Fuente	Ec	Temperatura	pH	Na^+ mg/L	K^+ mg/L	Mg^{2+} mg/L	Ca^{2+} mg/L	Fe^{2+} mg/L	Cu^{2+}mg/L	Pb^{2+} mg/L	Mn^{2+} mg/L	Cd^{2+} mg/L	Cl^- mg/L	$CaCO_3$ mg/L	SO_4^{2-} mg/L	NO_2^- mg/L	NO_3^- mg/L	PO_4^{3-} mg/L
SJAM1	Seca	Subterránea	150	27.9	6.9	4.76	0.23	5.31	9.15				0.00035		1.91	80	2	0.19	12.4	
SL1			360	27.1	7.2	6.21	0.02	9	23.012	1.53					1.9	212	10	10		
SL2			470	28	6.8	8.78	0.33	9.72	62.26	4.1			0.01		11	330	17	0.09	6.2	
RCPP			570	28.9	7.4	9.23	3.23	10.48	79.17			0.0001	0.0015	0.00001	2.4	880	5	0.15	5.75	
CPT			350	30	7	6.35	2.26	8.59	37.84			0.0032	0.0005		1.9	500	0	0.02	8.41	0.23
CHRPM			430	29.7	8.9	11.36	2.38	4.55	45.23	2.92			0.01		25.8	237	21	0.09	2.21	0.19
CHRPJ			528	28.2	7.6	9.36	8.81	14.87	63.71	3.96		0.0033	0.04	0.0004	10.53	382	0	0	0	1.68
CHR03			500	30.9	7.2	6.7	2.88	9.86	59.5				0.00033		6.7	288	6	0.05	3.98	0.51
CHPPW			560	30.7	7	10.66	5.34	12.18	61.71	0.45			0.01		16.3	286	6	0.03		0.83
SJA4C			320	30.1	8	9.39	1.72	18.13	10.01	15.42		0.09			11.5	133	0			
SJAAM			70	28	7.3	5.48	2.16	6.71	21.65	6.68		0.01		0.0004	6.22	98		0.19	12.4	
RS-04			430	27	8.3	7.01	0.46	8.09	55.86	2.63		0.01	0.01	0.00012	6.7	180	48	0.08	9.3	
RS-05			440	27.2	8.3	6.82	3.42	8.03	54	2.17			0.01	0.00013	3.3	410	67	0.04		
CHR02			400	30.6	8.7	10.68	4.95	3.5	41.16	3.02			0.01	0.00088	16.3	94	0	0.42	0	0.38
RS-06			320	29	8.4	6.92		6.32	33.81	0.93			0.01	0.00012	6.22	0	0	0	0	
SJAM1	Lluviosa	Subterránea	101	28.1	6.26	6.61	0.79	1.96	1.23	0.02	0.04	0.00293	0.25	0.00012	5.73	20	0	0.03	5.31	
SL1			309	27.5	7.17	11.26	0.84	6.69	26.48	0.14	0.06	0.00468	0.43	0.00005	6.69	50	3	0.06	8.85	
SL2			594	27.4	7.23	18.98	3.66	12.86	93.25	0.5	0.08	0.02111	1.99	0.00157	30.6	95	10	0	457.42	
RCPP			1723	28.6	6.85	23.05	0.81	12.75	73.83	0.37	0.09	0.00434	0.49	0.00001	9.1	240	2	0.03	4.43	
CPT			343	28	7.14	12.65	0.96	9.46	31.45	0.13	0.06	0.00477	0.47	0.00005	6.69	160	1	0.02	3.54	
CHRPM			1691	27.5	7.1	22.35	4.45	7.7	54.83	0.73	0.05	0.00134	3.46	0.00005	25.8	155	3	0.02	2.21	
CHRPJ			1549	27.3	6.81	13.44	2.18	7.86	34.63	0.31	0.08	0.00128	1.02	0	7.1	62	1	0.04	6.64	
CHR03			271	29.8	6.67	19.06	0.91	5.53	25.09	0.12	0.02		0.5	0.00011	11.47	48	4	0.04	3.98	
SJA4C		Superficial	1413	26.3	8.04	5.27	0.94	2.16	3.14	0.09		0.02263	0.36	0.00012	4.3	18	0	0.05	327.58	
SJAAM			118	26.5	7.86	6.81	0.91	2.09	2.5	0.06		0.02864	0.38	0.00012	4.78	20	0	0.11	3.1	

Código	Época	Fuente	Ec	Temperatura	pH	Na^+ mg/L	K^+ mg/L	Mg^{2+} mg/L	Ca^{2+} mg/L	Fe^{2+} mg/L	Cu^{2+}mg/L	Pb $^{2+}$ mg/L	Mn^{2+} mg/L	Cd^{2+} mg/L	Cl^- mg/L	$CaCO_3$ mg/L	SO_4^{2-} mg/L	NO_2^- mg/L	NO_3^- mg/L	PO_4^{3-} mg/L
RS-04			1453	27.4	8.14	4.77	1.2	1.6	18.07	0.1	0.04	0.00376	0.43	0.00029	4.78	70	6	0.02	1.77	
RS-05			1454	27	8	6.23	2.55	1.43	9.83	0.09	0.05	0.00172	0.48	0	5.26	75	7	0.01	1.33	
CHR02			1590	30.09	8.65	49.53	9.7	4.91	31.34	0.05	0.16	0.00795	0.66	0.00017	83.2	18	3	0.03	287.74	
RS-06			1426	24.5	7.98	8.17	1.51	2.37	13.46	0.18	0.32	0.00863	0.65	0.00032	8.1	18	2	0.02	1.33	

Tabla 34: cálculo de concentraciones de carbonato y bicarbonato a partir de alcalinidad-total

Código	Época	K2	pH	$CaCO_3$ mg/L	$CaCO_3$ meq/L	$CaCO_3$ eq/L	HCO_3^- mol/L	Peso g/mol HCO_3^-	HCO_3^- g/L	HCO_3^-mg/L	CO_3^{2-}mol/L	Peso g/mol CO_3^2	CO_3^{2-} g/L	CO_3^{2-}mg/L
SJAM1		5.01187E-11	6.9	80	0.8	0.0008	0.00079936	61	0.04876118	48.76117565	3.18232E-07	60	1.91E-05	0.019093941
SL1		5.01187E-11	7.2	212	2.12	0.00212	0.00211664	61	0.12911488	129.1148808	1.6813E-06	60	1.01E-04	0.100878291
SL2		5.01187E-11	6.8	330	3.3	0.0033	0.00329791	61	0.20117277	201.1727672	1.04289E-06	60	6.26E-05	0.062573523
RCPP		5.01187E-11	7.4	880	8.8	0.0088	0.0087779	61	0.53545181	535.4518122	1.10507E-05	60	6.63E-04	0.663043174
CPT		5.01187E-11	7	500	5	0.005	0.00499499	61	0.30469458	304.6945819	2.50343E-06	60	1.50E-04	0.150205608
CHRPM		5.01187E-11	8.9	237	2.37	0.00237	0.00219521	61	0.13390805	133.9080491	8.7393E-05	60	5.24E-03	5.243582414
CHRPJ		5.01187E-11	7.6	382	3.82	0.00382	0.00380482	61	0.23209382	232.0938239	7.59161E-06	60	4.55E-04	0.455496453
CHR03		5.01187E-11	7.2	288	2.88	0.00288	0.00287543	61	0.17540135	175.4013475	2.28404E-06	60	1.37E-04	0.137042206
CHPPW		5.01187E-11	7	286	2.86	0.00286	0.00285714	61	0.1742853	174.2853009	1.43196E-06	60	8.59E-05	0.085917608
SJA4C		5.01187E-11	8	133	1.33	0.00133	0.0013168	61	0.08032484	80.32484427	6.59964E-06	60	3.96E-04	0.395978228
SJAAM		5.01187E-11	7.3	98	0.98	0.00098	0.00097804	61	0.05966068	59.66067864	9.78044E-07	60	5.87E-05	0.058682635
RS-04		5.01187E-11	8.3	180	1.8	0.0018	0.00176471	61	0.10764706	107.6470588	1.76471E-05	60	1.06E-03	1.058823529
RS-05		5.01187E-11	8.3	410	4.1	0.0041	0.00401961	61	0.24519608	245.1960784	4.01961E-05	60	2.41E-03	2.411764706
CHR02		5.01187E-11	8.7	94	0.94	0.00094	0.00089504	61	0.05459716	54.59716256	2.24823E-05	60	1.35E-03	1.348936444
RS-06	Seca	5.01187E-11	8.4	0	0	0	0	61	0	0	0	60	0.00E+00	0
SJAM1		5.01187E-11	6.26	20	0.2	0.0002	0.00019996	61	0.01219778	12.1977751	1.82369E-08	60	1.09E-06	0.001094213
SL1		5.01187E-11	7.17	50	0.5	0.0005	0.00049926	61	0.03045485	30.45484702	3.70106E-07	60	2.22E-05	0.022206384
SL2	Lluviosa	5.01187E-11	7.23	95	0.95	0.00095	0.00094839	61	0.05785152	57.85152074	8.07207E-07	60	4.84E-05	0.048432423

RCPP		5.01187E-11	6.85	240	2.4	0.0024	0.0023983	61	0.14629618	146.2961843	8.50948E-07	60	5.11E-05	0.051056897
CPT		5.01187E-11	7.14	160	1.6	0.0016	0.00159779	61	0.09746514	97.46514119	1.1054E-06	60	6.63E-05	0.066324003
CHRPM		5.01187E-11	7.1	155	1.55	0.00155	0.00154805	61	0.09443084	94.43083634	9.76751E-07	60	5.86E-05	0.058605078
CHRPJ		5.01187E-11	6.81	62	0.62	0.00062	0.0006196	61	0.03779554	37.79553921	2.00498E-07	60	1.20E-05	0.012029898
CHR03		5.01187E-11	6.67	48	0.48	0.00048	0.00047978	61	0.02926628	29.26627863	1.1247E-07	60	6.75E-06	0.006748215
SJA4C		5.01187E-11	8.04	18	0.18	0.00018	0.00017804	61	0.01086063	10.86063277	9.7842E-07	60	5.87E-05	0.058705196
SJAAM		5.01187E-11	7.86	20	0.2	0.0002	0.00019856	61	0.01211205	12.11204763	7.20921E-07	60	4.33E-05	0.043255266
RS-04		5.01187E-11	8.14	70	0.7	0.0007	0.00069045	61	0.04211724	42.11723978	4.77672E-06	60	2.87E-04	0.286603386
RS-05		5.01187E-11	8	75	0.75	0.00075	0.00074256	61	0.04529596	45.29596481	3.7216E-06	60	2.23E-04	0.223295993
CHR02		5.01187E-11	8.65	18	0.18	0.00018	0.00017229	61	0.01050945	10.50944564	3.857E-06	60	2.31E-04	0.231420178
RS-06		5.01187E-11	7.98	18	0.18	0.00018	0.00017829	61	0.01087589	10.87588944	8.53365E-07	60	5.12E-05	0.051201914

Tabla 35: resultados obtenidos en control de calidad de datos hidroquímicos

Código	Época	Fuente	∑ cationes meq/L	∑ aniones meq/L	BI%	TDS mg/L	EC medida µS/cm	EC medida/100	EC calculada µS/cm	EC calculada/100
SJAM1	Seca	Subterránea	1.11	1.10	0.35	84.71	150.00	1.50	104.14	1.04
SL1			2.21	2.60	7.92	190.79	360.00	3.60	236.06	2.36
SL2			4.44	4.06	4.48	320.66	470.00	4.70	445.73	4.46
RCPP			5.30	9.04	26.12	650.86	570.00	5.70	710.97	7.11
CPT			2.93	5.19	27.85	370.30	350.00	3.50	394.21	3.94
CHRPM			3.29	3.40	1.67	249.65	430.00	4.30	371.57	3.72
CHRPJ			5.18	4.15	10.98	345.06	528.00	5.28	482.92	4.83
CHR03			4.15	3.27	11.81	271.58	500.00	5.00	392.03	3.92
CHPPW			4.70	3.47	15.07	287.80	560.00	5.60	441.82	4.42
SJA4C		Superficial	3.00	1.64	29.24	146.58	320.00	3.20	215.83	2.16
SJAAM			2.17	1.36	22.94	121.16	70.00	0.70	166.46	1.66
RS-04			3.86	3.10	10.91	245.80	430.00	4.30	390.17	3.90
RS-05			3.82	5.51	18.12	389.99	440.00	4.40	514.18	5.14
CHR02			3.04	1.38	37.71	135.02	400.00	4.00	244.98	2.45
RS-06			2.54	0.18	87.09	54.21	320.00	3.20		
SJAM1	Lluviosa	Subterránea	0.54	0.45	9.35	34.13	101.00	1.01	49.33	0.49
SL1			2.40	0.89	45.77	94.90	309.00	3.09	175.53	1.76
SL2			6.72	9.40	16.60	687.13	594.00	5.94	505.95	5.06
RCPP			5.79	2.77	35.30	273.16	1723.00	17.23	456.20	4.56
CPT			2.94	1.86	22.46	163.84	343.00	3.43	251.17	2.51
CHRPM			4.61	2.37	32.00	218.98	1691.00	16.91	382.88	3.83
CHRPJ			3.06	0.95	52.72	112.02	1549.00	15.49	215.01	2.15
CHR03			2.58	0.95	46.14	99.97	271.00	2.71	194.57	1.95
SJA4C		Superficial	0.60	5.58	80.47	354.77	1413.00	14.13	49.18	0.49
SJAAM			0.63	0.39	24.24	32.88	118.00	1.18	52.22	0.52
RS-04			1.29	0.98	13.74	80.86	1453.00	14.53	124.29	1.24
RS-05			0.97	1.06	4.60	79.51	1454.00	14.54	109.82	1.10
CHR02			4.40	7.22	24.32	480.68	1590.00	15.90	432.48	4.32
RS-06			1.29	0.47	46.60	48.67	1426.00	14.26	99.65	1.00

12.4 Resultados de análisis de laboratorio de iones mayoritarios, nutrientes y metales traza en época seca. Llevados a cabo en CEIRH, Honduras.

