

PROYECTO

Protección y respeto del derecho humano al agua y
defensa de derechos ambientales en las tierras
bajas del norte (TBN) de Guatemala

INFORME TÉCNICO FINAL DE CALIDAD DE AGUA

Guatemala, junio de 2024



Universidad
Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala

VRIP
VICERRECTORÍA DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN
Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna)
Departamento de Ciencias Ambientales

Proyecto

“Protección y respeto del derecho humano al agua y defensa de derechos ambientales
en las Tierras Bajas del Norte (TNB) de Guatemala”

Informe técnico de calidad de agua

Presentado a: Action-AID

Preparado por
Equipo de investigación del Iarna

Guatemala, junio de 2024

Índice

Índice.....	i
Índice de tablas.....	ii
Índice de figuras.....	iii
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. Antecedentes.....	2
3.1 Descripción del área de estudio.....	2
3.2 Uso de la tierra: cultivo de palma africana.....	5
3.3 Disponibilidad y calidad del agua en la región.....	6
4. Marco conceptual.....	7
4.1 Palma africana.....	7
4.2 Calidad del agua.....	7
4.3 Índice Simplificado de Calidad del agua (ISCA).....	8
4.4 Índice biológico de calidad de agua por medio de macroinvertebrados.....	9
4.5 Pesticidas: uso, toxicidad e impacto en el agua.....	10
4.6 Calidad del agua para consumo humano.....	11
5. Metodología.....	12
5.1 Selección de puntos de muestreo.....	12
5.2 Calidad del agua superficial a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	14
5.3 Calidad del agua superficial a través de indicadores biológicos (macroinvertebrados).....	14
5.4 Calidad del agua superficial a través de presencia de pesticidas y glifosato.....	16
5.5 Calidad del agua para consumo humano.....	16
5.6 Análisis de datos.....	17
5.6.1 Análisis estadístico.....	17
5.6.2 Análisis descriptivo de presencia de pesticidas.....	17
6. Resultados y discusión.....	17
6.1 Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISCA) para las escorrentías superficiales bajo estudio, resultados para el primer monitoreo.....	18

6.2	Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISCA) para las escorrentías superficiales bajo estudio, resultados para el segundo monitoreo.....	19
6.3	Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISCA) para las escorrentías superficiales bajo estudio, resultados considerando ambos monitoreos	19
6.4	Calidad del agua por macroinvertebrados	20
6.4.1	Uso de palma.....	21
6.4.2	Uso de postpalma	24
6.4.3	Uso de bosque.....	26
6.4.4	Análisis global.....	28
6.5	Pesticidas	32
6.6	Calidad del agua para consumo humano: parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y arsénico	34
6.7	Análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre el ISCA de palma de aceite, bosque y postpalma	36
7	Conclusiones.....	37
8	Recomendaciones	38
9	Referencias bibliográficas.....	39
10	Anexos	42

Índice de tablas

Tabla 1.	Distribución departamental del cultivo de palma africana en Guatemala al año 2020...	5
Tabla 2.	Usos de la tierra en el territorio de estudio	6
Tabla 3.	Categorías de calidad del agua según ISCA	8
Tabla 4.	Categorías de calidad del agua con base en el BMWP-Costa Rica.....	9
Tabla 5.	Categorías de calidad del agua con base en el IBF-El Salvador	10
Tabla 6.	Categorías de calidad del agua con base en el BMWP-Atitlán	10
Tabla 7.	Resultados de índices biológicos para el río Limón	22
Tabla 8.	Resultados de índices biológicos para el río San Román Las Mercedes II.....	23
Tabla 9.	Resultados de índices biológicos para el río San Román Tierra Negra I	23
Tabla 10.	Resultados de índices biológicos para el río San Román Buenos Aires	24
Tabla 11.	Resultados de índices biológicos para el río Santa Isabel II	25
Tabla 12.	Resultados de índices biológicos para el río Canijá.....	26
Tabla 13.	Resultados de índices biológicos para el río Tzejá San Antonio.....	27
Tabla 14.	Resultados de índices biológicos para el Arroyo Chiquibul.....	28

Tabla 15. Ríos con presencia de agroquímicos, grupo al que pertenece el agroquímico, parámetro analizado y cumplimiento con límite en agua de consumo de las normas Coguanor 29001 y la Unión Europea ($\mu\text{g/L}$)	33
Tabla 16. Concentraciones de glifosato en los cinco ríos muestreados y cumplimiento con límite en agua de consumo de la Unión Europea ($0.10 \mu\text{g/L}$)	34
Tabla 17. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua de consumo humano en nueve sitios distintos de muestreo.....	35
Tabla 18. Resultados de presencia de arsénico en agua de consumo humano en comunidades aledañas al área de estudio y cumplimiento con norma NTG 29001:2013.....	35
Tabla 19. Análisis de la Varianza (Suma de cuadrados tipo III).....	36
Tabla 20. Prueba de Duncan para los tres usos de la tierra: Palma de aceite, bosque y postpalma (Alfa = 0.05)	36

Índice de figuras

Figura 1. Cuencas y subcuencas en el área de estudio	3
Figura 2. Mapa de ubicación de puntos de muestreo clasificados por los tres usos prioritarios: palma, postpalma y bosque	13
Figura 3. Resultados de la calidad del agua para el primero monitoreo de acuerdo con el índice simplificado de la calidad del agua (ISCA)	18
Figura 4. Resultados de la calidad del agua para el segundo monitoreo según el índice simplificado de la calidad del agua (ISCA)	19
Figura 5. Resultados de la calidad del agua para los dos monitoreos según el índice simplificado de la calidad del agua (ISCA).....	20
Figura 6. Calidad del agua a través del índice BMWP-Atitlán por uso de la tierra	29
Figura 7. Calidad del agua a través del índice BMWP-CR por uso de la tierra.....	30
Figura 8. Calidad del agua a través del índice IBF-SV por uso de la tierra.....	31
Figura 9. Calidad del agua de acuerdo a los tres índices biológicos utilizados.....	32

1. Introducción

La palma africana (*Elaeis guineensis*) es una planta oleaginosa originaria del centro-este de África, de cuyos frutos se obtiene aceite vegetal que puede ser comestible, materia prima para la producción de artículos de uso personal o como base para la producción de biocombustibles (Iarna, 2022a). A nivel mundial, este cultivo ha tenido una expansión hacia países en vías de desarrollo con abundancia de bosques y cuenta con presencia en más de dieciséis de estos países entre los que se encuentra Guatemala (Camacho-Valdez, et al., 2022).

El estudio de análisis de la dinámica de expansión del cultivo de palma africana realizado por el Iarna en el año 2022 explica el crecimiento exponencial que el cultivo tuvo en el periodo del 2010 al 2020. En el mismo se indica que esta expansión se ha dado principalmente en los departamentos de El Petén, Izabal y Alta Verapaz cuya extensión del cultivo se ha incrementado en un 115 % lo cual equivale a 92 636 hectáreas¹ si se compara con el área que ocupaba el cultivo para el periodo anterior que fue el de 2003 al 2010 (Iarna, 2022a).

La Franja Transversal del Norte es una región del territorio guatemalteco que ha experimentado los impactos de este cultivo, es por esto, que desde el año 2019, el Iarna viene desarrollando investigación sobre la calidad del agua en esta zona a través de un convenio suscrito entre la ONG Action Aid y Asociación Coordinación de Organizaciones No Gubernamentales y Cooperativas -CONGCOOP-. En una primera instancia, el objetivo de investigación era conocer los impactos de los diferentes usos de la tierra en la calidad del agua, sin embargo, a lo largo de los años y debido a la importante expansión que ha tenido el cultivo en la región, los objetivos se redirigieron hacia el análisis de los impactos del cultivo de palma africana en la calidad del agua específicamente.

En ese sentido, el equipo de monitoreo de calidad y cantidad de agua de la Universidad Rafael Landívar, por medio de monitoreos, analizó la calidad del agua en ríos que presentaban tres distintos usos de la tierra: palma, postpalma² y bosque. En estos tres usos de la tierra se analizaron parámetros de calidad del agua fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos. El monitoreo se llevó a cabo de la siguiente forma: (1) mediciones in situ (ph, temperatura, salinidad, ORP, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, conductividad y turbidez), (2) recolección y clasificación de macroinvertebrados y (3) pruebas de laboratorio, como el filtrado por membrana para microbiología, el filtrado para la separación de sólidos suspendidos, la medición de sólidos sedimentables, la digestión de las muestras para lectura de nutrientes, y el análisis de DBO y DQO (Iarna, 2022b).

Adicional a los análisis fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos, se enviaron a laboratorio externo muestras para el análisis de pesticidas y se solicitó en algunas de ellas presencia de glifosato y presencia de arsénico en muestras de agua de consumo humano³. El análisis de este tipo de compuestos es muy importante ya que da indicios del uso de agroquímicos que pudieran

¹ Esta expansión como se explica en el informe de Iarna (Iarna, 2022a), corresponde al periodo del 2011 al 2015.

² Nueva categoría propuesta por Iarna (2022b) p. 17, y que corresponde a «puntos de muestreo que se encuentran justo después de una plantación de palma de aceite».

³ Los análisis de agua de consumo humano son análisis extras que se realizan y los resultados no son atribuibles al cultivo de palma de aceite.

estar poniendo en riesgo la salud de las personas que hacen uso del recurso hídrico, su economía y la salud de los ecosistemas del área de estudio.

Los principales hallazgos del estudio son la presencia de pesticidas en seis de los trece puntos muestreados, todos correspondientes a usos de la tierra de palma de aceite y postpalma. De estos seis puntos, cuatro sobrepasan los límites de agua de consumo de la UE⁴. Por otro lado, también se encontró presencia de glifosato en cinco puntos muestreados en donde un punto sobrepasa los límites establecidos por la UE. De nueve muestras que se tomaron de agua de consumo humano, tres mostraron presencia de arsénico y al comparar con los límites establecidos en la norma Coguanor 29001, ninguna de ellas sobrepasa los límites establecidos en dicha norma.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el impacto del cultivo de palma africana en la calidad del agua a través del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISCA) y presencia de agroquímicos en diferentes ríos de las tierras bajas del norte.

2.2 Objetivos específicos

Analizar la calidad del agua superficial a través de parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y del ISCA en los ríos con influencia del cultivo de palma africana

Identificar presencia y concentración de agroquímicos y glifosato en las aguas superficiales del territorio en los ríos con influencia del cultivo de palma africana a través de sus características ecotoxicológicas.

Evaluar la influencia del cultivo de palma africana, temporalidad y actividades presentes en la calidad del agua a través de un análisis estadístico.

Evaluar la calidad de agua para consumo humano en comunidades del área de estudio por medio del análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y presencia de arsénico.

Alimentar el diálogo intra e intersectorial con base en evidencias, para contribuir con las políticas públicas y lograr acuerdos y consensos entre los sectores.

3. Antecedentes

3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la región conocida como Franja Transversal del Norte (FTN). Esta región está ubicada al norte de cuatro departamentos: Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal, la cual en sus inicios comprendía únicamente la región de las tierras bajas que limitaban al departamento de El Petén, aquellas con pendientes de menos de 500 m.s.n.m. (Segeplan, 2011).

⁴ Los resultados de pesticidas se compararon con los límites establecidos por la Unión Europea en agua de consumo humano porque Guatemala no cuenta con límites para este tipo de compuestos.

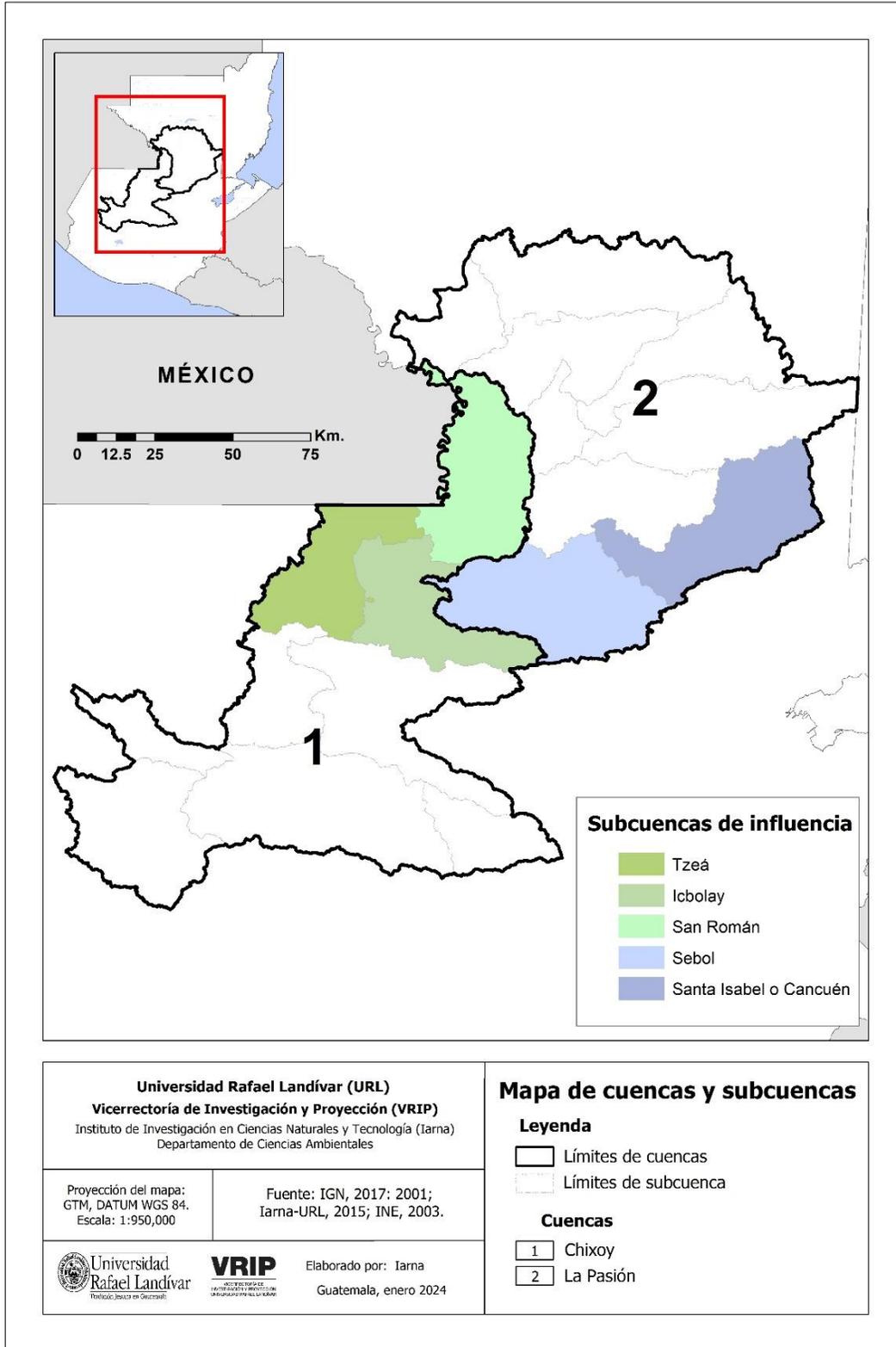
El área de estudio comprende tres departamentos distribuidos en seis municipios dentro de la Franja Transversal del Norte: Chisec, Raxruhá, Cobán y Fray Bartolomé de las Casas en el departamento de Alta Verapaz, Ixcán en el departamento de Quiché y Sayaxché en el departamento de El Petén.

Los municipios dentro del área de estudio tienen una población de 592,831 habitantes, de los cuales el 44% se encuentra en el área urbana y el 56% en el área rural (INE, 2019). El 82% de la población en el área se identifica como miembro de un pueblo maya, y de estos, la mayoría presente en los municipios es Q'eqchi'.

Se identificaron un total de 115,409 hogares en el área de estudio de los cuales el 23 % tiene como fuente principal de agua para consumo tubería en la vivienda, el 8 % tiene tubería fuera de la vivienda, el 15 % consume agua de lluvia como fuente principal, mientras que otro 12% utiliza agua de un manantial o nacimiento. También es importante notar que un 7 % utiliza agua de ríos o lagos como su fuente principal para consumo (INE, 2019),

Estos municipios se encuentran ubicados en dos cuencas principales (Figura 1), pertenecientes a la vertiente del Golfo de México: las cuencas de Chixoy y La Pasión. Dentro de estas cuencas se presentan 5 subcuencas que son: la subcuenca Icbolay, Sebol, Tzeá, San Román y Santa Isabel o Cancuén y 137 microcuencas (unidades hidrológicas más bajas).

Figura 1. Cuencas y subcuencas en el área de estudio



Nota. La figura muestra las cuencas y subcuencas del área de estudio. Fuente: elaboración propia

3.2 Uso de la tierra: cultivo de palma africana

El cultivo de palma africana ha experimentado un crecimiento acelerado en el territorio guatemalteco. Según Trejo y Valdiviezo (2022), el cultivo dio inicios en el territorio guatemalteco en 1970 y fue en el año de 1990 en donde empezó a expandirse a gran escala sustituyendo plantaciones de café, algodón y soya. Dicha expansión ha ocurrido principalmente en las tierras del norte del país, en la parte sur de Petén en el departamento de Izabal y en Alta Verapaz.

Actualmente, a nivel nacional, el cultivo ocupa una extensión de 175 692⁵ hectáreas distribuidas en diez departamentos del territorio guatemalteco: Petén, Izabal, Alta Verapaz, Escuintla, Quetzaltenango, San Marcos, Suchitepéquez, Retalhuleu, Quiché y Chimaltenango. En Tabla 1, puede observarse la distribución del cultivo en estos departamentos, en donde Petén alberga el 48 % del cultivo (84 628 hectáreas).

Tabla 1. Distribución departamental del cultivo de palma africana en Guatemala al año 2020

Departamento	Área (ha)	Porcentaje (%)
Petén	84 628	48.17
Izabal	28 203	16.05
Alta Verapaz	21 443	12.2
Escuintla	11 157	6.35
Quetzaltenango	9424	5.36
San Marcos	6919	3.94
Suchitepéquez	6051	3.44
Retalhuleu	5524	3.14
Quiché	2239	1.27
Chimaltenango	104	0.06
Total	175 692	100.00

Fuente: tomado de Iarna (2022a).

En el periodo del 2010 al 2020, el cultivo experimentó una tasa de crecimiento del 111.53 % a nivel nacional. Solamente en el departamento de Petén el crecimiento fue de 43 174 hectáreas (un crecimiento del 47 %), en Izabal se tuvo un crecimiento de 15 532 hectáreas (crecimiento del 17 %) y en Alta Verapaz se experimentó un crecimiento del 14 % (13 252 hectáreas), estos tres departamentos representaron el 78 % de la expansión del cultivo de palma para ese periodo (Iarna, 2022a).

