

PROGRAMA UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS NATURALES Y  
AMBIENTE

Determinación de contaminantes emergentes, metales ecotóxicos, nutrientes y parámetros  
generales de calidad en agua y sedimentos del Río Las Vacas.

Código del proyecto de Investigación: AP17-2021

Unidad Académica Avaladora  
Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, IIQB  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Usac

Lic. Manuel Alejandro Muñoz Wug  
Coordinador Proyecto de Investigación

Br. Christa Melisa Lemus Lucas  
Auxiliar de Investigación I

Guatemala 25 de abril de 2022

## **Autoridades**

Dr. Hugo René Pérez Noriega  
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
Coordinador General de Programas

Ing. Augusto Saul Guerra Gutiérrez  
Coordinador Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

## **Autores**

Lic. Manuel Alejandro Muñoz Wug  
Coordinador Proyecto de Investigación

Br. Christa Melisa Lemus Lucas  
Auxiliar de Investigación I

## **Colaboradores**

Dr. Juan Francisco Pérez Sabino  
Profesor Titular de la Escuela de Química

Dra. Elisandra Hernández Hernández  
Profesora Titular de la Escuela de Química

Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernández  
Directora Escuela de Química

# **Informe final proyecto de investigación 2021**

Dirección General de Investigación –DIGI-

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2021. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de del código AP17-2021 en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación



## 1 Índice general

Contenido	Página
1 Índice general.....	4
2 Resumen y palabras claves .....	11
3 Introducción .....	13
4 Planteamiento del problema .....	15
5 Delimitación en tiempo y espacio .....	17
5.1 Delimitación en tiempo: .....	17
5.2 Delimitación espacial: .....	17
6 Marco teórico .....	17
Calidad del agua:.....	17
Contaminantes emergentes: .....	19
Metales ecotóxicos: .....	20
7 Estado del arte .....	24
8 Objetivos.....	26
8.1 Generales.....	26
8.2 Específicos .....	27
9 Hipótesis (si aplica) .....	27
10 Materiales y métodos .....	27
10.1 Enfoque de la investigación .....	27
10.2 Método.....	28
10.3 Recolección de información.....	29
10.4 Técnicas e instrumentos.....	30
10.5 Procesamiento y análisis de la información .....	31
11 Resultados y discusión .....	32

11.1 Resultados:	32
11.1.1 Calidad del agua del río Las Vacas, parámetros fisicoquímicos	32
11.1.2 Carga de nutrientes que aporta el río Las Vacas al río Motagua	44
11.1.3 Metales ecotóxicos en agua y sedimentos del río Las Vacas.	45
11.1.4 Contaminantes emergentes tipo farmacéuticos en agua del río Las Vacas.	47
11.1.5 Comparación de resultados con estudios previos.	48
11.2 Discusión de resultados:	49
11.3 Conclusiones:	64
12 Referencias:	66
13 Apéndice:	71
13.1 Sitios de colecta	71
13.2 Fotografías	74
13.3 Espectros de HPLC de fármacos (estándares y muestras)	82
14 Aspectos éticos y legales (si aplica)	91
15 Vinculación	92
16 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	92
17 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:	92
18 Orden de pago final	92
19 Declaración del Coordinador del proyecto de investigación	93
20 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario	93
21 Visado de la Dirección General de Investigación	94

## Índice de tablas

<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
Tabla No. 1, Determinación de pH en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	32
Tabla No.2, Determinación de conductividad en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	33
Tabla No.3, Determinación de oxígeno disuelto en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	33
Tabla No.4, Determinación de temperatura ambiental en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	34
Tabla No.5, Determinación de salinidad en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	34
Tabla No.6, Determinación de porcentaje de humedad en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	35
Tabla No.7, Determinación de sólidos sedimentables en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	35
Tabla No.8, Determinación de sólidos en suspensión en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	36
Tabla No.9, Determinación de sólidos totales disueltos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	36
Tabla No.10, Determinación de sólidos totales en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	37
Tabla No.11, Determinación de turbidez en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	37
Tabla No.12, Determinación de alcalinidad en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	38
Tabla No.13, Determinación de cloruros en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	38

Tabla No.14, Determinación de sulfatos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	39
Tabla No.15, Determinación de demanda bioquímica de oxígeno en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	39
Tabla No.16, Determinación de demanda química de oxígeno, DQO, en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	40
Tabla No.17, Determinación de nitrógeno de amonio en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	40
Tabla No.18, Determinación de nitrógeno de nitritos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	41
Tabla No.19, Determinación de nitrógeno de nitratos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	41
Tabla No.20, Determinación de nitrógeno total en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	42
Tabla No.21, Determinación de orto fosfatos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	42
Tabla No.22, Determinación de fósforo total en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.	43
Tabla No. 23, Determinación del caudal en el punto de muestreo Aldea Los Olotes, para el muestreo de noviembre.	44
Tabla No. 24, Determinación de la carga de nutrientes en el punto de muestreo Aldea Los Olotes, de acuerdo a los resultados obtenidos en el muestreo de noviembre.	45
Tabla No. 25, Determinación de plomo en muestras de agua del río Las Vacas y río Motagua.	45
Tabla No. 26, Determinación de cadmio en muestras de agua del río Las Vacas y río Motagua.	46
Tabla No. 27, Determinación de cromo en muestras de agua del río Las Vacas y río Motagua.	46

Tabla No. 28, Determinación de plomo, cromo y cadmio en muestras de sedimentos del río Las Vacas y río Motagua.	47
Tabla No. 29, Determinación de contaminantes emergentes tipo farmacéuticos en muestras de agua del río Las Vacas y río Motagua.	47
Tabla No. 30, Determinación del porcentaje de diferencia (PD), entre los resultados de los proyectos AP17-2021 y Fodecyt 82-99, para los puntos de muestreo del río Las Vacas.	48
Tabla No. 31, Determinación del porcentaje de diferencia (PD), entre los resultados de los proyectos AP17-2021 y Fodecyt 82-99, para el punto del río Motagua, antes de la unión con el río Las Vacas.	48
Tabla No. 32, Puntos de muestreo propuesto y puntos de muestreo utilizados (observaciones) luego de realizar análisis.	71
Tabla No. 33, Puntos de muestreo georeferenciados, utilizados en los muestreos realizados en el proyecto Digi AP17-2021.	73

## Índice de figuras

<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
Figura No.1, mapa de los sitios de muestreo de agua en el río Las Vacas	73
Figura No.2, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Colegio de Profesionales, muestreo marzo-abril 2022.	82
Figura No.3, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Bodega Centro 5, muestreo noviembre 2022.	83
Figura No.4, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Puente Belice, muestreo noviembre 2022.	84



Figura No.5, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Puente Santa Marta, muestreo noviembre 2022.	85
Figura No.6, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en San Antonio Las Flores, muestreo noviembre 2022.	86
Figura No.7, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Aldea Rincón Grande, muestreo noviembre 2022.	87
Figura No.8, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Aldea Los Olotes, muestreo noviembre 2022.	88
Figura No.9, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en río Motagua delta, muestreo noviembre 2022.	89
Figura No.10, Cromatograma y tabla de picos de estándares de acetaminofén, tetraciclina, cafeína y sulfametoxazol.	90
Figura No.11, Cromatograma y tabla de picos de estándar de trimetropin (segundo pico) y sulfametoxazol (tercer pico).	91

## Índice de fotografías

Descripción	Página
Fotografía No.01, Colecta de muestra de agua en el punto Colegio de Profesionales, primer punto en el recorrido en el muestreo de marzo-abril	74
Fotografía No.02, Colecta de muestra de agua en el punto Bodega Centro 5, segundo punto en el recorrido en el muestreo de julio.	75

Fotografía No.03, Colecta de muestra de agua en el puente Bodega Centro 5, (Cayalá) zona 15 de Guatemala, muestra colectada en abril 2021.	75
Fotografía No.04, Colecta de muestra de agua en las cercanías del puente Belice, muestreo julio 2021.	76
Fotografía No.05, Colecta de muestra de agua en el puente Santa Marta zona 6 de Guatemala, muestra colectada en abril 2021.	76
Fotografía No.06, Colecta de muestra de agua en el punto “puente Santa Marta”, en el Río Las Vacas, julio 2021.	77
Fotografía No.07, Colecta de muestra de agua en el punto “San Antonio Las Flores”, en el Río Las Vacas, julio 2021.	78
Fotografía No.08, colecta de muestra de agua del Río Las Vacas, punto Rincón Grande, muestreo noviembre 2021.	78
Fotografía No.09, determinación del flujo en el Río Las Vacas, para posterior determinación del caudal, correspondiente al muestreo de noviembre 2021.	79
Fotografía No.10, Manuel Muñoz realizando mezcla de reactivos para determinación de cromo total en muestras de agua del río las Vacas.	79
Fotografía No.11, Elisandra Hernández, determinando oxígeno disuelto en muestra de agua colectada en el Río Las Vacas, como parte del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.	80
Fotografía No.12, Christa Lemus, elaboración de curva de calibración de orto-fosfatos, mediante espectrofotometría UV/Visible	80
Fotografía No.13, Christa Lemus, determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno, en muestras de agua del Río Las Vacas, colectadas en el muestreo de noviembre 2021.	81

## 2 Resumen y palabras claves

La cuenca del río Las Vacas recibe un 60% de las aguas residuales de la ciudad de Guatemala, muchas sin tratamiento, y constituye una importante descarga de contaminantes de origen urbano hacia el Río Motagua. Diferentes estudios han mostrado en las últimas décadas que el Río Las Vacas se encuentra severamente contaminado. En sitios puntuales se ha investigado algunos metales y se han detectado fármacos de uso común. Esto justifica actualizar y profundizar los datos al respecto. Para ello se buscó determinar la concentración de seis fármacos de amplio uso, considerados como contaminantes emergentes (acetaminofén, ibuprofeno, cafeína, trimetoprima, tetraciclina y sulfametoxazol), en el agua del Río Las Vacas, así como evaluar condiciones actuales de calidad de agua y sedimentos del mismo, incluyendo niveles de parámetros fisicoquímicos, carga de nutrientes y niveles de metales ecotóxicos. Se recolectaron muestras puntuales y discretas en los meses de marzo-abril, junio y noviembre en siete sitios del Río Las Vacas y uno del río Motagua. La toma y análisis de muestras se realizó utilizando métodos EPA, APHA/AWWA y USP, aplicando cromatografía líquida de alta resolución con detector UV-visible. Los resultados para parámetros fisicoquímicos y nutrientes evidencian una peor calidad de agua, tanto en el río Las Vacas como en el río Motagua, en 2021 respecto a 2000. En agua del río Las Vacas únicamente en época seca se detectó plomo y cromo, encontrados también en sedimentos. En Las Vacas se encontró cafeína, trimetoprim, tetraciclina y sulfametoxazol, mientras en Motagua únicamente se encontró cafeína y tetraciclina.

**Palabras clave:** contaminantes emergentes, fármacos, río Las Vacas, acetaminofén, cafeína, trimetoprim, tetraciclina, sulfametoxazol, metales ecotóxicos, plomo, cromo, nutrientes.