UNAH IHCIT CEIRH

Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Resultado de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de agua, a las que se les determinaron Sulfato, Alcalinidad Total, Fosfatos, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Nitratos, Nitritos, Hierro, Manganeso, Plomo, Cobre, Cadmio, pH, Temperatura y Conductividad Las muestras fueron identificadas de la siguiente manera:

Cuadro N°1. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SJAM1	El Corpus (San Juan Arriba)	Calidad de agua potable.

Cuadro N°2. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SJAM1	Sulfato	2.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	80.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.45	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	9.15	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	5.31	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.23	---------	10	mg/L K
	Sodio	4.76	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.19	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	12.40	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	N.D.	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.00035	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	N.D.	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	6.90	---------	---------	-------
	Temperatura	27.90	--------	---------	°C
	Conductividad	150.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

"La Educación es la Primera Necesidad de La República" Pág 1 de 17

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT
Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°3. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SJAAM	El Corpus (San Juan Arriba)	Calidad de agua potable.

Cuadro N°4. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SJAAM	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	98.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.26	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	21.65	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	6.71	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	2.16	---------	10	mg/L K
	Sodio	5.48	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.19	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	12.40	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	6.68	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	N.D.	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.01	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.0004	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	7.30	---------	---------	-------
	Temperatura	28.00	--------	---------	°C
	Conductividad	70.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
IHCIT
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°5. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SJA4C	El Corpus (San Juan Arriba)	Calidad de agua potable.

Cuadro N°6. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SJA4C	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	133.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	2.02	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	10.01	100	--------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	18.13	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	1.72	--------	10	mg/L K
	Sodio	9.39	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.00	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	0.00	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	15.42	--------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.00	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.09	--------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	N.D	--------	0.003	mg/L Cd
	pH	8.00	--------	--------	------
	Temperatura	30.10	--------	--------	°C
	Conductividad	320.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH IHCIT CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°7. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SL1	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°8. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SL1	Sulfato	10.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	212.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.42	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	230.12	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	9.00	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.02	---------	10	mg/L K
	Sodio	6.21	25	200	mg/L Na
	Nitritos	10.00	--------	0.1*	mg/L N-NO_2
	Nitratos	0.00	25*	50*	mg/L N-NO_3
	Hierro	1.53	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.00	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.00	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	7.20	---------	---------	------
	Temperatura	27.10	--------	---------	°C
	Conductividad	360.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT
Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°9. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SL2	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°10. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SL2	Sulfato	17.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	330.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.67	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	62.26	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	9.72	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.33	---------	10	mg/L K
	Sodio	8.78	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.09	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	6.20	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	4.10	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.01	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	N.D.	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	6.80	---------	---------	-------
	Temperatura	28.00	--------	---------	°C
	Conductividad	470.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH IHCIT CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°11. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
ENP	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°12. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
ENP	Sulfato	22.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	283.75	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.32	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	214.36	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	5.60	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	3.45	---------	10	mg/L K
	Sodio	19.50	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.02	--------	0.1*	mg/L N-NO_2
	Nitratos	9.30	25*	50*	mg/L N-NO_3
	Hierro	N.D.	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.00076	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.00031	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	N.D.	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	7.40	---------	---------	-------
	Temperatura	30.50	---------	---------	°C
	Conductividad	440.00	400	---------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°13. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
RS-02	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°14. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
RS-02	Sulfato	48.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	180.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.00	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	55.86	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	8.09	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.46	---------	10	mg/L K
	Sodio	7.01	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.08	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	9.30	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	2.63	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.01	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.01	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00012	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	8.30	--------	--------	------
	Temperatura	27.20	--------	---------	°C
	Conductividad	430.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH IHCIT CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°15. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
RS-01	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°16. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
RS-01	Sulfato	67.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	410.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.65	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	54.00	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	8.03	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	3.42	---------	10	mg/L K
	Sodio	6.82	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.04	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	0.00	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	2.17	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.01	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.00	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00013	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	8.30	---------	---------	--------
	Temperatura	27.20	--------	---------	°C
	Conductividad	440.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
CEIRH Centro Experimental y de Formación del Recurso Hídrico
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°17. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
RCPP	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°18. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
RCPP	Sulfato	5.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	880.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.39	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	79.17	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	10.48	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	3.23	---------	10	mg/L K
	Sodio	9.23	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.15	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	5.75	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	N.D.	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.0015	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.0001	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00001	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	7.40	---------	---------	-------
	Temperatura	28.90	--------	---------	°C
	Conductividad	570.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT
Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°19. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SPT	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°20. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SPT	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	500.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.23	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	37.84	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	8.59	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	2.26	---------	10	mg/L K
	Sodio	6.35	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.02	--------	0.1*	mg/L N-NO_2
	Nitratos	8.41	25*	50*	mg/L N-NO_3
	Hierro	N.D.	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.0005	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.0032	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	N.D.	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	7.00	--------	--------	-------
	Temperatura	30.00	--------	---------	°C
	Conductividad	350.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
IHCIT
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°21. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHRPM	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°22. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHRPM	Sulfato	21.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	237.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.19	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	45.23	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	4.55	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	2.38	---------	10	mg/L K
	Sodio	11.36	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.09	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	2.21	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	2.92	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.01	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	N.D.	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	8.90	---------	---------	-------
	Temperatura	29.70	--------	---------	°C
	Conductividad	430.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°23. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHRPJ	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°24. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHRPJ	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	382.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	1.68	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	63.71	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	14.87	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	8.81	---------	10	mg/L K
	Sodio	9.36	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.00	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	0.00	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	3.96	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.04	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.0033	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.0004	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	7.60	--------	--------	------
	Temperatura	28.20	--------	---------	°C
	Conductividad	528.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT
Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°25. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHR02	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°26. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHR02	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	94.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.38	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	41.16	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	3.50	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	4.95	---------	10	mg/L K
	Sodio	10.68	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.42	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	0.00	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	3.02	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.01	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	N.D.	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00088	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	8.70	---------	---------	--------
	Temperatura	30.60	--------	---------	°C
	Conductividad	400.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH IHCIT CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°27. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHR03	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°28. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHR03	Sulfato	6.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	288.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.51	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	59.50	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	9.86	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	2.88	---------	10	mg/L K
	Sodio	6.70	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.05	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	3.98	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	N.D.	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.00033	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	N.D.	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	N.D.	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	7.20	---------	---------	-------
	Temperatura	30.90	--------	---------	°C
	Conductividad	500.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°29. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHPPW	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°30. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHPPW	Sulfato	6.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	286.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	0.83	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	61.71	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	12.18	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	5.34	---------	10	mg/L K
	Sodio	10.66	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.03	--------	0.1*	mg/L N-NO_2
	Nitratos	0.00	25*	50*	mg/L N-NO_3
	Hierro	0.45	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.01	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.00	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	7.00	---------	---------	-------
	Temperatura	30.70	--------	---------	°C
	Conductividad	560.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
IHCIT
CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 27-abril-2022.
Recepción: 29-abril-2022.
Inicio de análisis: 13|-junio-2022.
Fin del análisis: 17-junio-2022.
Informe: 10-noviembre-2022

Cuadro N°31. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
RS-06	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°32. Resultados Época Seca 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
RS-06	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	0.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Fosfatos	N.R.	--------	0.70	mg/L PO_4^{3-}
	Calcio	33.81	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	6.32	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	N.D.	---------	10	mg/L K
	Sodio	6.92	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.00	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	0.00	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.93	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.01	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	0.02	---------	0.01	mg/L Pb
	Cobre	N.R.	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.00012	---------	0.003	mg/L Cd
	pH	8.40	---------	---------	-------
	Temperatura	29.00	--------	---------	°C
	Conductividad	320.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

UNAH IHCIT CEIRH
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante:	Rodrigo Alejandro Palacios	**Muestreo:**	27-abril-2022.
Establecimiento:	Laboratorio de Hidroquímica.	**Recepción:**	29-abril-2022.
Atención:	Ing. Josseline Nuñez	**Inicio de análisis:**	13|-junio-2022.
Tel:	(504) 2216-6100	**Fin del análisis:**	17-junio-2022.
	Ext: 100281	**Informe:**	10-noviembre-2022

NOTAS:

1. La muestra fue tomada por Shamir Nuñez y Rodrigo Palacios traslada al laboratorio por Shamir Nuñez y Rodrigo Palacios.
2. Dirección del cliente: Tegucigalpa Colonia Universidad Norte
3. Metodología empleada Norma Técnica de Calidad de Agua Potable para Honduras. (Ministerio de Salud, 1995)
4. Este informe no podrá ser modificada en forma parcial o total sin la aprobación del CEIRH.
5. Los resultados de este informe se refieren solamente a la muestra descrita en el mismo.
6. Para cualquier consulta referirse al Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico.

Revisado por: Josseline Nuñez
Jefa de Laboratorio

Aprobado por: Tania Peña
Coordinadora CEIRH.

12.5 Resultados de análisis de laboratorio de iones mayoritarios, nutrientes y metales traza en época lluviosa. Llevados a cabo en CEIRH, Honduras.

UNAH IHCIT CEIRH

Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281
Correo Electrónico: ceirh@unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante:	Rodrigo Alejandro Palacios	**Muestreo:**	26-octubre-2022.
Establecimiento:	Laboratorio de Hidroquímica.	**Recepción:**	28-octubre-2022.
Atención:	Ing. Josseline Nuñez	**Inicio de análisis:**	31-octubre-2022.
Tel:	(504) 2216-6100	**Fin del análisis:**	9-noviembre-2022.
	Ext: 100281	**Informe:**	10-noviembre-2021

Resultado de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de agua, a las que se les determinaron Sulfato, Alcalinidad Total, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Nitratos, Nitritos, Hierro, Manganeso, Plomo, Cobre, Cadmio, pH, Temperatura y Conductividad Las muestras fueron identificadas de la siguiente manera:

Cuadro N°1. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SJAM1	El Corpus (San Juan Arriba)	Calidad de agua potable.

Cuadro N°2. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SJAM1	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	20.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	1.23	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	1.96	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.79	---------	10	mg/L K
	Sodio	6.61	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.03	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	5.31	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.02	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.25	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	2.93	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.04	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.12	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	6.26	---------	---------	-------
	Temperatura	28.10	--------	---------	°C
	Conductividad	101.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUIMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

"La Educación es la Primera Necesidad de La República" Pág 1 de 15

Universidad Nacional Autónoma de Honduras | CIUDAD UNIVERSITARIA | Tegucigalpa M.D.C. Honduras C.A. | www.unah.edu.hn

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°3. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SJAAM	El Corpus (San Juan Arriba)	Calidad de agua potable.

Cuadro N°4. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SJAAM	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	20.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	2.50	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	2.09	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.91	---------	10	mg/L K
	Sodio	6.81	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.11	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	3.10	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.06	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.38	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	28.64	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.00	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.12	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	7.86	---------	---------	-------
	Temperatura	26.50	--------	---------	°C
	Conductividad	118.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUÍMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°5. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SJA4C	El Corpus (San Juan Arriba)	Calidad de agua potable.