Según Iarna (2022a), el 61 % del área a nivel nacional que fue sustituida por cultivo de palma africana correspondía a pastos; 15 187 hectáreas (16 %) correspondían a bosque; 7 208 hectáreas (8 %) estaban ocupadas por vegetación arbustiva baja (guamil o matorral); 6 522 hectáreas correspondían a agricultura anual; 6 590 (7 %) hectáreas correspondían a otro tipo de cultivos como el de hule, caña de azúcar, banano y agricultura permanente y 322 (0.35 %) hectáreas correspondía a bosque en áreas ribereñas.

Los principales usos actuales de la tierra en el área de estudio corresponden a bosque, pasto, vegetación arbustiva baja y granos básicos de subsistencia, estos cuatro usos de la tierra conforman el 74 % del área de estudio. El cultivo de palma se encuentra ubicado en los ocho

⁵ Dato para el año 2020

usos principales en el área de estudio con una extensión de 102,749.25 ha equivalentes a 4.24 % como puede observarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Usos de la tierra en el territorio de estudio

Uso de la tierra	Extensión (ha)	Extensión (%)
Árboles dispersos	98,128.41	4.05
Bosque ^a	557,541.64	23.01
Café y cardamomo	111,148.90	4.59
Granos básicos (maíz y frijol)	365,455.33	15.08
Humedal con vegetación	137,887.55	5.69
Otras hortalizas (papa, cebolla, repollo, zanahoria, lechuga y otros)	26,570.15	1.1
Palma de aceite	102,749.25	4.24
Pasto	482,297.51	19.91
Vegetación arbustiva baja (matorral y/o guamil)	383,210.60	15.82
Zonas Inundables	35,814.47	1.48
Otros usos ^b	122,035.06	5.04
Total	2,422,838.88	100

Nota:^a Bosque incluye bosques latifoliados, mixtos y de coníferas; ^b Otros usos incluye: pradera, cuerpos de agua, frutales (papaya, piña, aguacate, cítricos), plantaciones forestales, arroz, hule, bosque de coníferas, humedal con bosque, árboles dispersos, té, playas dunas o arenales, zonas quemadas, espacios con vegetación y áreas urbanas como: tejido urbano continuo y discontinuo, zonas mineras, agroindustria y producción hidrobiológica, bases militares y pistas de aterrizaje, instalaciones deportivas y recreativas o educativas o de salud, cementerios, centro comercial, comercios y servicios, lotificaciones, complejos industriales, áreas turísticas o arqueológicas y beneficios Fuente: elaboración propia con base en MAGA (2021).

3.3 Disponibilidad y calidad del agua en la región

En cuanto a disponibilidad, las cuencas que conforman el área de estudio (Chixoy y la Pasión) se encuentran entre las cuencas a nivel nacional con los mayores volúmenes de oferta hidrológica, presentando una oferta hidrológica anual por arriba de los 1.5 millones de metros cúbicos por kilómetro cuadrado por año (Carrera y Mosquera, 2023). A nivel de las subcuencas, la disponibilidad hidrológica está conformada de la siguiente manera: en la cuenca Chixoy la subcuenca Tzeá tiene una disponibilidad de 2438 millones de m³/año, Icbolay con una disponibilidad de 3097 millones de m³/año; San Román una disponibilidad de 1956 millones de m³/año; en la cuenca del río la Pasión, la subcuenca Sebol tiene una disponibilidad hidrológica de 3704 millones de m³/año y la subcuenca Santa Isabel o Cancuén una disponibilidad de 2133 millones de m³/año (Iarna, 2022b). La configuración de esta disponibilidad hídrica (agua superficial es decir escorrentía, flujo subsuperficial, agua subterránea y humedad en el suelo) a nivel de las cuencas del área de estudio corresponde principalmente a escorrentía superficial a diferencia de las cuencas ubicadas en la costa sur en donde la principal disponibilidad de agua se encuentra en el agua subterránea.

Por otro lado, si hablamos de la calidad del agua del país, encontramos un panorama desalentador. Los datos de calidad del agua a nivel nacional muestran que para el 2009 por lo menos 14 de los 38 ríos de Guatemala sobrepasaban los límites de contenidos de contaminantes físicos, materia orgánica, microorganismos contaminantes tóxicos y cancerígenos establecidos por diversas organizaciones (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN], 2009 citado en Iarna, 2022b).

En el caso de los puntos muestreados anteriormente en las Tierras Bajas del Norte, los resultados mostraron que todos los puntos muestreados tenían presencia de coliformes totales y *E.coli*, así como los puntos muestreados de agua de consumo humano, a excepción de un punto el río Lechugal (segundo monitoreo) que no tuvo presencia de este tipo de bacterias (Iarna, 2022b). La presencia de este tipo de bacterias corresponde un riesgo a la salud de las personas por enfermedades gastrointestinales, que afectan principalmente a la población más vulnerable como los niños y los adultos de mayor edad.

4. Marco conceptual

4.1 Palma africana

La palma africana (*Elaeis guineensis*) es una planta oleaginosa originaria del centro-este de África, de cuyos frutos se obtiene aceite vegetal que puede ser comestible, materia prima para la producción de artículos de uso personal o como base para la producción de biocombustibles (Iarna, 2022a).

El cultivo ha tenido una expansión importante en países en vías de desarrollo con áreas extensas de bosque y en la actualidad está presente en más de dieciséis de estos países incluyendo a Guatemala. Esta expansión se ha debido principalmente al incremento en la demanda global de palma de aceite como fuente de grasas y aceite para el consumo humano, productos no comestibles y materia prima para biocombustibles para responder a las demandas de la creciente población (Camacho-Valdez, et al., 2022).

Las plantaciones de este cultivo han generado beneficios a la humanidad al proveer ingresos económicos y trabajo a millones de personas a nivel mundial en países en vías de desarrollo. Sin embargo, la expansión del cultivo viene con varios impactos ambientales y socioeconómicos. Algunos de estos impactos incluyen deforestación, pérdida de biodiversidad, altas emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del agua, entre otros impactos (Camacho-Valdez, et al., 2022).

4.2 Calidad del agua

De acuerdo con Rock y Rivera (2014), la calidad del agua se define como las características físicas, químicas o biológicas del agua. Esta se refiere a la medida de la condición del agua y el impacto que esta pueda tener en una o más especies acuáticas, en usos humanos (tanto para consumo como para usos recreativos u otros) así como en el ecosistema en general.

Para evaluar la calidad del agua se utilizan estándares y los más utilizados se relacionan con la salud de los ecosistemas, la seguridad del contacto humano y el uso para agua potable (Rock y Rivera, 2014). El análisis de la calidad del agua, así como su aptitud para su consumo está condicionado por los usos a los que se va a someter el recurso. Por lo tanto, se dice que la clasificación de agua de “buena” calidad o “mala” es relativa ya que esta depende de los usos que se le dará al recurso (Douglass & Swank, 1975 citado en Iarna, 2022b).

Así mismo, según Iarna (2022), los niveles aceptables de los parámetros de análisis de calidad y el tipo de parámetros en sí, dependen del posible uso del recurso: agua potable, recreación, agricultura, conservación de integridad ecológica, etc. Para ello, se utiliza el índice de calidad de

agua, el cual permite determinar la calidad del agua y clasificarla de acuerdo con el uso más apropiado según el grado de contaminación que pueda presentar (Tabla 3).

4.3 Índice Simplificado de Calidad del agua (ISCA)

La calidad de agua en los ríos se puede definir a través de la medición de un amplio número de características (por ejemplo, pH, conductividad, oxígeno disuelto, nutrientes, demanda biológica de oxígeno en un periodo de cinco días -DBO5-, metales pesados, entre otros muchos), debido a que no existe una única característica que logre definir la calidad del agua de un río para sus múltiples usos (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [Unesco] et al., 1996 citado en Iarna, 2022b).

De esta cuenta, se utilizan índices de calidad de agua compuestos que cuantifican la magnitud de la desviación a partir de lo “normal, esperado o ideal” de un número de parámetros (UNEP & GEMS, 2008). Actualmente no existe un índice de calidad de agua globalmente aceptado, por lo que cada región o país utiliza el más conveniente, incluyendo a Guatemala.

El Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISCA), que fue el utilizado para este estudio, utiliza únicamente parámetros fisicoquímicos y deja afuera los parámetros microbiológicos y evalúa la calidad del agua en una escala que va del 0 al 100 clasificando el uso que se le puede dar al agua dependiendo de la calidad que presente (Tabla 3). Este se basa en cinco parámetros fisicoquímicos: demanda química de oxígeno -DQO- (mg/L), sólidos suspendidos totales (mg/L), oxígeno disuelto (mg/L), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$). A través de una ecuación de transformación a escala de 1-100, los resultados de cada parámetro se convierten para obtener un valor dentro de la misma escala para el sitio de monitoreo, por medio de una ecuación de agregación.

Tabla 3. Categorías de calidad del agua según ISCA

Valor de ISCA	Calidad	Descripción
85-100	Excelente	Estado natural del agua de excelente calidad. Requiere purificación menor para consumo y no requiere tratamiento para riego. El agua es apta para todos los usos.
60-85	Buena	Agua levemente contaminada, pero de buena calidad. No recomendable para consumo sin purificación y utilizable para cultivos poco resistentes. Antes de su consumo esta debe pasar por tratamientos convencionales.
45-60	Regular	Requiere tratamiento de potabilización y para ciertos cultivos. Es apta para consumo humano, para riego y uso industrial.
30-45	Mala	Agua altamente contaminada. Requiere tratamiento para consumo recreativo y de refrigeración y se puede usar solo en cultivos muy resistentes
0-45	Muy mala	Ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del agua. Inaceptable para consumo y riego

Fuente: elaboración propia con base en Bonilla et al. (2010) y Torres et al. (2009)

4.4 Índice biológico de calidad de agua por medio de macroinvertebrados

Los macroinvertebrados son animales invertebrados de un tamaño que es posible verlos a simple vista. Se encuentran en hábitats acuáticos y pueden ser retenidos por mallas entre 200 y 500 µm. Entre ellos se incluye una gran cantidad de especies de distintos Phyla⁶ como los anélidos, moluscos, platelmintos, nemátodos y artrópodos (principalmente insectos). Los macroinvertebrados tienen un papel esencial en los ecosistemas acuáticos ya que por un lado transforman la materia orgánica presente y además se constituyen en fuente de alimentación para otros organismos mayores que se alimentan de ellos (Confederación Hidrográfica del Ebro, s.f).

El uso de indicadores biológicos empezó a mediados de los años 50. De esta cuenta, en el año de 1949 la científica Ruth Patrick propone el uso de métodos biológicos para conocer las condiciones de los cursos de agua para una cuenca ubicada en Pensilvania (Roldán, 1999). A partir de esto, el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos se convirtió en una metodología ampliamente usada.

Los países han ido adaptando los indicadores biológicos para que respondan a las necesidades propias de cada país. Sin embargo, para el caso de Guatemala, todavía no se cuenta con un indicador biológico nacional por lo que es necesario hacer uso de otros indicadores que coincidan con las condiciones del lugar de análisis y los objetivos de estudio. En este estudio se utilizan dos indicadores biológicos, el BMWP-Costa Rica, IBF-EI Salvador y el BMWP-Atitlán.

BMWP-Costa Rica (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica)

El índice BMWP-Costa Rica evalúa solamente la riqueza de la muestra y establece seis categorías de calidad del agua, basándose en los siguientes rangos de puntuación (Mafla, 2005) como puede observarse en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías de calidad del agua con base en el BMWP-Costa Rica

Puntuación	Característica
>120	Excelente (Aguas de calidad excelente)
101-120	Muy Bueno (Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible)
61-100	Bueno (Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada)
36-60	Regular (Aguas de calidad mala, contaminadas)
16-35	Pobre (Aguas de calidad mala, muy contaminadas)
<15	Muy Pobre (Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas)

Fuente: Mafla (2005).

IBF-EI Salvador (índice biológico a nivel de familias en El Salvador)

El IBF-EI Salvador presenta un enfoque diferente, tomando en cuenta para la puntuación tanto la riqueza como abundancia de individuos y dándole una puntuación relativa a cada una de las

⁶ Se refiere a un grupo importante de animales que comparten una o más características fundamentales que los distinguen de todos los demás animales y forman una categoría primaria del reino animal.

familias. Este índice divide la calidad del agua en siete categorías según los intervalos mostrados en la Tabla 5 (Sermeño et al., 2010).

Tabla 5. Categorías de calidad del agua con base en el IBF-El Salvador

Puntuación	Característica
0.00-3.75	Excelente (Contaminación orgánica improbable)
3.76-4.25	Muy Buena (Contaminación orgánica leve posible)
4.26-5.00	Buena (Alguna contaminación orgánica probable)
5.01-5.75	Regular (Contaminación orgánica bastante sustancial es probable)
5.76-6.50	Regular Pobre (Contaminación sustancial probable)
6.51-7.25	Pobre (Contaminación muy sustancial probable)
7.26-10.00	Muy Pobre (Contaminación orgánica severa probable)

Fuente: Sermeño et al. (2010).

BMWP-Atitlán

El índice BMWP-Atitlán evalúa la presencia de diferentes familias en el cuerpo de agua y clasifica la calidad del agua en seis categorías (Tabla 6), según el rango de puntuaciones obtenidas en el estudio (Reyes, 2012).

Tabla 6. Categorías de calidad del agua con base en el BMWP-Atitlán

Puntuación	Característica
>120	Excelente (Aguas de calidad excelente)
91-120	Buena (Aguas de calidad buena, no contaminadas)
61-90	Regular (Aguas de calidad regular, contaminación moderada)
36-60	Mala (Aguas de calidad mala, contaminadas)
16-35	Muy Mala (Aguas de calidad mala, muy contaminadas)
<16	Pésima (Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas)

Fuente: Reyes (2012).

4.5 Pesticidas: uso, toxicidad e impacto en el agua

En los últimos cuarenta años, ha surgido una preocupación por la cantidad de productos químicos que son producidos, el uso de estos y la forma en la que son desechados. El uso de estos químicos está destinado principalmente a la industria, la agricultura, ganadería, el sector médico, etc. Según Fernández Cirelli (2012), las investigaciones muestran que estos químicos tienen la capacidad de adherirse, dispersarse y persistir en el ambiente en extensiones más grandes que las que se espera. Un ejemplo de estas sustancias químicas son los agroquímicos y en especial los pesticidas, utilizados en los cultivos para contrarrestar las plagas.

Los pesticidas son sustancias químicas que tienen la capacidad de matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de seres vivos considerados como plagas y mejorar de esta forma la producción agrícola. Aunque no son necesariamente venenos, estos pueden ser tóxicos a muy bajas concentraciones tanto para animales como para los humanos. Estos pueden clasificarse según su acción específica como insecticidas, fungicidas, acaricidas, bactericidas, herbicidas, rodenticidas. Otra clasificación de estos es de acuerdo con su constitución química, los cuales se clasifican como: organoclorados, organofosforados, carbamatos, triazinas, namaticidas, piretroides, derivados de urea.

Está comprobado que el uso de pesticidas ocasiona una serie de problemas ambientales. Una característica de estos es que pueden esparcirse con una gran facilidad, alcanzando especies animales y vegetales, el aire, agua, sedimentos de ríos, mares e incluso alimentos (Fernández Cirelli, 2012).

Los agroquímicos han sido encontrados en varios ecosistemas acuáticos: aguas superficiales lólicas (agua en movimiento/con corriente, como ríos, arroyos, manantiales, etc.) y lénticas (aguas sin corriente continua, como lagos, lagunas, pantanos, etc.), aguas subterráneas, precipitación, sólidos suspendidos, sedimentos y organismos acuáticos. La consecuencia de su presencia en los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad es variada; varios estudios hidrobiológicos incluso, han encontrado que en áreas donde se detectan altos niveles de pesticidas en aguas superficiales existe ausencia de ciertas especies que se pueden encontrar en otros sistemas acuáticos con las mismas características, pero sin presencia de pesticidas (Teunissen-Ordelman & Schrap, 1997 citado en Iarna, 2022b).

Los fertilizantes y plaguicidas utilizados en Guatemala pueden ser variables proxy para representar la forma e intensidad de producción agrícola en el país; evaluando la degradación a través de la cantidad de fertilizantes y plaguicidas que se deben utilizar para obtener productos. No existe producción de fertilizantes y plaguicidas a nivel nacional, y su importación puede indicar una medida de utilización. Además, se estima que en el periodo 2007-2008 la superficie afectada por ambos productos fue del 90 % de las fincas agropecuarias registradas (Iarna, 2012 citado en Iarna, 2022b).

Entre los pesticidas se encuentra el glifosato que es un herbicida de amplio espectro utilizado frecuentemente en monocultivos para la eliminación de hierbas y arbustos (Zirena Vilca, Gosgot Angeles, Campos Quiróz, Zamalloa Cuba, 2018). Así mismo, este compuesto “efectivamente mata o suprime todo tipo de plantas incluyendo pastos, plantas perennes, enredaderas, arbustos y árboles”. También se puede utilizar como regulador del crecimiento de plantas y disecante, aunque en dosis más bajas y tiene usos tanto a nivel de la agricultura como de los hogares (Organización Mundial de la Salud, 2017).

El uso de glifosato en la agricultura ha planteado preocupaciones en torno a qué tan seguro es la utilización de dicho compuesto. Las preocupaciones incluyen tanto a la salud de los ecosistemas como a la salud del hombre. En cuanto al uso de este herbicida y la salud de los ecosistemas, Zirena Vilca et al. (2018), indican que el uso de este compuesto presenta un riesgo para los ecosistemas acuáticos debido a que afecta la síntesis de aminoácidos aromáticos, la producción de clorofila, la fotosíntesis y la respiración, afectando a especies de bacterias marinas y microalgas en diferentes proporciones. En cuanto a la afectación de la salud humana por el uso de glifosato, se necesitan más estudios al respecto, aunque algunos países han prohibido el uso del herbicida por su conexión con el cáncer y enfermedades de los riñones en trabajadores agrícolas (Organización Mundial de la Salud, 2017). A pesar de esto, todavía faltan estudios que relacionen el uso de glifosato con enfermedades como el cáncer (Zirena Vilca et al., 2018; Organización Mundial de la Salud, 2017).

4.6 Calidad del agua para consumo humano

El término “agua para consumo humano” se utiliza como sinónimo de “agua potable”, entendiéndose esta como el agua que por sus características organolépticas, físicas, químicas y

bacteriológicas no representa un riesgo para la persona que la consume y que, para el caso de Guatemala, cumple con lo establecido en la norma Coguanor 29001 (Coguanor, 1999).