## Abstract and keyword

Las Vacas River basin receives 60% of Guatemala City's wastewater, many untreated, and constitutes a significant discharge of pollutants of urban origin into the Motagua River. Different studies have shown in recent decades that the Las Vacas River is severely polluted. In specific sites, some metals have been investigated and commonly used drugs have been detected. This justifies updating and deepening the data in this regard. To do this, we sought to determine the concentration of six widely used drugs, considered as emerging contaminants (acetaminophen, ibuprofen, caffeine, trimethoprim, tetracycline and sulfamethoxazole), in water from Las Vacas River, as well as to evaluate current conditions of water quality and sediments, including levels of physicochemical parameters, nutrient load and levels of ecotoxic metals. Spot and discrete samples were collected in the months of March-April, June and November at seven sites on Las Vacas River and one on Motagua River. Collection and analysis of samples was carried out using EPA, APHA/AWWA and USP methods, applying high-resolution liquid chromatography with UV-visible detector. Results for physicochemical parameters and nutrients show a worse water quality, both in Las Vacas River and in Motagua River, in 2021 compared to 2000. In water from Las Vacas River only in the dry season lead and chromium were detected, also found in sediments. In Las Vacas caffeine, trimetroprim, tetracycline and sulfamethoxazole were found, while in Motagua only caffeine and tetracycline were found.

**Key words:** emerging contaminants, drugs, Las Vacas River, acetaminophen, caffeine, trimetroprim, tetracycline, sulfamethoxazole, ecotoxic metals, lead, chromium, nutrients.

### 3 Introducción

La no adecuada práctica correcta de los residuos, ya sean sólidos o aguas residuales, consiste en uno de efectos ambientales que más daños provocan a los recursos hídricos superficiales, contaminando sus aguas, lo cual limita su capacidad de uso como fuentes de abastecimiento de agua potable, agua para riego, ganadería o piscicultura y usos recreacionales de los cuerpos de agua, así como su capacidad de brindar servicios ambientales y servir de hábitat a la vida silvestre.

En la Ciudad de Guatemala se concentra una significativa población, con una aproximación del 65% de las empresas del sector industrial del país, se encuentran ahí, lo cual genera descargas de aguas residuales, algunas de las cuales no cumplen con los estándares establecidos en la regulación nacional, a la vez que para algunas sustancias aún no existe regulación que establezca límites permisibles en aguas residuales. Los desechos se convierten en factor contaminante en los casos en que son descargados al sistema de drenajes sin pasar por una planta de tratamiento. Estas descargas aumentan la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas que afectan la composición del agua como al sistema de alcantarillado propiamente. La materia orgánica presente en aguas residuales provoca la disminución del oxígeno disuelto y aumenta los nutrientes, de nitrógeno y fósforo, provocando un aumento desmedido de algas y a la vez procesos de eutrofización, mientras que los contaminantes tóxicos de aguas residuales industriales y hospitalarias aumentan el riesgo para la salud humana. Los residuos sólidos municipales están mezclados con residuos peligrosos de origen industrial, y no son dispuestos de manera que éstos o sus lixiviados no alcancen cuerpos de agua, lo que origina contaminación química.

Recientemente ha crecido la tendencia hacia el análisis de los llamados contaminantes emergentes. Los contaminantes emergentes son definidos como compuestos que no se han cubierto por la legislación ambiental relacionada con la calidad del agua, que no se han estudiado previamente y que presentan amenazas potenciales a los ecosistemas y la salud y seguridad del ser humano. Estos compuestos están constituidos principalmente por fármacos, drogas de abuso y productos de cuidado personal (Daughton, 2004). En cuanto a los fármacos, estos pueden llegar a los recursos hídricos por la descarga de aguas residuales hospitalarias, o bien, por la disposición doméstica de los mismos, principalmente en Guatemala, ya que existe la tendencia a la automedicación y al uso

no controlado, tanto con antibióticos como con analgésicos. En años recientes se ha incrementado el uso de fármacos en la ganadería y acuacultura, lo que ha incrementado la preocupación debido a que potencialmente pueden causar efectos indeseables en la ecología y la salud humana. Entre los contaminantes emergentes, los fármacos presentan la mayor importancia ya que estarían llegando continuamente a los cuerpos de agua como contaminantes y debido a que su actividad biológica puede provocar efectos nocivos en los ecosistemas acuáticos y tener un impacto nocivo en las fuentes de agua potable (Jones *et al.*, 2005).

El río Las Vacas recibe un 60% de las aguas residuales de la ciudad de Guatemala y constituye una importante descarga de contaminantes de origen urbano hacia el Río Motagua. En años recientes se han realizado varios estudios sobre la contaminación del Río Las Vacas, en los cuales se han evidenciado los elevados niveles de contaminación fisicoquímica y bacteriológica (Oliva, *et al.*, 2001, Pérez *et al.*, 2002, Hernández, 2013), y en sitios puntuales se han investigado los niveles de algunos metales, provocados principalmente por industrias que generan desechos metálicos. No se ha realizado un estudio completo de los niveles de metales en agua y sedimentos en todo el río. El primer estudio realizado sobre contaminantes emergentes en receptores de aguas residuales de la Ciudad de Guatemala (Hernández, 2013) únicamente evaluó un sitio de muestreo en el Río Las Vacas y uno en el Río Villalobos, encontrando cantidades detectables de analgésicos y otros fármacos de uso común en ambos ríos, lo cual justifica profundizar la investigación para caracterizar las condiciones a lo largo de dichos cursos de agua.

En el proyecto se planteó determinar las concentraciones de seis fármacos de amplio uso en el agua del río Las Vacas, describiendo también parámetros fisicoquímicos generales del agua, carga de nutrientes en el río y concentraciones de cinco metales ecotóxicos en agua y sedimentos. Para ello se realizaron tres muestreos, distribuidos en la época seca y época lluviosa, en siete puntos de monitoreo ubicados en las cercanías de poblaciones principales a lo largo del río Las Vacas (su nacimiento y desembocadura) y un punto en el río Motagua, antes de recibir las aguas del río Las Vacas. Dichos puntos se seleccionaron a partir del estudio de Oliva *et al.*, efectuado en 2001, a fin de contar con información histórica de comparación.

## 4 Planteamiento del problema

En la Ciudad de Guatemala, las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, en varios casos no pasan por plantas de tratamiento y son descargadas en los cursos de las aguas de los barrancos. Lo cual ha favorecido que la contaminación del agua haya alcanzado todas las cuencas hidrográficas de la Ciudad. La mayor carga (63%) la recibe el río Motagua, (USAC-PUIRNA; Análisis de las situaciones de salud por secciones, 1992) revelando niveles preocupantes de contaminación (Oliva *et al.*, 2001).

Es importante considerar que la geología de las cuencas y el uso del suelo afectan la calidad del agua de los ríos de forma diferente, así por ejemplo, la calidad de las aguas del Río Las Vacas es considerablemente diferente a la del Río Usumacinta (García *et al.*, 1998).

EL río Motagua recibe a través de la cuenca del río Las Vacas, gran parte de las aguas residuales domiciliarias, industriales y pluviales de la Ciudad de Guatemala, El agua del río Motagua se emplea en irrigación de plantaciones de diversos cultivos en la parte noreste de Guatemala, aproximadamente a un kilómetro del delta con Las Vacas el caudal varía entre 8 y 250 m<sup>3</sup>/s (en marzo y julio respectivamente) y su superficie aproximada es de 14,000 km<sup>2</sup> y una longitud de 486 Km. El río Las Vacas posee como afluentes a: río Negro, río Contreras, río Santa Rosita, río Chinautla, río El Zapote, río de Quezada, río Chuapón, río El Aguacate, río Los Acoles, y río Los Plátanos. (Oliva, *et al.*, 2001). En el Departamento de Quiché nace el río Motagua y desemboca en el mar Caribe (Bahía de Omoa, cerca de la frontera con Honduras) cerca de Puerto Barrios, Departamento de Izabal (Pérez, *et al.*, 2002).

La conservación de los recursos naturales y la salud integral de los pobladores que se encuentran en los alrededores de los ríos que están contaminados (por diferentes agentes externos) se ven amenazados por la no implementación de estrategias adecuadas para el resguardo, manejo y saneamiento del recurso hídrico. Entre los factores que coadyuvan a la degradación de la calidad del agua están: aumento de la población y actividades agrícolas e industriales (España, 2010).

Diferentes estudios han mostrado en las últimas décadas que el Río Las Vacas se encuentra severamente contaminado, debido principalmente a las descargas de aguas residuales de la vertiente norte de la ciudad de Guatemala, que incluye la descarga de aguas domésticas, aguas hospitalarias y descargas industriales, que en muchos casos llegan al río sin ningún tratamiento previo. En ese marco, es importante conocer los niveles actuales de los diferentes contaminantes así como su carga, para evaluar el riesgo que presentan para los habitantes de la cuenca, que utilizan el agua o que de alguna manera tienen contacto con la misma, así como las medidas para reducir la contaminación. El Río por otra parte, desemboca en el Río Motagua que es la principal fuente de agua en la región nororiental del país, tanto para riego de cultivos, como para consumo por parte de las poblaciones humanas y animales.

Entre los contaminantes que han sido evaluados en estudios previos, con diferente grado de extensión, se encuentran los niveles de nutrientes, algunos metales y algunos contaminantes emergentes clasificados como fármacos. Los contaminantes emergentes, principalmente analgésicos y antibióticos, han cobrado importancia en la última década, dado que los antibióticos en el medio ambiente representan una amenaza para la salud pública, ya que pueden generar mayor resistencia a los mismos por las infecciones humanas, haciendo más difícil el tratamiento (Schulman *et al.*, 2002) y los analgésicos se utilizan de forma ubicua, provocando la exposición crónica de la vida silvestre.

Contar con la línea base de este tipo de contaminantes emergentes es importante, para evaluar las consecuencias que puedan presentar, y para contar con un punto de partida que permita regular descargas y niveles en cuerpos de agua y fundamentar la toma de decisiones por autoridades municipales y ambientales, en beneficio de la población guatemalteca.



## 5 Delimitación en tiempo y espacio

### 5.1 Delimitación en tiempo:

El proyecto se ejecutó en trece meses, iniciando en febrero de 2021 y finalizando en febrero de 2022. Dentro de este período se realizaron: recolección de muestras puntuales en los meses de marzo-abril, junio y noviembre, con sus respectivos análisis de laboratorio.

### 5.2 Delimitación espacial:

El estudio se realizó dentro del Departamento de Guatemala. Las muestras de agua y sedimentos se colectaron dentro de la cuenca del Río Las Vacas y en río Motagua antes de la unión con el río Las Vacas, los análisis de laboratorio correspondientes se realizaron en el laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental, de la Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Usac. En apéndices se detallan los puntos de muestreos propuestos y utilizados (tabla No. 32)

## 6 Marco teórico

### Calidad del agua:

La calidad se ve normado por la COGUANOR la cuál distingue diferentes parámetros de calidad del agua dependiendo su uso y fuente, por ejemplo: para consumo humano, naturales, residuales, etc. Los parámetros de calidad del agua para el Río Las Vacas deberían ser las de aguas naturales, sin embargo al ser colector de aguas hervidas de la parte norte de la Ciudad de Guatemala, deberán compararse con parámetros de calidad de aguas residuales.

De acuerdo a Weiner, (2008), Oliva (2001) y Pérez (2002) Los parámetros de la calidad del agua se definen de la siguiente forma:

- a) Composición química: valores de concentraciones de metales, compuestos orgánicos e inorgánicos, cloruros, especies de nitrógeno y fósforo, etc.
- b) Propiedades físicas y químicas: temperatura superficial, dureza, DQO, alcalinidad, potencial oxido-reducción, conductividad, pH, dureza, sólidos totales disueltos, etc.