Cuadro N°6. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SJA4C	Sulfato	0.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	18.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	3.14	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	2.16	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.94	---------	10	mg/L K
	Sodio	5.27	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.05	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	327.58	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.09	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.36	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	22.63	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.00	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.12	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	8.04	---------	---------	-------
	Temperatura	26.30	--------	---------	°C
	Conductividad	1413.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUÍMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°7. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SL1	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°8. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SL1	Sulfato	3.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	50.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	26.48	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	6.69	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.84	---------	10	mg/L K
	Sodio	11.26	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.06	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	8.85	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.14	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.43	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	4.68	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.06	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.05	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	7.17	---------	---------	-------
	Temperatura	27.50	--------	---------	°C
	Conductividad	309.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUIMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°9. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
SL2	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°10. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
SL2	Sulfato	10.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	95.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	93.25	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	12.86	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	3.66	---------	10	mg/L K
	Sodio	18.98	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.00	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	457.42	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.50	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	1.99	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	21.11	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.08	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	1.57	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	7.23	---------	---------	-------
	Temperatura	27.40	---------	---------	°C
	Conductividad	594.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUÍMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°11. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
RS-04=RS-02	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°12. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
RS-04=RS-02	Sulfato	6.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	70.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	18.07	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	1.60	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	1.20	---------	10	mg/L K
	Sodio	4.77	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.02	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	1.77	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.10	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.43	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	3.76	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.04	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.29	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	8.14	---------	---------	-------
	Temperatura	27.40	--------	---------	°C
	Conductividad	1453.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°13. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
RS-05=RS-01	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°14. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
RS-05=RS-01	Sulfato	7.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	75.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	9.83	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	1.43	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	2.55	---------	10	mg/L K
	Sodio	6.23	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.01	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	1.33	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.09	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.48	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	1.72	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.05	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	N.D.	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	8.00	---------	---------	-------
	Temperatura	27.00	--------	---------	°C
	Conductividad	1454.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°15. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
RCPP	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°16. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
RCPP	Sulfato	2.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	240.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	73.83	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	12.75	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.81	---------	10	mg/L K
	Sodio	23.05	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.03	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	4.43	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.37	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.49	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	4.34	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.09	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.01	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	6.85	---------	---------	-------
	Temperatura	28.60	--------	---------	°C
	Conductividad	1723.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUIMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100 Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°17. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CPT	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°18. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CPT	Sulfato	1.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	160.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	31.45	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	9.46	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.96	---------	10	mg/L K
	Sodio	12.65	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.02	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	3.54	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.13	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.47	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	4.77	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.06	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.05	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	7.14	---------	---------	-------
	Temperatura	28.00	--------	---------	°C
	Conductividad	343.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUIMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°19. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHRPM	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°20. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHRPM	Sulfato	3.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	155.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	54.83	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	7.70	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	4.45	---------	10	mg/L K
	Sodio	22.35	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.02	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	2.21	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.73	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	3.46	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	1.34	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.05	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.05	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	7.10	---------	---------	-------
	Temperatura	27.50	--------	---------	°C
	Conductividad	1691.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°21. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHRPJ	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°22. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHRPJ	Sulfato	1.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	62.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	34.63	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	7.86	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	2.18	---------	10	mg/L K
	Sodio	13.44	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.04	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	6.64	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.31	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	1.02	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	1.28	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.08	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	N.D.	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	6.81	---------	---------	-------
	Temperatura	27.30	--------	---------	°C
	Conductividad	1549.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUÍMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°23. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHR02	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°24. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHR02	Sulfato	3.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	18.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	31.34	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	4.91	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	9.70	---------	10	mg/L K
	Sodio	49.53	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.03	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	287.74	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.05	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.66	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	7.95	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.16	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.17	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	8.65	---------	---------	-------
	Temperatura	30.09	--------	---------	°C
	Conductividad	1590.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

LABORATORIO HIDROQUÍMICA LUCEM ASPICIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS 1847 CEIRH/IHCIT

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°25. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
CHR03	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°26. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
CHR03	Sulfato	4.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	48.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	25.09	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	5.53	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	0.91	---------	10	mg/L K
	Sodio	19.06	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.04	--------	0.1*	mg/L N-NO_2
	Nitratos	3.98	25*	50*	mg/L N-NO_3
	Hierro	0.12	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.50	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	N.D.	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.02	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.11	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	6.67	---------	---------	-------
	Temperatura	29.80	--------	---------	°C
	Conductividad	271.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante: Rodrigo Alejandro Palacios
Establecimiento: Laboratorio de Hidroquímica.
Atención: Ing. Josseline Nuñez
Tel: (504) 2216-6100
Ext: 100281

Muestreo: 26-octubre-2022.
Recepción: 28-octubre-2022.
Inicio de análisis: 31-octubre-2022.
Fin del análisis: 9-noviembre-2022.
Informe: 10-noviembre-2021

Cuadro N°27. Identificación

Código CEIRH	Descripción (Código y nombre)	Propósito de muestreo
RS-06	El Corpus	Calidad de agua potable.

Cuadro N°28. Resultados Época Lluviosa 2022

Código CEIRH	Parámetro de medición	Resultado	Valor Recomendado	Valor máx. admisible	Unidades
RS-06	Sulfato	2.00	25	250	mg/L SO_4^{2-}
	Alcalinidad Total	18.00	--------	--------	mg/L $CaCO_3$
	Calcio	13.46	100	---------	mg/L $CaCO_3$
	Magnesio	2.37	30	50	mg/L $CaCO_3$
	Potasio	1.51	---------	10	mg/L K
	Sodio	8.17	25	200	mg/L Na
	Nitritos	0.02	--------	0.1*	mg/L $N\text{-}NO_2$
	Nitratos	1.33	25*	50*	mg/L $N\text{-}NO_3$
	Hierro	0.18	---------	0.3	mg/L Fe
	Manganeso	0.65	0.01	0.5	mg/L Mn
	Plomo	8.63	---------	0.01	µg/L Pb
	Cobre	0.32	1	2	mg/L Cu
	Cadmio	0.32	---------	0.003	µg/L Cd
	pH	7.98	---------	---------	-------
	Temperatura	25.40	--------	---------	°C
	Conductividad	1426.00	400	--------	µS

N.D: No determinado.; N.R: No Realizado

INFORME DE ANÁLISIS

Solicitante:	Rodrigo Alejandro Palacios	**Muestreo:**	26-octubre-2022.
Establecimiento:	Laboratorio de Hidroquímica.	**Recepción:**	28-octubre-2022.
Atención:	Ing. Josseline Nuñez	**Inicio de análisis:**	31-octubre-2022.
Tel:	(504) 2216-6100	**Fin del análisis:**	9-noviembre-2022.
	Ext: 100281	**Informe:**	10-noviembre-2021

NOTAS:

1. La muestra fue tomada por Dennin Vásquez y Rodrigo Palacios y traslada al laboratorio por Dennin Vásquez y Rodrigo Palacios.
2. Dirección del cliente: Tegucigalpa Colonia Universidad Norte
3. Metodología empleada Norma Técnica de Calidad de Agua Potable para Honduras. (Ministerio de Salud, 1995)
4. Este informe no podrá ser modificada en forma parcial o total sin la aprobación del CEIRH.
5. Los resultados de este informe se refieren solamente a la muestra descrita en el mismo.
6. Para cualquier consulta referirse al Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico.

Revisado por: _____ Aprobado por: _____

Josseline Nuñez
Jefa de Laboratorio

Tania Peña
Coordinadora CEIRH.

12.6 Resultados de análisis de laboratorio de cloruro en época seca. Llevados a cabo en Laboratorio de Análisis Clínico MQ, Honduras.

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 1 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SL1
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	3:57 p.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 543	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	1,9	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 2 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	RCPP
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	7:35 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 544	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	2,4	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 3 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SJA4C
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	12:08 p.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 545	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	11,5	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,71 mg/L

OHA ENSAYOS N° EMS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 4 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	RS-04
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	6:50 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 546	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	6,7	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 5 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	RS-06
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	1:20 p.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 547	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	6,22	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 6 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SJAAM
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	11:20 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 548	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	6,22	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 7 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHPPN
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	11:42 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 549	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	16,3	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,73 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 8 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHRPJ
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	9:50 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 550	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	10,53	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,70 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 9 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CPT
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	7:47 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 551	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	1,9	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 10 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	RS-02
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	6:25 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 552	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	3,3	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 11 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	ENPP
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	2:00 p.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 553	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	3,4	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 12 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHRPM
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	9:15 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 554	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	25,8	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,78 mg/L

OHA ENSAYOS N° EMS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 13 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SL2
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	3:44 p.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 555	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	11,0	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,70 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 14 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SJAM1
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	9:58 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 556	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	1,91	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 15 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHR03
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	11:25 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 557	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	6,7	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 16 de 16 Correlativo: 22 412

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHR02
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de abril de 2022
Fecha de recibo	29 de abril de 2022	Hora de muestreo:	10:10 a.m.
Fecha de análisis	29/04-04 de mayo de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	04 de mayo de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	91 558	Cantidad de muestra:	250 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	16,3	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,73 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

12.7 Resultados de análisis de laboratorio de cloruro en época lluviosa. Llevados a cabo en Laboratorio de Análisis Clínico MQ, Honduras.

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 1 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHRPM
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 436	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	25,8	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,78 mg/L

OHA ENSAYOS

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 2 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SJAAM
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 437	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	4,78	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° EMS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 3 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SJA4C
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 438	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	4,30	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** **Ver alcance en oha.hondurascalidad.org**

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° EMS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 4 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	RS-06
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 439	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	8,10	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,70 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 5 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CPT
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 440	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	6,69	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 6 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHRPJ
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 441	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	7,10	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 7 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SJAM1
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 442	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	5,73	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 8 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	RCPP
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 443	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	9,1	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,70 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 9 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHR-03
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 444	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	11,47	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,71 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 10 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	RS-O4N
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 445	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	4,78	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 11 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SL1
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 446	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	6,69	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 12 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	SL2
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 447	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	30,6	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,82 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 13 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	RSO5NZ
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 448	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	5,26	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 0,69 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

Laboratorio de Análisis Industriales MQ	**INFORME DE ENSAYOS** Colonia Matamoros frente a Hospital Nacional el Diabético, Tegucigalpa Honduras. *Telefax: 2221- 0242* info@lab mq.com	Código: RT-26 Versión: Tercera Página 14 de 14 Correlativo: 23 765

Cliente	Rodrigo Alejandro Palacios	Tipo de muestra	Agua superficial
Contacto	Rodrigo Palacios	Punto de muestreo	CHR-02
Dirección	Colonia Universitaria Norte	Responsable muestreo	Rodrigo Palacios
Teléfono	8969-0337	Fecha de muestreo:	27 de octubre de 2022
Fecha de recibo	08 de noviembre de 2022	Hora de muestreo:	N/A
Fecha de análisis	08-11 de noviembre de 2022	Entregada por:	Rodrigo Palacios
Fecha de informe	11 de noviembre de 2022	Numero de muestras	1
N°laboratorio	95 449	Cantidad de muestra:	500 mL
Preservación	Hielo	Tipo de envase:	Plástico

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Cloruros *	83,2	mg/L Cl	ME 4500-Cl B

Observaciones:

* **Ensayo acreditado** Ver alcance en oha.hondurascalidad.org

** **Ensayo no acreditado**

ENSAYO	*Incertidumbre k=2 Límite de confianza 95 %*
Cloruros *	± 1,39 mg/L

OHA ENSAYOS N° ENS-001

ME: Métodos de Ensayo según el Text Standard Methods for Examination of Water and Waste Water 23ND Edition

Firma responsable
Patricia Villafranca

El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h. después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte.
Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente.
Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe
RTNMQ 08019995332108

12.8 Resultados de análisis de laboratorio de Hg-total en sedimentos en época seca. Llevados a cabo en Eurofins, Estados Unidos.

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

10 March 2022

Kristine Balslev
Appel Global
Emdrup Mosevej 3
Copenhagen NV, 2400 Denmark

RE: Mercury Speciation

Enclosed are the analytical results for samples received by Eurofins Frontier Global Sciences. All quality control measurements are within established control limits and there were no analytical difficulties encountered with the exception of those listed in the case narrative section of this report.

If you have any questions concerning this report, please feel free to contact me.