La calidad del agua hace referencia a la presencia o a la ausencia de niveles que pueden ser peligrosos para la salud humana como las bacterias, virus, minerales y sustancias orgánicas. Esta definición cobra especial importancia debido a que este recurso es una de las vías principales para la transmisión de enfermedades de origen hídrico que pueden afectar la salud de la población, principalmente la más vulnerable como son los niños y los adultos mayores (Iarna, URL, IIA, 2006).

5. Metodología

5.1 Selección de puntos de muestreo

Antes de salir a campo es importante realizar la planificación del muestreo. Esto incluyó la selección de los puntos de muestreo y la periodicidad de muestreo. Esta planificación se realizó según los objetivos del proyecto “Protección y respeto del derecho humano al agua y defensa de derechos ambientales en las Tierras Bajas del Norte (TNB) de Guatemala”.

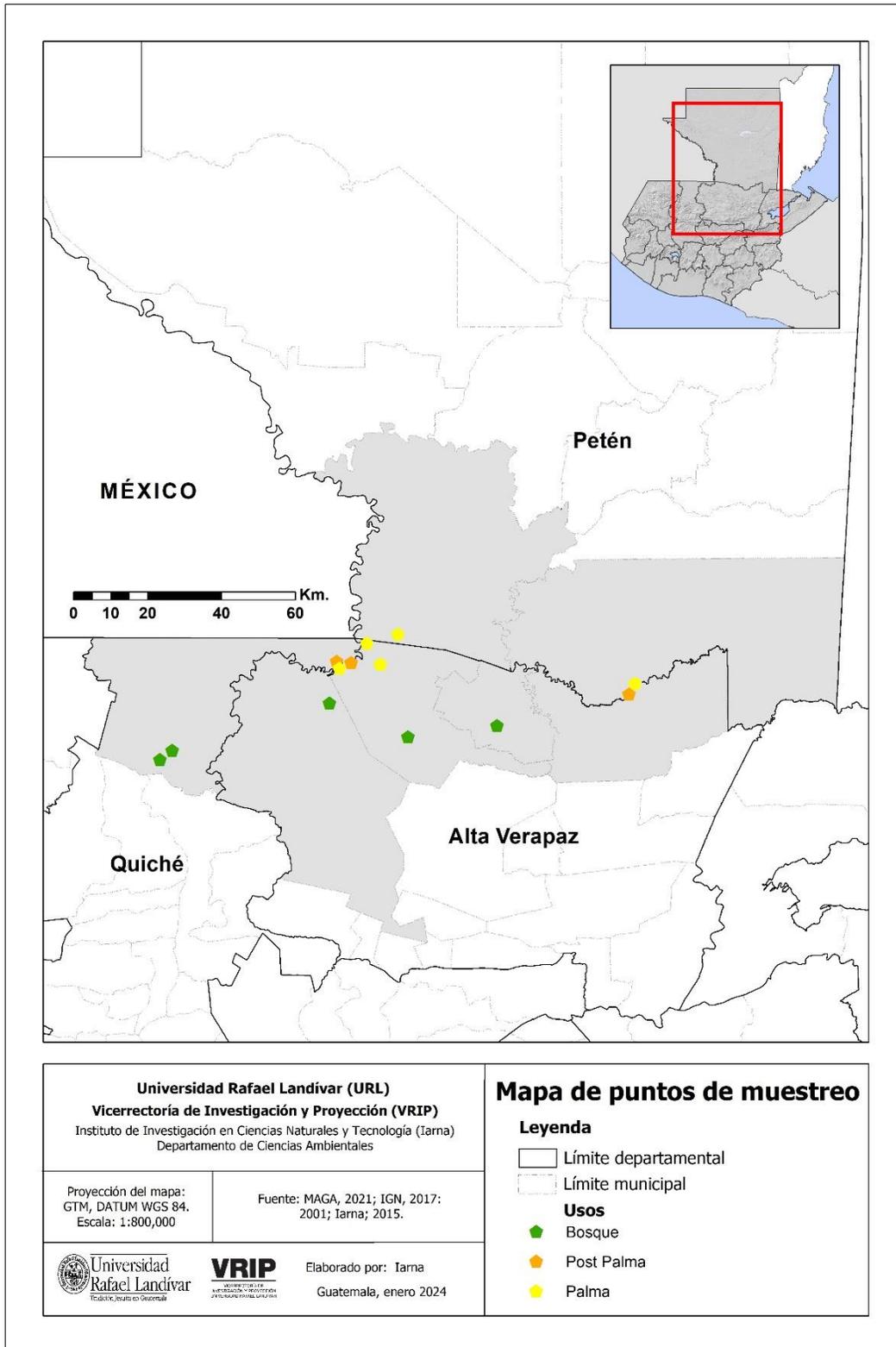
La selección de los puntos de monitoreo para el año 2023-2024⁷ se basó en la readecuación de los puntos de muestreo monitoreados en etapas previas. Originalmente, se analizaron 46 puntos de muestreo en la zona de las tierras bajas del norte en los departamentos de Alta Verapaz, Quiché, Petén e Izabal. Para el año 2023 se realizaron una serie de modificaciones al número y distribución de los puntos de monitoreo del proyecto con el objetivo de priorizar puntos de monitoreo que estuvieran ubicados en usos de la tierra correspondiente a palma, bosque y postpalma y se descartaron monitoreos realizados en usos de la tierra como pastos, agricultura anual, urbano y vegetación arbustiva baja.

Utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) se hicieron una serie de composiciones cartográfica de los 46 puntos evaluados en etapas anteriores del proyecto. Los mapas generados, junto a su respectiva base de datos, fueron trasladados a Congcoop para establecer prioridades para el monitoreo de la calidad de agua. Como consecuencia, se seleccionaron puntos en los municipios de Ixcán en Quiché; Cobán, Chisec y Raxruhá en Alta Verapaz; Sayaxché y San Luis en Petén. Los puntos de muestreo se ubicaron en usos de la tierra distintos siendo estos los del cultivo de palma de aceite, áreas posicionadas luego del cultivo de palma (postpalma) y bosque latifoliado natural.

En total se seleccionaron 13 puntos de monitoreo, en donde Congcoop priorizó ocho de los 46 puntos originales monitoreados por el Iarna; cinco puntos ubicados en zonas de palma de aceite, tres puntos en el uso de la tierra identificado como postpalma y 5 puntos ubicados en bosque natural (Figura 2). La selección de puntos en bosque latifoliado natural se realizó con el objetivo de contrastar los resultados de los análisis fisicoquímicos, biológico y del estado de ribera de los ríos de aquellos puntos que se ubicaron en áreas con cultivo de palma africana.

⁷ Originalmente, los muestreos se habían planificado para realizarse en 2023, lo cual no fue posible debido los bloqueos de carreteras que hubo en el país y también debido a las lluvias intensas que se presentaron en el territorio a finales de año.

Figura 2. Mapa de ubicación de puntos de muestreo clasificados por los tres usos prioritarios: palma, postpalma y bosque



Fuente: elaboración propia

5.2 Calidad del agua superficial a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Como parte del proceso para determinar la calidad del agua en los ríos, se tomaron datos *in situ* de temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, potencial de hidrógeno (pH), potencial de reducción y oxidación (ORP), salinidad, conductividad y sólidos totales disueltos a través de un equipo especializado. La lectura de estos parámetros se efectuó en sitios con corriente y libres de obstáculos, como rocas, que pudiesen interferir.

En el mismo sitio de toma de parámetros *in situ*, se recolectaron muestras de agua en distintos recipientes (plástico, vidrio, esterilizados) y se trasladaron en hieleras, manteniendo la cadena de frío a 4°C, hacia los laboratorios (móvil y analítico ambiental ubicado en el campus central de la Universidad Rafael Landívar).

El laboratorio móvil, implementado por el IARNA, permite medir demanda biológica de oxígeno (DBO), turbidez, sólidos sedimentables y análisis microbiológico de coliformes totales y *Escherichia coli* en cuestión de horas después de la toma de muestra. Además, en este laboratorio, se filtraron y preservaron las muestras para trasladarlas al Laboratorio Analítico Ambiental de la universidad para análisis posteriores.

En el Laboratorio Analítico Ambiental se midió la demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno final (en caso fuese necesario), se hizo el pesaje de los sólidos suspendidos totales y la medición de nutrientes, tales como fósforo, ortofosfato, nitrógeno y nitratos. Los procesos y análisis efectuados se basaron en la metodología para el análisis de agua y agua residual de Estados Unidos (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de la American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation).

Una vez obtenidos los resultados finales de los parámetros *in situ* y *ex situ*, se procedió a aplicar el Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISCA por sus siglas en inglés). Este índice utiliza la temperatura, conductividad, sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto para determinar la calidad de agua de cuerpos superficiales y se expresa en valores que van del 0 al 100 permitiendo separar la calidad del agua en cinco categorías como puede observarse en la Tabla 3.

5.3 Calidad del agua superficial a través de indicadores biológicos (macroinvertebrados)

Antes de dirigirse al campo, se realizó una planificación relacionada a la selección de puntos, frecuencia de muestreo y accesibilidad. Todo esto se ajustó a los objetivos del proyecto (Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología - IARNA, 2023a).

En campo se realizó un análisis visual del punto de muestreo en el que se identificaron diversos microhábitats fluviales, tales como pozas, rápidos, remansos, cataratas, sustratos variados, orillas, macrófitos, detritos vegetales y musgos. Se seleccionó un tramo representativo que

incluyera todos estos hábitats, evitando perturbaciones y consensuando la decisión con el equipo (Iarna, 2023a).

Posteriormente, se realizó la toma de muestras. Se siguió un enfoque de aguas abajo hacia aguas arriba, evitando perturbar el sustrato antes de la recolección. Para el muestreo se utilizó una red tipo D durante un periodo cronometrado de 10 minutos, abarcando la totalidad del tramo. Cada hábitat se abordó de manera específica, la muestra recolectada se vació en bandejas de fondo blanco para su posterior limpieza y almacenaje en botes de boca ancha con tapadera segura. Se añadió alcohol etílico al 95 % para la preservación de la muestra según la cantidad de material orgánica que poseía y se etiquetó adecuadamente (Iarna, 2023a).

Finalmente, se realizó la caracterización del ecosistema acuático y de ribera donde se documentó detalladamente las características del punto de muestreo en una hoja de campo. Se realizaron anotaciones de los hábitats fluviales, características de las riberas, cobertura vegetal y actividades antropogénicas. Si no se logró muestrear algún hábitat se anotó la justificación, y se realizan observaciones adicionales, incluyendo especies de vegetación, macroinvertebrados no colectados, otros animales y eventos inusuales. Se tomaron fotografías que detallaran los hábitats muestreados y posibles perturbaciones (Iarna, 2023a).

En el laboratorio, se procedió a limpiar la muestra asegurando la calidad de los especímenes. Para ello se depositó la muestra por partes, para una mejor visualización de los especímenes, en una palangana blanca. Con pinzas entomológicas, se separaron los organismos de elementos no deseados, como piedras y hojas, agitando la muestra para detectar macroinvertebrados. La muestra resultante se recolectó en un bote con tapadera de rosca y alcohol al 70% para su conservación (Iarna, 2023b).

En la identificación, se clasificaron los macroinvertebrados por orden y familia, utilizando cajas Petri, estereoscopios y claves dicotómicas. La información se registró en un documento Excel. Cada espécimen se fue guardando por familia en frascos de cristal bien identificados con alcohol al 70 % en la colección de referencia (Iarna, 2023b).

Posteriormente al conteo de los macroinvertebrados encontrados por punto de muestreo se aplicaron tres índices biológicos para evaluar la calidad del agua en los puntos de muestreo. Los índices seleccionados fueron BMWP-Atitlán, BMWP-Costa Rica e IBF-El Salvador, cada uno cuenta con sus respectivos rangos de puntuación e interpretaciones, los cuales se explican en la sección 4.4. La interpretación de los resultados de cada índice se realizó considerando los rangos específicos para cada índice y se discutió con relación a las familias de macroinvertebrados encontradas en los puntos de muestreo.

Se realizó un análisis general de los datos a través de la realización de gráficas dinámicas en Excel. Debido a que cada índice utiliza diferente metodología para determinar el valor y diferentes categorías de calidad de agua fue necesario realizar una reclasificación de estas categorías que permitiera la comparación de los tres índices. Esta reclasificación se basó en las categorías originales de cada uno de los índices asignándoles un número de 1 a 6 para los BMWP y de 1 a 7 para el IBF-SV, siendo 1 la peor calidad de agua y 6 o 7 la mejor calidad de agua. Tomando en cuenta que para IBF-SV ninguno de los puntos de muestreo obtuvo una excelente calidad de agua, no se tomó en cuenta el número 7 en la reclasificación quedando únicamente 6 categorías con la siguiente nomenclatura:

6: Muy buena calidad de agua

5: Buena calidad de agua

- 4: Regular calidad de agua
- 3: Mala calidad de agua
- 2: Muy mala calidad de agua
- 1: Pésima calidad de agua

Es importante recalcar que lo anterior es simplemente un ejercicio que permitió comparar los resultados de cada índice y realizar un análisis más profundo, sin embargo, no debe tomarse como un índice nuevo, ni como las calidades de agua absolutas.

5.4 Calidad del agua superficial a través de presencia de pesticidas y glifosato

La selección de los puntos a los que se les realizó análisis de pesticidas correspondió a aquellos puntos en donde el uso de la tierra correspondía a palma o postpalma. De esta forma, se tomaron 10 muestras para un barrido completo de pesticidas en la primera semana de monitoreo y 12 muestras también con un barrido completo de pesticidas para la segunda semana de monitoreo. Es importante mencionar, que se enviaron dos muestras control al laboratorio: una muestra positiva para agroquímicos y una puesta negativa para agroquímicos. El listado completo de pesticidas evaluados se presenta en el anexo 1 y el listado de puntos en donde se tomaron las muestras de pesticidas en el anexo 2.

Los análisis de pesticidas (agroquímicos) y glifosato para agua superficial se llevaron a cabo en el laboratorio Soluciones Analíticas⁸, ya que la universidad todavía no cuenta con la capacidad para realizar dichos análisis. Por último, es importante mencionar que se escogió este laboratorio debido a que es el único que realiza análisis de glifosato.

5.5 Calidad del agua para consumo humano

Los puntos seleccionados para evaluar la calidad de agua para consumo humano se realizaron en diferentes fuentes de abastecimiento de agua: nacimientos, pilas comunales o grifos de casas, ubicados en comunidades aledañas a los puntos de muestreo del agua superficial (ver Anexo 3: puntos de muestreo de agua de consumo humano). Se realizó una previa limpieza y desinfección de tubos, mangueras o grifos y posteriormente, con equipo especializado, se tomaron los siguientes parámetros *in situ*: temperatura, pH, ORP, conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos, turbidez. Además, en los casos en donde se utilizaba cloro como método de desinfección del agua, se midió la presencia de cloro residual libre.

Así mismo, se tomaron muestras de agua en recipientes estériles para evaluar la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* en el laboratorio móvil. Además, se tomaron muestras para análisis de arsénico que fueron enviadas para análisis en laboratorio externo dado que la universidad todavía no realiza análisis de este compuesto.

Los resultados obtenidos se contrastaron con los rangos establecidos en la Norma Técnica Guatemalteca, COGUANOR NTG 29001: especificaciones para agua para consumo humano (agua potable). Esta norma indica que, si alguno de los parámetros se encuentra por encima de los límites máximos permisibles, esta se convierte en no apta para consumo humano. Se destacaron aquellos parámetros con mayor importancia en el país, con posible presencia en el área e impacto en la salud de la población, siendo estos: turbiedad (NTU), sólidos disueltos

⁸ En este laboratorio también se llevaron a cabo los análisis de presencia de arsénico en agua de consumo humano

totales-TDS- (mg/l), pH (unidad de pH), coliformes totales (NMP/100ml), E.coli (NMP/100ml) y arsénico (mg/l As).

5.6 Análisis de datos

Los resultados de los datos obtenidos en campo a través de los monitoreos que se realizaron en los 13 puntos seleccionados se evaluaron a través de las siguientes etapas principales:

- a. Análisis estadístico para evaluar si existen diferencias significativas entre la calidad del agua por medio del ISCA entre los tres cultivos: palma de aceite, bosque y postpalma
- b. Análisis descriptivo de presencia y posibles impactos de los agroquímicos presentes de acuerdo con los niveles de concentración.

5.6.1 Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en la aplicación de un análisis de varianza el cual consiste en una técnica que se utiliza para comparar las medias de tres o más grupos y de esta forma determinar si existen diferencias significativas entre estas medias.

Para efectos de esta investigación, el análisis de varianza permitió determinar si existían diferencias significativas entre las medias del índice simplificado de la calidad del agua (ISCA) de cada uso de la tierra analizado: bosque, palma de aceite y postpalma. La hipótesis para probar fue la siguiente:

Ho: No hay diferencia significativa entre la calidad del agua evaluada a través del ISCA de puntos de muestreo ubicados en bosque, palma de aceite y postpalma

Ha: Existe diferencia significativa entre la calidad del agua evaluada a través del ISCA de al menos uno de los usos de la tierra bosque, palma de aceite y postpalma

La prueba se hizo para un nivel de significancia de 0.05. Como se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza, se procedió a realizar una prueba de Duncan para comparar todos los pares de medias y así determinar qué uso de la tierra tenía un mayor valor en el ISCA.

5.6.2 Análisis descriptivo de presencia de pesticidas

Con base en los resultados obtenidos del informe presentado por el laboratorio externo, fue posible identificar la presencia/ausencia de pesticidas en las muestras tomadas en campo. Estos resultados también permitieron conocer la concentración de los pesticidas presentes, el tipo de pesticida y de esta forma se realizó una investigación rigurosa que informara sobre los posibles impactos que la presencia de determinado pesticida tiene en el ambiente como en la salud de las personas.

6 Resultados y discusión

El muestreo se llevó a cabo en el mes de enero del 2024, en dos semanas distintas. El primer muestreo ocurrió en la semana del 15 al 19 de enero. Las condiciones climáticas que se

encontraron en esta semana correspondían a condiciones de época seca. La segunda semana de monitoreo se llevó a cabo del 29 de enero al 2 de febrero. A pesar de que los monitoreos se llevaron a cabo con dos semanas de diferencia, las condiciones climáticas que se observaron para el segundo monitoreo fueron completamente diferentes a la primera semana. Para este monitoreo, se observó un clima más frío y se informó que hubo lluvias la semana anterior al monitoreo.