- c) Características biológicas: DBO<sub>5</sub>, *Escherichia coli*, coliformes totales y fecales, etc.
- d) Radionucleidos: emisiones alfa y beta totales.

Para aguas naturales, de acuerdo a su propósito, se pueden clasificar en:

**a) Recreacionales:**

Clase 1: Contacto primario: que se disponen principalmente para actividades recreacionales.

Clase 2: Contacto secundario: son aguas superficiales no disponibles para contacto primario pero si para usos recreacionales como pesca, navegación en lancha, etc.

**b) Vida Acuática:**

Clase 1: Vida acuática de agua fría: pueden sostener biota de agua que no superan los 20°C.

Clase 2: Vida acuática de agua templada: aguas que sostienen una amplia variedad de biota de agua templada que normalmente exceden los 20°C.

Clase 3: Vida acuática de agua frías y templadas: no son capaces de sostener una amplia variedad de biota de agua templada.

**c) Para la ganadería y agricultura.**

**d) Humedales:** pueden ser estancadas o corrientes, dulces, saladas o salobre.

**e) Agua subterránea:** principalmente es dulce, su uso puede ser doméstico, agrícola, recreativo e industrial. En general poseen una calidad fisicoquímica mejor que un agua superficial, su uso es limitado y hay que extraerla.

La relación que tiene el material disuelto o disperso en el agua determina su calidad, no existe una norma internacional que determine la calidad del agua natural, debido a su entorno de condición variable, lo que existen son indicadores (García *et al.*, 1998). Sedeño-Díaz (2016) clasifica la calidad del agua como inaceptable, muy contaminado, contaminado, de calidad regular, levemente contaminado, de buena calidad y excelente, en concordancia con Dinius (1987), mientras que Salmiati (2017) la determina con los índices de calidad del agua de acuerdo a regulaciones estatales de Malasia.

## **Contaminantes emergentes:**

Los contaminantes emergentes en el ambiente, es decir, compuestos químicos de fuentes domésticas, municipales, industriales o agrícolas que no son monitoreados comúnmente pero que podrían tener efectos ambientales adversos, constituyen un campo de investigación en crecimiento desde la última década. El término emergente no se refiere a que la presencia de estos compuestos en el ambiente sea nueva, sino al interés actual por la comunidad científica y autoridades reguladoras, en cuanto a la presencia y las capacidades analíticas requeridas para este tipo de compuestos. Entre los contaminantes emergentes, se ha observado el incremento de la investigación en los últimos años, por una clase particular constituida por los fármacos y los productos de cuidado personal.

Entre los fármacos, algunos analgésicos como el acetaminofén y paracetamol, el diclofenaco y el ibuprofen, y antibióticos como la ciprofloxacina, la eritromicina, el sulfametoxazol, el trimetropim, y entre otros compuestos, el bisfenol A, la cafeína, la carbamezepina, se han encontrado en cuerpos de agua en diferentes estudios (Aga, 2008).

La ruta primaria de ingreso de contaminantes emergentes al ambiente es a través de fuentes puntuales de descargas de aguas residuales. Normalmente las mayores concentraciones de fármacos en compartimentos ambientales se han encontrado en las aguas residuales no tratadas, alcanzándose niveles para algunos fármacos superiores a 10 µg/L. El ibuprofeno se ha encontrado en niveles mayores que 140 µg/L (Santos et al., 2005). A pesar que las plantas de tratamiento de aguas residuales están diseñadas para remover patógenos y nutrientes, los fármacos y otros compuestos químicos encontrados en las aguas residuales, rara vez son eliminados. Algunos compuestos como el ibuprofeno y el naproxeno, son reducidos en un orden de magnitud, mientras que otros compuestos como diclofenaco, son reducidos solo mínimamente (Aga, 2008).

Independientemente de su ruta de entrada, la concentración de fármacos y su persistencia en ecosistemas acuáticos está guiada por varios procesos fisicoquímicos. El destino de los contaminantes emergentes puede dividirse en tres categorías: transporte, secuestro y degradación. La categoría menos disruptiva es el transporte simple de los contaminantes disueltos y adsorbidos en material particulado, desde el punto de entrada al ecosistema. Así, la dispersión y cualquier dilución adicional por tributarios y descarga de aguas subterráneas pueden reducir la concentración de los contaminantes en la columna de agua. En cuanto al secuestro de los contaminantes emergentes, estos pueden ser transferidos sin degradación y almacenarse, al menos temporalmente, en otras matrices o compartimentos a través de procesos como la bioconcentración, la adsorción y la deposición de partículas. Es importante enfatizar que el almacenamiento es temporal ya que es posible que estos compuestos ingresen nuevamente a la columna de agua a través de la depuración de la vida acuática, la deserción de sedimentos así como a través de la reintroducción desde la atmósfera por la deposición de partículas o intercambio de gases (Aga, 2004).

Los procesos que transforman o mineralizan principalmente a los contaminantes emergentes del ambiente acuático incluyen la fotólisis, la biodegradación y la hidrólisis. En estos procesos los fármacos son completamente mineralizados o son transformados en metabolitos que podrían ser remineralizados y ser removidos del ecosistema. Sin embargo, estos metabolitos son por lo general más móviles y persistentes que los correspondientes compuestos originales (Boxal et al., 2004). Estos compuestos podrían presentar mayor toxicidad que los compuestos padres, por lo que también serían de interés en los estudios de contaminación.

### **Metales ecotóxicos:**

Los metales pesados (entiéndase plomo, cadmio, cromo, mercurio, arsénico, etc.), se diferencian de los ecotóxicos (aparte de los pesados, níquel, cobre, aluminio, manganeso, entre otros), principalmente por su interacción con el ambiente, es decir varios metales pesados producen toxicidad al ser humano, sin embargo cuando estos se comparan en un ecosistema y se

determinan que efectos adversos tienen sobre el mismo, se consideran metales ecotóxicos. En pequeñas cantidades (del orden de partes por billón) son parte integral del ambiente, es más, de forma natural son llevados a partes del ecosistema, sin embargo cuando estos metales se encuentran en valores de concentración elevadas (por arriba de los ppb) pueden causar toxicidad a los organismos (Kumar, 2018).

Metales pesados pueden formar ligandos tienen una alta afinidad por moléculas que contienen en su estructura química átomos de nitrógeno y azufre, enlazándose fácilmente a moléculas orgánicas como proteínas y macromoléculas celulares, por esta razón, su toxicidad se debe a primer instancia a su capacidad de interferir en reacciones enzimáticas (entre ellas bloquear, desplazar el ión esencial o modificar la configuración química activa de las biomoléculas tales como proteínas y enzimas) y también a su baja movilidad dentro del organismo huésped. Esta movilidad reducida provoca que se acumulen, provocando daños en el metabolismo (Kumar, 2018).

Cuando los metales también se pueden enlazarse covalentemente a átomos de carbono en una estructura orgánica, por ejemplo el grupo metilo (-CH<sub>3</sub>), dan origen a los compuestos denominados organometálicos. Estos compuestos tienden a ser liposolubles, lo que favorece su movilidad a través de las membranas biológicas, sin sufrir modificación alguna. A esta reacción química se le denomina metilación y puede ocurrir naturalmente, los metales que más se encuentran en sus formas metiladas en el ambiente, son el plomo y el mercurio (Aguilar et.al. 2021).

### ***Plomo:***

Este metal posee un amplio espectro respecto a su uso, por ejemplo en baterías, tuberías, antiguamente como aditivo de combustible (tetrabutilplomo, entre otros), pinturas industriales y domésticas. El catión inorgánico más común es el Pb<sup>+2</sup> y en su forma orgánica Pb<sup>+4</sup>. Dependiendo de estado de oxidación y forma física es como se ve influenciada su distribución y comportamiento en el ambiente, la ingesta de su forma inorgánica como orgánica por un

organismo éste se puede ser absorbido al sistema se puede convertir fácilmente a su forma metilada provocando toxicidad al organismo. La asimilación del plomo en ecosistemas acuáticos es determinada por su biodisponibilidad, siendo baja cuando hay presencia de materia orgánica o partículas de mineral, la temperatura, salinidad y pH constituyen parámetros que intervienen en la bioacumulación de plomo (OMS, 1999).

EL tetraalquilplomo es un compuesto organometalico liposoluble que puede ser absorbido y bioacumulado fácilmente por organismos acuáticos, por tal razón el plomo metilado es mucho más tóxico que su forma inorgánica, entre más alquilado esté el plomo mayor será su toxicidad (Pain, 1995). Existen varios estudios en lo que han demostrado que las concentraciones de plomo en peces, camarón y moluscos presentan plomo por encima del valor recomendado de ingesta para el ser humano, por lo tanto no se recomienda la ingesta de animales acuáticos, en los que no se conocen el grado de contaminación por plomo en el ecosistema (Aguilar, et.al. 2021; Kumar, 2018).

El límite máximo permitido por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) para el Pb en pescado es de 0.2 mg/Kg para peces no predadores y 0.4 mg/Kg para peces predadores (EFSA, 2004) y por la legislación brasileña es de 2 mg/Kg (ANVISA, 2003). La dosis máxima permitida de Pb para un ser humano adulto es de 3 mg por semana, siendo la dosis recomendada una quinta parte de ese valor (FAO/WHO, 1976).

Para el plomo no se conoce ninguna función bioquímica, nutricional o fisiológica. Éste se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo, provocándoles envenenamiento y acumulándose en los organismos individuales permitiendo entrar a la cadena trófica. El acetato de plomo y el fosfato de plomo son carcinógenos, siendo más peligrosa la exposición del plomo para niños y fetos. La exposición prolongada al plomo puede dañar el sistema nervioso, los riñones, el sistema reproductor y provocar problemas de desarrollo en los niños (Greenpeace, 2008).

## ***Cadmio:***

El cadmio es uno de los elementos químicos presente en la corteza de la tierra y está presente en diversos ecosistemas. Éste metal pesado es uno de los más peligrosos en la atmósfera, puede ingresar a la cadena alimenticia provocando problemas ambientales y daños a la salud a los organismos vivos, por ejemplo: cáncer de pulmón, mutagénesis entre otros (Kumar, 2018). Entre sus usos destacan la galvanoplastía, estabilizantes y pigmento de plástico.

Este metal puede ingresar al agua por derrames, vertederos o escapes que contienen desechos peligrosos. Se adhiere fuertemente a los sedimentos y desde allí puede disolverse en el agua (Wren et al., 1995). Las plantas, peces y otros animales acumulan el cadmio en sus tejidos, permaneciendo en el organismo por largo tiempo y bioacumulándose después de permanecer bajo exposición a bajas concentraciones. Tanto el cadmio como sus compuestos son carcinógenos. La exposición a este metal puede producir lesiones graves en los pulmones, acumularse en los riñones, producir enfermedades renales, hepáticas o lesiones en el sistema nervioso (Greenpeace, 2008).

## ***Mercurio:***

El mercurio no posee ninguna función biológica, la presencia de este metal en el ambiente es de origen antropogénico, las causas naturales por este elemento no son significativas y su toxicidad es elevada, se bioacumula en tejido graso como metilmercurio, puede afectar el sistema nervioso, riñones y el sistema inmunológico, su toxicidad está vinculada con el envejecimiento y la muerte celular (Aguilar, 2021).