Sincerely,

Patrick Garcia-Strickland
Business Unit Manager

Page 1 of 21

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

ANALYTICAL REPORT FOR SAMPLES

Sample ID	Laboratory ID	Matrix	Date Sampled	Date Received
CHR 01	2B00007-01	Soil/Sediment	17-Jan-22 10:20	23-Feb-22 11:57
CHR 02	2B00007-02	Soil/Sediment	17-Jan-22 10:40	23-Feb-22 11:57
CHR 03	2B00007-03	Soil/Sediment	17-Jan-22 11:45	23-Feb-22 11:57
RS-01	2B00007-04	Soil/Sediment	17-Jan-22 16:28	23-Feb-22 11:57
RS-02	2B00007-05	Soil/Sediment	17-Jan-22 17:20	23-Feb-22 11:57
SM-062	2B00007-06	Soil/Sediment	18-Jan-22 11:00	23-Feb-22 11:57
SM-063	2B00007-07	Soil/Sediment	18-Jan-22 11:40	23-Feb-22 11:57
SM-064	2B00007-08	Soil/Sediment	18-Jan-22 12:20	23-Feb-22 11:57
RS-06	2B00007-09	Soil/Sediment	18-Jan-22 14:20	23-Feb-22 11:57
RS-05	2B00007-10	Soil/Sediment	18-Jan-22 17:20	23-Feb-22 11:57
RS-06	2B00007-11	Soil/Sediment	18-Jan-22 17:40	23-Feb-22 11:57
RS-04	2B00007-12	Soil/Sediment	18-Jan-22 18:00	23-Feb-22 11:57

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

SAMPLE RECEIPT

Samples were received at Eurofins Frontier Global Sciences (EFGS) on 23-Feb-22 11:57. The samples were received intact, on-ice within a sealed cooler at

Cooler	Temp C°
Default Cooler	3.1

SAMPLE PREPARATION AND ANALYSIS

Total solids analysis was performed in accordance with method SM2540B. Total solids are prepared at the same time as the preparation for the analyte(s) of interest in order to provide the most accurate dry mass correction which may be outside of the method recommended holding time of 7 days from sample collection.

Total mercury and free elemental mercury preparation and analysis was performed by flow injection atomic fluorescence spectrometry (FI-AFS) in accordance with EPA 1631B.

ANALYTICAL AND QUALITY CONTROL ISSUES

Method blanks were prepared for every preparation to assess possible blank contribution from the sample preparation procedure. The method blanks were carried through the entire analytical procedure. All blanks fell within the established acceptance criteria with the exception of any items narrated above or flagged and described in the notes and definitions section of the report.

Liquid spikes, certified reference material (CRM) or a quality control samples (QCS) were prepared for every preparation as a measure of accuracy. All liquid spikes, CRMs and/or QCS samples fell within the established acceptance criteria with the exception of any items narrated above or flagged and described in the notes and definitions section of the report.

As an additional measure of the accuracy of the methods used and to check for matrix interference, matrix spikes (MS) and matrix spike duplicates (MSD) were digested and analyzed. All of the matrix spike recoveries fell within the established acceptance criteria with the exception of any items flagged and described in the notes and definitions section of the report.

A reasonable measure of the precision of the analytical methods is the relative percent difference (RPD) between a matrix spike recovery

and a matrix spike duplicate recovery and between laboratory control sample recovery and laboratory control sample duplicate recoveries. All of the relative percent differences fell within established acceptance criteria with the exception of any items flagged and described in the notes and definitions section of the report.

File Not Found: Work\2B\2B00007_COC_00.pdf

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

CHR 01

2B00007-01

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**15700**	-	560	ng/g dry	10000	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**81.4**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	**12.3**	-	4.97	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

CHR 02

2B00007-02

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**30400**	-	692	ng/g dry	10000	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**65.5**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.52	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

CHR 03

2B00007-03

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**18500**	-	608	ng/g dry	10000	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**74.6**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.97	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

RS-01

2B00007-04

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**60.2**	-	6.11	ng/g dry	100	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**78.7**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.52	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

RS-02

2B00007-05

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**52.1**	-	5.84	ng/g dry	100	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**81.3**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.91	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

SM-062

2B00007-06

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**9950**	-	174	ng/g dry	2500	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**68.5**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	**5.91**	-	4.83	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

SM-063

2B00007-07

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**9650**	-	635	ng/g dry	10000	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**76.1**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.68	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

SM-064

2B00007-08

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**6610**	-	661	ng/g dry	10000	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**72.8**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.46	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

RS-06

2B00007-09

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**421**	-	12.1	ng/g dry	200	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**78.8**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.57	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

RS-05

2B00007-10

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**224**	-	11.4	ng/g dry	200	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**80.9**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.83	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

RS-06

2B00007-11

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**114**	-	12.6	ng/g dry	200	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**76.5**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.87	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

RS-04

2B00007-12

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Dilution	Batch	Prepared	Sequence	Analyzed	Method	Notes
Sample Preparation: EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Mercury	**197**	-	10.8	ng/g dry	200	F203391	01-Mar-22	2C09015	05-Mar-22	EPA 1631B	
Sample Preparation: EFGS SOP5133 Solids Analysis											
% Solids	**85.1**	-	0.1	% by Weight	1	F203392	01-Mar-22		02-Mar-22	SM 2540B	O-04, O-09
Sample Preparation: Miscellaneous Preparation AFS											
Mercury (0)	ND	-	4.54	ng/g	100	F203390	01-Mar-22	2C09014	05-Mar-22	EPA 1631 Mod	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

Quality Control Data

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Spike Level	Source Result	%REC	%REC Limits	RPD	RPD Limit	Notes
Batch F203390 - Miscellaneous Preparation AFS											
Blank (F203390-BLK1)					Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury (0)	ND	-	5.00	ng/g							
Blank (F203390-BLK2)					Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury (0)	ND	-	5.00	ng/g							
Blank (F203390-BLK3)					Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury (0)	ND	-	5.00	ng/g							
Duplicate (F203390-DUP1)		**Source: 2B00007-01RE1**			Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury (0)	8.04	-	4.72	ng/g		12.33			42.1	24	QR-04
Duplicate (F203390-DUP2)		**Source: 2B00007-02RE1**			Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury (0)	1.36	-	4.68	ng/g		2.06			40.6	24	QR-04
Batch F203391 - EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
Blank (F203391-BLK1)					Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	ND	-	1.00	ng/g wet							U
Blank (F203391-BLK2)					Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	ND	-	1.00	ng/g wet							U
Blank (F203391-BLK3)					Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	ND	-	1.00	ng/g wet							U
LCS (F203391-BS1)					Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	387.6	-	20.0	ng/g wet	401.60		96.5	75-125			

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

Quality Control Data

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Spike Level	Source Result	%REC	%REC Limits	RPD	RPD Limit	Notes
Batch F203391 - EFGS SOP2807 Cold Aqua Regia Digestion for Hg											
LCS Dup (F203391-BSD1)					Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	382.5	-	20.0	ng/g wet	401.60		95.2	75-125	1.31	24	
Matrix Spike (F203391-MS1)		**Source: 2B00007-01RE1**			Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	27420	-	606	ng/g dry	486.75	15650	2420	71-125			QM-02
Matrix Spike (F203391-MS2)		**Source: 2B00007-02RE1**			Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	31910	-	743	ng/g dry	596.66	30430	249	71-125			QM-02
Matrix Spike Dup (F203391-MSD1)		**Source: 2B00007-01RE1**			Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	20160	-	558	ng/g dry	448.35	15650	1000	71-125	82.5	24	QM-02, QR-08
Matrix Spike Dup (F203391-MSD2)		**Source: 2B00007-02RE1**			Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 05-Mar-22						
Mercury	29060	-	713	ng/g dry	572.80	30430	-238	71-125	8980	24	QM-02, QR-08

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

Quality Control Data

Analyte	Result	Detection Limit	Reporting Limit	Units	Spike Level	Source Result	%REC	%REC Limits	RPD	RPD Limit	Notes
Batch F203392 - EFGS SOP5133 Solids Analysis											
Duplicate (F203392-DUP1)		**Source: 2B00007-01**			Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 02-Mar-22						
% Solids	80.8	-	0.1	% by Weight		81.4			0.740	10	
Duplicate (F203392-DUP2)		**Source: 2B00007-02**			Prepared: 01-Mar-22 Analyzed: 02-Mar-22						
% Solids	64.1	-	0.1	% by Weight		65.5			2.16	10	

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

eurofins | Frontier Global Sciences

5755 8th Street East
Tacoma, WA 98424
Phone: (253) 922-2310

Appel Global	Project: Mercury Speciation	
Emdrup Mosevej 3	Project Number: Mercury Speciation	**Reported:**
Copenhagen NV 2400, Denmark	Project Manager: Kristine Balslev	10-Mar-22 10:08

Notes and Definitions

U	Analyte was not detected and is reported as less than the LOD or as defined by the client. The LOD has been adjusted for any dilution or concentration of the sample.
QR-08	The RPD value for the MS/MSD was outside of acceptance limits. Batch QC acceptable based on matrix duplicate and/or LCS/LCSD RPD values within control limits.
QR-04	RPD and/or RSD value exceeded control limit. Sample concentrations less than 5 times the reporting limit and the difference between the QC values was less than 1 time the reporting limit.
QM-02	The MS and/or MSD recoveries outside acceptance limits, due to spike concentration less than 1 times the sample concentration. The batch was accepted based on LCS and LCSD recoveries within control limits and, when analysis permits, acceptable AS/ASD.
O-09	Total Solids are prepared at the same time as the preparation for the analyte(s) of interest in order to provide the most accurate dry mass correction.
O-04	This sample was analyzed outside of the recommended holding time.
DET	Analyte DETECTED
ND	Analyte NOT DETECTED at or above the method detection limit if reported to the MDL or above the reporting limit if reported to the MRL.
NR	Not Reported
dry	Sample results reported on a dry weight basis
RPD	Relative Percent Difference

Eurofins Frontier Global Sciences, LLC

The results in this report only apply to the samples analyzed in accordance with the chain of custody document. This analytical report must be reproduced in its entirety.

Patrick Garcia-Strickland, Business Unit Manager

12.9 Resultados de análisis de laboratorio de Hg-total en sedimentos en época lluviosa. Llevados a cabo en Eurofins, Estados Unidos.

eurofins | Environment Testing

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

ANALYTICAL REPORT

PREPARED FOR

Attn: Joe Ryan
Appel Global
Emdrup Mosevej 3
Copenhagen Denmark

Generated 11/23/2022 7:41:22 AM

JOB DESCRIPTION

LLHg by EPA 1631

JOB NUMBER

580-120092-1

Eurofins Seattle
5755 8th Street East
Tacoma WA 98424

my EOL

Table of Contents

Cover Page 1
Table of Contents 2
Case Narrative 3
Definitions 4
Client Sample Results 5
QC Sample Results 27
Chronicle 29
Certification Summary 33
Sample Summary 36
Chain of Custody 37
Receipt Checklists 42
Appendix 43

Job ID: 580-120092-1

Laboratory: Eurofins Seattle

Narrative

Job Narrative
580-120092-1

Receipt
The samples were received on 11/16/2022 9:30 AM and 11/16/2022 2:07 PM. Unless otherwise noted below, the samples arrived in good condition, and, where required, properly preserved and on ice. The temperature of the cooler at receipt time was 14.3°C

Metals
Method 1631B: Due to the high concentration of Mercury, the matrix spike / matrix spike duplicate (MS/MSD) for preparation batch 580-410501 and analytical batch 580-410781 could not be evaluated for accuracy and precision. The associated laboratory control sample (LCS) met acceptance criteria.

No additional analytical or quality issues were noted, other than those described above or in the Definitions/ Glossary page.

General Chemistry
No additional analytical or quality issues were noted, other than those described above or in the Definitions/ Glossary page.

Definitions/Glossary

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Qualifiers

Metals

Qualifier	Qualifier Description
4	MS, MSD: The analyte present in the original sample is greater than 4 times the matrix spike concentration; therefore, control limits are not applicable.

General Chemistry

Qualifier	Qualifier Description
H	Sample was prepped or analyzed beyond the specified holding time
H3	Sample was received and analyzed past holding time.