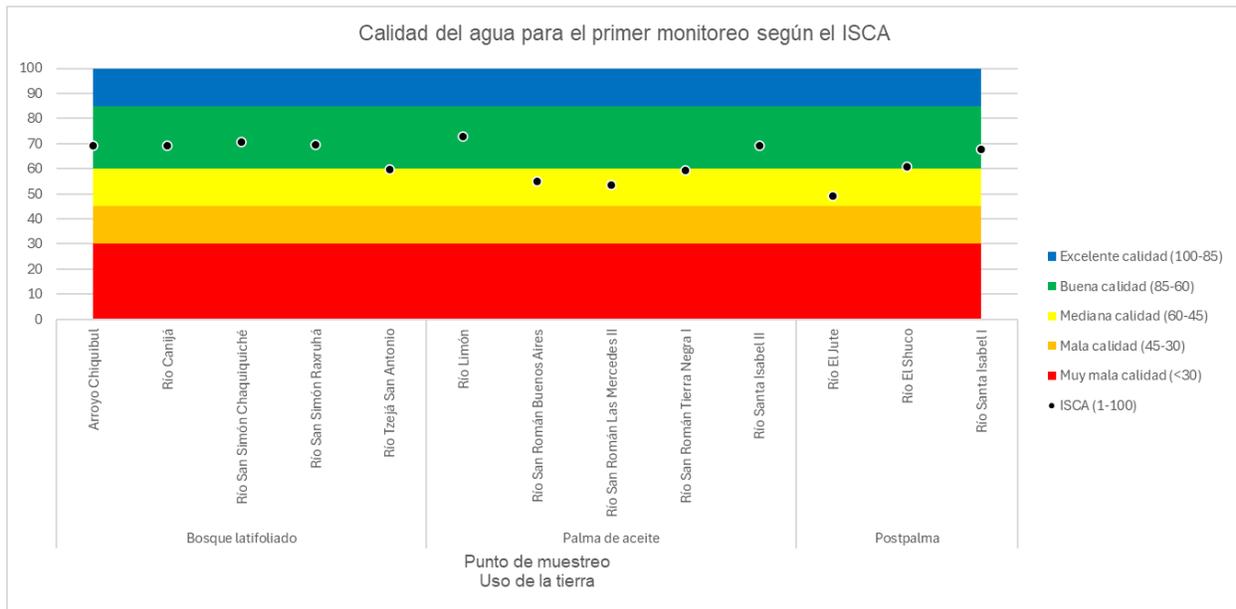
6.1 Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISCA) para las escorrentías superficiales bajo estudio, resultados para el primer monitoreo

Los resultados del ISCA para el primer monitoreo realizado muestran que, de las cinco muestras tomadas para bosque, el 80 % de estas tuvieron una buena calidad de agua, mientras el 20 % restante obtuvo una mediana calidad.

En cuanto a palma y postpalma, en el primer caso, la mayoría de las muestras tomadas obtuvieron resultados de mediana calidad del agua (60 % del total), mientras que el 40 % restante obtuvo una buena calidad de agua. En el segundo caso, el de postpalma, el 67 % de las muestras obtuvieron una buena calidad de agua mientras que el resto de estas obtuvo una mediana calidad de agua (33 %).

Como puede observarse en la Figura 3, en términos generales, para el primer monitoreo realizado, la categoría de uso de la tierra denominada bosque, obtuvo mejores resultados de calidad del agua que los usos de la tierra de palma de aceite y postpalma.

Figura 3. Resultados de la calidad del agua para el primero monitoreo de acuerdo con el índice simplificado de la calidad del agua (ISCA)

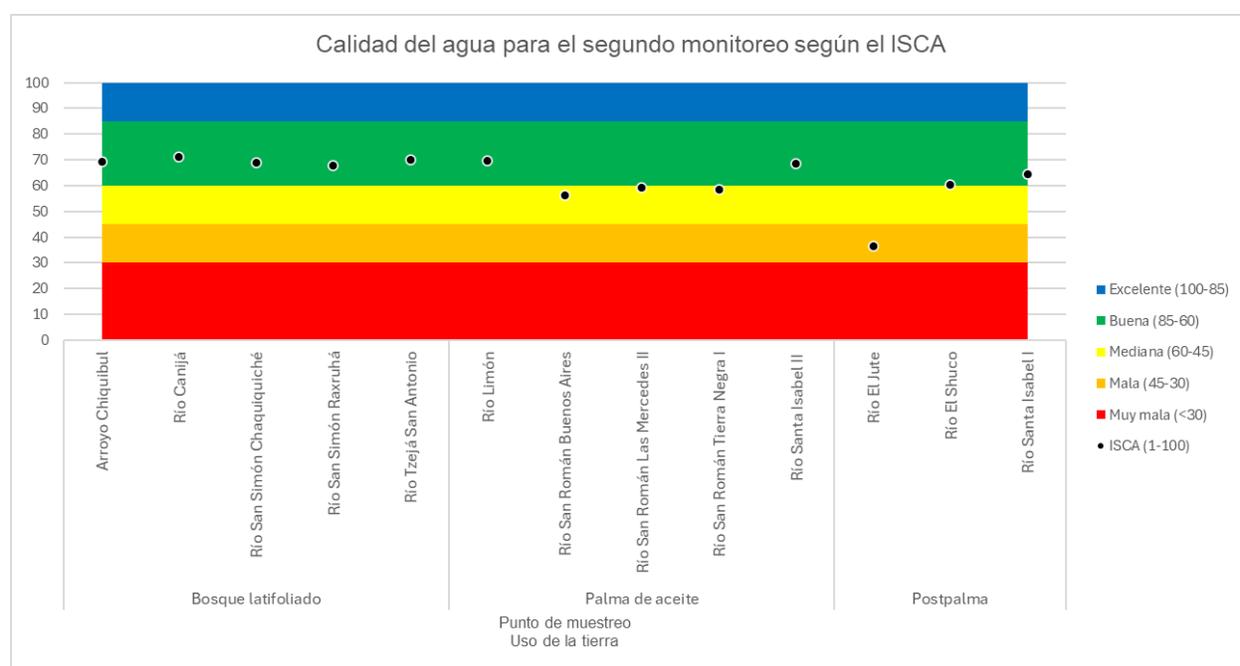


Fuente: elaboración propia con datos de Losada, Rueda-Sanabria y Martínez (2020).

6.2 Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISCA) para las escorrentías superficiales bajo estudio, resultados para el segundo monitoreo

En el caso del segundo monitoreo, el 100 % de las muestras tomadas en la categoría de bosque obtuvieron una buena calidad del agua, mientras que, para el caso de la palma africana, más de la mitad de las muestras (60 %) obtuvieron una mediana calidad de agua mientras que el restante 40 % obtuvieron una calidad de agua buena. Finalmente, el 33 % de las muestras tomadas en postpalma obtuvieron una mala calidad de agua, mientras que el 67 % obtuvieron una buena calidad de agua. En este caso, al igual que para el primer monitoreo, los resultados muestran una mejor calidad de agua en aquellos puntos ubicados en bosque y una peor calidad de agua en los puntos muestreados ubicados en palma de aceite y postpalma (Figura 4).

Figura 4. Resultados de la calidad del agua para el segundo monitoreo según el índice simplificado de la calidad del agua (ISCA)



Fuente: elaboración propia con datos de Losada, Rueda-Sanabria y Martínez (2020).

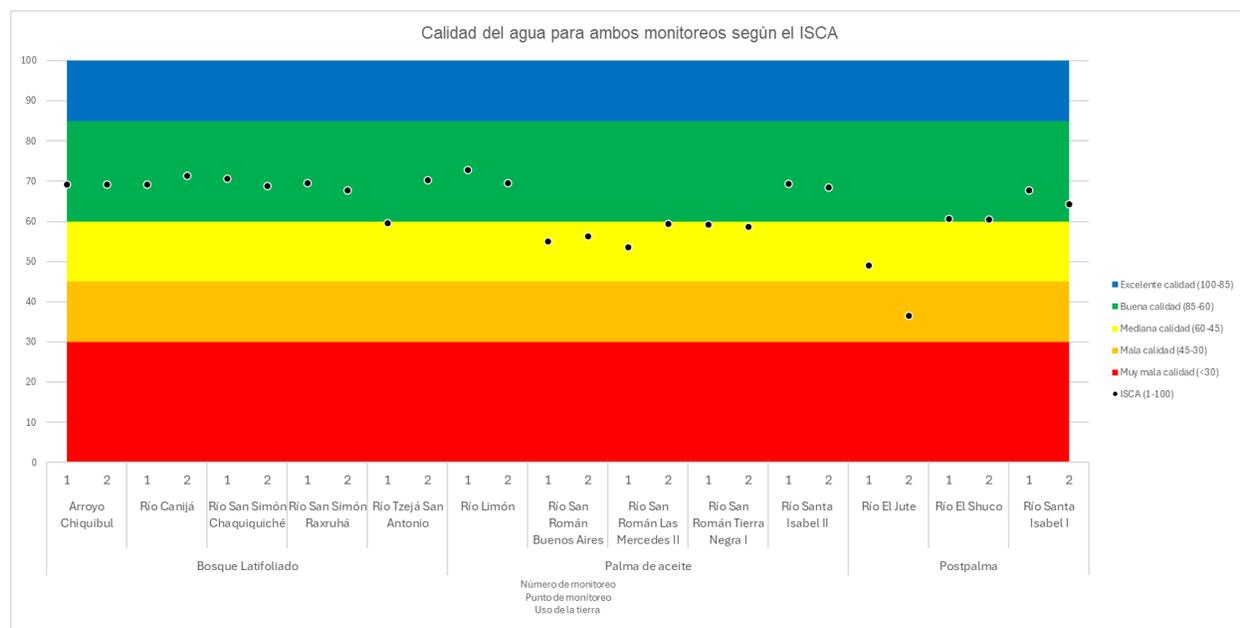
6.3 Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISCA) para las escorrentías superficiales bajo estudio, resultados considerando ambos monitoreos

Los resultados para ambos monitoreos pueden apreciarse en la Figura 5 en donde se observa que la calidad del agua para la categoría de bosque obtuvo una mejor calidad del agua (calidad “buena”) comparado con aquellas categorías de uso de la tierra de palma de aceite y postpalma. Estas últimas obtuvieron escalas de calidad del agua clasificadas como mediana y hubo un punto ubicado en el uso de postpalma que presentó mala calidad de agua que corresponde al río el Jute para el segundo monitoreo. Las aguas clasificadas como de mala calidad pueden utilizarse

únicamente para riego, específicamente para plantas sin consumo directo ya que son aguas que presentan altos grados de contaminación.

Los resultados sugieren que el uso más apropiado del agua para los puntos en donde se obtuvo una buena calidad de agua debería ser para consumo humano con tratamiento convencional de purificación, pesca y uso recreativo. Los ríos que tuvieron una mediana calidad del agua pueden utilizarse para riego hortícola, agua industrial y agua potable con tratamiento especial. Mientras que el río que tuvo mala calidad del agua (río El Jute) debe utilizarse específicamente para riego de plantas sin consumo directo ya que el agua tiene altos grados de contaminación que pueden afectar a la salud de las personas que consuman el agua.

Figura 5. Resultados de la calidad del agua para los dos monitoreos según el índice simplificado de la calidad del agua (ISCA)



Fuente: elaboración propia con datos de Losada, Rueda-Sanabria y Martínez (2020).

6.4 Calidad del agua por macroinvertebrados

En este informe, se analiza la calidad del agua utilizando bioindicadores, específicamente macroinvertebrados. Estos organismos son sensibles a los cambios en el hábitat y su presencia o ausencia proporciona información sobre la calidad del agua. El objetivo de este estudio es utilizar los índices BMWP-Atitlán, BMWP-Costa Rica e IBF-El Salvador para evaluar la calidad del agua en diferentes lugares. Estos índices están basados en la tolerancia de los macroinvertebrados a la contaminación, y permiten establecer un puntaje que indica la salud del ecosistema acuático. A través de la aplicación de estos índices, se busca identificar y comparar los diferentes niveles de calidad del agua en las diferentes zonas estudiadas.

Se realizaron dos muestreos, en el primer muestreo no había llovido por varios meses y una semana antes del segundo muestreo concedieron el ingreso de humedad por el mar Caribe, la persistencia de vientos fuertes y el acercamiento de un frente frío al norte de la Península de

Yucatán lo que desencadenó bajas temperaturas y fuertes lluvias en el territorio de la Franja Transversal del Norte. Debido a lo anterior en el segundo muestreo los ríos se encontraron crecidos y turbios. Se muestrearon por macroinvertebrados cuatro puntos donde el uso aledaño al río era palma africana, un punto de muestreo influenciados por la palma africana, es decir que el punto se encontraba después de este cultivo, y tres puntos con usos con bosque alrededor o cercano, para un total de ocho puntos monitoreados con indicadores biológicos.

6.4.1 Uso de palma

a. Río Limón

Los resultados obtenidos en el punto de muestreo del río Limón se muestran desfavorables según los índices BMWP adaptados para Atitlán y Costa Rica, en donde el punto ubicado en la subcuenca San Román, municipio de Chisec, Alta Verapaz, indican una muy mala calidad del agua (Tabla 7). Este punto se caracteriza por la presencia predominante de cultivos de palma africana y siembras de maíz, resaltando también una franja ribereña degradada. Es importante mencionar, que en este punto solamente se pudo realizar la recolección de macroinvertebrados en el primer muestreo debido al sustancial aumento del nivel de agua para el segundo muestreo lo cual limitó la recopilación de la muestra.

La presencia de cultivos intensivos y extensivos, como la palma africana, podría contribuir a la contaminación del agua por el uso de agroquímicos y fertilizantes y la sedimentación del suelo. Esto podría resultar en la degradación de la calidad del agua y la disminución de la biodiversidad de macroinvertebrados. Además, la calidad del agua también se encuentra influenciada por la degradación en la franja ribereña al reducir la filtración natural y la estabilidad del suelo, aumentando la erosión y por ende la carga de sedimentos en el agua.

La composición de especímenes recolectados en el punto de muestreo permite entender el resultado obtenido de la calidad del agua, ya que en la muestra se presentaron diversas familias tolerantes a la contaminación, según el índice BMWP, como Pilidae y Chironomidae, lo cual permite entender el resultado de muy mala calidad obtenido.

Por otro lado, para el IBF- El Salvador, que es un índice que evalúa la diversidad de familias encontradas en una muestra y abundancia de especímenes por familia, el resultado obtenido fue de buena calidad de agua. Esto se debe a la relación entre especímenes encontrados y la cantidad de familias identificadas, ya que se encontraron 8 familias en 13 especímenes. La familia más abundante fue Leptohyphidae que es indicadora de buena calidad de agua.

Tabla 7. Resultados de índices biológicos para el río Limón

Variable	Primer muestreo
Número de órdenes	5
Número de familias	8
Cantidad de especímenes	13
Índice BMWP – Atilán	32
Calidad de agua asociada	Muy mala
Índice BMWP – Costa Rica	24
Calidad de agua asociada	Muy mala
Índice IBF – El Salvador	4.85
Calidad de agua asociada	Buena

Fuente: elaboración propia.

b. Río San Román Las Mercedes II

En el Río San Román Las Mercedes II, ubicado en la subcuenca San Román se observó que el caudal atraviesa plantaciones de palma africana, el agua de este río es usada para los quehaceres diarios de las familias en la comunidad como lavar ropa, lavar trastos, bañarse y también para consumir. Debido a estas actividades se encontró basura y espuma acumulada en las orillas.

En el primer muestreo según los índices BMWP de Atilán y de Costa Rica el río obtuvo la categoría muy mala, representativa de aguas contaminadas. Lo anterior se debe a la poca diversidad de familias encontradas. El índice IBF-El Salvador categorizó al río como con aguas de calidad regular con contaminación orgánica sustancial probable. Esto se debe a que la combinación de familias en la muestra es diversa ya que se encuentran especímenes tolerantes a la contaminación, como son los quironómidos, tabánidos y la familia Bithyniidae; pero también se encuentran otros menos tolerantes como Leptohiphidae y Leptoplebiidae, que permiten obtener un resultado regular en la calidad de agua.

En el segundo muestreo según los índices BMWP de Atilán y Costa Rica el río obtuvo la categoría mala, la cual es representativa de aguas contaminadas. Para este segundo muestreo, se observó una leve mejora en la calidad del agua porque se encontraron más familias en el río. El índice IBF- El Salvador esta vez categorizó al río como aguas de calidad pésima con contaminación orgánica severa probable ya que la familia con mayor cantidad de especímenes fue Chironomidae la cual es indicadora de aguas de mala calidad (Tabla 8).

Por lo que el punto de muestreo Las Mercedes II obtuvo resultados de calidad de agua entre regular y pésima para el índice IBF-SV y entre mala y muy mala para los índices BMWP. Pudiendo concluir que el río San Román en este punto se encuentra con contaminación, afectando a la comunidad ya que lo utilizan con diferentes fines.

Tabla 8. Resultados de índices biológicos para el río San Román Las Mercedes II

Variable	Primer muestreo	Segundo muestreo
Número de órdenes	5	8
Número de familias	8	14
Cantidad de especímenes	19	277
Índice BMWP – Atitlán	35	48
Calidad de agua asociada	Muy mala	Mala
Índice BMWP – Costa Rica	35	52
Calidad de agua asociada	Muy mala	Mala
Índice IBF – El Salvador	5.63	7.51
Calidad de agua asociada	Regular	Pésima

Fuente: elaboración propia.

c. Río San Román Tierra Negra I

En el Río San Román Tierra Negra I, ubicado en la subcuenca San Román del municipio de Chisec, Alta Verapaz se observó que el caudal fluye a través de campos de palma africana, este río desempeña un papel crucial en la vida diaria de las familias de la comunidad, ya que su agua se utiliza para una variedad de actividades cotidianas, como el lavado de ropa y utensilios, así como para el baño personal y el consumo directo.

Los resultados obtenidos en los tres índices biológicos de calidad de agua resultaron en una categoría mala. Dado que se encontraron especímenes muy tolerantes a la contaminación, como Chironomidae, Oligochaeta y Glossiphonidae. La familia más abundante de la muestra fue Leptophlebiidae que es una familia sensible a la contaminación, sin embargo, 10 de las 15 familias recolectadas se caracterizan por ser tolerantes a la contaminación (Tabla 9). La presencia de especies tolerantes en su mayoría junto con las sensibles sugiere que el agua está afectada por la contaminación, lo que se refleja en la categoría de mala calidad.

En el segundo muestreo no se realizó la recolección porque el río estaba crecido por las lluvias. Estaba muy profundo y era peligroso realizar la recolección de macroinvertebrados.

Tabla 9. Resultados de índices biológicos para el río San Román Tierra Negra I

Variable	Primer muestreo
Número de órdenes	11
Número de familias	15
Cantidad de especímenes	70
Índice BMWP – Atitlán	58
Calidad de agua asociada	Mala
Índice BMWP – Costa Rica	59
Calidad de agua asociada	Mala
Índice IBF – El Salvador	6.10
Calidad de agua asociada	Mala

Fuente: elaboración propia.

d. Río San Román Buenos Aires

El punto de muestreo río San Román Buenos Aires ubicado en la subcuenca San Román del municipio de Sayaxché, Petén tenía presencia de palma africana y ganadería. La franja ribereña se encontraba fragmentada cubriendo con el dosel únicamente entre un 50 % o 75 % del río. El agua de este punto de muestreo lo utilizan para consumo humano, lavado de ropa, abastecimiento agrícola y recreación por lo que es importante para la comunidad.