## ***Cromo:***

Es importante determinar en qué estado de oxidación se presenta mayormente el Cr, ya que la forma oxidada (VI) es la más tóxica, siendo cien veces más tóxico que el Cr(III), el cual no presenta toxicidad elevada. Es importante mencionar que el cromo es un elemento traza esencial

que presenta un rol importante en el metabolismo de la glucosa en los organismos. Se ha estimado que el ser humano requiere en promedio 1  $\mu\text{g}/\text{día}$  de cromo, resultando la deficiencia de dicho metal en crecimiento retardado y alteraciones en el metabolismo de la glucosa, lípidos y proteínas (Calabrese et al., 1985). El Cr no es regulado para pescado por la Unión Europea mientras que el límite máximo permisible de la legislación brasileña es de 0.1 mg/kg (ANVISA, 2003).

Puede presentarse como cromo III y cromo VI. El cromo VI no se presenta naturalmente y se produce en procesos industriales, como la quema de carbón en centrales térmicas. El cromo VI es carcinógeno en los seres humanos (Greenpeace, 2008).

## 7 Estado del arte

Diferentes estudios han demostrado que la calidad del agua del Río Las Vacas se encuentra bastante deteriorada. En 1979, los niveles de oxígeno disuelto en el río reflejaban claramente la influencia de las descargas de la ciudad de Guatemala sobre el río, observándose bajo el Puente de Belice, niveles decrecientes de oxígeno disuelto, que oscilaron entre 6.38 a 5.05 en ese periodo, mientras que mediciones en el río Motagua reportaron valores crecientes de 6.90 a 7.99 en el mismo período, diferencias que se dan por las actividades urbanas de la ciudad de Guatemala y evidenciaban que el río Motagua no presentaba los mismos problemas.

En cuanto a los niveles de nutrientes, en un estudio realizado por la Universidad de San Carlos, para la descarga norte de la Ciudad de Guatemala, específicamente en el río Las Vacas, se reportó valores de fósforo total de 3.15 mg P/L, de orto fosfatos 2.09 mg P/L, de nitratos de 0.10 mg N/L; de nitrógeno total de 0.65 mg N/L, de nitritos 0.006 mg N/L, pudiéndose notar la presencia de especies nitrogenadas y fosforadas en cantidades detectables (Hernández, 2013)



Para el mismo estudio se, reportó valores de oxígeno disuelto de 1.390 mg O<sub>2</sub>/L, de pH 8.85, de conductividad 514 uS/cm, temperatura del agua 19.40°C, potencial redox -95.35 mV, para las mismas se encuentran en la normalidad (Hernández, 2013).

En estudios más recientes en los que se han determinado las características Fisicoquímicas y Bacteriológicas de las aguas del río Las Vacas (Oliva, et al., 2001, Pérez et al., 2002, Hernández, 2013), se reportan resultados alarmantes de contaminación que terminan ser un riesgo para la salud de las personas. En estos estudios se han encontrado niveles de DBO y DQO mucho mayores a otros ríos altamente contaminados, niveles de fósforo total superiores a los permitidos para aguas residuales (4 mg/L), niveles de nitrógeno y fósforo muy superiores a los estándares de la EPA para aguas de ríos y arroyos, así como cantidades detectables por métodos de muestreo pasivo de fármacos de uso común.

Además estudios realizados por la Universidad San Carlos de Guatemala revelan que la población guatemalteca sufre de serios casos de infecciones intestinales provocados principalmente por agua contaminada, datos alarmantes de enfermedades infecciosas intestinales representan entre 15 al 20 por ciento la causa de muerte en el país y el 30 por ciento en infantes (España, 2010).

En cuanto a contaminantes emergentes y principalmente fármacos, se realizó un estudio en España donde se determinó la presencia de productos farmacéuticos que se venden sin prescripción médica, los tipos de medicamentos más comunes son los usados para enfermedades cardiovasculares, analgésicos, antiinflamatorios, antipiréticos, estos se encontraron presentes en las muestras de agua de los principales ríos (Jarama, Manzanares, Guadarrama, Henares y Tajo) y agua del grifo de la Comunidad de Madrid. Fueron analizados 24 fármacos en total y 21 fueron detectados en concentraciones que van de 2 a 18 ng. La mayores concentraciones de drogas corresponde al ibuprofeno, diclofenaco, naproxeno, furosemida atenolol, (furo- SEMIDE), gemfibrozilo y la hidroclorotiazida, y en muchos casos superaron los montos reportados en la literatura científica (Valcárcel, *et al*, 2011).

En un estudio de Lin (2011), para evaluar los riesgos ambientales que se corren con el riego usando agua reciclada que contiene microcontaminantes, como antibióticos y antiinflamatorios en dos suelos recogidos en las regiones áridas, naproxeno y trimetoprim mostraron de moderada a fuerte absorción, mientras que la absorción del ibuprofeno, diclofenaco, y sulfametoxazol era insignificante en ambos suelos. En condiciones aeróbicas, los compuestos estudiados fueron susceptibles a la degradación microbiana con vidas medias varían desde 4,8 hasta 69,3 días. Aparte de sulfametoxazoles, los otros compuestos son relativamente persistentes aún en condiciones anaeróbicas.

En Estados Unidos se realizó un estudio donde se tomaron muestras de agua de una red de 139 ríos a través de 30 estados durante 1999 y 2000. La selección de muestras se realiza pensando en los arroyos susceptibles a la contaminación (es decir, aguas abajo de una intensa urbanización y la ganadería de producción). Los compuestos detectados corresponden a una amplia gama de residencial, industrial y agrícola. La mayor frecuencia compuestos detectados fueron coprostanol (esteroides fecales), colesterol (esteroides vegetales y animales), N, N-dietiltoluidina (repelente de insectos), cafeína (estimulante), triclosán (antimicrobianos desinfectante), tri (2-cloroetilico) fosfato (retardante de fuego), y 4-nonilfenol (metabolito de detergente no iónico). Las concentraciones de este estudio fueron en general bajos (Kolpin, *et al*, 2002).

## 8 Objetivos

### 8.1 Generales

Determinar la concentración de seis fármacos de amplio uso, considerados como contaminantes emergentes, en el agua del Río Las Vacas.

Evaluar condiciones actuales de calidad de agua y sedimentos del Río Las Vacas.

## 8.2 Específicos

- 1) Determinar los niveles de los principales parámetros fisicoquímicos que definen la calidad del agua: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, alcalinidad, DBO, DQO, sólidos y aniones (cloruros y sulfatos), en el Río Las Vacas.
- 2) Determinar la carga de nutrientes: nitrógeno total, amonio, nitritos, nitratos, fósforo total y orotofosfatos, en el Río Las Vacas.
- 3) Determinar los niveles de metales ecotóxicos: plomo, cadmio, cromo, arsénico y mercurio, en agua y sedimentos del Río Las Vacas.
- 4) Determinar los niveles de contaminantes emergentes clasificados como fármacos: acetaminofén, ibuprofeno, cafeína, trimetoprima, tetraciclina y sulfametoxazol, en el agua del Río Las Vacas.
- 5) Describir las variaciones estacionales de los parámetros medidos y las variaciones espaciales entre sitios de muestreo a lo largo del curso del Río Las Vacas.
- 6) Comparar los resultados actuales con resultados de estudios previos sobre el Río Las Vacas, para los parámetros y sitios de muestreo con información histórica disponible.

## 9 Hipótesis (si aplica)

No aplica, por ser una investigación de carácter descriptivo.

## 10 Materiales y métodos

### 10.1 Enfoque de la investigación

Enfoque mixto, pues aunque la mayoría de datos generados son cuantitativos, las descripciones y comparaciones a realizar no se limitan al análisis numérico de los resultados, sino que integran variables cualitativas relativas a la descripción de las características de los puntos de muestreo, principalmente en cuanto a usos del suelo en sus alrededores y potenciales fuentes de contaminación.

## 10.2 Método

La toma de muestras y análisis de las mismas se realizó utilizando los métodos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la Asociación de Salud Pública Americana y Asociación de Trabajos del Agua de los Estados Unidos (APHA, AWWA, 1998) y la Farmacopea de Estados Unidos (USP).

La Unidad de Investigación cuenta con instalaciones, equipos y materiales pertinentes y disponibles, tales como laboratorio de investigación, cromatógrafo, espectrómetros, balanzas, cristalería, digestores, refrigeradores, útiles de oficina, materiales de campo, reactivos, entre otros, el financiamiento de la propuesta sirvió para adquirir accesorios, materiales y reactivos específicos para las metodologías a montar, tales como columnas cromatográficas, estándares, solventes, filtros y otros consumibles. Así mismo, el personal a contratar está calificado para la implementación y aplicación de los métodos analíticos a utilizar.

**Registro de datos *in situ*:** Se siguieron los procedimientos estándar de EPA (1986) y APHA-AWWA (1998). Se utilizarán: GPS para la georeferenciación de los sitios de muestreo; medidores portátiles para la determinación de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto (Bicudo & Bicudo, 2004); formatos para registro de información cualitativa y cuantitativa de cada sitio.

**Medición de caudales:** Se utilizó el método de velocidad-área (Hootsmans, 1997). Se realizaron los siguientes pasos: 1) determinar la sección transversal del río (perpendicular a la corriente), midiendo el ancho del mismo, dividiéndola luego en parcelas de 1 metro de ancho; 2) determinar la profundidad del río en cada parcela; 3) medir la velocidad de la corriente del río en cada parcela, utilizando un flujómetro, a una profundidad del 60% de la profundidad total; 4) calcular el caudal (Q) a partir de la sumatoria de las contribuciones parciales por segmento de la sección transversal, es decir de los productos de la velocidad ( $v_i$ ) y área correspondiente ( $a_i$ ), según la ecuación:  $Q = \sum (v_i * a_i)$ .

**Cálculo de carga de nutrientes:** Se utilizarán los resultados obtenidos de la medición de caudales y los análisis en laboratorio de parámetros del grupo de nutrientes, calculando para cada parámetro de interés la carga (L), en Kg/s, a partir de la concentración (C), en mg/L, y el caudal (Q), en  $m^3/s$ , según la ecuación:  $L = 3.6 C * Q$ .

## 10.3 Recolección de información

El universo de investigación corresponde a la totalidad del curso del Río Las Vacas, incluyendo el material fluyente y su cauce. Sin embargo la muestra de estudio se limita en su mayoría a caudales instantáneos y volúmenes puntuales de agua y sedimentos superficiales. El tamaño, características de almacenamiento, preservación y el manejo en general de las muestras se efectuó según lo recomendado en el método para cada tipo de análisis realizado, siendo en todos los casos muestras puntuales y discretas.

Las muestras puntuales se recolectaron en siete sitios dentro del cauce del río Las Vacas y uno en el río Motagua antes de unión con Las Vascas. La selección de los puntos de muestreo se realizó principalmente bajo el criterio de que permitiera conocer la situación actual en puntos que ya cuentan con información previa, a fin de fortalecer la potencia de interpretación de los resultados, aprovechando también las ventajas logísticas de aplicar un diseño muestral ya validado por una investigación formal anterior.

La selección de parámetros a analizar se realizó priorizando aquellos con mayor viabilidad de implementación de métodos analíticos, mayor interés para la salud de las personas y los ecosistemas en cuerpos receptores de aguas residuales y mayor incidencia en la valoración de la calidad del agua de cuerpos naturales, limitándose a un conjunto posible de desarrollar en función de los recursos accesibles (principalmente económicos) y de las capacidades preexistentes de la Unidad de Investigación.