Glossary

Abbreviation	These commonly used abbreviations may or may not be present in this report.
¤	Listed under the "D" column to designate that the result is reported on a dry weight basis
%R	Percent Recovery
CFL	Contains Free Liquid
CFU	Colony Forming Unit
CNF	Contains No Free Liquid
DER	Duplicate Error Ratio (normalized absolute difference)
Dil Fac	Dilution Factor
DL	Detection Limit (DoD/DOE)
DL, RA, RE, IN	Indicates a Dilution, Re-analysis, Re-extraction, or additional Initial metals/anion analysis of the sample
DLC	Decision Level Concentration (Radiochemistry)
EDL	Estimated Detection Limit (Dioxin)
LOD	Limit of Detection (DoD/DOE)
LOQ	Limit of Quantitation (DoD/DOE)
MCL	EPA recommended "Maximum Contaminant Level"
MDA	Minimum Detectable Activity (Radiochemistry)
MDC	Minimum Detectable Concentration (Radiochemistry)
MDL	Method Detection Limit
ML	Minimum Level (Dioxin)
MPN	Most Probable Number
MQL	Method Quantitation Limit
NC	Not Calculated
ND	Not Detected at the reporting limit (or MDL or EDL if shown)
NEG	Negative / Absent
POS	Positive / Present
PQL	Practical Quantitation Limit
PRES	Presumptive
QC	Quality Control
RER	Relative Error Ratio (Radiochemistry)
RL	Reporting Limit or Requested Limit (Radiochemistry)
RPD	Relative Percent Difference, a measure of the relative difference between two points
TEF	Toxicity Equivalent Factor (Dioxin)
TEQ	Toxicity Equivalent Quotient (Dioxin)
TNTC	Too Numerous To Count

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR 01

Date Collected: 10/27/22 17:55
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-1

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	21	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	79	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR 01
Date Collected: 10/27/22 17:55
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-1
Matrix: Solid
Percent Solids: 79.5

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	7100		140	16	ng/g	¤	11/18/22 15:35	11/21/22 18:39	2500

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR 02

Date Collected: 10/27/22 16:45
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-2

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	22	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	78	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR 02
Date Collected: 10/27/22 16:45
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-2
Matrix: Solid
Percent Solids: 78.0

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	11000		320	35	ng/g	☼	11/18/22 15:35	11/21/22 18:43	5000

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR 03

Date Collected: 10/28/22 11:30
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-3

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	22	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	78	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR 03
Date Collected: 10/28/22 11:30
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-3
Matrix: Solid
Percent Solids: 77.9

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	4400		150	17	ng/g	☼	11/18/22 15:35	11/21/22 15:38	2500

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-01
Date Collected: 10/27/22 13:18
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-4
Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	21	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	79	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-01
Date Collected: 10/27/22 13:18
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-4
Matrix: Solid
Percent Solids: 78.9

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	150		12	1.3	ng/g	☼	11/18/22 15:35	11/21/22 18:47	200

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: SM 062

Date Collected: 10/26/22 15:15
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-5

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	24	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	76	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: SM 062
Date Collected: 10/26/22 15:15
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-5
Matrix: Solid
Percent Solids: 75.6

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	270		12	1.3	ng/g	☼	11/18/22 15:35	11/21/22 15:42	200

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: SM063

Date Collected: 10/26/22 15:09
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-6

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	25	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	75	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: SM063
Date Collected: 10/26/22 15:09
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-6
Matrix: Solid
Percent Solids: 75.0

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	180		12	1.3	ng/g	☼	11/18/22 15:35	11/21/22 17:27	200

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: SM 064

Date Collected: 10/26/22 13:53
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-7

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	22	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	78	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: SM 064
Date Collected: 10/26/22 13:53
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-7
Matrix: Solid
Percent Solids: 78.1

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	190		13	1.4	ng/g	¤	11/18/22 15:35	11/21/22 17:31	200

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-06

Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-8

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	20	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	80	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-06
Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-8
Matrix: Solid
Percent Solids: 80.2

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	110		5.9	0.65	ng/g	¤	11/18/22 15:35	11/21/22 17:02	100

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-05 N

Date Collected: 10/27/22 14:28
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-9

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	23	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	77	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-05 N
Date Collected: 10/27/22 14:28
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-9
Matrix: Solid
Percent Solids: 77.5

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	170		12	1.3	ng/g	☼	11/18/22 15:35	11/21/22 17:35	200

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-06 N

Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-10

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	24	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	76	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-06 N
Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-10
Matrix: Solid
Percent Solids: 76.3

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	100		12	1.3	ng/g	¤	11/18/22 15:35	11/21/22 17:39	200

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR031

Date Collected: 10/27/22 11:56
Date Received: 11/16/22 09:30

Lab Sample ID: 580-120092-11

Matrix: Solid

General Chemistry

Analyte	Result	Qualifier	RL	RL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Percent Moisture (SM Moisture - 2540)	23	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1
Percent Solids (SM Moisture - 2540)	77	H H3	0.10	0.10	%			11/18/22 15:23	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR031
Date Collected: 10/27/22 11:56
Date Received: 11/16/22 09:30

Lab Sample ID: 580-120092-11
Matrix: Solid
Percent Solids: 77.0

Method: EPA 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	6300		160	18	ng/g	☼	11/18/22 15:35	11/21/22 17:57	2500

QC Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Method: 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Lab Sample ID: MB 580-410501/1-A — **Client Sample ID: Method Blank**
Matrix: Solid — **Prep Type: Total/NA**
Analysis Batch: 410781 — **Prep Batch: 410501**

Analyte	MB Result	MB Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	ND		1.0	0.11	ng/g		11/18/22 15:35	11/21/22 14:19	20

Lab Sample ID: MB 580-410501/2-A — **Client Sample ID: Method Blank**
Matrix: Solid — **Prep Type: Total/NA**
Analysis Batch: 410781 — **Prep Batch: 410501**

Analyte	MB Result	MB Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	ND		1.0	0.11	ng/g		11/18/22 15:35	11/21/22 14:23	20

Lab Sample ID: MB 580-410501/3-A — **Client Sample ID: Method Blank**
Matrix: Solid — **Prep Type: Total/NA**
Analysis Batch: 410781 — **Prep Batch: 410501**

Analyte	MB Result	MB Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	ND		1.0	0.11	ng/g		11/18/22 15:35	11/21/22 14:27	20

Lab Sample ID: LCS 580-410501/4-A — **Client Sample ID: Lab Control Sample**
Matrix: Solid — **Prep Type: Total/NA**
Analysis Batch: 410781 — **Prep Batch: 410501**

Analyte	Spike Added	LCS Result	LCS Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits
Mercury	402	397		ng/g		99	75 - 125

Lab Sample ID: LCSD 580-410501/5-A — **Client Sample ID: Lab Control Sample Dup**
Matrix: Solid — **Prep Type: Total/NA**
Analysis Batch: 410781 — **Prep Batch: 410501**

Analyte	Spike Added	LCSD Result	LCSD Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits	RPD	RPD Limit
Mercury	402	362		ng/g		90	75 - 125	9	24

Lab Sample ID: 580-120092-3 MS — **Client Sample ID: CHR 03**
Matrix: Solid — **Prep Type: Total/NA**
Analysis Batch: 410781 — **Prep Batch: 410501**

Analyte	Sample Result	Sample Qualifier	Spike Added	MS Result	MS Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits
Mercury	4400		480	4020	4	ng/g	☼	-85	71 - 125

Lab Sample ID: 580-120092-3 MSD — **Client Sample ID: CHR 03**
Matrix: Solid — **Prep Type: Total/NA**
Analysis Batch: 410781 — **Prep Batch: 410501**

Analyte	Sample Result	Sample Qualifier	Spike Added	MSD Result	MSD Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits	RPD	RPD Limit
Mercury	4400		493	3690	4	ng/g	☼	-149	71 - 125	9	24

Lab Sample ID: 580-120092-5 MS — **Client Sample ID: SM 062**
Matrix: Solid — **Prep Type: Total/NA**
Analysis Batch: 410781 — **Prep Batch: 410501**

Analyte	Sample Result	Sample Qualifier	Spike Added	MS Result	MS Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits
Mercury	270		491	872		ng/g	☼	124	71 - 125

QC Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Method: 1631B - Mercury, Low Level (CVAFS)

Lab Sample ID: 580-120092-5 MSD
Matrix: Solid
Analysis Batch: 410781

Client Sample ID: SM 062
Prep Type: Total/NA
Prep Batch: 410501

Analyte	Sample Result	Sample Qualifier	Spike Added	MSD Result	MSD Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits	RPD	RPD Limit
Mercury	270		495	819		ng/g	☼	112	71 - 125	6	24

Method: Moisture - 2540 - Percent Moisture

Lab Sample ID: 580-120092-1 DU
Matrix: Solid
Analysis Batch: 410531

Client Sample ID: CHR 01
Prep Type: Total/NA

Analyte	Sample Result	Sample Qualifier	DU Result	DU Qualifier	Unit	D			RPD	RPD Limit
Percent Moisture	21	H H3	18		%				12	20
Percent Solids	79	H H3	82		%				3	20

Lab Sample ID: 580-120092-2 DU
Matrix: Solid
Analysis Batch: 410531

Client Sample ID: CHR 02
Prep Type: Total/NA

Analyte	Sample Result	Sample Qualifier	DU Result	DU Qualifier	Unit	D			RPD	RPD Limit
Percent Moisture	22	H H3	25		%				13	20
Percent Solids	78	H H3	75		%				4	20

Lab Chronicle

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: CHR 01 — **Lab Sample ID: 580-120092-1**
Date Collected: 10/27/22 17:55 — **Matrix: Solid**
Date Received: 11/16/22 14:07

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Client Sample ID: CHR 01 — **Lab Sample ID: 580-120092-1**
Date Collected: 10/27/22 17:55 — **Matrix: Solid**
Date Received: 11/16/22 14:07 — **Percent Solids: 79.5**

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		2500	410781	COW	EET SEA	11/21/22 18:39

Client Sample ID: CHR 02 — **Lab Sample ID: 580-120092-2**
Date Collected: 10/27/22 16:45 — **Matrix: Solid**
Date Received: 11/16/22 14:07

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Client Sample ID: CHR 02 — **Lab Sample ID: 580-120092-2**
Date Collected: 10/27/22 16:45 — **Matrix: Solid**
Date Received: 11/16/22 14:07 — **Percent Solids: 78.0**

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		5000	410781	COW	EET SEA	11/21/22 18:43

Client Sample ID: CHR 03 — **Lab Sample ID: 580-120092-3**
Date Collected: 10/28/22 11:30 — **Matrix: Solid**
Date Received: 11/16/22 14:07

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Client Sample ID: CHR 03 — **Lab Sample ID: 580-120092-3**
Date Collected: 10/28/22 11:30 — **Matrix: Solid**
Date Received: 11/16/22 14:07 — **Percent Solids: 77.9**

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		2500	410781	COW	EET SEA	11/21/22 15:38

Client Sample ID: RS-01 — **Lab Sample ID: 580-120092-4**
Date Collected: 10/27/22 13:18 — **Matrix: Solid**
Date Received: 11/16/22 14:07

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Lab Chronicle

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-01
Date Collected: 10/27/22 13:18
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-4
Matrix: Solid
Percent Solids: 78.9

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		200	410781	COW	EET SEA	11/21/22 18:47

Client Sample ID: SM 062
Date Collected: 10/26/22 15:15
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-5
Matrix: Solid

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Client Sample ID: SM 062
Date Collected: 10/26/22 15:15
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-5
Matrix: Solid
Percent Solids: 75.6

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		200	410781	COW	EET SEA	11/21/22 15:42

Client Sample ID: SM063
Date Collected: 10/26/22 15:09
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-6
Matrix: Solid

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Client Sample ID: SM063
Date Collected: 10/26/22 15:09
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-6
Matrix: Solid
Percent Solids: 75.0

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		200	410781	COW	EET SEA	11/21/22 17:27

Client Sample ID: SM 064
Date Collected: 10/26/22 13:53
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-7
Matrix: Solid

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Lab Chronicle

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: SM 064
Date Collected: 10/26/22 13:53
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-7
Matrix: Solid
Percent Solids: 78.1

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		200	410781	COW	EET SEA	11/21/22 17:31

Client Sample ID: RS-06
Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-8
Matrix: Solid

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Client Sample ID: RS-06
Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-8
Matrix: Solid
Percent Solids: 80.2

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		100	410781	COW	EET SEA	11/21/22 17:02

Client Sample ID: RS-05 N
Date Collected: 10/27/22 14:28
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-9
Matrix: Solid

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Client Sample ID: RS-05 N
Date Collected: 10/27/22 14:28
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-9
Matrix: Solid
Percent Solids: 77.5

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		200	410781	COW	EET SEA	11/21/22 17:35

Client Sample ID: RS-06 N
Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:07

Lab Sample ID: 580-120092-10
Matrix: Solid

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Lab Chronicle

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Client Sample ID: RS-06 N

Lab Sample ID: 580-120092-10
Date Collected: 10/27/22 10:57
Matrix: Solid
Date Received: 11/16/22 14:07
Percent Solids: 76.3

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		200	410781	COW	EET SEA	11/21/22 17:39

Client Sample ID: CHR031

Lab Sample ID: 580-120092-11
Date Collected: 10/27/22 11:56
Matrix: Solid
Date Received: 11/16/22 09:30

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	Moisture - 2540		1	410531	D1C	EET SEA	11/18/22 15:23

Client Sample ID: CHR031

Lab Sample ID: 580-120092-11
Date Collected: 10/27/22 11:56
Matrix: Solid
Date Received: 11/16/22 09:30
Percent Solids: 77.0

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Prep	1631B CAR Prep			410501	COW	EET SEA	11/18/22 15:35
Total/NA	Analysis	1631B		2500	410781	COW	EET SEA	11/21/22 17:57

Laboratory References:
EET SEA = Eurofins Seattle, 5755 8th Street East, Tacoma, WA 98424, TEL (253)922-2310

Accreditation/Certification Summary

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Laboratory: Eurofins Seattle

Unless otherwise noted, all analytes for this laboratory were covered under each accreditation/certification below.