El punto de muestreo presentó, en general, calidades bajas de agua. En el primer muestreo obtuvo la categoría pésima con los índices BMWP que indica aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas; y buena con el índice IBF-SV que implica alguna contaminación orgánica probable. En este río se muestreo solo en las orillas porque era muy profundo y además tenía mucho lodo, así que era peligroso adentrarse más en el cuerpo de agua. Esto influyó a que en el primer muestreo solo se recolectaran dos especímenes: un Noteridae de la orden coleóptera y un Veliidae perteneciente al orden hemíptera (Tabla 10). Ambos son indicadores de calidades regulares de agua. Es importante mencionar que entre más especímenes se recolecten la precisión del resultado es mejor, por lo que el resultado del primer muestreo puede no ser el más exacto. Es necesario seguir monitoreando y complementando los resultados con otros análisis para conocer la calidad del agua del río.

En el segundo muestreo, también se recolectó solamente en las orillas sin embargo como el río creció por las lluvias se cubrió más área del río, lo que permitió recolectar mayor cantidad de especímenes. En este muestreo se encontraron especímenes indicadores de calidad de agua regular (Staphylinidae, Baetidae, Leptohyphidae, Gerridae, Veliidae y Pyralidae) y de mala calidad de agua (Chironomidae, Muscidae y Oligochaeta). Por lo que el punto de muestreo presentó muy mala calidad de agua en los tres índices, indicando aguas de calidad mala muy contaminadas para los índices BMWP y con contaminación muy sustancial probable para el índice IBF-SV.

Tabla 10. Resultados de índices biológicos para el río San Román Buenos Aires

Variable	Primer muestreo	Segundo muestreo
Número de órdenes	2	6
Número de familias	2	10
Cantidad de especímenes	2	25
Índice BMWP – Atilán	8	34
Calidad de agua asociada	Pésima	Muy mala
Índice BMWP – Costa Rica	4	26
Calidad de agua asociada	Pésima	Muy mala
Índice IBF – El Salvador	4.50	6.96
Calidad de agua asociada	Buena	Muy mala

Fuente: elaboración propia.

6.4.2 Uso de postpalma

a. Río Santa Isabel II

En el río Santa Isabel II, que se encuentra en el municipio Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz, dentro de la subcuenca Santa Isabel se identificó como un territorio de postpalma. En este punto, se clasifica como postpalma ya que el uso de la tierra es principalmente de ganadería, se encontraron potreros en los laterales de la franja ribereña, pero el agua que llega a este punto se encuentra río abajo de cultivos extensivos de palma africana.

Para el primer muestreo en ambos índices BMWP se obtuvo una calidad muy mala del agua, obteniendo para el IBF de El Salvador un resultado satisfactorio con buena calidad. La divergencia entre los resultados se puede entender debido a las diferencias en cómo se evalúa la calidad del agua y la ponderación que tiene cada familia dependiendo del índice (Tabla 11).

El BMWP evalúa la calidad del agua basándose en la tolerancia de las especies de macroinvertebrados a la contaminación y su diversidad. En este punto de muestreo se encontraron familias presentes que son sensibles a la contaminación, como Leptophlebiidae pero la mayor parte de familias son tolerantes o medianamente tolerantes a la contaminación (Sphaeriidae, Veliidae y Coenagrionidae) lo que influye en la calificación general del BMWP, llevando a un resultado de aguas de calidad mala, muy contaminadas.

Por otro lado, el IBF de El Salvador considera otras ponderaciones de tolerancia para las familias recolectadas además de evaluar la cantidad de especímenes recolectados por familia. Presentando como familia más abundante a Leptohiphidae, que es una especie indicadora de buena calidad de agua.

Para el segundo muestreo la calidad de agua en BMWP-Atitlán e IBF-El Salvador, fue de calidad regular. En donde, se presentaron 106 individuos de Leptohiphidae, 41 de Veliidae y 12 de Elmidae como las familias más abundantes, sin embargo, también se encontró de otros grupos taxonómicos indicadoras de contaminación como Chironomidae y Oligochaeta. Esta combinación de familias sensibles y tolerantes a la contaminación permiten un resultado regular en la calidad del agua.

En el caso del BMWP de Costa Rica, no considera la familia Veliidae para la ponderación de la contaminación, por esta razón, al ser una de las familias más abundantes y no ser tomada en cuenta, la calidad del agua disminuye a mala.

Tabla 11. Resultados de índices biológicos para el río Santa Isabel II

Variable	Primer muestreo	Segundo muestreo
Número de órdenes	6	9
Número de familias	7	15
Cantidad de especímenes	50	194
Índice BMWP – Atitlán	31	61
Calidad de agua asociada	Muy mala	Regular
Índice BMWP – Costa Rica	31	53
Calidad de agua asociada	Muy mala	Mala
Índice IBF – El Salvador	4.86	5.68
Calidad de agua asociada	Buena	Regular

Fuente: elaboración propia.

6.4.3 Uso de bosque

a. Río Canijá

El punto de muestreo en el Río Canijá, ubicado en la subcuenca Tzeá en el municipio de Ixcán, Quiché, presentó una calidad de agua muy buena según los índices BMWP adaptados para Atitlán como la adaptación de Costa Rica, para el primer muestreo. Este punto se caracteriza por estar en un área de bosque.

En el primer muestreo, se recolectaron 413 especímenes de macroinvertebrados, distribuidos en 26 familias y 8 órdenes. La diversidad taxonómica y abundancia de individuos recolectados indica un ecosistema acuático saludable y bien estructurado en el Río Canijá. La presencia de muchas familias de macroinvertebrados y su distribución en diversos órdenes sugieren alta diversidad biológica y una calidad de agua óptima en el área de muestreo. Esta abundancia y diversidad son factores clave que contribuyen a la evaluación positiva de la calidad del agua mediante los índices BMWP.

En el caso del IBF de El Salvador, la calidad de agua regular se asocia al equilibrio de familias con diferentes niveles de tolerancia a la contaminación. Debido a que dentro de las familias más abundantes se encuentran los élmidos, efímeras (Leptohyphidae, Leptoplebiidae y Baetidae), quironómidos y simúlidos.

Para el segundo muestreo, la diversidad de familias y la abundancia de especímenes disminuyeron y esto se reflejó en la disminución de la calidad de agua en los índices BMWP e IBF. Lo cual se puede deber a las fuertes lluvias de los días anteriores que pudieron haber arrastrado varios especímenes de macroinvertebrados.

Tabla 12. Resultados de índices biológicos para el río Canijá

Variable	Primer muestreo	Segundo muestreo
Número de órdenes	8	6
Número de familias	26	17
Cantidad de especímenes	413	363
Índice BMWP – Atitlán	126	89
Calidad de agua asociada	Muy buena	Regular
Índice BMWP – Costa Rica	123	90
Calidad de agua asociada	Muy buena	Regular
Índice IBF – El Salvador	5.21	5.86
Calidad de agua asociada	Regular	Mala

Fuente: elaboración propia.

b. Río Tzejá San Antonio

En el primer muestreo realizado en el Río Tzejá San Antonio, ubicado en la Subcuenca Tzeá, se clasificó según las especies encontradas con calidad de agua regular en los tres índices utilizados, debido a que se observó la presencia significativa de Baetidae, que son macroinvertebrados acuáticos sensibles a la contaminación. La presencia de estas familias

sensibles, junto con otros grupos como Elmidae y Leptophlebiidae, que también pueden ser indicadores de buena calidad de agua, sugiere que el agua en este punto del río tiene una calidad regular.

Es importante tener en cuenta que la presencia de ciertas familias sensibles no es necesariamente indicativa de una calidad de agua excelente, ya que la presencia de otros grupos menos sensibles, como Chironomidae, Simuliidae y Tipulidae, puede influir en la evaluación final de la calidad del agua. En este caso, la presencia de una variedad de familias sensibles y menos sensibles contribuyó a obtener una categoría de calidad del agua regular.

En el segundo muestreo se observa una mejora en la calidad del agua según el índice BMWP de Atitlán y Costa Rica, que indicó una calidad buena. En este segundo muestreo se identificaron con 23 familias. Además, la presencia de familias sensibles como Baetidae, Leptohyphidae y Leptophlebiidae en cantidades significativas indica una mejor calidad del agua en este muestreo. El índice IBF-EI Salvador resultó en una calidad de agua categorizada como regular, la diferencia en los resultados entre los índices BMWP de Atitlán y Costa Rica con el IBF-EI Salvador se atribuye a las diferencias en la sensibilidad de los índices y a la presencia de ciertas familias. Aunque se haya observado una mejora en la diversidad y abundancia de especímenes, aún hay presencia de 8 familias indicadoras de contaminación: Gyrinidae, Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Tipulidae, Belostomatidae, Mesoveliidae, Naucoridae y Oligochaeta.

Tabla 13. Resultados de índices biológicos para el río Tzejá San Antonio

Variable	Primer muestreo	Segundo muestreo
Número de órdenes	9	9
Número de familias	13	23
Cantidad de especímenes	245	736
Índice BMWP – Atitlán	64	106
Calidad de agua asociada	Regular	Buena
Índice BMWP – Costa Rica	63	101
Calidad de agua asociada	Regular	Buena
Índice IBF – El Salvador	5.64	5.38
Calidad de agua asociada	Regular	Regular

Fuente: elaboración propia.

c. Arroyo Chiquibul

El Arroyo Chiquibul que pertenece a la subcuenca Icbolay ubicado en el municipio Cobán de Alta Verapaz, presento resultados negativos para los índices BMWP y resultados positivos para el índice IBF-SV en ambos muestreos. Este río se caracterizó por tener agua cristalina, fuerte corriente y un sedimento normal. La franja ribereña era natural, sin fragmentación. El Arroyo Chiquibul está rodeado por bosque y más allá de la franja ribereña se encuentra parcelas con agricultura anual.

Según el índice BMWP-Atitlán, en el primer muestreo, la calidad del agua del río fue mala representando aguas contaminadas, según el índice BMWP-CR la calidad del agua fue muy mala representando aguas muy contaminadas y según el índice IBF-SV la calidad del agua fue buena

indicando que es probable alguna contaminación orgánica. Para el segundo muestreo, los índices BMWP indicaron agua de mala calidad y el índice de El Salvador una muy buena.

En ambos muestreos los índices BMWP y el índice IBF-SV discrepan en los resultados, los primeros mostrando resultados negativos y el último indicando resultados positivos de calidad de agua. Esto se debe a las diferencias metodológicas de cada índice y nos revelan detalles diferentes. Como primer punto los índices BMWP se basan en la ausencia y presencia de los macroinvertebrados por lo que sus resultados son un reflejo de que se encontró poca diversidad de familias. Mientras que los resultados del índice de El Salvador nos indica que a pesar de encontrarse pocas familias el río permite las condiciones para que varias familias indicadoras de aguas con calidad regular vivan en el río, familias como: Hydrobiidae, Elmidae, Ptilodactylidae, Lutrochidae, Penaeidae, Baetidae, Veliidae y Pyralidae.

Tabla 14. Resultados de índices biológicos para el Arroyo Chiquibul

Variable	Primer muestreo	Segundo muestreo
Número de órdenes	7	5
Número de familias	10	6
Cantidad de especímenes	50	99
Índice BMWP – Atitlán	42	28
Calidad de agua asociada	Mala	Muy mala
Índice BMWP – Costa Rica	34	20
Calidad de agua asociada	Muy mala	Muy mala
Índice IBF – El Salvador	4.84	4.19
Calidad de agua asociada	Buena	Muy buena

Fuente: elaboración propia.

6.4.4 Análisis global

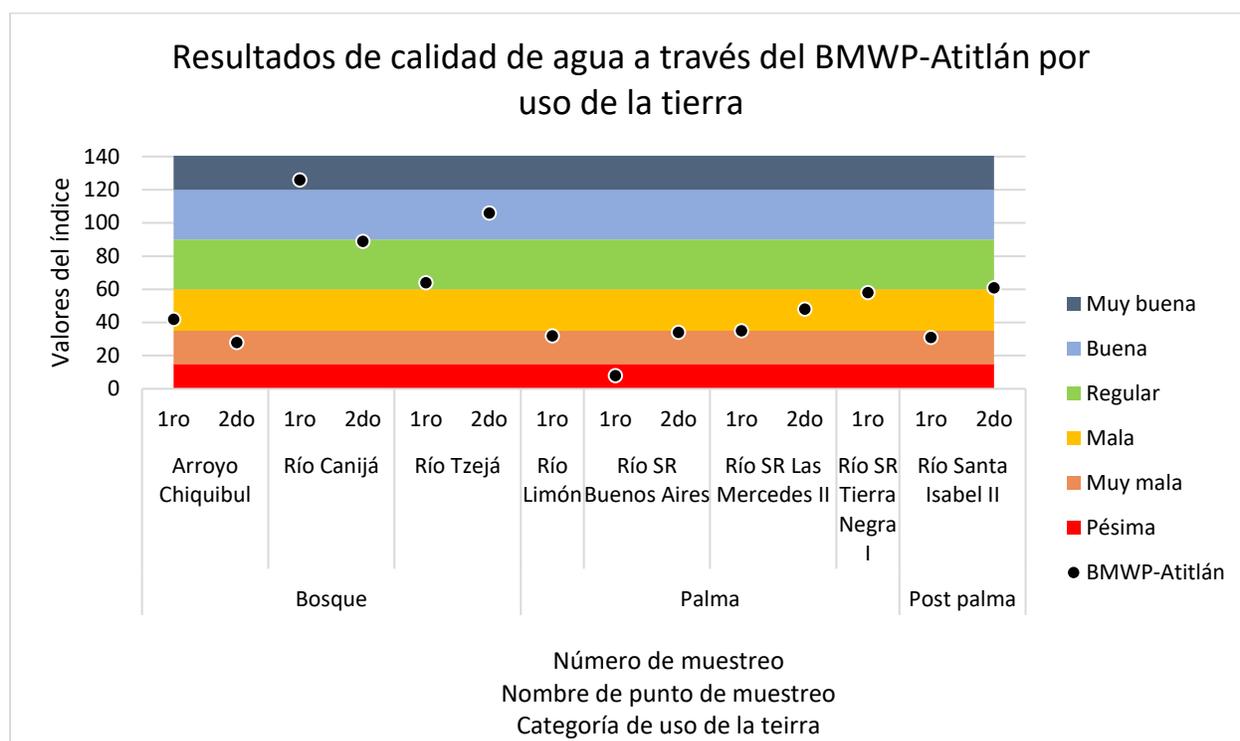
a. Índice BMWP-Atitlán

Según el índice BMWP-Atitlán los puntos con mejores resultados fueron el río Canijá y el río Tzejá San Antonio. En el primer muestreo Canijá obtuvo 126 puntos con una calidad del agua muy buena y en el segundo muestreo 89 puntos en el límite entre una calidad de agua regular y una buena. El río Tzejá San Antonio por su lado obtuvo en el primer muestro 64 puntos indicando una calidad de agua regular y en el segundo muestro 106 puntos indicando que el agua poseía calidad buena. Ambos puntos son representantes de los ríos con bosque.

El punto de muestreo que obtuvo los peores resultados fue el río San Román Buenos Aires. El cual contaba con una calidad de agua pésima (8 puntos) en el primer muestreo y una calidad de agua muy mala en el segundo muestreo (34 puntos). Este punto pertenece a los puntos que están rodeados de palma africana.

Al analizar la Figura 6 se observa que los puntos con bosque, a excepción del Arroyo Chiquibul obtuvieron mejores resultados de calidad de agua que los puntos de postpalma y palma. Los puntos de palma oscilan entre una calidad de agua pésima y una calidad de agua regular; y el punto de postpalma obtuvo resultados entre muy mala calidad de agua y buena calidad de agua en el límite con agua regular.

Figura 6. Calidad del agua a través del índice BMWP-Atitlán por uso de la tierra



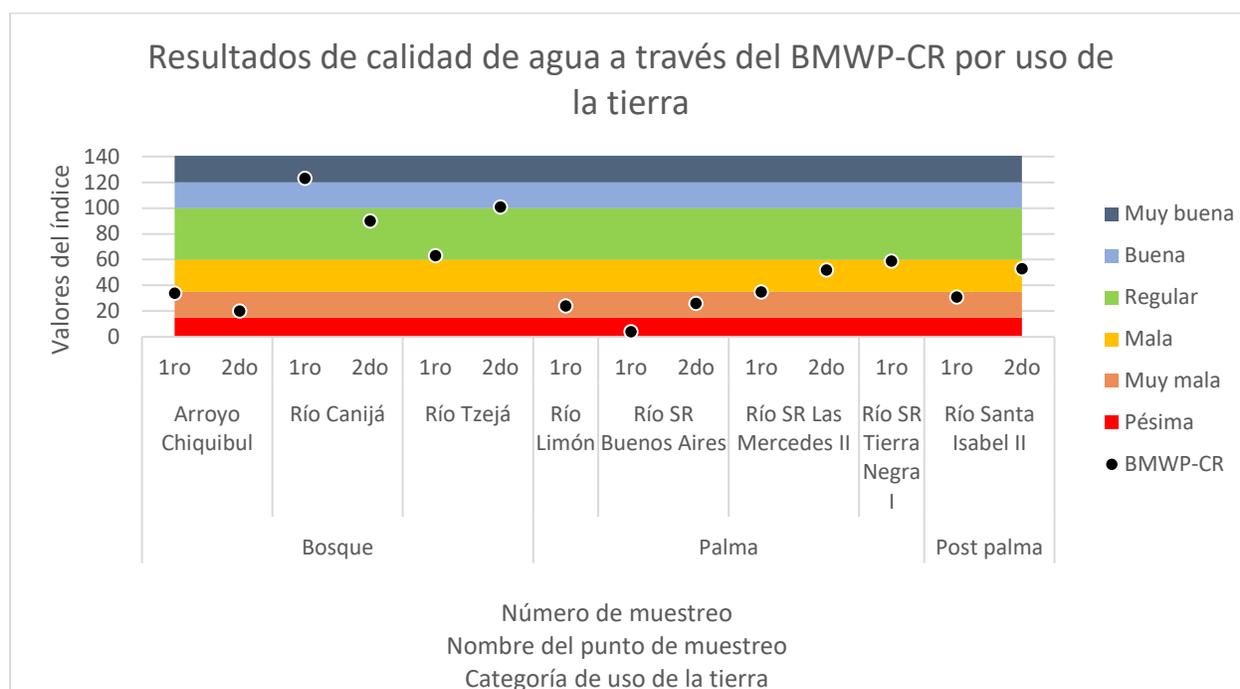
Fuente: elaboración propia.

b. Índice BMWP-Costa Rica

Los resultados del BMWP-CR son muy parecidos a los resultados del BMWP-Atitlán debido a que poseen la misma metodología y criterios similares asignando las ponderaciones de tolerancia a cada familia. Los ríos ubicados en uso de la tierra correspondiente a bosque (Canijá y el río Tzejá San Antonio), obtuvieron los mejores resultados de calidad de agua, con calidades de agua que oscilan entre regular y muy buena. Igualmente, el río con peor calidad de agua fue San Román Buenos Aires (ubicado en uso de la tierra correspondiente a palma) con 4 puntos en el primer muestro indicado una pésima calidad de agua y 26 puntos en el segundo muestro indicando una muy mala calidad de agua.