A fin de conocer las variaciones estacionales de la calidad del agua del Río Las Vacas para los parámetros seleccionados, se realizaron un muestreo en época seca y dos muestreos en época lluviosa, distribuidos a lo largo del período de ejecución planteado para el proyecto, con el propósito estratégico de contar con al menos una oportunidad en cada época para lograr la recopilación completa de datos considerados en el planteamiento. En los muestreos se tomaron datos *in situ* y se recolectaron muestras de agua para análisis de parámetros generales, nutrientes y contaminantes emergentes, mientras que la recolección de muestras de agua y sedimentos para análisis de metales se realizaron en los tres muestreo, para el caso de sedimentos sólo en el muestreo de noviembre y en los puntos de Aldea Rincón Grande y Aldea Los Olotes se pudieron coleccionar. Así mismo, la colocación y retiro de

muestreadores pasivos no fue posible realizarlo por no contar con los requisitos mínimos de seguridad para la colocación del equipo, debiéndose analizar los contaminantes emergentes (tipo farmacéuticos) mediante la colecta puntual de agua.

## 10.4 Técnicas e instrumentos

De acuerdo con los objetivos planteados se aplicaron las diferentes técnicas, herramientas y procedimientos para las siguientes actividades:

### **Recolección de muestras de agua para determinación de nutrientes y parámetros fisicoquímicos:**

Se seguirán los procedimientos estándar de EPA (1986) y APHA-AWWA (1998). Las muestras se colectaron en recipientes plásticos de 1 L, para el análisis de contaminantes inorgánicos y en recipientes de vidrio color ámbar para los análisis de contaminantes emergentes. Las botellas fueron previamente tratadas con ácido clorhídrico y nítrico al 2% v/v y abundante agua desmineralizada para eliminar cualquier contaminación de las muestras y fueron transportadas al laboratorio en hieleras para mantener una temperatura de aproximadamente 4°C.

**Recolección de muestras de agua para determinación de metales ecotóxicos:** las muestras se colectaron en recipientes de plástico de 0.5L, se preservaron con 1 mL de ácido nítrico concentrado. Para el traslado se utilizó hielera con hielo y se almacenaron en refrigeración hasta el momento de su análisis.

**Recolección de muestras de sedimento:** Se siguieron los procedimientos estándar de EPA (1986) y APHA-AWWA (1998). Los sedimentos se colectaron manualmente en recipientes de plástico en los sitios donde el cauce del río estaba expuesto debido al bajo nivel de agua.

**Análisis en laboratorio de parámetros fisicoquímicos:** Los análisis se realizaron de acuerdo a los procedimientos estándar de APHA-AWWA (1998) para determinación de turbidez, alcalinidad, sulfatos, cloruros, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos, fósforo total, fósforo de ortofosfatos, DBO5, DQO, sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y

sólidos disueltos, utilizando nefelometría, espectrometría UV-Vis, gravimetría y volumetría, así como los procesos preparativos de reacciones químicas y/o transformaciones físicas propios de cada método.

**Análisis en laboratorio de contaminantes emergentes:** Se aplicó la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC por sus siglas en inglés), previa extracción y concentración de las muestras por Extracción en Fase Sólida utilizando cartuchos con fase sólida tipo C18. Para el análisis se utilizó un equipo de HPLC (Shimadzu Prominence LC20A), equipado con columnas tipo C8 y C18, sus respectivas precolumnas y detectores UV y de fluorescencia, con base en los métodos cromatográficos reportados por Ribeiro Pedroso *et al.* (2011) y Santos *et al.* (2005). La metodología se adaptó a columnas cromatográficas de 10 cm de longitud, el método empleado fue: HPLC Shimadzu Prominence LC20A, columna phenomenex luna omega polar C18 de 100 mm de longitud, 2.1 mm de diámetro, 3 um tamaño de partícula, fase móvil: agua:metanol:ácido acético glacial 69:28:3, isocrático, flujo 1 mL/min, temperatura del horno 30°C, inyección de muestra 20 uL, detector UV-visible longitud de onda 275 nm, tiempo de análisis 5.01 minutos.

**Análisis en laboratorio de metales en agua:** Se realizó la determinación de metales totales, para los elementos plomo, cadmio y cromo, utilizando fotometría.

**Análisis en laboratorio de metales en sedimentos:** Se realizó la determinación de metales disponibles (plomo, cadmio y cromo), preparando la muestra por medio de una digestión suave de 2 g de sedimento con 10 mL de ácido nítrico al 5% v/v (Rezende, 1993), luego se filtró para obtener la solución que se analizó por fotometría.

## 10.5 Procesamiento y análisis de la información

Se describen las condiciones actuales de calidad de agua y sedimentos del Río Las Vacas, incluyendo las concentraciones observadas de los contaminantes emergentes seleccionados, por medio de tablas resumiendo los resultados de niveles, concentraciones o cargas (según aplique) obtenidos para cada grupo de parámetros determinados, por sitio y momento de muestreo, efectuando también

comparaciones gráficas y/o narrativas entre diferentes ubicaciones, épocas del año y contra resultados históricos comparables.

Dado el carácter observacional y descriptivo de la investigación, así como la naturaleza puntual de las caracterizaciones a realizar, no fue necesario un diseño estadístico para prueba de hipótesis, análisis de correlación u otras evaluaciones estadísticas de datos, respecto a los resultados a reportar. Las comparaciones de los datos obtenidos en esta investigación contra resultados históricos y entre diversos sitios de muestreo son de carácter semicuantitativo, tomando en consideración la escasez de datos, el corto período disponible para monitoreo (menor de un año, de marzo a noviembre), la alta probabilidad de cambios sustanciales en las condiciones de los sitios de muestreo luego del tiempo transcurrido desde su última evaluación y las diferencias metodológicas entre investigaciones disponibles, por lo que tampoco se aplicaron métodos estadísticos propios de estudios comparativos en esta oportunidad.

## 11 Resultados y discusión

### 11.1 Resultados:

#### 11.1.1 Calidad del agua del río Las Vacas, parámetros fisicoquímicos

Tabla No. 1, Determinación de pH en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: pH	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	7.73	N.M.	N.M.	<b>7.73</b>
Bodega Centro 5	7.72	7.71	7.69	<b>7.71</b>
Puente Belice	7.73	7.76	7.66	<b>7.72</b>
Puente Santa Marta	7.44	7.75	7.61	<b>7.60</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	7.74	7.95	<b>7.85</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	7.85	8.28	<b>8.07</b>
Aldea Los Olotes	7.63	7.72	7.86	<b>7.74</b>
<b>Promedio</b>	<b>7.65</b>	<b>7.76</b>	<b>7.84</b>	<b>7.77</b>
Río Motagua, delta	7.70	8.61	8.30	8.20

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado



Tabla No.2, Determinación de conductividad en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	556	N.M.	N.M.	<b>556</b>
Bodega Centro 5	509	430	198	<b>379</b>
Puente Belice	707	410	213	<b>443</b>
Puente Santa Marta	705	452	227	<b>461</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	470	287	<b>379</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	366	278	<b>322</b>
Aldea Los Olotes	562	323	202	<b>362</b>
Promedio	<b>607.80</b>	<b>408.50</b>	<b>234.17</b>	<b>415</b>
Río Motagua, delta	161	3555	77	<b>1264</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.3, Determinación de oxígeno disuelto en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: oxígeno disuelto, %	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	N.D.	N.M.	N.M.	N.D.
Bodega Centro 5	N.D.	13.7	N.D.	<b>13.7</b>
Puente Belice	N.D.	29.6	N.D.	<b>29.6</b>
Puente Santa Marta	N.D.	62.2	N.D.	<b>62.2</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	67.3	N.D.	<b>67.3</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	65.7	N.D.	<b>65.7</b>
Aldea Los Olotes	N.D.	92	N.D.	<b>92.0</b>
Promedio	N.D.	55.1	N.D.	55.1
Río Motagua, delta	N.D.	100.9	N.D.	<b>100.9</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.D.: no determinado, N.M.: no muestreado

Tabla No.4, Determinación de temperatura ambiental en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: temperatura ambiental, °C	Muestreo No.1	Muestreo	Muestreo	Promedio
	Marzo-Abril 2021	No.2 02/07/2021	No.3 26/11/2021	
Colegio de Profesionales	26.8	N.M.	N.M.	<b>26.8</b>
Bodega Centro 5	26.3	28.3	28.8	<b>27.8</b>
Puente Belice	26.5	30.3	28.9	<b>28.6</b>
Puente Santa Marta	26.9	30.1	28.6	<b>28.5</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	25.4	24.1	<b>24.8</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	28.7	30.9	<b>29.8</b>
Aldea Los Olotes	28.9	23.1	24.6	<b>25.5</b>
Promedio	<b>27.1</b>	<b>27.7</b>	<b>27.7</b>	<b>27.4</b>
Río Motagua, delta	30.5	26.3	27.1	<b>28.0</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.5, Determinación de salinidad en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: salinidad, 0/00	Muestreo No.1	Muestreo	Muestreo	Promedio
	Marzo-Abril 2021	No.2 02/07/2021	No.3 26/11/2021	
Colegio de Profesionales	0.1	N.M.	N.M.	<b>0.1</b>
Bodega Centro 5	0.0	0.2	1.1	<b>0.4</b>
Puente Belice	0.0	0.2	1.1	<b>0.4</b>
Puente Santa Marta	0.0	0.2	1.2	<b>0.5</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	0.2	1.6	<b>0.9</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	0.1	1.5	<b>0.8</b>
Aldea Los Olotes	0.1	0.1	1.1	<b>0.4</b>
Promedio	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>1.3</b>	<b>0.5</b>
Río Motagua, delta	0.1	0.0	0.4	<b>0.2</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.6, Determinación de porcentaje de humedad en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: humedad, %	Muestreo No.1	Muestreo	Muestreo	Promedio
	Marzo-Abril 2021	No.2 02/07/2021	No.3 26/11/2021	
Colegio de Profesionales	N.D.	N.M.	N.M.	<b>N.D.</b>
Bodega Centro 5	N.D.	48.0	35.0	<b>41.5</b>
Puente Belice	N.D.	47.3	33.0	<b>40.2</b>
Puente Santa Marta	N.D.	35.0	35.0	<b>35.0</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	40.8	49.0	<b>44.9</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	31.2	38.0	<b>34.6</b>
Aldea Los Olotes	N.D.	31.4	63.0	<b>47.2</b>
Promedio	<b>N.D.</b>	<b>39.0</b>	<b>42.2</b>	<b>40.6</b>
Río Motagua, delta	N.D.	32.0	58.0	<b>45.0</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.D.: no determinado, N.M.: no muestreado