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
Alaska (UST)	State	20-004	02-19-25

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

ANAB	Dept. of Defense ELAP	L2236	01-19-25

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

ANAB	Dept. of Energy	L2236	01-19-25

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

ANAB	ISO/IEC 17025	L2236	01-19-25

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Arkansas DEQ	State	8801526	05-23-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631B	1631B CAR Prep	Solid	Mercury
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

California	State	2954	07-07-22 *
Florida	NELAP	E87575	06-30-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Louisiana	NELAP	03073	06-30-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Maine	State	WA01273	05-02-24

* Accreditation/Certification renewal pending - accreditation/certification considered valid.

Laboratory: Eurofins Seattle (Continued)

Unless otherwise noted, all analytes for this laboratory were covered under each accreditation/certification below.

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
Montana (UST)	State	NA	04-14-27

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631B	1631B CAR Prep	Solid	Mercury
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
New Jersey	NELAP	WA014	06-30-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631B	1631B CAR Prep	Solid	Mercury
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
New York	NELAP	11662	04-01-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631B	1631B CAR Prep	Solid	Mercury
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
Oregon	NELAP	4167	07-08-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
US Fish & Wildlife	US Federal Programs	A20571	06-30-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631B	1631B CAR Prep	Solid	Mercury
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
USDA	US Federal Programs	P330-20-00031	12-31-22

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631B	1631B CAR Prep	Solid	Mercury
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Laboratory: Eurofins Seattle (Continued)

Unless otherwise noted, all analytes for this laboratory were covered under each accreditation/certification below.

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
Washington	State	C788	07-13-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631B	1631B CAR Prep	Solid	Mercury
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Wisconsin	State	399133460	08-31-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
Moisture - 2540		Solid	Percent Moisture
Moisture - 2540		Solid	Percent Solids

Sample Summary

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120092-1

Lab Sample ID	Client Sample ID	Matrix	Collected	Received
580-120092-1	CHR 01	Solid	10/27/22 17:55	11/16/22 14:07
580-120092-2	CHR 02	Solid	10/27/22 16:45	11/16/22 14:07
580-120092-3	CHR 03	Solid	10/28/22 11:30	11/16/22 14:07
580-120092-4	RS-01	Solid	10/27/22 13:18	11/16/22 14:07
580-120092-5	SM 062	Solid	10/26/22 15:15	11/16/22 14:07
580-120092-6	SM063	Solid	10/26/22 15:09	11/16/22 14:07
580-120092-7	SM 064	Solid	10/26/22 13:53	11/16/22 14:07
580-120092-8	RS-06	Solid	10/27/22 10:57	11/16/22 14:07
580-120092-9	RS-05 N	Solid	10/27/22 14:28	11/16/22 14:07
580-120092-10	RS-06 N	Solid	10/27/22 10:57	11/16/22 14:07
580-120092-11	CHR031	Solid	10/27/22 11:56	11/16/22 09:30

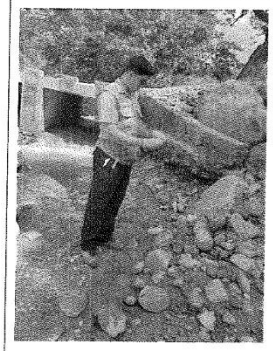
Chain of Custody & Sampling Site info on Sampile River Watershed & Tailing Ponds

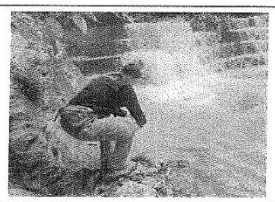
#	Site/GPS code	Site Description	Date/ Time	Custody Responsible	Elev.	Phys-chemical properties			Site Photo
						pH	Conductivity in µS/cm	Temp. (C°)	
1	CHR 01	***Lowest*** tailings receiving pond below 3 Rastras; Chaguite village at Victor's restaurant (*Sta. Ana de Yusguare*)	27/10/22 5:55 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator.	112 MASL	8.11	1616	29.8	
2	CHR 02	***Middle*** tailings receiving pond below 3 Rastras; Chaguite village at Victor's restaurant	27/10/22 4:45 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	127 MASL	8.65	1590	30.9	580-120092 Chain of Custody

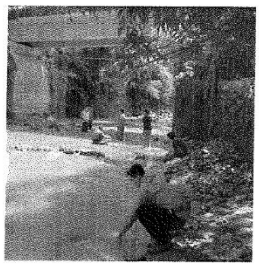
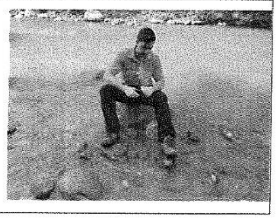
11/16/22 c13c

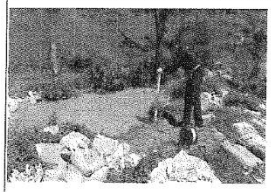
13.9 D.y 4 14.3 cy Blu Blu Jar

Page 1 of 5

3	**CHR 03**	Chaguite village ,Upper and newest tailings ponds.	28/10/22 11:30 a.m	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	113 MASL	8.30	516	32.5	
4	**RS-01**	Sampile River near bridge and adjacent to El Naranjal community; Sampling depth between 1.5m1.7m.	27/10/22 1:18 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	81 MASL	8.14	1453	28.6	

5	**SM 062**	San Juan Arriba 1st retention dam receiving tailings discharges from 190+ rastras, 60m below bridge at San Juan Arriba	26/10/22 3:15 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	508 MASL	7.84	1122	25.2	
6	**SM063**	San Juan Arriba 2nd retention dam 60m below 1st retention dam receiving tailings discharges from rastras.	26/10/22 3:09 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	428 MASL	7.87	1413	26.3	
7	**SM 064**	San Juan Arriba 3rd (final) retention dam, 60 m downstream from 2nd retention dam	26/10/22 1:53 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	438 MASL	7.85	1165	26.4	

8	**RS-06**	San Juan Abajo, under the bridge.	2710/22 10:57 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	129 MASL	7.98	1426	25.4	
9	**RS-05 N**	Calderas	27/10/22 2:28 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	182 MASL	8.0	1454	27.0	

10	**RS-06 N**	Calderas	27/10/22 10:57 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	94 MASL	7.98	1426	25.4	
11	**CHR031**	Chaguites same site as CHR03	27/10/22 11:56 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice. In the night in a refrigerator	-	7.88	515	34.0	

All Samples Shipped at the UPS Office in Tegucigalpa under Custody of Rodrigo Palacios. Received by Kathia Ordonez (UPS Agent) and turned over to UPS warehouse near Toncontin Airport at 8:20 am 9/111/22 and flown to San Pedro Sula, HN and to the USA .

Rodrigo Alejandro Palacios, Project Coordinator in Honduras.

Login Sample Receipt Checklist

Client: Appel Global

Job Number: 580-120092-1

Login Number: 120092
List Number: 1
Creator: LaCount, Lilly-Anna E

List Source: Eurofins Seattle

Question	Answer	Comment
Radioactivity wasn't checked or is </= background as measured by a survey meter.	True	
The cooler's custody seal, if present, is intact.	True	
Sample custody seals, if present, are intact.	True	
The cooler or samples do not appear to have been compromised or tampered with.	True	
Samples were received on ice.	True	
Cooler Temperature is acceptable.	N/A	
Cooler Temperature is recorded.	True	
COC is present.	False	Refer to Job Narrative for details.
COC is filled out in ink and legible.	True	
COC is filled out with all pertinent information.	True	
Is the Field Sampler's name present on COC?	True	
There are no discrepancies between the containers received and the COC.	True	
Samples are received within Holding Time (excluding tests with immediate HTs)	True	
Sample containers have legible labels.	True	
Containers are not broken or leaking.	True	
Sample collection date/times are provided.	True	
Appropriate sample containers are used.	True	
Sample bottles are completely filled.	True	
Sample Preservation Verified.	N/A	
There is sufficient vol. for all requested analyses, incl. any requested MS/MSDs	True	
Containers requiring zero headspace have no headspace or bubble is <6mm (1/4").	N/A	
Multiphasic samples are not present.	True	
Samples do not require splitting or compositing.	True	
Residual Chlorine Checked.	N/A	

Eurofins Seattle

Job Notes

This report is issued solely for the use of the person or company to whom it is addressed. Any use, copying or disclosure other than by the intended recipient is unauthorized. If you have received this report in error, please notify the sender and destroy this report immediately. This report shall not be reproduced except in full, without prior express written approval by the laboratory.

The data in the report relate to the field sample(s) as received by the laboratory and associated QC. All results have been reviewed and have been found to be compliant with laboratory and accreditation requirements, with the exception of the noted deviation(s). For questions, please contact the Project Manager.

The test results in this report relate only to the samples as received by the laboratory and will meet all requirements of the methodology, with any exceptions noted. This report shall not be reproduced except in full, without the express written approval of the laboratory. All questions should be directed to the Eurofins Environment Testing Northwest, LLC Project Manager.

Authorization

Generated
11/23/2022 7:41:22 AM

Authorized for release by
Lilly-Anna LaCount, Project Manager
Lilly-Anna.Lacount@et.eurofinsus.com
(253)922-2310

12.10 Resultados de análisis de laboratorio de Hg-total en agua, en época lluviosa. Llevados a cabo en Eurofins, Estados Unidos.

eurofins | Environment Testing

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

ANALYTICAL REPORT

PREPARED FOR

Attn: Joe Ryan
Appel Global
Emdrup Mosevej 3
Copenhagen Denmark

Generated 11/23/2022 7:42:20 AM

JOB DESCRIPTION

LLHg by EPA 1631

JOB NUMBER

580-120097-1

Eurofins Seattle
5755 8th Street East
Tacoma WA 98424

my EOL

Table of Contents

Cover Page 1
Table of Contents 2
Case Narrative 3
Definitions 4
Client Sample Results 5
QC Sample Results 19
Chronicle 20
Certification Summary 22
Sample Summary 23
Chain of Custody 24
Receipt Checklists 34
Appendix 35

Job ID: 580-120097-1

Laboratory: Eurofins Seattle

Narrative

Job Narrative
580-120097-1

Comments
No additional comments.

Receipt
The samples were received on 11/16/2022 9:30 AM. Unless otherwise noted below, the samples arrived in good condition, and where required, properly preserved and on ice. The temperature of the cooler at receipt was 14.3º C.

Receipt Exceptions

Sample containers provided by the client were preserved with Nitric acid.

Metals
No analytical or quality issues were noted, other than those described in the Definitions/Glossary page.