Los puntos de muestro con bosque obtuvieron una mejor calidad de agua, con excepción del Arroyo Chiquibul, que los ríos con otros usos de la tierra alrededor. Los ríos con cultivo de palma obtuvieron calidades de agua entre pésima y mala; y el río ubicado en el uso de postpalma (Santa Isabel II), obtuvo una calidad del agua muy mala con 31 puntos en el primer muestro y una calidad de agua mala en el segundo muestro con 53 puntos (Figura 7).

Figura 7. Calidad del agua a través del índice BMWP-CR por uso de la tierra



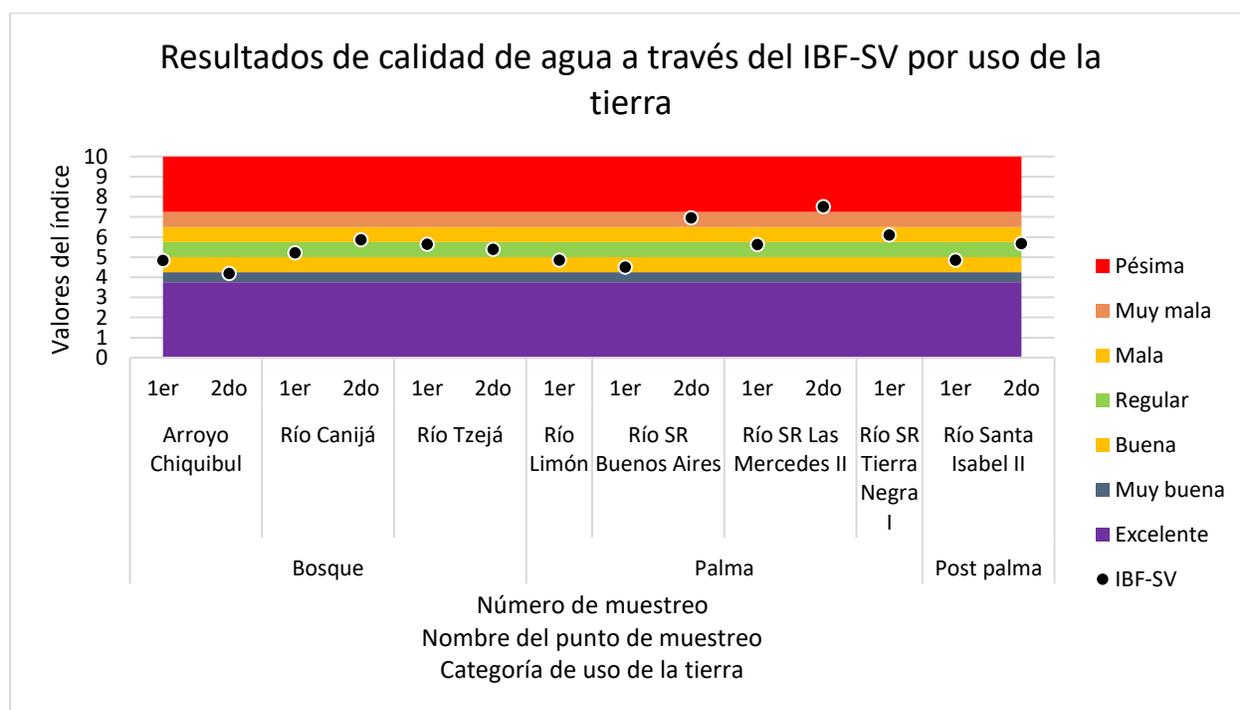
Fuente: elaboración propia.

c. Índice IBF- El Salvador

El río que obtuvo mejor calidad de agua, según el índice IBF-SV, fue el Arroyo Chiquibul. Obteniendo en el primer muestreo un puntaje de 4.84, indicando agua con una buena calidad; y en el segundo muestreo un puntaje de 4.19 indicando una muy buena calidad del agua. El punto con peores resultados fue el río San Román Las Mercedes II con una calidad regular (5.63 puntos) en el primer muestreo y una calidad de agua pésima (7.51) en el segundo muestreo.

Al evaluar los puntos de muestreo por tipo de uso de la tierra cercano no se observa una tendencia y deferencia clara entre bosque, palma y postpalma. Los puntos de muestreo se mantuvieron en rangos similares independientemente del uso que los rodeaba (Figura 8).

Figura 8. Calidad del agua a través del índice IBF-SV por uso de la tierra



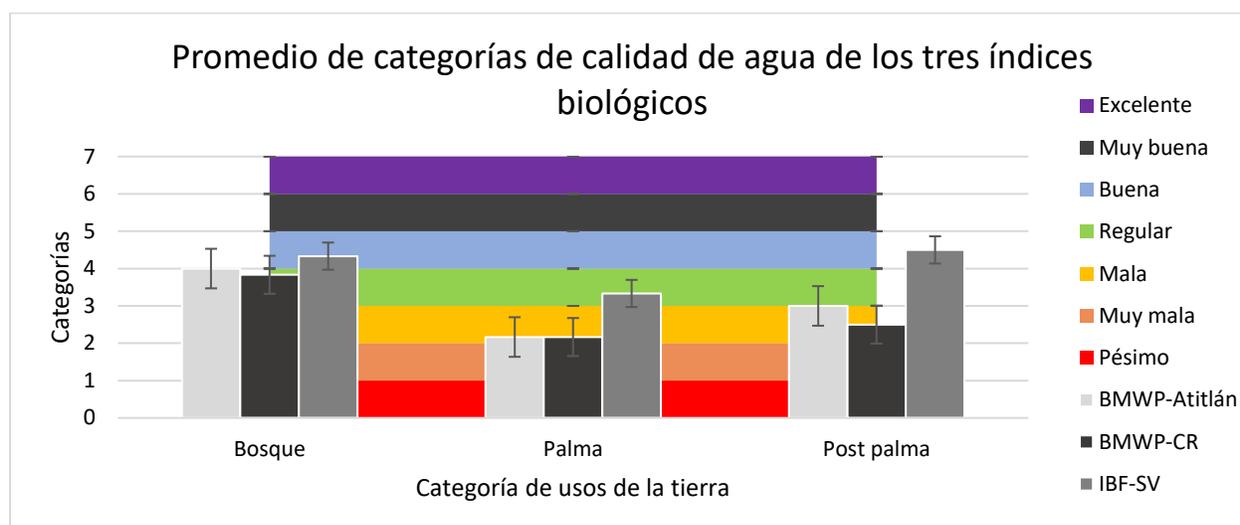
Fuente: elaboración propia.

d. Comparación entre índices por uso de la tierra

En la Figura 9, se observa una comparación de los resultados de calidad de agua de los tres índices biológicos. En ella se evidencia que en promedio de las categorías de calidad de agua los puntos de muestreo rodeados de bosque, según los índices BMWP, tienen mejor calidad de agua que los otros usos. El promedio de los puntos con bosque para ambos índices resultó en calidad de agua regular. Los puntos de muestreo de postpalma obtuvieron un promedio, para los índices BMWP, que indica calidad de agua mala y los puntos de palma su promedio también representa calidad de agua mala, pero en el límite de muy mala. El promedio de los resultados del índice IBF-SV fueron diferentes. Teniendo los puntos de muestreo de postpalma y bosque un promedio que indica calidad de agua buena y los puntos de palma un promedio de calidad de agua regular.

Por lo que los resultados de los tres índices biológicos concuerdan que en promedio los puntos de muestreo de palma tienen una menor calidad de agua en comparación con los puntos de muestreo de bosque y postpalma.

Figura 9. Calidad del agua de acuerdo a los tres índices biológicos utilizados



Fuente: elaboración propia.

Según los resultados de los índices BMWP- Atitlán y el BMWP- Costa Rica los puntos de muestreo con mejor calidad de agua son el río Canijá y el río Tzeja San Antonio, ambos del grupo de bosque, estos obtuvieron calidades de agua entre regular a muy buena en los dos muestreos. El punto de muestreo con menor calidad de agua fue el río San Román Buenos Aires obteniendo calidades de agua pésima y muy mala, este río pertenece al grupo de palma. En promedio los puntos de muestreo rodeados por bosque tienen una mejor calidad de agua que los otros dos usos de la tierra (palma y postpalma).

Según el índice IBF- El Salvador el río que obtuvo mejor calidad de agua fue el Arroyo Chiquibul, obteniendo calidades de agua entre buena y muy buena, este punto de muestreo pertenece al grupo de bosque. El punto con peores resultados fue el río San Román Las Mercedes II con calidades de agua entre regular y pésimo, este punto de muestreo pertenece al grupo de palma. En promedio con este índice los puntos de muestreo rodeados de palma tuvieron peores resultados que los otros dos usos de la tierra (bosque y postpalma).

La aplicación de varios índices permite tener una visión más completa de la calidad de agua de cada punto de muestreo y en caso de que coincidan los resultados tener certeza del estado del agua y el ecosistema. Los índices biológicos dan un panorama a mediano plazo de las condiciones del río, de igual manera siempre es importante complementar estos resultados con análisis de parámetros fisicoquímicos, para poder analizar y concluir de mejor manera los resultados.

6.5 Pesticidas

En total se analizaron en laboratorio externo 30 muestras entre los dos monitoreos realizados. Se analizaron 20 muestras a las que se les solicitó un barrido completo de pesticidas (en 10 ríos distintos, en dos etapas de muestreo) (anexo 1) y 10 muestras a las que se les solicitó un análisis de glifosato (5 ríos distintos, en dos etapas de muestreo), para puntos de muestreo ubicados en usos de la tierra perteneciente a palma, post palma y bosque, las cuales pueden observarse en el anexo 2.

Del total de los diez ríos analizados, seis ríos tuvieron presencia de pesticidas los cuales se detallan en la Tabla 15:

Tabla 15. Ríos con presencia de agroquímicos, grupo al que pertenece el agroquímico, parámetro analizado y cumplimiento con límite en agua de consumo de las normas Coguanor 29001 y la Unión Europea ($\mu\text{g/L}$)

Nombre del punto	Parámetro analizado	Resultado ($\mu\text{g/L}$)	Cumplimiento con LMP de acuerdo a norma Coguanor 29001 ($\mu\text{g/L}$)		Cumplimiento con límite en agua de consumo de la UE (0.10 $\mu\text{g/L}$)
Río Limón	Ciproconazol	0.0155	NA		✓
Río El Shuco	Atrazina	0.0684	2.00	✓	✓
	Atrazina Desetil	0.0104	NA		✓
	2,4-D (SP)	1.54	30.00	✓	X
	Clotianidina	0.0435	NA		✓
Río San Román Las Mercedes II	Atrazina	0.0154	2.00	✓	✓
	2,4-D (SP)	0.1171	30.00	✓	X
Río San Román Buenos Aires	2,4-D (SP)	0.035	30.00	✓	✓
Río Santa Isabel I	Mecocrop	0.0595	10.00	✓	✓
	2,4-D (SP)	0.1782	30.00	✓	X
	Carbendazima	0.5209	NA		X
Río Santa Isabel II	Mecocrop	0.0512	10.00	✓	✓
	2,4-D (SP)	0.23	30.00	✓	X
	Carbendazima	0.5272	NA		X

Nota. La tabla muestra los seis ríos muestreados en donde se encontró presencia de distintos plaguicidas y se marcaron en rojo aquellos cuyas concentraciones sobrepasan el límite establecido de concentración de plaguicidas en agua de consumo humano para la Unión Europea. Cuando se indica NA quiere decir que no se encuentra el plaguicida dentro de la normativa nacional. Fuente: elaboración propia con base en Consejo de la Unión Europea (1998) y Comisión Guatemalteca de Normas (2013).

Los ríos El Shuco, San Román las Mercedes II, Santa Isabel I y Santa Isabel II presentaron concentraciones de herbicidas y fungicidas dentro de los límites máximos permitidos de acuerdo con la norma Coguanor 29001 pero al comparar los resultados con los límites establecidos por la Unión Europea, estos ríos presentan concentraciones de estos compuestos por arriba del límite en agua de consumo establecido correspondiente a 0.10 $\mu\text{g/L}$. De estos resultados destaca el río El Shuco que presentó concentraciones de 1.5400 $\mu\text{g/L}$ del herbicida 2,4-D (SP) el cual es un herbicida que se utiliza para el control de las malezas de hojas anchas y es utilizado ampliamente en diversos cultivos desde los años 40. Todas las muestras que tuvieron presencia de pesticidas corresponden a usos de la tierra en palma y postpalma. El pesticida Carbendazima, es un fungicida sistémico⁹ de amplio espectro, ofrece control sobre mohos *Trichoderma* sp., *Rhizopus* sp, *Fusarium* sp. y hongos *Poria* sp., *Fomes* sp., *Lenzites* sp y es aplicado en diversidad de cultivos como frutales, tomate, lechuga, pepino, avena, cebada, maíz, trigo, remolacha, por mencionar algunos (Carbendazima, s.f)

⁹ Un fungicida sistémico es aquel que actúa sobre toda la planta evitando el rebrote en el área afectada, actúa de manera curativa y preventiva

Por otro lado, en cuanto a presencia de glifosato, se analizó presencia de este compuesto en cinco ríos, de estos uno tuvo presencia de este compuesto y la concentración encontrada está por encima del límite establecido en agua de consumo de la Unión Europea¹⁰. Se comparó también el resultado con el límite de residuos en agua superficial de Suecia y se observó que el resultado se encuentra dentro del límite establecido, como se observa en la Tabla 16. El río que tuvo presencia de glifosato corresponde al río Santa Isabel I que está ubicado en uso de la tierra correspondiente a postpalma.

Tabla 16. Concentraciones de glifosato en los cinco ríos muestreados y cumplimiento con límite en agua de consumo de la Unión Europea (0.10 µg/L)

Nombre del punto	Resultado (µg /L)	Cumplimiento con límite en agua de consumo de la UE (0.10 µg/L)	Cumplimiento con límite de residuos en agua superficial de Suecia (10 µg/L)
Río Limón	<0.030	✓	✓
Río El Jute	<0.030	✓	✓
Arroyo Chiquibul	<0.030	✓	✓
Río Santa Isabel I	0.270	X	✓
Río Santa Isabel II	<0.030	✓	✓

Nota. Los resultados corresponden al primer y segundo muestreo realizados en los cinco ríos que se presentan en la tabla, a excepción del río Santa Isabel I, los resultados corresponden al primer muestreo realizado, para el segundo muestreo, las concentraciones de glifosato en este río fueron de <0.030 µg /L. Fuente: elaboración propia con base en Consejo de la Unión Europea (1998) y Iarna (2022b).

6.6 Calidad del agua para consumo humano: parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y arsénico

Según la norma nacional Coguanor NTG 29001:2013, las muestras de agua de consumo humano deberían tener ausencia de coliformes y de *E. coli*, sin detección de unidades formadoras de colonia por 100 mL. La presencia de este tipo de bacterias en fuentes de agua de consumo humano puede ocasionar daño a la salud humana, e incremento a padecer enfermedades gastrointestinales y problemas de nutrición, especialmente en la población más vulnerable como los niños pequeños y personas de la tercera edad (Iarna, 2022b).

En total se muestrearon nueve puntos distintos de agua de consumo humano, ubicados principalmente en las comunidades aledañas a los ríos en donde se muestreó agua superficial. Los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados (Tabla 17) muestran que el 100 % de las muestras tuvieron presencia de coliformes totales mientras que únicamente dos muestras de las nueve muestras tomadas no tuvieron presencia de *E. coli*, lo que indica que las nueve fuentes de agua de consumo humano no son adecuadas

¹⁰ Los resultados se compararon con la normativa de la Unión Europea debido a que Guatemala no cuenta con límites establecidos para glifosato

para este uso si no se lleva a cabo ningún tratamiento de purificación ya que podría provocar daños a la salud de las personas que la consuman. Por otro lado, también es importante notar que dos de los sitios muestreados (Santo Domingo Cancuén y Barrio La Florida) indicaron el uso de cloro para la purificación del agua, pero al realizar los análisis de cloro residual libre, en ninguna de las muestras se detectó presencia del desinfectante.

Tabla 17. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua de consumo humano en nueve sitios distintos de muestreo

Nombre del sitio de muestreo	pH in situ (unidades de pH)	Conductividad eléctrica in situ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sólidos Totales Disueltos in situ (mg/L)	Turbidez in situ (UNT)	Cloro residual libre in situ (mg/L)	Coliformes Totales (UFC/100 mL)	Escherichia coli (UFC/100 mL)	¿Apta para el consumo humano?
Aldea San Francisco Las Mercedes	8.12	496.00	247.00	2.07	NA	6,298	558	No es adecuada para el consumo humano y puede causar daño a la salud de las personas
Nacimiento Raxruhá	7.46	300.00	150.00	No detectable	NA	1,650	200	
Santo Domingo Cancuén	7.38	591.00	296.00	0.51	No detectable	4,324	222	
Pozo Tierra Negra I	6.85	443.00	222.00	No realizado	NA	888	60	
Pozo artesanal San Antonio Tzejá	6.54	91.00	46.00	3.29	NA	1,744	984	
Pozo Buenos Aires	6.99	763.00	382.00	No detectable	NA	4,304	1,064	
Pozo comunidad Las Mercedes I	7.03	668.00	334.00	No detectable	NA	158	No detectable	
Cenote San Antonio las Flores, San Antonio Las Cuevas	7.72	314.00	157.00	1.75	NA	1,350	210	
Barrio La Florida	8.40	340.00	170.00	No detectable	No detectable	2,540	No detectable	

Nota. Los resultados de cloro residual libre (mg/L) en donde se indicó NA corresponde a fuentes en donde no se aplica tratamiento de cloración.

De los nueve puntos muestreados, a ocho se les hizo el análisis de presencia de arsénico y de estas, tres muestras tuvieron un resultado positivo. Los puntos que tuvieron presencia de arsénico fueron el río San Simón Raxruhá, Santo Domingo Cancuén y la Aldea San Francisco las Mercedes. Se compararon los resultados de presencia de arsénico con los límites establecidos en la norma Coguanor 29001 y los tres puntos se encuentran por debajo del límite establecido de $10 \mu\text{g}/\text{L}$ como puede observarse en la Tabla 18.