Tabla No.7, Determinación de sólidos sedimentables en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: sólidos sedimentables, mg/L	Muestreo No.1	Muestreo	Muestreo	Promedio
	Marzo-Abril 2021	No.2 02/07/2021	No.3 26/11/2021	
Colegio de Profesionales	<0.1	N.M.	N.M.	<0.1
Bodega Centro 5	1	0.4	<0.1	<b>0.7</b>
Puente Belice	0.3	0.4	<0.1	<b>0.4</b>
Puente Santa Marta	0.7	0.3	0.3	<b>0.4</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	1.75	0.4	<b>1.1</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	5.5	0.2	<b>2.9</b>
Aldea Los Olotes	0.1	15	<0.1	<b>7.6</b>
Promedio	<b>0.5</b>	<b>3.9</b>	<b>0.3</b>	<b>2.2</b>
Río Motagua, delta	<b>0.2</b>	<b>11</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>5.6</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.8, Determinación de sólidos en suspensión en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: sólidos en suspensión, mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	9	N.M.	N.M.	<b>9</b>
Bodega Centro 5	32	1	5	<b>13</b>
Puente Belice	41	8	26	<b>25</b>
Puente Santa Marta	97	24	28	<b>50</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	9	10	<b>10</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	3	11	<b>7</b>
Aldea Los Olotes	3	16	4	<b>8</b>
Promedio	36	10	14	17
Río Motagua, delta	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>15</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.9, Determinación de sólidos totales disueltos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: sólidos totales disueltos, mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	381	N.M.	N.M.	<b>381</b>
Bodega Centro 5	377	222.6	21	<b>207</b>
Puente Belice	396	172	6	<b>191</b>
Puente Santa Marta	438	274	18	<b>243</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	643	538	<b>590</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	2078	464	<b>1271</b>
Aldea Los Olotes	444	3147	385	<b>1325</b>
Promedio	<b>407</b>	<b>1089</b>	<b>239</b>	<b>601</b>
Río Motagua, delta	161	3555	107	<b>1274</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.10, Determinación de sólidos totales en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: sólidos totales, mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	390	N.M.	N.M.	<b>390</b>
Bodega Centro 5	410	224	26	<b>220</b>
Puente Belice	437	180	32	<b>216</b>
Puente Santa Marta	536	298	46	<b>293</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	654	548	<b>601</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	2086	475	<b>1281</b>
Aldea Los Olotes	447	3178	389	<b>1338</b>
Promedio	<b>444</b>	<b>1103</b>	<b>253</b>	<b>620</b>
Río Motagua, delta	178	3586	115	<b>1293</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.11, Determinación de turbidez en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: turbidez, UNF	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	1.96	N.M.	N.M.	<b>1.96</b>
Bodega Centro 5	1.94	9.01	67.80	<b>26.25</b>
Puente Belice	21.50	4.56	74.60	<b>33.55</b>
Puente Santa Marta	244.00	3.81	63.20	<b>103.67</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	37.8	61.80	<b>49.80</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	713	14.30	<b>363.65</b>
Aldea Los Olotes	5.52	338	30.30	<b>124.61</b>
Promedio	<b>54.98</b>	<b>184.36</b>	<b>52.00</b>	<b>100.50</b>
Río Motagua, delta	0.49	468	7.26	<b>158.58</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.12, Determinación de alcalinidad en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: Alcalinidad, mg CaCO <sub>3</sub> /L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	274.00	N.M.	N.M.	<b>274.00</b>
Bodega Centro 5	342.50	6.75	13.50	<b>120.92</b>
Puente Belice	274.00	6.75	13.50	<b>98.08</b>
Puente Santa Marta	411.00	6.75	13.50	<b>143.75</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	6.75	13.50	<b>10.13</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	6.75	27.00	<b>16.88</b>
Aldea Los Olotes	342.50	13.50	13.50	<b>123.17</b>
Promedio	<b>328.80</b>	<b>7.88</b>	<b>15.75</b>	<b>112.42</b>
Río Motagua, delta	171.00	40.50	13.50	<b>75.00</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.13, Determinación de cloruros en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: cloruros, mg Cl/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	52.68	N.M.	N.M.	<b>52.68</b>
Bodega Centro 5	79.02	26.88	40.57	<b>48.82</b>
Puente Belice	131.70	25.36	45.64	<b>67.57</b>
Puente Santa Marta	171.21	30.94	55.79	<b>85.98</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	29.41	76.07	<b>52.74</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	19.47	65.93	<b>42.70</b>
Aldea Los Olotes	210.71	14.2	45.64	<b>90.18</b>
Promedio	<b>129.06</b>	<b>24.38</b>	<b>54.94</b>	<b>62.95</b>
Río Motagua, delta	158.04	5.58	15.21	<b>59.61</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.14, Determinación de sulfatos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: sulfatos mg SO <sub>4</sub> /L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	46.70	N.M.	N.M.	<b>46.70</b>
Bodega Centro 5	46.65	39.5	68.77	<b>51.64</b>
Puente Belice	96.72	40.13	71.79	<b>69.55</b>
Puente Santa Marta	66.63	42.12	84.87	<b>64.54</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	5.75	121.37	<b>63.56</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	23.38	104.73	<b>64.06</b>
Aldea Los Olotes	55.81	40.02	70.35	<b>55.39</b>
Promedio	<b>62.50</b>	<b>31.82</b>	<b>86.98</b>	<b>59.35</b>
Río Motagua, delta	42.93	6.74	4.96	<b>18.21</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.15, Determinación de demanda bioquímica de oxígeno en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro DBO mg O <sub>2</sub> /L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	114	N.M.	N.M.	<b>114</b>
Bodega Centro 5	354	102	258	<b>238</b>
Puente Belice	27	138	288	<b>151</b>
Puente Santa Marta	201	78	240	<b>173</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	186	153	<b>170</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	108	207	<b>158</b>
Aldea Los Olotes	1677	201	177	<b>685</b>
Promedio	<b>475</b>	<b>136</b>	<b>221</b>	<b>241</b>
Río Motagua, delta	60	144	216	<b>140</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.16, Determinación de demanda química de oxígeno, DQO, en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro DQO mg O <sub>2</sub> /L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	150	N.M.	N.M.	<b>150</b>
Bodega Centro 5	321	190	220	<b>244</b>
Puente Belice	342	190	240	<b>257</b>
Puente Santa Marta	369	220	245	<b>278</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	240	245	<b>243</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	270	195	<b>233</b>
Aldea Los Olotes	75	350	140	<b>188</b>
Promedio	<b>251</b>	<b>243</b>	<b>214</b>	<b>227</b>
Río Motagua, delta	2890	290	125	<b>1102</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.17, Determinación de nitrógeno de amonio en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: N-NH <sub>4</sub> mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	0.00	N.M.	N.M.	<b>0.00</b>
Bodega Centro 5	11.65	0.04	13.98	<b>8.55</b>
Puente Belice	2.33	0.04	24.85	<b>9.07</b>
Puente Santa Marta	0.78	0.08	30.28	<b>10.38</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	0.27	17.08	<b>8.68</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	0.00	0.78	<b>0.39</b>
Aldea Los Olotes	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Promedio	<b>2.95</b>	<b>0.07</b>	<b>14.49</b>	<b>5.30</b>
Río Motagua, delta	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado



Tabla No.18, Determinación de nitrógeno de nitritos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: N-NO <sub>2</sub> mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	0.113	N.M.	N.M.	<b>0.113</b>
Bodega Centro 5	0.088	0.009	1.914	<b>0.671</b>
Puente Belice	0.097	0.052	0.056	<b>0.069</b>
Puente Santa Marta	0.012	1.312	0.084	<b>0.470</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	1.419	0.045	<b>0.732</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	0.006	0.066	<b>0.036</b>
Aldea Los Olotes	0.024	0.009	2.019	<b>0.684</b>
Promedio	<b>0.067</b>	<b>0.468</b>	<b>0.697</b>	<b>0.396</b>
Río Motagua, delta	0.024	0.076	0.009	<b>0.036</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.19, Determinación de nitrógeno de nitratos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: N-NO <sub>3</sub> mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	3.81	N.M.	N.M.	<b>3.81</b>
Bodega Centro 5	6.45	6.32	0.27	<b>4.34</b>
Puente Belice	3.82	6.45	0.43	<b>3.56</b>
Puente Santa Marta	3.77	6.32	1.33	<b>3.81</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	6.80	0.77	<b>3.79</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	2.76	2.97	<b>2.87</b>
Aldea Los Olotes	0.22	1.06	3.75	<b>1.68</b>
Promedio	<b>3.61</b>	<b>4.95</b>	<b>1.59</b>	<b>3.41</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.20, Determinación de nitrógeno total en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: N-total mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	9.48	N.M.	N.M.	<b>9.48</b>
Bodega Centro 5	15.41	15.35	20.54	<b>17.10</b>
Puente Belice	17.40	17.27	18.99	<b>17.89</b>
Puente Santa Marta	26.15	13.77	30.08	<b>23.33</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	7.72	33.87	<b>20.80</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	3.38	22.08	<b>12.73</b>
Aldea Los Olotes	1.49	1.96	12.54	<b>5.33</b>
Promedio	<b>13.99</b>	<b>9.91</b>	<b>23.02</b>	<b>15.24</b>
Río Motagua, delta	12.79	1.78	3.45	<b>6.01</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

Tabla No.21, Determinación de orto fosfatos en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: P-PO4 mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	2.29	N.M.	N.M.	<b>2.29</b>
Bodega Centro 5	1.57	1.89	1.54	<b>1.67</b>
Puente Belice	1.83	1.73	0.96	<b>1.51</b>
Puente Santa Marta	2.11	1.72	0.26	<b>1.36</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	0.46	2.84	<b>1.65</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	0.09	3.40	<b>1.75</b>
Aldea Los Olotes	0.97	0.08	2.08	<b>1.04</b>
Promedio	<b>1.75</b>	<b>1.00</b>	<b>1.85</b>	<b>1.61</b>
Río Motagua, delta	0.22	0.17	2.10	<b>0.83</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Tabla No.22, Determinación de fósforo total en muestras de agua colectadas en el río Las Vacas y en el río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: P-total mg/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	14.87	N.M.	N.M.	<b>14.87</b>
Bodega Centro 5	4.71	4.39	2.99	<b>4.03</b>
Puente Belice	10.27	65.09	1.36	<b>25.57</b>
Puente Santa Marta	22.69	4.71	0.26	<b>9.22</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	6.27	7.38	<b>6.83</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	0.13	4.17	<b>2.15</b>
Aldea Los Olotes	1.94	0.24	9.75	<b>3.98</b>
Promedio	<b>10.89</b>	<b>13.47</b>	<b>4.32</b>	<b>9.52</b>
Río Motagua, delta	0.33	0.20	10.37	<b>3.63</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado

## 11.1.2 Carga de nutrientes que aporta el río Las Vacas al río Motagua

Tabla No. 23, Determinación del caudal en el punto de muestreo Aldea Los Olotes, para el muestreo de noviembre.

Distancia de orilla a orilla del río, metros	Profundidad, centímetros	Flujo, m/s	Diferencia entre punto de orilla a orilla, metros	Área, m <sup>2</sup>	Caudal, (Q), m <sup>3</sup> /s
1	0.2	0.2	1	0.2	0.04
2	0.33	0.6	1	0.33	0.20
3	0.39	0.86	1	0.39	0.34
4	0.44	1.2	1	0.44	0.53
5	0.48	1.2	1	0.48	0.58
6	0.54	1.3	1	0.54	0.70
7	0.43	1.2	1	0.43	0.52
8	0.44	1.2	1	0.44	0.53
9	0.33	0.58	1	0.33	0.19
10	0.23	0.21	1	0.23	0.05
11	0.26	0.25	1	0.26	0.07
12	0.2	0.22	1	0.2	0.04
13	0.3	0.29	1	0.3	0.09
14	0.32	0.55	1	0.32	0.18
15	0.25	0.2	1	0.25	0.05
16	0.35	0.85	1	0.35	0.30
17	0.35	0.87	1	0.35	0.30
18	0.34	0.83	1	0.34	0.28
19	0.25	0.2	1	0.25	0.05
20	0.15	0.1	1	0.15	0.02
21	0.1	0.1	1	0.1	0.01
<b>CAUDAL TOTAL (5,040 L/s)</b>					<b>5.04</b>

Fuente Proyecto AP17-2021

Tabla No. 24, Determinación de la carga de nutrientes en el punto de muestreo Aldea Los Olotes, de acuerdo a los resultados obtenidos en el muestreo de noviembre.