Glossary

Abbreviation	These commonly used abbreviations may or may not be present in this report.
¤	Listed under the "D" column to designate that the result is reported on a dry weight basis
%R	Percent Recovery
CFL	Contains Free Liquid
CFU	Colony Forming Unit
CNF	Contains No Free Liquid
DER	Duplicate Error Ratio (normalized absolute difference)
Dil Fac	Dilution Factor
DL	Detection Limit (DoD/DOE)
DL, RA, RE, IN	Indicates a Dilution, Re-analysis, Re-extraction, or additional Initial metals/anion analysis of the sample
DLC	Decision Level Concentration (Radiochemistry)
EDL	Estimated Detection Limit (Dioxin)
LOD	Limit of Detection (DoD/DOE)
LOQ	Limit of Quantitation (DoD/DOE)
MCL	EPA recommended "Maximum Contaminant Level"
MDA	Minimum Detectable Activity (Radiochemistry)
MDC	Minimum Detectable Concentration (Radiochemistry)
MDL	Method Detection Limit
ML	Minimum Level (Dioxin)
MPN	Most Probable Number
MQL	Method Quantitation Limit
NC	Not Calculated
ND	Not Detected at the reporting limit (or MDL or EDL if shown)
NEG	Negative / Absent
POS	Positive / Present
PQL	Practical Quantitation Limit
PRES	Presumptive
QC	Quality Control
RER	Relative Error Ratio (Radiochemistry)
RL	Reporting Limit or Requested Limit (Radiochemistry)
RPD	Relative Percent Difference, a measure of the relative difference between two points
TEF	Toxicity Equivalent Factor (Dioxin)
TEQ	Toxicity Equivalent Quotient (Dioxin)
TNTC	Too Numerous To Count

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: SJAM1
Date Collected: 10/26/22 13:03
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-1
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	9.0		0.50	0.079	ng/L			11/17/22 13:05	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: SJAAM
Date Collected: 10/26/22 13:43
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-2
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	130		5.0	0.79	ng/L			11/17/22 17:35	10

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: SJA4C
Date Collected: 10/26/22 14:02
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-3
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	300		25	4.0	ng/L			11/17/22 15:53	50

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: SL1
Date Collected: 10/28/22 08:15
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-4
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	8.2		0.50	0.079	ng/L			11/17/22 15:57	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: SL2
Date Collected: 10/28/22 07:47
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-5
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	85		2.5	0.40	ng/L			11/17/22 15:45	5

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: RCPP
Date Collected: 10/27/22 12:25
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-6
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	3.9		0.50	0.079	ng/L			11/17/22 16:02	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: CPT
Date Collected: 10/28/22 10:20
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-7
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	5.2		0.50	0.079	ng/L			11/17/22 16:14	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: CHRPM
Date Collected: 10/27/22 16:07
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-8
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	41		2.5	0.40	ng/L			11/17/22 17:26	5

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: CHRPJ
Date Collected: 10/27/22 16:51
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-9
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	73		2.5	0.40	ng/L			11/17/22 17:39	5

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: CHRO2
Date Collected: 10/27/22 16:45
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-10
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	1300		25	4.0	ng/L			11/17/22 16:27	50

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: CHR03
Date Collected: 10/28/22 11:20
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-11
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	6.2		0.50	0.079	ng/L			11/17/22 16:31	1

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: RS06
Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-12
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	2600		99	16	ng/L			11/17/22 17:30	200

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: RS-01
Date Collected: 10/27/22 13:18
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-13
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	190		9.9	1.6	ng/L			11/17/22 17:43	20

Client Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: RS05N
Date Collected: 10/27/22 13:25
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-14
Matrix: Water

Method: EPA 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Analyte	Result	Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	200		9.9	1.6	ng/L			11/17/22 17:47	20

QC Sample Results

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Method: 1631E - Mercury, Low Level (CVAFS)

Lab Sample ID: MB 580-410485/13
Matrix: Water
Analysis Batch: 410485

Client Sample ID: Method Blank
Prep Type: Total/NA

Analyte	MB Result	MB Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	ND		0.50	0.079	ng/L			11/17/22 13:10	1

Lab Sample ID: MB 580-410485/14
Matrix: Water
Analysis Batch: 410485

Client Sample ID: Method Blank
Prep Type: Total/NA

Analyte	MB Result	MB Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	ND		0.50	0.079	ng/L			11/17/22 13:14	1

Lab Sample ID: MB 580-410485/15
Matrix: Water
Analysis Batch: 410485

Client Sample ID: Method Blank
Prep Type: Total/NA

Analyte	MB Result	MB Qualifier	RL	MDL	Unit	D	Prepared	Analyzed	Dil Fac
Mercury	ND		0.50	0.079	ng/L			11/17/22 13:18	1

Lab Sample ID: LCS 580-410485/17
Matrix: Water
Analysis Batch: 410485

Client Sample ID: Lab Control Sample
Prep Type: Total/NA

Analyte	Spike Added	LCS Result	LCS Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits
Mercury	5.00	4.83		ng/L		97	77 - 123

Lab Sample ID: LCSD 580-410485/18
Matrix: Water
Analysis Batch: 410485

Client Sample ID: Lab Control Sample Dup
Prep Type: Total/NA

Analyte	Spike Added	LCSD Result	LCSD Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits	RPD	RPD Limit
Mercury	5.00	4.81		ng/L		96	77 - 123	0	24

Lab Sample ID: 580-120097-1 MS
Matrix: Water
Analysis Batch: 410485

Client Sample ID: SJAM1
Prep Type: Total/NA

Analyte	Sample Result	Sample Qualifier	Spike Added	MS Result	MS Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits
Mercury	9.0		15.0	19.7		ng/L		72	71 - 125

Lab Sample ID: 580-120097-1 MSD
Matrix: Water
Analysis Batch: 410485

Client Sample ID: SJAM1
Prep Type: Total/NA

Analyte	Sample Result	Sample Qualifier	Spike Added	MSD Result	MSD Qualifier	Unit	D	%Rec	%Rec Limits	RPD	RPD Limit
Mercury	9.0		15.0	19.6		ng/L		71	71 - 125	1	24

Lab Chronicle

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: SJAM1
Lab Sample ID: 580-120097-1
Date Collected: 10/26/22 13:03
Matrix: Water
Date Received: 11/16/22 14:21

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		1	410485	COW	EET SEA	11/17/22 13:05

Client Sample ID: SJAAM
Lab Sample ID: 580-120097-2
Date Collected: 10/26/22 13:43
Matrix: Water
Date Received: 11/16/22 14:21

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		10	410485	COW	EET SEA	11/17/22 17:35

Client Sample ID: SJA4C
Lab Sample ID: 580-120097-3
Date Collected: 10/26/22 14:02
Matrix: Water
Date Received: 11/16/22 14:21

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		50	410485	COW	EET SEA	11/17/22 15:53

Client Sample ID: SL1
Lab Sample ID: 580-120097-4
Date Collected: 10/28/22 08:15
Matrix: Water
Date Received: 11/16/22 14:21

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		1	410485	COW	EET SEA	11/17/22 15:57

Client Sample ID: SL2
Lab Sample ID: 580-120097-5
Date Collected: 10/28/22 07:47
Matrix: Water
Date Received: 11/16/22 14:21

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		5	410485	COW	EET SEA	11/17/22 15:45

Client Sample ID: RCPP
Lab Sample ID: 580-120097-6
Date Collected: 10/27/22 12:25
Matrix: Water
Date Received: 11/16/22 14:21

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		1	410485	COW	EET SEA	11/17/22 16:02

Client Sample ID: CPT
Lab Sample ID: 580-120097-7
Date Collected: 10/28/22 10:20
Matrix: Water
Date Received: 11/16/22 14:21

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		1	410485	COW	EET SEA	11/17/22 16:14

Lab Chronicle

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Client Sample ID: CHRPM
Date Collected: 10/27/22 16:07
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-8
Matrix: Water

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		5	410485	COW	EET SEA	11/17/22 17:26

Client Sample ID: CHRPJ
Date Collected: 10/27/22 16:51
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-9
Matrix: Water

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		5	410485	COW	EET SEA	11/17/22 17:39

Client Sample ID: CHRO2
Date Collected: 10/27/22 16:45
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-10
Matrix: Water

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		50	410485	COW	EET SEA	11/17/22 16:27

Client Sample ID: CHR03
Date Collected: 10/28/22 11:20
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-11
Matrix: Water

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		1	410485	COW	EET SEA	11/17/22 16:31

Client Sample ID: RS06
Date Collected: 10/27/22 10:57
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-12
Matrix: Water

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		200	410485	COW	EET SEA	11/17/22 17:30

Client Sample ID: RS-01
Date Collected: 10/27/22 13:18
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-13
Matrix: Water

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		20	410485	COW	EET SEA	11/17/22 17:43

Client Sample ID: RS05N
Date Collected: 10/27/22 13:25
Date Received: 11/16/22 14:21

Lab Sample ID: 580-120097-14
Matrix: Water

Prep Type	Batch Type	Batch Method	Run	Dilution Factor	Batch Number	Analyst	Lab	Prepared or Analyzed
Total/NA	Analysis	1631E		20	410485	COW	EET SEA	11/17/22 17:47

Laboratory References:
EET SEA = Eurofins Seattle, 5755 8th Street East, Tacoma, WA 98424, TEL (253)922-2310

Accreditation/Certification Summary

Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Laboratory: Eurofins Seattle

The accreditations/certifications listed below are applicable to this report.

Authority	Program	Identification Number	Expiration Date
Alaska (UST)	State	20-004	02-19-25
ANAB	Dept. of Defense ELAP	L2236	01-19-25
ANAB	Dept. of Energy	L2236	01-19-25
ANAB	ISO/IEC 17025	L2236	01-19-25
Arkansas DEQ	State	8801526	05-23-23
California	State	2954	07-07-22 *
Florida	NELAP	E87575	06-30-23
Louisiana	NELAP	03073	06-30-23
Maine	State	WA01273	05-02-24
Montana (UST)	State	NA	04-14-27

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631E		Water	Mercury

New Jersey	NELAP	WA014	06-30-23
New York	NELAP	11662	04-01-23
Oregon	NELAP	4167	07-08-23
US Fish & Wildlife	US Federal Programs	A20571	06-30-23

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631E		Water	Mercury

USDA	US Federal Programs	P330-20-00031	12-31-22

The following analytes are included in this report, but the laboratory is not certified by the governing authority. This list may include analytes for which the agency does not offer certification.

Analysis Method	Prep Method	Matrix	Analyte
1631E		Water	Mercury

Washington	State	C788	07-13-23
Wisconsin	State	399133460	08-31-23

* Accreditation/Certification renewal pending - accreditation/certification considered valid.

Sample Summary

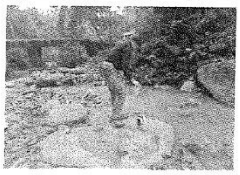
Client: Appel Global
Project/Site: LLHg by EPA 1631

Job ID: 580-120097-1

Lab Sample ID	Client Sample ID	Matrix	Collected	Received
580-120097-1	SJAM1	Water	10/26/22 13:03	11/16/22 14:21
580-120097-2	SJAAM	Water	10/26/22 13:43	11/16/22 14:21
580-120097-3	SJA4C	Water	10/26/22 14:02	11/16/22 14:21
580-120097-4	SL1	Water	10/28/22 08:15	11/16/22 14:21
580-120097-5	SL2	Water	10/28/22 07:47	11/16/22 14:21
580-120097-6	RCPP	Water	10/27/22 12:25	11/16/22 14:21
580-120097-7	CPT	Water	10/28/22 10:20	11/16/22 14:21
580-120097-8	CHRPM	Water	10/27/22 16:07	11/16/22 14:21
580-120097-9	CHRPJ	Water	10/27/22 16:51	11/16/22 14:21
580-120097-10	CHRO2	Water	10/27/22 16:45	11/16/22 14:21
580-120097-11	CHR03	Water	10/28/22 11:20	11/16/22 14:21
580-120097-12	RS06	Water	10/27/22 10:57	11/16/22 14:21
580-120097-13	RS-01	Water	10/27/22 13:18	11/16/22 14:21
580-120097-14	RS05N	Water	10/27/22 13:25	11/16/22 14:21

Chain of Custody & Sampling Site info on Sampile River Waters

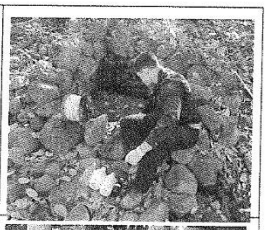
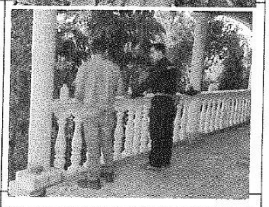
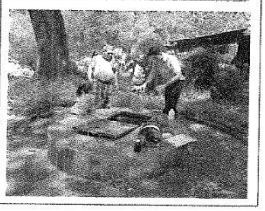
580-120097 Chain of Custody

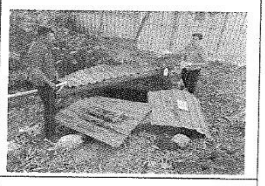
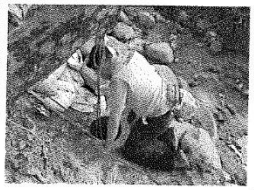
# of sample	Site Code	Site Description	Type of water	Date/ Time	Custody Responsible	Phys-chemical properties			Photo
						pH	Conductivity in µS/cm	Temp. (C°)	
1	SJAM1	San Juan Arriba	Groundwater	26/10/22 1:03 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	6.26	101	28.1	
2	SJAAM	San Juan Arriba	Freshwater	26/10/22 1:43 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.86	119	27.6	
3	SJA4C	San Juan Arriba	Freshwater	26/10/22 2:02 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	8.04	1413	26.3	