Tabla 18. Resultados de presencia de arsénico en agua de consumo humano en comunidades aledañas al área de estudio y cumplimiento con norma NTG 29001:2013

Nombre del punto	Resultado ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Cumplimiento con límite en agua de consumo según norma Coguanor 29001 ($10 \mu\text{g}/\text{L}$)
Barrio La Florida	<4.1	✓
Cenote San Antonio las Flores, San Antonio las Cuevas	<4.1	✓
Pozo comunidad las Mercedes I	<4.1	✓
Pozo Buenos Aires	<4.1	✓
Pozo Tierra Negra I	<4.1	✓
Nacimiento Raxruhá	4.4	✓
Santo Domingo Cancuén	4.2	✓
Aldea San Francisco Las Mercedes	4.4	✓

Nota. Los resultados muestran presencia de arsénico (marcadas en verde) en tres de las nueve muestras realizadas en agua de consumo humano. Fuente: elaboración propia con base en Comisión Guatemalteca de Normas (2013).

6.7 Análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre el ISCA de palma de aceite, bosque y postpalma

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los dos muestreos realizados en enero de 2024, para el cual se aplicó un análisis de varianza que permitió determinar si existían diferencias significativas entre la calidad del agua a través del ISCA para los usos de bosque, palma de aceite y postpalma.

Los resultados para el análisis de varianza para los dos muestreos realizados se pueden observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Análisis de la Varianza (Suma de cuadrados tipo III)

F.V.	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Cuadrados medios (CM)	Valor F	p-valor
Modelo	565.45	2	282.72	5.32	0.0126
Uso	565.45	2	282.72	5.32	0.0126
Error	1221.30	23	53.10		
Total	1786.75	25			

Fuente: elaboración propia

El análisis de varianza muestra que sí hay diferencias significativas entre los ISCA de los usos analizados: palma de aceite, bosque y postpalma, por lo que se rechaza la hipótesis nula que dice que no hay diferencia significativa entre la calidad del agua de puntos de muestreo ubicados en bosque, palma de aceite y postpalma. y por lo consiguiente se acepta la hipótesis alternativa.

Debido a que se sí se encontraron diferencias significativas, se procedió a realizar la prueba de Duncan, para determinar cuál uso de la tierra presenta la mejor calidad del agua de acuerdo con el ISCA y los resultados se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Prueba de Duncan para los tres usos de la tierra: Palma de aceite, bosque y postpalma (Alfa = 0.05)

Uso	Medias	n	E.E.		
Bosque	68.54	10	2.30	A	
Palma	62.20	10	2.30	A	B
Postpalma	56.49	6	2.97		B

Nota. Error: 53.1000 gl: 23. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la prueba de Duncan, el uso de la tierra que tiene el índice más alto de acuerdo con sus condiciones es el bosque, seguido por la palma y por último postpalma. Esto quiere decir que el bosque es el uso de la tierra que presenta las mejores condiciones de calidad del agua, seguido por la palma y postpalma.

7 Conclusiones

Los resultados de la calidad del agua superficial de acuerdo con el ISCA muestran que los ríos ubicados en las categorías de uso de la tierra denominadas “palma de aceite” y “postpalma” muestran una peor calidad del agua que aquellos ríos ubicados en la categoría de “bosque”, en las dos etapas del monitoreo. Es importante mencionar que el río que presentó la peor calidad de agua a través del ISCA fue el río El Jute para el segundo monitoreo (mala calidad de agua).

Los resultados de la calidad del agua a través del ISCA también sugieren que el uso más adecuado que se le puede dar a los ríos que tuvieron una buena calidad del agua es el de consumo para agua potable (con tratamientos convencionales) uso para pesca y uso recreativo. Por otro lado, en los ríos que presentaron una mediana calidad del agua, los usos más recomendables son el riego hortícola, agua industrial y agua potable con tratamiento especial. Por último, en aquel río en donde se obtuvo una mala calidad del agua, los usos se reducen al riego de plantas sin consumo directo.

Al igual que para el caso de la calidad del agua a través del ISCA, los resultados de la calidad del agua superficial a través de macroinvertebrados con tres índices biológicos aplicados (BMWP-Atitlán, BMWP-CR y el IBF-SV), indican que los ríos ubicados en uso de la tierra denominado “bosque” presentaron una mejor calidad del agua que los ríos ubicados en usos de la tierra de “palma” y “postpalma”. Los ríos que tuvieron la peor calidad del agua fueron los ríos San Román Buenos Aires (medido por los índices BMWP-Atitlán y BMWP-CR), y el río San Román Las Mercedes II (medido a través del IBF-SV) ambos ríos ubicados en usos de la tierra correspondiente a palma.

Son seis ríos que tuvieron presencia de plaguicidas medidos a través de diferentes compuestos. Según la normativa nacional Coguanor 29001 de agua de consumo humano, ninguno de estos compuestos sobrepasa los límites establecidos en la norma. Sin embargo, es importante notar que la normativa de la Unión Europea establece límites para este tipo de compuestos los cuales se sobrepasan en cuatro de los ríos muestreados, especialmente se puede mencionar el caso del río El Shuco que fue el río que presentó la mayor concentración del compuesto 2,4 D de todos los ríos que fueron muestreados.

En cuanto a presencia de glifosato, uno de los cinco ríos tuvo presencia de este compuesto que fue el río Santa Isabel I y al comparar las concentraciones de este compuesto con la normatividad europea, este sobrepasa los límites establecidos. La exposición a este tipo de herbicidas está asociado a enfermedades como el cáncer, enfermedades de las vías respiratorias y de la piel y podría aumentar el riesgo a abortos espontáneos, por lo que es necesario continuar con los análisis de este tipo de compuestos.

En el caso del agua de consumo humano, los resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos muestran que el 100 % de las muestras tomadas para este tipo de análisis, mostraron presencia de coliformes totales y de *E. coli*. Las nueve muestras tomadas mostraron presencia de coliformes totales, mientras que en siete de las nueve muestras hubo presencia de *E. coli*, las dos muestras que no tuvieron presencia de este tipo de bacterias fueron la muestra tomada en el pozo de la comunidad Las Mercedes I y la tomada en el Barrio La Florida. A pesar de esto, ninguna de las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano se considera segura para este tipo de consumo sin tratamiento previo, es decir, para que el consumo del agua

sea seguro para las personas, esta debe llevar un tratamiento de purificación para evitar la proliferación de enfermedades gastrointestinales.

Existe presencia de arsénico en tres de los ocho sitios en donde se realizó la prueba. Las concentraciones de este compuesto son bajas y están dentro del límite establecido en la norma Coguanor 29001, a pesar de esto, este compuesto debería monitorearse constantemente para evitar efectos adversos en la salud de las personas que consumen el agua.

A pesar de que se encontraron concentraciones bajas tanto de pesticidas como de glifosato, la sola presencia del pesticida da indicios de que en los cultivos aledaños a los ríos se están utilizando este tipo de compuestos que pueden ser dañinos para la salud de las personas que aplican los agroquímicos y de las personas que hacen uso del agua.

El análisis de varianza realizado permitió verificar que sí existen diferencias significativas entre el ISCA de los tres usos de la tierra analizados: bosque, palma de aceite y postpalma y a través de la prueba de Duncan se comprobó que el uso que presenta las mejores condiciones de calidad del agua de acuerdo con el ISCA es el bosque seguido de la palma africana y por último el uso de postpalma.

8 Recomendaciones

Es necesario continuar con los análisis de calidad de agua en cuanto a presencia de plaguicidas y glifosato, especialmente en aquellos ríos en donde se encontró presencia de estos compuestos: río El Shuco, río San Román Las Mercedes II, río Santa Isabel I (este último con presencia tanto de pesticidas como de glifosato).

Se recomienda monitorear continuamente el agua de consumo humano para presencia de arsénico, especialmente en los sitios en donde hubo presencia de este compuesto para monitorear incrementos en las concentraciones y de esta forma evitar daños a la salud de las personas que consumen el agua.

Es necesaria la educación y concientización para la implementación de tratamientos de purificación del agua de consumo humano, debido a la presencia de bacterias del tipo coliformes totales y *E. coli*, que están asociadas a enfermedades gastrointestinales y que afectan principalmente a la población más vulnerable como los niños y personas mayores. Los tratamientos de purificación que pueden utilizarse son la cloración y hervir el agua.

Se recomienda apegarse en lo posible a los usos del agua establecidos en el ISCA en donde se identifica el uso más adecuado según la calidad del agua. En aquellas áreas en donde no es posible obtener el agua de una fuente más confiable, se recomienda el tratamiento estricto del agua previo a su consumo.

El estudio permitió concluir sobre la importancia que tiene la presencia de bosque para mantener las condiciones de una buena calidad del agua. Los beneficios del bosque en franjas ribereñas son innumerables y por lo tanto se recomienda la recuperación del bosque a través de la reforestación de áreas de ribera en donde se ha perdido la cobertura forestal para dar paso a usos de la tierra que no son los aptos.

9 Referencias bibliográficas

- Bonilla, B., Carranza, F., Flores, J., Gonzales, C., Arias, A., & Chávez, J. (2010). Metodología analítica para la determinación del índice de calidad del agua (ICA).
- Camacho-Valdez, V. Rodiles-Hernández, R. Navarrete-Gutiérrez, D.A., Valencia-Barrera, E. (2022). Tropical wetlands and land use changes: The case of oil palm in neotropical riverine floodplains. *PLoS ONE* 17(5): e0266677. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266677>
- Carbendazima (s.f.). https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/resol._renov-_mod._etiqueta_-_carbendazima_500_sc_oscar_ham_etiqueta.pdf
- Carrera, J.L. y Mosquera, V. (2023). *Agua. Serie Perfil Ambiental de Guatemala 2023*. Vicerrectoría de Investigación y Proyección. Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología. Universidad Rafael Landívar. Editorial Cara Parens.
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2013). Norma técnica guatemalteca Coguanor NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones. Ministerio de Economía.
- Confederación hidrográfica del Ebro. (s.f). *Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro*. Gobierno de España. Universidad de Navarra.
- Consejo de la Unión Europea (1999). *DIRECTIVA 98/83/CE DEL CONSEJO de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano*. <https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/saludAmbLaboral/calidadAguas/legComunitaria.htm>
- Fernández Cirelli, A., (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar, Instituto de Incidencia Ambiental. (2006). *Perfil Ambiental de Guatemala: Tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Guatemala. IARNAURL/IIA.
- Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología. (2022a). *Análisis de la dinámica de expansión del cultivo de palma africana (Elaeis guineensis) en Guatemala para el periodo 2010-2020*. Proyecto “Hacia una gobernanza territorial en áreas de expansión de la industria palmera”. Vicerrectoría de Investigación y Proyección. Universidad Rafael Landívar.
- (2022b). Informe técnico final de calidad del agua. Proyecto hacia una gobernanza territorial en áreas de expansión de la industria palmera. Vicerrectoría de Investigación y Proyección. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología. (2023a). Protocolo 1: Toma de muestras de macroinvertebrados en cuerpos lóticos (Documento inédito).
- Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología. (2023b). Protocolo 3: Identificación y preservación de macroinvertebrados para la colección del larna (Documento inédito).

- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda*.
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Guatemala.
- Losada, L.C., Rueda-Sanabria, C.A. y Martínez, P. (2020). Evaluación de la calidad del agua en el embalse hidroeléctrico El Quimbo. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 107-116. <https://doi.org/10.31908/19098367.1800>
- Mafla, M. (2005). *Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca - Costa Rica* (Vol. 224, Issue 506).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2021). *Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a escala 1: 50,000 de la República de Guatemala, Año 2020* [Mapa digital].
- Organización Meteorológica Mundial. (2020). *Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I. Hidrología de la medición a la información hidrológica*. Suiza.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). Some Organophosphate Insecticides and herbicides. Volume 112. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. International Agency for research on cancer.
- Reyes, E. (2012). Uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en la cuenca del Lago Atitlán, Guatemala.
- Rock, C. y Rivera, B. (2014). *La calidad del agua, E. coli y su salud*. College of Agriculture and Life Sciences. The University of Arizona.
- Roldán Pérez, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Ecología*, 23(88), 375-387.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2011). *FTN. Franja Transversal del Norte. Un corredor de desarrollo*. Plan de desarrollo integral Tomo 2.
- Sermeño, J. M., Serrano, L., Springer, M., Perez, D., Paniagua, M. R., Rivas, A. W., Menjivar, R. A., Bonilla, B. L., Carranza, F. A., Gonzales, C. de los A., Flores, J. M., Gutiérrez, P., Hernández, M. A., Arias, A. Y., & Monterrosa, A. J. (2010). *Determinación de la calidad ambiental de las aguas ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)*. Cuidad Universitaria.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. (2009). Índices De Calidad De Agua En Fuentes Superficiales Utilizadas En La Producción De Agua Para Consumo Humano. Una Revisión Crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.IYU18-2.ifcd>
- Trejo Sánchez, E. y Valdiviezo Ocampo, G.S. (2022). Gobernanza en el sistema de palma de aceite en territorios fronterizos. Los casos de México y Guatemala. En M. Ocampo, H. Fletes, E. Sifuentes y E. Sandes (Eds.), *Teorías y escalas del desarrollo territorial. Un acercamiento desde la heterogeneidad*. Editorial Comunicación Científica.
- Zirena Vilca, Franz, Gosgot Angeles, Wildor, Campos Quiróz, Clara Nely, & Zamalloa Cuba, Walter Alejandro. (2018). Glifosato en cuerpos hídricos: environmental problemproblema

ambiental. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 325-332. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.396>

10 Anexos

Anexo 1. Listado completo de pesticidas analizados en laboratorio externo

BARRIDO COMPLETO		
A-2000 Res (RP GC+LC)		
No acreditado		
* 4-nonilfenol etoxilatos	PE-623	µg/L 0.3
* Alacloro	PE-687	µg/L 0.1
* Aldicarb (SP)	PE-623	µg/L 0.3
* Aldicarb Sulfona	PE-623	µg/L 0.3
* Aldrín (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Alfa-HCH	PE-687	µg/L 0.1
* Ametrina	PE-687	µg/L 0.1
* Atrazina	PE-623	µg/L 0.3
* Azinfos Metil	PE-687	µg/L 0.1
* Benalaxil (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Beta-HCH	PE-687	µg/L 0.1
* Bifenox	PE-687	µg/L 0.1
* Bromacilo	PE-623	µg/L 0.3
* Captan	PE-687	µg/L 0.1
* Carbaril	PE-687	µg/L 0.1
* Carbendazima	PE-623	µg/L 0.3
* Carbofuran (SP)	PE-623	µg/L 0.3
* Cibutrina	PE-687	µg/L 0.1
* Cipermetrina	PE-687	µg/L 0.1
* Ciproconazol	PE-687	µg/L 0.1
* Clodinafop Propargil Ester	PE-687	µg/L 0.1
* Clordano Cis	PE-687	µg/L 0.1
* Clordano Trans	PE-687	µg/L 0.1
* Clordecona	PE-687	µg/L 0.1
* Clorfenvinfos	PE-687	µg/L 0.1
* Clorotalonil	PE-687	µg/L 0.1
* Clorpirifos	PE-687	µg/L 0.1
* Clortal Dimetil	PE-687	µg/L 0.1
* Clortoluron	PE-623	µg/L 0.3
* Delta-HCH	PE-687	µg/L 0.1
* Desetil Terbumetona	PE-623	µg/L 0.3
* Diazinón	PE-687	µg/L 0.1
* Diclorvos-Triclorfon	PE-687	µg/L 0.1
* Dicofol	PE-687	µg/L 0.1
* Dieldrin (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Diflufenicán	PE-687	µg/L 0.1
* Dimetoato (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Diuron	PE-623	µg/L 0.3
* Endosulfan Alfa	PE-687	µg/L 0.1
* Endosulfan Beta	PE-687	µg/L 0.1
* Endosulfan Sulfato	PE-687	µg/L 0.1
* Endrin	PE-687	µg/L 0.1
* Endrin Aldehido	PE-687	µg/L 0.1
* Endrin Cetona	PE-687	µg/L 0.1
* EPTC	PE-687	µg/L 0.1
* Etion	PE-687	µg/L 0.1
* Etoprofos	PE-687	µg/L 0.1
* Fenamifos (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Flusilazol	PE-687	µg/L 0.1
* Folpet	PE-687	µg/L 0.1
* Ftalamida (Folpet)	PE-687	µg/L 0.1
* Heptacloro (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Heptacloro Epóxido (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Hexaclorobenceno	PE-687	µg/L 0.1
* Isodrin	PE-687	µg/L 0.1
* Isoproturón	PE-623	µg/L 0.3
* Lindano	PE-687	µg/L 0.1
* Linurón	PE-623	µg/L 0.3
* Malation (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* MCPA	PE-623	µg/L 0.3
* Metalaxil (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Metamidofos	PE-687	µg/L 0.1
* Metamitrona	PE-623	µg/L 0.3
* Metidatión	PE-687	µg/L 0.1
* Metiocarb (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Metolacloro	PE-623	µg/L 0.3
* Metoxicloro	PE-687	µg/L 0.1
* Metribuzina	PE-687	µg/L 0.1
* Miclobutanil	PE-687	µg/L 0.1
* Mirex	PE-687	µg/L 0.1
* Molinato	PE-687	µg/L 0.1
* o,p-DDT	PE-687	µg/L 0.1
* Oxadiazón	PE-687	µg/L 0.1
* Oxamilo	PE-623	µg/L 0.3
* Oxifluorfen	PE-687	µg/L 0.1
* p,p-DDD	PE-687	µg/L 0.1
* p,p-DDE	PE-687	µg/L 0.1
* p,p-DDT	PE-687	µg/L 0.1
* Paration Etil	PE-687	µg/L 0.1
* Paration Metil (SP)	PE-687	µg/L 0.1
* Pendimetalina	PE-687	µg/L 0.1
* Pentaclorobenceno	PE-687	µg/L 0.1
* Permetrina	PE-687	µg/L 0.1
* Piridabén	PE-687	µg/L 0.1
* Pirimetanil	PE-687	µg/L 0.1
* Piriproxifén	PE-687	µg/L 0.1
* Prometrina	PE-687	µg/L 0.1
* Propanil	PE-623	µg/L 0.3
* Propazina	PE-687	µg/L 0.1
* Propizamida	PE-687	µg/L 0.1
* Prothiofos	PE-687	µg/L 0.1
* Simazina	PE-623	µg/L 0.3
* Simetrina	PE-687	µg/L 0.1
* Sulprofos	PE-687	µg/L 0.1
* Suma Plaguicidas GC	PE-687	µg/L 0.1
* Suma Plaguicidas LC	PE-623	µg/L 0.3