Parámetros	mg/L	Kg/L	Caudal, L/s	Carga, Kg/s
N-NH4	0.00	0.0000	5040	0.00
N-NO2	2.02	0.0020	5040	10.18
N-NO3	3.75	0.0038	5040	18.90
N-total	12.54	0.0125	5040	63.20
P-PO4	2.08	0.0021	5040	10.48
P-total	9.75	0.0098	5040	49.14

Fuente Proyecto AP17-2021

### 11.1.3 Metales ecotóxicos en agua y sedimentos del río Las Vacas.

Tabla No. 25, Determinación de plomo en muestras de agua del río Las Vacas y río Motagua.

Punto de muestreo / parámetro: plomo, mg Pb/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	0.96	N.M.	N.M.	<b>0.96</b>
Bodega Centro 5	0.63	D.L.D.	0.47	<b>0.55</b>
Puente Belice	0.53	D.L.D.	0.53	<b>0.53</b>
Puente Santa Marta	0.93	D.L.D.	0.56	<b>0.75</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	D.L.D.	1.34	<b>1.34</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	D.L.D.	0.41	<b>0.41</b>
Aldea Los Olotes	0.71	D.L.D.	0.63	<b>0.67</b>
Promedio	0.75	D.L.D.	0.66	<b>0.74</b>
Límite de detección	0.033	0.033	0.033	
Límite de cuantificación	0.07	0.07	0.07	
Río Motagua, delta	0.14	D.L.D.	0.12	<b>0.13</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado, D.L.D.: debajo del límite de detección

Tabla No. 26, Determinación de cadmio en muestras de agua del río Las Vacas y río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: cadmio, mg Cd/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	D.L.D.	N.M.	N.M.	<b>D.L.D.</b>
Bodega Centro 5	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	<b>D.L.D.</b>
Puente Belice	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	<b>D.L.D.</b>
Puente Santa Marta	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	<b>D.L.D.</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	D.L.D.	D.L.D.	<b>D.L.D.</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	D.L.D.	D.L.D.	<b>D.L.D.</b>
Aldea Los Olotes	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	<b>D.L.D.</b>
Promedio	<b>D.L.D.</b>	<b>D.L.D.</b>	<b>D.L.D.</b>	<b>D.L.D.</b>
Límite de detección	0.005	0.005	0.005	
Límite de cuantificación	0.015	0.015	0.015	
Río Motagua, delta	D.L.D.	D.L.D.	D.L.D.	<b>D.L.D.</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado, D.L.D.: debajo del límite de detección

Tabla No. 27, Determinación de cromo en muestras de agua del río Las Vacas y río Motagua.

Punto de muestreo/parámetro: cromo, mg Cr/L	Muestreo No.1 Marzo-Abril 2021	Muestreo No.2 02/07/2021	Muestreo No.3 26/11/2021	Promedio
Colegio de Profesionales	D.L.D.	N.M.	N.M.	D.L.D.
Bodega Centro 5	D.L.D.	D.L.D.	0.83	<b>0.83</b>
Puente Belice	D.L.D.	D.L.D.	0.81	<b>0.81</b>
Puente Santa Marta	D.L.D.	D.L.D.	0.99	<b>0.99</b>
San Antonio Las Flores	N.M.	D.L.D.	0.95	<b>0.95</b>
Aldea Rincón Grande	N.M.	D.L.D.	0.92	<b>0.92</b>
Aldea Los Olotes	D.L.D.	D.L.D.	0.81	<b>0.81</b>
Promedio	<b>D.L.D.</b>	<b>D.L.D.</b>	<b>0.89</b>	<b>0.89</b>
Límite de detección	0.005	0.005	0.005	
Límite de cuantificación	0.02	0.02	0.02	
Río Motagua, delta	D.L.D.	D.L.D.	0.67	<b>0.67</b>

Fuente: Proyecto AP17-2021, N.M.: no muestreado, D.L.D.: debajo del límite de detección

Tabla No. 28, Determinación de plomo, cromo y cadmio en muestras de sedimentos del río Las Vacas y río Motagua.

Punto de muestreo / parámetro: metales en sedimentos	Muestreo No.3 26/11/2021		
	Plomo, mg/Kg	Cromo, mg/Kg	Cadmio, mg/Kg
Aldea Rincón Grande	27.45	3.25	D.L.D.
Aldea Los Olotes	9.67	35.71	D.L.D.
Promedio	<b>18.56</b>	<b>19.48</b>	<b>D.L.D.</b>
Límite de detección	0.033	0.005	0.005
Límite de cuantificación	0.07	0.015	0.02

Fuente: Proyecto AP17-2021, D.L.D.: debajo del límite de detección

### 11.1.4 Contaminantes emergentes tipo farmacéuticos en agua del río Las Vacas.

Tabla No. 29, Determinación de contaminantes emergentes tipo farmacéuticos en muestras de agua del río Las Vacas y río Motagua.

Punto de muestreo/fármaco	Acetaminofén, ug/L	Ibuprofeno, ug/L	Cafeína, ug/L	Trimetoprima, ug/L	Tetraciclina, ug/L	Sulfametoxazol, ug/L
Colegio de Profesionales	N.D.	No Determinado	N.D.	15.80	N.D.	0.74
Bodega Centro 5	N.D.	No Determinado	2.74	6.94	N.D.	0.85
Puente Belice	N.D.	No Determinado	20.65	N.D.	N.D.	N.D.
Puente Santa Marta	N.D.	No Determinado	15.61	N.D.	N.D.	1.36
San Antonio Las Flores	N.D.	No Determinado	6.97	N.D.	N.D.	N.D.
Aldea Rincón Grande	N.D.	No Determinado	N.D.	4.28	2.21	1.20
Aldea Los Olotes	N.D.	No Determinado	6.67	N.D.	N.D.	1.30
Río Motagua, delta	N.D.	No Determinado	0.15	N.D.	0.80	N.D.

Fuente: Proyecto AP17-2021

## 11.1.5 Comparación de resultados con estudios previos.

Tabla No. 30, Determinación del porcentaje de diferencia (PD), entre resultados de los proyectos AP17-2021 y Fodecyt 82-99, para lo puntos de muestreo del río Las Vacas.

Parámetro/Investigación	Fodecyt 82-99	Digi AP17-2021	PD
pH	7.99	7.74	-3%
Temperatura, °C	22.39	27.40	22%
Conductividad, uS/cm	440.80	414.64	-6%
Sólidos totales disueltos, mg/L	353	601	70%
Sólidos sedimentables, mg/L	12.2	2.2	-82%
Sólidos en suspensión, mg/L	623	17	-97%
Sólidos totales, mg/L	956	620	-35%
DQO, mg/L	201	227	13%
DBO5, mg/L	67	241	259%
N-total, mg/L	19.11	15.24	-20%
N-NO3, mg/L	1.99	3.41	71%
N-NO2, mg/L	0.269	0.40	47%
N-NH4, mg/L	2.07	5.30	156%
P-total, mg/L	1.93	9.52	394%
P-PO4, mg/L	1.75	1.61	-8%

Fuente: Proyecto Fodecyt 82-99 y Proyecto Digi AP17-2021. PD: valores positivos significan aumento

Tabla No. 31, Determinación del porcentaje de diferencia (PD), entre los resultados de los proyectos AP17-2021 y Fodecyt 82-99, para el punto del río Motagua, antes de la unión con el río Las Vacas.

Parámetro/Investigación	Fodecyt 82-99	Digi AP17-2021	PD
pH	8.27	8.20	-1%
Temperatura, °C	25.04	27.97	12%
Conductividad, uS/cm	151.66	1264.33	734%
Sólidos totales disueltos, mg/L	92	1274	1282%
Sólidos sedimentables, mg/L	0.2	5.6	3400%
Sólidos en suspensión, mg/L	153	15	-90%
Sólidos totales, mg/L	471	1293	174%
DQO, mg/L	57	1102	1833%
DBO5, mg/L	3	140	4900%
N-total, mg/L	3.62	6.01	66%
N-NO3, mg/L	0.68	4.35	538%
N-NO2, mg/L	0.008	0.04	380%
N-NH4, mg/L	0.12	0.00	-100%
P-total, mg/L	0.23	3.63	1466%
P-PO4, mg/L	0.12	0.83	603%

Fuente: Proyecto Fodecyt 82-99 y Proyecto Digi AP17-2021. PD: valores positivos significan aumento



## 11.2 Discusión de resultados:

### Parámetros fisicoquímicos de campo

Los resultados de pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura ambiental, salinidad y humedad relativa y se presentan en las tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Como puede observarse en la tabla 1, el pH en todos los puntos de muestreo fue ligeramente alcalino, siendo superior a 7.5 en todos los puntos en los tres muestreos efectuados, observándose un promedio mayor en noviembre en el río Las Vacas (8.30), cuando había terminado la época de lluvias. En el río Motagua el pH fue superior en los tres muestreos al promedio de los puntos en el río Las Vacas, como consecuencia del recorrido del río en zonas kárstica aguas arriba. El mayor valor promedio de pH en los sitios en el río Las Vacas se observó en el punto en la Aldea Rincón Grande, con 8.07, sin embargo, no se pudo muestrear dicho punto en el primer muestreo efectuado en marzo-abril. De esta forma los valores de pH se encuentran en el rango encontrado en un estudio previo realizado en 2000-2001 (Oliva et al, 2002)

Por otra parte, la conductividad determinada en los diferentes sitios de muestreo se presenta en la tabla 2. El mayor promedio para los sitios de muestreo en el río Las Vacas se observó en el primer muestreo, con 607.8  $\mu$ S/cm, debido a la mayor concentración de sales en la época seca. En términos generales la conductividad promedio encontrada en el presente es superior a la reportada por Oliva y colaboradores en el estudio realizado en 2000-2001, en el cual no se encontraron conductividades superiores a 700  $\mu$ S/cm en el río Las Vacas como se observó en el primer muestreo efectuado en marzo-abril, lo que indicaría un mayor transporte de electrolitos disueltos. Por otra parte, en el muestreo realizado en julio se encontró un valor anómalo de conductividad en el punto de muestreo en el río Motagua (3555  $\mu$ S/cm), sin embargo, los valores de pH encontrados en dicho río, en el primer y tercer muestreos son bajos como los reportados por Oliva et al (2002).

El oxígeno disuelto solo pudo determinarse en el segundo muestreo en diferentes puntos del río Las Vacas (Tabla 3). Observándose en general valores bajos de oxigenación en el río, como consecuencia de la cantidad orgánica que arrastra el río.