R.P. 11/16/22 4:30

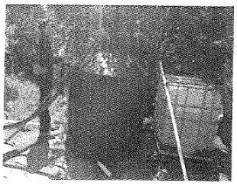
13.7 8.34 14.3 L, Blu Blu Bcl

1

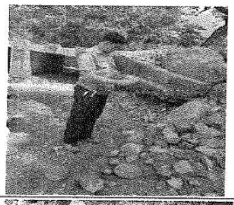
4	**SL1**	San Luis	Groundwater	28/10/22 8:15 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.17	309	27.5	
5	**SL2**	San Luis	Groundwater	28/10/22 7:47 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.23	594	27.4	
6	**RCPP**	Calderas	Freshwater	27/10/22 12:25 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	6.85	1723	28.6	

7	**CPT**	Chaguites	Groundwater	28/10/22 10:20 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.14	343	28.0	
8	**CHRPM**	Chaguites	Groundwater	27/10/22 4:07 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.10	1691	27.5	
9	**CHRPJ**	Chaguites	Groundwater	27/10/22 4:51 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	6.81	1549	27.3	

3

10	**CHRO2**	Chaguites	Freshwater	27/10/22 4:45 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	8.65	1590	30.9	
11	**CHR03**	Chaguites	Groundwater	28/10/22 11:20 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	6.67	271	29.8	
12	**RS06**	San Juan Abajo	Freshwater	27/10/22 10:57 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.98	1426	25.4	

4

13	**RS-04 (The correct code is RS-01)**	Calderas	Freshwater	27/10/22 1:18 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	8.14	1453	28.6	
14	**RS-05 (The correct code is RS-05N**	Calderas	Freshwater	27/10/22 1:25 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	8.0	1454	27.0	

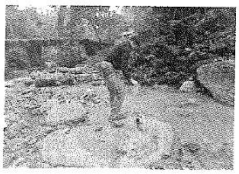
All Samples Shipped at the UPS Office in Tegucigalpa under Custody of Rodrigo Palacios. Received by Kathia Ordonez (UPS Agent) and turned over to UPS warehouse near Toncontin Airport at 8:20 am 9/111/22 and flown to San Pedro Sula, HN and to the USA .

Rodrigo Alejandro Palacios, Project Coordinator in Honduras.

5

Chain of Custody & Sampling Site info on Sampile River Waters

580-120097 Chain of Custody

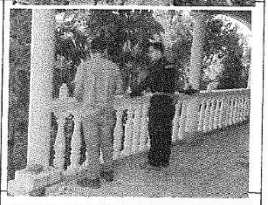
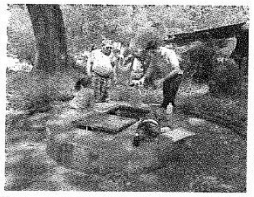
# of sample	Site Code	Site Description	Type of water	Date/ Time	Custody Responsible	Phys-chemical properties			Photo
						pH	Conductivity in µS/cm	Temp. (C°)	
1	SJAM1	San Juan Arriba	Groundwater	26/10/22 1:03 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	6.26	101	28.1	
2	SJAAM	San Juan Arriba	Freshwater	26/10/22 1:43 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.86	119	27.6	
3	SJA4C	San Juan Arriba	Freshwater	26/10/22 2:02 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	8.04	1413	26.3	

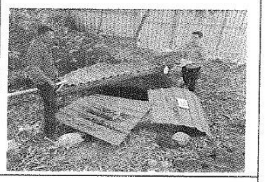
R.P. 11/10/22 4:30

13 Page 29 of 35 4 14.3 4, Blu Blu Jay

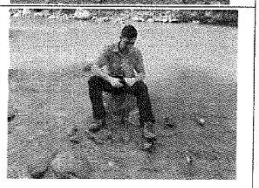
1

11/23/2022

4	**SL1**	San Luis	Groundwater	28/10/22 8:15 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.17	309	27.5	
5	**SL2**	San Luis	Groundwater	28/10/22 7:47 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.23	594	27.4	
6	**RCPP**	Calderas	Freshwater	27/10/22 12:25 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	6.85	1723	28.6	

7	**CPT**	Chaguites	Groundwater	28/10/22 10:20 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.14	343	28.0	
8	**CHRPM**	Chaguites	Groundwater	27/10/22 4:07 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.10	1691	27.5	
9	**CHRPJ**	Chaguites	Groundwater	27/10/22 4:51 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	6.81	1549	27.3	

10	**CHRO2**	Chaguites	Freshwater	27/10/22 4:45 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	8.65	1590	30.9	
11	**CHR03**	Chaguites	Groundwater	28/10/22 11:20 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	6.67	271	29.8	
12	**RS06**	San Juan Abajo	Freshwater	27/10/22 10:57 am	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	7.98	1426	25.4	

13	**RS-04 (The correct code is RS-01)**	Calderas	Freshwater	27/10/22 1:18 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	8.14	1453	28.6	
14	**RS-05 (The correct code is RS-05N**	Calderas	Freshwater	27/10/22 1:25 pm	Rodrigo Palacios during day; stored in cooler with ice, preserved with HNO_3 In the night in a refrigerator.	8.0	1454	27.0	

All Samples Shipped at the UPS Office in Tegucigalpa under Custody of Rodrigo Palacios. Received by Kathia Ordonez (UPS Agent) and turned over to UPS warehouse near Toncontin Airport at 8:20 am 9/111/22 and flown to San Pedro Sula, HN and to the USA .

Rodrigo Alejandro Palacios, Project Coordinator in Honduras.

5

Login Sample Receipt Checklist

Client: Appel Global

Job Number: 580-120097-1

Login Number: 120097
List Number: 1
Creator: LaCount, Lilly-Anna E

List Source: Eurofins Seattle

Question	Answer	Comment
Radioactivity wasn't checked or is </= background as measured by a survey meter.	True	
The cooler's custody seal, if present, is intact.	True	
Sample custody seals, if present, are intact.	True	
The cooler or samples do not appear to have been compromised or tampered with.	True	
Samples were received on ice.	False	Thermal preservation not required.
Cooler Temperature is acceptable.	N/A	
Cooler Temperature is recorded.	True	
COC is present.	False	Refer to Job Narrative for details.
COC is filled out in ink and legible.	True	
COC is filled out with all pertinent information.	True	
Is the Field Sampler's name present on COC?	True	
There are no discrepancies between the containers received and the COC.	True	
Samples are received within Holding Time (excluding tests with immediate HTs)	True	
Sample containers have legible labels.	True	
Containers are not broken or leaking.	True	
Sample collection date/times are provided.	True	
Appropriate sample containers are used.	False	Refer to Job Narrative for details.
Sample bottles are completely filled.	True	
Sample Preservation Verified.	N/A	
There is sufficient vol. for all requested analyses, incl. any requested MS/MSDs	True	
Containers requiring zero headspace have no headspace or bubble is <6mm (1/4").	N/A	
Multiphasic samples are not present.	True	
Samples do not require splitting or compositing.	True	
Residual Chlorine Checked.	N/A	

Eurofins Seattle

Job Notes

This report is issued solely for the use of the person or company to whom it is addressed. Any use, copying or disclosure other than by the intended recipient is unauthorized. If you have received this report in error, please notify the sender and destroy this report immediately. This report shall not be reproduced except in full, without prior express written approval by the laboratory.

The data in the report relate to the field sample(s) as received by the laboratory and associated QC. All results have been reviewed and have been found to be compliant with laboratory and accreditation requirements, with the exception of the noted deviation(s). For questions, please contact the Project Manager.

The test results in this report relate only to the samples as received by the laboratory and will meet all requirements of the methodology, with any exceptions noted. This report shall not be reproduced except in full, without the express written approval of the laboratory. All questions should be directed to the Eurofins Environment Testing Northwest, LLC Project Manager.

Authorization

Generated
11/23/2022 7:42:20 AM

Authorized for release by
Lilly-Anna LaCount, Project Manager
Lilly-Anna.Lacount@et.eurofinsus.com
(253)922-2310

12.11 Resultados de análisis de laboratorio de microbiología en agua en época lluviosa. Llevados a cabo en Laboratorio de Investigación Teasdale Corti, Honduras.

UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS

Laboratorio de Investigación
Teasdale Corti

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MICROBIOLOGÍA

INFORME DE RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Código: IIM-003-22

INFORMACIÓN DEL CLIENTE/ INSTITUCIÓN

Institución/Solicitante: Rodrigo Palacios
Muestreador/a: Rodrigo Palacios

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Tipo de Fuente	☐ Agua Potable	x Agua Superficial	☐ Agua residual	x Agua Subterránea

Analista: Dra. Keylin Mendoza y Dr. Luis Rivera — **Fecha de recepción:** jueves 28 de abril/2022
No. de muestras: 16 muestras
Método: Membrana de Filtración (Coliformes totales y termotolerantes)
Observaciones: Muestra de agua superficial y subterránea

NOMENCLATURA

ACRONIMO	PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS	*UFC/100ml	
			Valor recomendado	Valor máximo
CTO	Coliformes Totales	Comprende la totalidad del grupo coliformes que incluyen las de origen intestinal como las de origen natural. Concentraciones altas indican contaminación reciente de origen orgánico.	0 (Ausencia total)	10
CTE	Coliformes Termotolerantes	Empleados como indicadores de contaminación fecal ya que su procedencia suele ser de origen intestinal. Concentraciones altas indican contaminación reciente de origen fecal.	0 (Ausencia total)	0 (Ausencia total)

**UFC: Unidad Formadora de Colonias: Unidad de medida que representa el número de células bacterianas individuales.*

TABLA DE RESULTADOS

N.	Código	Ubicación	Tipo de muestra	Resultado (UFC/100ml)		Conclusión
				CTO	CTE	
01	SJAM1	San Juan A.	Subterránea	$8.0x10^2$	$6.0x10^2$	No apto para consumo
02	SL1	San Luis	Superficial	$7.0x10^3$	$1.4x10^2$	No apto para consumo
03	SL2	San Luis	Superficial	$6.0x10^3$	$8.0x10^2$	No apto para consumo
04	SJA4C	San Juan A.	Superficial	$1.7x10^5$	$8.0x10^4$	No apto para consumo
05	SJAAM	San Juan A.	Superficial	$3.6x10^5$	$1.4x10^5$	No apto para consumo
06	ENPP	El Naranjal	Subterránea	$4.2x10^3$	$1.4x10^1$	No apto para consumo
07	RCPP	Calderas	Subterránea	$6.5x10^3$	$1.9x10^3$	No apto para consumo
08	CHR03	Chaguites	Subterránea	$2.5x10^1$	$1.9x10^1$	No apto para consumo
09	CHPPW	Chaguites	Subterránea	$3.8x10^3$	$1.0x10^1$	No apto para consumo
10	RSO6	San Juan A.	Subterránea	$1.0x10^4$	$6.0x10^3$	No apto para consumo
11	CHRPM	Chaguites	Subterránea	$6.0x10^3$	$1.5x10^3$	No apto para consumo
12	CHRPJ	Chaguites	Subterránea	$1.0x10^5$	$1.0x10^4$	No apto para consumo
13	CHRO2	Chaguites	Superficial	$1.0x10^3$	$1.0x10^3$	No apto para consumo
14	RS-01	Calderas	Superficial	$7.0x10^4$	$1.6x10^4$	No apto para consumo
15	RS-02	Calderas	Superficial	$3.0x10^4$	$1.0x10^4$	No apto para consumo
16	CPT	Chaguites	Subterránea	$1.0x10^5$	$1.4x10^3$	No apto para consumo

NOTAS FINALES: Los resultados indicados en este informe tan sólo revelan la calidad bacteriológica de las muestras sometidas a ensayo.

REFERENCIAS:

Greenberg Arnold, Clesceri Leonore S., Eaton Andrew D. Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.22Ed. 2012

Carlos Roberto Reina, Enrique Somayoa. Norma técnica de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario, Acuerdo Nro.084 31 del 31 De Julio de 1995, Vigencia 4 de octubre de 1995.

Norma técnica para la calidad del agua potable, Acuerdo Nro.084 31 del 31 De Julio de 1995, Vigencia 4 de octubre de 1995.

Emitido el 03 de mayo del 2022