* Tebuconazol	PE-623	µg/L	0.3
* Terbumeton	PE-623	µg/L	0.3
* Terbutilazina	PE-623	µg/L	0.3
* Terbutrin	PE-687	µg/L	0.1
* Tetradifón	PE-687	µg/L	0.1
* Tetrahidroftalamida (Captan)	PE-687	µg/L	0.1
* Tricloronato	PE-687	µg/L	0.1
* Trietazina	PE-687	µg/L	0.1
* Trifluralina	PE-687	µg/L	0.1
* Vinclozolina (SP)	PE-687	µg/L	0.1
Plaguicidas Organonitrogenados			
* Atrazina-Desetil	PE-623	µg/L	0.3
* Desetil Terbutilazina	PE-623	µg/L	0.3

Anexo 2. Puntos de muestreo y análisis de pesticidas realizados en laboratorio externo

No.	Nombre del punto	Cuenca	Río	Uso de la tierra	Latitud	Longitud	Pesticidas analizados	
							Barrido completo	Glifosato
1	San Simón Chaquiquiché	La Pasión	San Simón	Bosque Latifoliado	15.83248400000	-90.30906300000	X	
2	Río Limón	Chixoy	Río Limón	Palma	16.00128300000	-90.48315000000	X	X
3	Río El Shuco	Chixoy	Río El Shuco	Post Palma	16.01930000000	-90.47901700000	X	
4	Río El Jute	Chixoy	Río El Jute	Post Palma	16.01406700000	-90.45233300000	X	X
5	Santa Isabel II	La Pasión	Río Santa Isabel o Cancuen	Palma	15.95339300000	-89.74567500000	X	X
6	Santa Isabel I	La Pasión	Río Santa Isabel o Cancuen	Post Palma	15.93570100000	-89.74985200000	X	X
7	Río San Román Buenos Aires	Chixoy	Río San Román	Palma	16.08263000000	-90.34080200000	X	
8	Río San Román Las Mercedes II	Chixoy	Río Chixoy o Negro	Palma	16.06144300000	-90.41864400000	X	
9	Río San Román Tierra Negra I	Chixoy	Río San Roman	Palma	16.01019700000	-90.37923800000	X	
10	Río San Simón Raxruhá	La Pasión	Río San Simón	Bosque Latifoliado	15.85353400000	-90.05133400000	X	
11	Río Tzejá San Antonio	Chixoy	Río Chinatzejá	Bosque Latifoliado	15.77343400000	-90.93372300000		
12	Río Canijá	Chixoy	Río Canijá	Bosque Latifoliado	15.79543200000	-90.90367400000		
13	Arroyo Chiquibul	Chixoy	Arroyo Chiquibul	Bosque Latifoliado	15.91608900000	-90.53099000000		X

Anexo 3. Puntos de muestreo de agua potable

No.	Nombre del sitio de muestreo	Departamento	Municipio	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
1	Aldea San Francisco Las Mercedes	Alta Verapaz	Chisec	16° 3' 47.369"	-90° 24' 46.944"	142	17/01/2024	13:55
2	Nacimiento Raxruhá	Alta Verapaz	Raxruhá	15° 50' 48.71"	-90° 2' 52.94"	147	18/01/2024	11:30
3	Santo Domingo Cancuén	Alta Verapaz	Fray Bartolomé de las Casas	15° 56' 39.48"	-89° 44' 17.99"	192	18/01/2024	14:25
4	Pozo Tierra Negra I	Alta Verapaz	Chisec	16° 00' 26.65"	-90° 22' 50.12"	176	31/01/2024	09:00
5	Pozo artesanal San Antonio Tzejá	Quiché	Ixcán	15° 46' 32.83"	-90° 56' 08.42"	215	30/01/2024	12:00
6	Pozo Buenos Aires	Petén	Sayaxché	16° 04' 46.66"	-90° 19' 52.10"	161	31/01/2024	13:44
7	Pozo comunidad Las Mercedes I	Alta Verapaz	Chisec	16° 02' 34"	-90° 25' 53"	140	31/01/2024	15:05
8	Cenote San Antonio las Flores, San Antonio Las Cuevas	Alta Verapaz	Raxruhá	15° 51' 38"	-90° 05' 09"	184	01/02/2024	10:35
9	Barrio La Florida	Alta Verapaz	Chisec	15° 49' 01.55"	-90° 17' 49.37"	253	01/02/2024	17:50

Anexo 4. Resultados de los análisis de glifosato para la primera semana de muestreo



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
Dirección: Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable: INGA, CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente: RIO LIMON

Número de orden: 135707
Código de muestra: 24.01.22.11.11
Fecha de ingreso: 22/01/2024
Fecha de informe: 21/02/2024
Asesor: DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo: 17/01/2024
Hora de muestreo: 12:30
Tipo de muestra: AGUA
Recipiente: VIDRIO
Procedencia: NO INDICA

Fecha Inicio de Análisis: 22/01/2024
Hora de Ingreso: 14:19:19
Temperatura de ingreso: 6.0 °C
Temperatura de almacenaje: REFRIGERADA
Responsable de muestreo: CLIENTE
Coordenadas: NO INDICA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	<0.03	0.03	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	<0.03	0.03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	<0.030	0.030	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Licda. Stephany Waighl Albizuere
Química Bióloga
Colegiada No. 5497

Revisado por:
Gerente de Laboratorios

INFORME DE ANALISIS

Cliente: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
Dirección: Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable: INGA, CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente: RIO EL JUTE

Número de orden: 135707
Código de muestra: 24.01.22.11.12
Fecha de ingreso: 22/01/2024
Fecha de informe: 21/02/2024
Asesor: DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo: 17/01/2024
Hora de muestreo: 16:35
Tipo de muestra: AGUA
Recipiente: VIDRIO
Procedencia: NO INDICA

Fecha Inicio de Análisis: 22/01/2024
Hora de Ingreso: 14:19:19
Temperatura de ingreso: 6.0 °C
Temperatura de almacenaje: REFRIGERADA
Responsable de muestreo: CLIENTE
Coordenadas: NO INDICA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	<0.03	0.03	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	<0.03	0.03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	<0.030	0.030	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Licda. Stephany Waighl Albizuere
Química Bióloga
Colegiada No. 5497

Revisado por:
Gerente de Laboratorios



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
Dirección: Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable: INGA. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente: ARROYO CHIQUIBUL

Número de orden: 135707
Código de muestra: 24.01.22.11.13
Fecha de ingreso: 22/01/2024
Fecha de Informe: 21/02/2024
Asesor: DAVID AVILA

Cliente: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
Dirección: Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable: INGA. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente: RIO SANTA ISABEL I

Número de orden: 135707
Código de muestra: 24.01.22.11.14
Fecha de ingreso: 22/01/2024
Fecha de Informe: 21/02/2024
Asesor: DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo: 17/01/2024
Hora de muestreo: NO INDICA
Tipo de muestra: AGUA
Recipiente: VIDRIO
Procedencia: NO INDICA

Fecha Inicio de Análisis: 22/01/2024
Hora de Ingreso: 14:19:19
Temperatura de ingreso: 6.0 °C
Temperatura de almacenaje: REFRIGERADA
Responsable de muestreo: CLIENTE
Coordenadas: NO INDICA

Fecha de muestreo: 18/01/2024
Hora de muestreo: 15:20
Tipo de muestra: AGUA
Recipiente: VIDRIO
Procedencia: NO INDICA

Fecha Inicio de Análisis: 22/01/2024
Hora de Ingreso: 14:19:19
Temperatura de ingreso: 6.0 °C
Temperatura de almacenaje: REFRIGERADA
Responsable de muestreo: CLIENTE
Coordenadas: NO INDICA

DATOS DE LA MUESTRA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	<0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	<0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	<0,030	0,030	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	<0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	<0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	0,270	0,030	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Licda. Stephany Waight Albicurez
Química Bióloga
Colegiada No. 5497

Revisado por:

Licda. Stephany Waight Albicurez
Química Bióloga
Colegiada No. 5497

Revisado por:



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
 Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
 Zona 4 de Mixco, Guatemala,
 PBX.: 2416-2916
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente:	UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR	Número de orden:	136767
Dirección:	Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16	Código de muestra:	24.01.22.11.15
Persona Responsable:	INGA, CLAUDIA GORDILLO	Fecha de ingreso:	22/01/2024
Referencia Cliente:	RIO SANTA ISABEL II	Fecha de Informe:	21/02/2024
		Asesor:	DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo:	NO INDICA	Fecha Inicio de Análisis:	22/01/2024
Hora de muestreo:	12:55	Hora de Ingreso:	14:19:19
Tipo de muestra:	AGUA	Temperatura de ingreso:	6.0 °C
Recipiente:	VIDRIO	Temperatura de almacenaje:	REFRIGERADA
Procedencia:	NO INDICA	Responsable de muestreo:	CLIENTE
		Coordenadas:	NO INDICA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	<0.03	0.03	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	<0.03	0.03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	<0.030	0.030	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
 1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Licda. Stephany Waight Albúrez
 Química Bióloga
 Colegiada No. 5497

Revisado por: 
 Gerente de Laboratorios

Anexo 5. Resultados de los análisis de glifosato para la segunda semana de muestreo



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
Dirección: Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable: LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente: RIO LIMON

Número de orden: 135970
Código de muestra: 24.02.09.03.17
Fecha de ingreso: 09/02/2024
Fecha de Informe: 14/03/2024
Asesor: DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo: 30/01/2024
Hora de muestreo: 15:00
Procedencia: NO INDICA
Recipiente: VIDRIO
Tipo de muestra: AGUA

Fecha Inicio de Análisis: 09/02/2024
Hora de Ingreso: 14:09:24
Temperatura de ingreso: 6.0 °C
Temperatura de almacenaje: REFRIGERADA
Responsable de muestreo: CLIENTE
Coordenadas: NO INDICA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	< 0,030	0,030	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Licda. Stephany Waight Albizu
Química Bióloga
Colegiada No. 5497

Revisado por:
Gerente de Laboratorios

INFORME DE ANALISIS

Cliente: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
Dirección: Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable: LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente: RIO EL JUTE

Número de orden: 135970
Código de muestra: 24.02.09.03.18
Fecha de ingreso: 09/02/2024
Fecha de Informe: 14/03/2024
Asesor: DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo: 31/01/2024
Hora de muestreo: 13:50
Procedencia: NO INDICA
Recipiente: VIDRIO
Tipo de muestra: AGUA

Fecha Inicio de Análisis: 09/02/2024
Hora de Ingreso: 14:09:24
Temperatura de ingreso: 6.0 °C
Temperatura de almacenaje: REFRIGERADA
Responsable de muestreo: CLIENTE
Coordenadas: NO INDICA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	<0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	< 0,030	0,030	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Licda. Stephany Waight Albizu
Química Bióloga
Colegiada No. 5497

Revisado por:
Gerente de Laboratorios



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
Dirección: Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable: LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente: ARROYO CHIQUIBUL (NACIMIENTO)

Número de orden: 135970
Código de muestra: 24.02.09.03.19
Fecha de ingreso: 09/02/2024
Fecha de Informe: 14/03/2024
Asesor: DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo: 31/01/2024
Hora de muestreo: 09:35
Procedencia: NO INDICA
Recipiente: VIDRIO
Tipo de muestra: AGUA

Fecha Inicio de Análisis: 09/02/2024
Hora de Ingreso: 14:09:24
Temperatura de ingreso: 6.0 °C
Temperatura de almacenaje: REFRIGERADA
Responsable de muestreo: CLIENTE
Coordenadas: NO INDICA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	< 0,030	0,030	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Revisado por: 
Licda. Stephany Waight Albaruez
Química Bióloga
Colegiada No. 5497
Gerente de Laboratorios

INFORME DE ANALISIS

Cliente: UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR
Dirección: Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable: LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente: RÍO SANTA ISABEL I

Número de orden: 135970
Código de muestra: 24.02.09.03.20
Fecha de ingreso: 09/02/2024
Fecha de Informe: 14/03/2024
Asesor: DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo: 01/02/2024
Hora de muestreo: 12:45
Procedencia: NO INDICA
Recipiente: VIDRIO
Tipo de muestra: AGUA

Fecha Inicio de Análisis: 09/02/2024
Hora de Ingreso: 14:09:24
Temperatura de ingreso: 6.0 °C
Temperatura de almacenaje: REFRIGERADA
Responsable de muestreo: CLIENTE
Coordenadas: NO INDICA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	< 0,030	0,030	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Revisado por: 
Licda. Stephany Waight Albaruez
Química Bióloga
Colegiada No. 5497
Gerente de Laboratorios



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
 Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
 Zona 4 de Mixco, Guatemala.
 PBX.: 2416-2916
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliete:	UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR	Número de orden:	135970
Dirección:	Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16	Código de muestra:	24.02.09.13.01
Persona Responsable:	LIC. CLAUDIA GORDILLO	Fecha de ingreso:	09/02/2024
Referencia Cliente:	RÍO SANTA ISABEL II	Fecha de Informe:	14/03/2024
		Asesor:	DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de muestreo:	01/02/2024	Fecha Inicio de Análisis:	09/02/2024
Hora de muestreo:	11:30	Hora de Ingreso:	14:09:24
Procedencia:	NO INDICA	Temperatura de ingreso:	6.0 °C
Recipiente:	VIDRIO	Temperatura de almacenaje:	REFRIGERADA
Tipo de muestra:	AGUA	Responsable de muestreo:	CLIENTE
		Coordenadas:	NO INDICA

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	TECNICA
AMPA	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS
GLIFOSATO	µg/L	< 0,030	0,030	Cromatografía LC/MS-MS
GLUFOSINATO	µg/L	< 0,03	0,03	Cromatografía LC/MS-MS

Nota:
 1. Análisis realizado en laboratorio referido. IAS ACCREDITED

Licda. Stephany Waight Albizurez
 Química Bióloga
 Colegiada No. 5497

Revisado por: 
 Gerente de Laboratorios

Anexo 6. Resultados de los análisis de arsénico en agua de consumo humano



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable : LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente : ARROYO CHIQUIBUL (NACIMIENTO)
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135970
Código de muestra : 24.02.09.12.03
Fecha de ingreso : 09/02/2024
Fecha del informe : 20/02/2024
Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 31/01/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 09/02/2024
Hora de Muestreo	: 09:33	Hora de Ingreso	: 14:24:29
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L As	< 0.0041	0.0041	P.LFQ.OP.003.08-2023

Metodología basada en:
P.LFQ.OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable : LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente : BARRIDO LA FLORIDA
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135970
Código de muestra : 24.02.09.12.04
Fecha de ingreso : 09/02/2024
Fecha del informe : 20/02/2024
Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 01/02/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 09/02/2024
Hora de Muestreo	: 17:50	Hora de Ingreso	: 14:24:29
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L As	< 0.0041	0.0041	P.LFQ.OP.003.08-2023

Metodología basada en:
P.LFQ.OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable : LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente : CENOTE SAN ANTONIO LAS FLORES, SAN ANTONIO LAS CUEVAS
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135970
Código de muestra : 24.02.09.12.05
Fecha de ingreso : 09/02/2024
Fecha del informe : 20/02/2024
Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 01/02/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 09/02/2024
Hora de Muestreo	: 10:35	Hora de Ingreso	: 14:24:29
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L As	< 0.0041	0.0041	P.LFQ.OP.003.08-2023

Metodología basada en:

PLFQ.OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES.



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable : LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente : POZO COMUNIDAD LAS MERCEDES I
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135970
Código de muestra : 24.02.09.12.06
Fecha de ingreso : 09/02/2024
Fecha del informe : 20/02/2024
Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 31/01/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 09/02/2024
Hora de Muestreo	: 15:05	Hora de Ingreso	: 14:24:29
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L As	< 0.0041	0.0041	P.LFQ.OP.003.08-2023

Metodología basada en:

PLFQ.OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES.



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable : LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente : POZO BUENOS AIRES
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135970
Código de muestra : 24.02.09.12.07
Fecha de ingreso : 09/02/2024
Fecha del informe : 20/02/2024
Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 31/01/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 09/02/2024
Hora de Muestreo	: 13:44	Hora de Ingreso	: 14:24:29
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L As	< 0.0041	0.0041	P.LFQ.OP.003.08-2023

Metodología basada en:
PLFQ.OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES.



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable : LIC. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente : POZO TIERRA NEGRA I
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135970
Código de muestra : 24.02.09.12.08
Fecha de ingreso : 09/02/2024
Fecha del informe : 20/02/2024
Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 31/01/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 09/02/2024
Hora de Muestreo	: 09:00	Hora de Ingreso	: 14:24:29
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L As	< 0.0041	0.0041	P.LFQ.OP.003.08-2023

Metodología basada en:
PLFQ.OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES.



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable : INGA. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente : ARROYO RAXRUHÁ
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135707
Código de muestra : 24.01.22.02.18
Fecha de ingreso : 22/01/2024
Fecha del informe : 30/01/2024
Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 18/01/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 22/01/2024
Hora de Muestreo	: 11:30	Hora de Ingreso	: 14:24:54
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L. As	0.0044	0.0041	P.LFQ OP.003.08-2023

Metodología basada en:

PLFQ OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES.



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
Persona Responsable : INGA. CLAUDIA GORDILLO
Referencia Cliente : SANTO DOMINGO CANCUÉN
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135707
Código de muestra : 24.01.22.02.19
Fecha de ingreso : 22/01/2024
Fecha del informe : 30/01/2024
Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 18/01/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 22/01/2024
Hora de Muestreo	: 14:25	Hora de Ingreso	: 14:24:54
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L. As	0.0042	0.0041	P.LFQ OP.003.08-2023

Metodología basada en:

PLFQ OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES.



14 Avenida 19-50 Condado El Naranjo
 Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23
 Zona 4 de Mixco, Guatemala.
 PBX.: 2416-2916
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR (01910)
 Dirección : Vista Hermosa III, Campus Central, zona 16
 Persona Responsable : INGA. CLAUDIA GORDILLO
 Referencia Cliente : ALDEA SAN FRANCISCO LAS MERCEDES
 Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 135707
 Código de muestra : 24.01.22.02.20
 Fecha de ingreso : 22/01/2024
 Fecha del informe : 30/01/2024
 Asesor : DAVID AVILA

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 17/01/2024	Fecha Inicio de Análisis	: 22/01/2024
Hora de Muestreo	: 13:55	Hora de Ingreso	: 14:24:54
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	: 6.0
Tipo de muestra	: AGUA	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ARSENICO	mg/L As	0.0044	0.0041	P.LFQ.OP.003.08-2023

Metodología basada en:

PLFQ.OP.003.08-2023 | Procedimiento para la determinación de elementos metálicos volátiles en muestras acuosas mediante la generación de hidruros por FIAS-ICP-OES.