La temperatura ambiental en los puntos de muestreo durante los tres muestreos efectuados se presenta en la tabla 4. El punto en la Aldea Rincón Grande presentó la mayor temperatura promedio, como consecuencia de su baja altitud en la cuenca del río. Por otra parte, entre los muestreos la mayor temperatura promedio se observó en el primer muestreo con 30.5°C. La temperatura es importante por facilitar la disolución de contaminantes en el agua. La menor temperatura de los muestreos se observó en julio con 26.6°C. Es importante mencionar que los sitios de muestreo se caracterizan por la baja humedad relativa, con 39.2 y 42.0% en promedio en los muestreos de julio y noviembre en el río Las Vacas, respectivamente (Tabla 6).

La salinidad en términos porcentuales se presenta en la tabla 5. La mayor salinidad promedio se observó en el muestreo de noviembre, cuando en el río Las Vacas el promedio fue de 1.3%, mientras que en el río Motagua, la salinidad fue de 0.4%. El punto en San Antonio Las Flores presentó la mayor salinidad promedio con 0.9%, indicando que es uno de los puntos donde la contaminación es mayor. El punto en el Colegio de Profesionales presentó la menor salinidad promedio (0.1 %), debido a su proximidad al nacimiento del río, ya que aún no ha tenido un recorrido suficiente para que aguas de escorrentía lo contaminen.

## **Sólidos y turbidez en el agua**

En las tablas 7, 8, 9, 10 y 11, se presentan los resultados de sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos totales disueltos, sólidos totales y turbidez, respectivamente, en el agua del río Las Vacas y río Motagua antes de la unión de los ríos. En la tabla 7 se puede observar que el sitio que presentó los mayores niveles de sólidos sedimentables fue el ubicado en la Aldea Los Olotes con 7.6 mL/L. Por otra parte, el mayor valor promedio de sólidos sedimentables para todos los sitios de muestreo en el río Las Vacas se observó en julio de 2021 (3.9 mL/L), lo cual también ocurrió en el río Motagua (11 mL/L). Las concentraciones promedio encontradas en este estudio son menores a las encontradas por en 2000-2001 (Pérez Sabino, Oliva Hernández y Callejas, 2002), en el cual se observaron valores muy elevados en sitios de muestreo cercanos a terrenos donde se extraía material de construcción, mientras que entre los sitios ubicados en el río Las Vacas, el sitio en San Antonio las

Flores presentó la mayor concentración promedio con 4.5 mL/L, Por otra parte, en el río Motagua los niveles de sólidos sedimentables promedio encontrados en este estudio (5.6 mL/L) si fueron superiores a los encontrados en 2000-2001 (0.16 mL/L), lo que significaría que ha existido una mayor degradación en la cuenca del río Motagua en el período transcurrido entre los dos estudios.

En la Tabla 8 se presentan los resultados de los sólidos en suspensión en los diferentes sitios de muestreo. El sitio que presentó la mayor concentración promedio para estos sólidos fue el Puente Santa Marta con 50 mg/L, mientras que el río Motagua presentó 15 mg/L como promedio. Los niveles de sólidos en suspensión encontrados en el presente estudio son mucho más elevados a los encontrados por Oliva y colaboradores en 2000-2001 (Oliva et al., 2001), cuando en los sitios en el río Las Vacas, solo el sitio en San Antonio presentó una concentración superior a 10 mg/L en el mes de junio de 2000, excluyendo los resultados anómalos observados en octubre de ese año, cuando por actividades de extracción los sólidos se incrementaron en el río Belice y en el Parque Cayalá. Igualmente, la contaminación por sólidos en suspensión es mayor en la actualidad, si se compara el promedio de 15 mg/L encontrado en este estudio con la mayor concentración encontrada por Oliva et al., de 0.4 mg/L en junio de 2000.

En la Tabla 9 se presentan los resultados de sólidos totales disueltos en los sitios en el río Las Vacas y en el río Motagua. Los sitios en el río Las Vacas que presentaron las mayores concentraciones promedio fueron Aldea Rincón Grande y Aldea Los Olotes con 1271 y 1325 mg/L respectivamente, concentraciones muy superiores a las encontradas por Oliva y colaboradores (2001), en las que ningún resultado fue superior a 1000 mg/L. El mes en que se observaron mayores concentraciones promedio de sólidos totales disueltos fue julio con 1089 mg/L en el río Las Vacas y 3555 en el río Motagua, siendo este último un resultado anómalo. Los resultados de sólidos disueltos son concordantes con lo observado para la conductividad e indican una mayor contaminación por sólidos en la actualidad que hace 20 años. La misma tendencia que para los sólidos disueltos se observa para los sólidos totales (tabla 10), ya que los sólidos disueltos representan la mayor proporción de sólidos en las muestras analizadas.

En cuanto a la turbidez (Tabla 11), los resultados son consistentes con los obtenidos para sólidos, habiéndose observado una mayor turbidez promedio en el mes de julio de 2020, con 184.36 UNF en el río Las Vacas y de 468 en el río Motagua. El sitio que presentó la mayor turbidez promedio fue el de Aldea Rincón Grande con 363.45 UNF, mientras que la turbidez promedio en el río Motagua fue de 158.58 UNF.

## **Determinación de carbonatos, cloruros y sulfatos**

Las concentraciones de carbonatos presentaron una tendencia de dilución en la estación lluviosa. En marzo-abril, las concentraciones fueron sumamente elevadas con un promedio de 328.80 mg/L en el río Las Vacas y una concentración de 171 mg/L en el río Motagua (Tabla 12). El sitio que presentó la mayor concentración de carbonatos en el río Las Vacas, excluyendo el Colegio de Profesionales donde solo se determinó en marzo-abril, fue Puente Santa Marta (143.75 mg/L), que también presentó la mayor concentración en marzo-abril con 411 mg/L el río Motagua presentó la mayor concentración de carbonatos en julio con 40.50 mg/L y una concentración promedio de 75.0 mg/L.

En la tabla 13 se presentan los resultados de cloruro en el río Las Vacas y en el sitio en el río Motagua. Al igual que con los carbonatos se encontró una tendencia a disminuir la concentración de cloruros entre la estación seca y la lluviosa al tenerse una concentración promedio de 129.06 en el río Las Vacas y de 158.04 mg/L en el río Motagua en marzo-abril, y de 24.38 en el río Las Vacas y 5.58 en el río Motagua en julio de 2021.

En la tabla 14 se pueden observar las concentraciones de sulfatos encontrados en agua del río Las Vacas y del río Motagua. Las concentraciones promedio encontradas en el río Las Vacas fueron superiores a las encontradas en el río Motagua en los tres muestreos. Por otra parte, la mayor concentración promedio de sulfatos en el río las Vacas se observó en noviembre con 86.98 mg/L mientras que en el río Motagua la mayor concentración se observó en marzo-abril con 42.93 mg/L. El sitio que presentó la mayor concentración promedio de sulfatos fue Puente Belice con 69.55 mg/L. Es importante mencionar que los sitios que presentaron las mayores concentraciones en noviembre fueron

San Antonio Las Flores y Aldea Rincón Grande, para los cuales no se colectaron muestras en marzo-abril, lo que pudo haber influido para que la mayor concentración en el río Las Vacas se observara en noviembre.

## **Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

En la tabla 15 se presentan los resultados de la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la presente investigación. La mayor DQO promedio obtenida en este estudio se observó en la estación seca, con 475 mg/L, cuando en la Aldea Los Olotes se determinó el mayor valor de DQO en todos los sitios (1677 mg/L). El mismo punto presentó la mayor concentración promedio de todos los puntos con 685 mg/L, aunque en noviembre, el punto en el Puente Belice presentó una DQO mayor en el río Las Vacas con 288 mg/L. Es importante mencionar que en forma general los valores de DQO se encuentran en la misma magnitud que los reportados por Perez Sabino et al (2002) para los años 2000 y 2001. En el caso del río Motagua, la mayor DQO se observó en el muestreo efectuado en noviembre con 216 mg/L, mientras que el promedio para dicho río fue de 140 mg/L, el cual es superior al valor promedio reportado en 2002 (57 mg/L) por Perez Sabino y colaboradores (2002), lo cual indica que ha existido un incremento en la contaminación proveniente de la cuenca alta del río Motagua en los últimos 20 años.

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los resultados obtenidos en la presente investigación se presentan en la tabla 16. La mayor DBO promedio entre los muestreos se observó en la estación seca con 251 mg/L. El sitio que presentó la mayor DBO promedio fue el Puente Santa Marta con 278 mg/L. Es de mencionar que los valores de DBO obtenidos en el presente estudio son muchos más elevados que los reportados por Pérez Sabino y colaboradores en los muestreos efectuados en 2000 y 2001, en los cuales en solo tres puntos se reportaron valores de DBO superiores a 100 mg/L y en ningún caso, superiores a 200 mg/L, como sí ocurrió en la presente investigación, indicando un incremento notorio en la contaminación en el río Las Vacas en los pasados 20 años. Lo mismo puede decirse de la contaminación del río Motagua, ya que en el presente estudio la DBO fue igual o superior a 125 mg/L en todos los muestreos, mientras que Pérez Sabino y colaboradores

reportaron una DBO promedio de 2.8 mg/L para cinco muestreos efectuados entre mayo de 2000 y febrero de 2001 (Pérez Sabino et al., 2002). De esta forma se demuestra el incremento en la contaminación de dicho río en el período entre los dos estudios. Es importante que en la presente investigación se encontró un resultado anómalo para DBO en el río Motagua en el primer muestreo (2890 mg/L).

## **Determinación de nutrientes**

Los resultados de nitrógeno de amonio, nitritos, nitratos y nitrógeno total se presentan en las tablas 17, 18, 19 y 20 respectivamente, mientras que de fósforo de fosfatos y fósforo total se presentan en las tablas 21 y 22.

En cuanto al nitrógeno de amonio, las concentraciones fueron bajas en la mayor parte de sitios, con excepción de los puntos de Bodega centro 5 y Puente Belice en marzo-abril y en los sitios de Bodega Centro 5, Puente Belice, Puente Santa Marta y San Antonio Las Flores en noviembre, cuando se observaron concentraciones superiores a 10 mg/L. Las menores concentraciones de nitrógeno de amonio se observaron en julio con un promedio de 0.07 mg/L para los sitios del río Las Vacas y no detectado en el río Motagua. En el estudio realizado por Oliva y colaboradores en 2000-2001, las mayores concentraciones de nitrógeno de amonio se observaron en junio de 2000, cuando se encontraron valores entre 2 y 6 mg/L de nitrógeno de amonio, pero en dicho estudio no se encontraron concentraciones superiores a 10 mg/L como ocurrió en el presente estudio. Las concentraciones de nitrógeno de amonio reportadas para el río Motagua en dicho estudio fueron inferiores a 1.0 mg/L en los cinco muestreos.

En la tabla 18 se presentan los resultados de nitrógeno de nitritos encontrados en el presente estudio. Como puede observarse, la mayor concentración promedio se observó en noviembre con 0.697 mg/L, resultado influido por la mayor concentración encontrada en un sitio de muestreo de 2.019 mg/L en la Aldea Los Olotes. Entre los sitios de muestreo, San Antonio Las Flores presentó la mayor concentración promedio con 0.732 mg/L. Es importante mencionar que en el estudio realizado por

Oliva y colaboradores en 2000-2001, no se encontraron concentraciones de nitrógeno de nitritos superiores a 1.00 mg/L (Oliva et al, 2001) como si ocurrió en este estudio en los meses de julio y noviembre, evidenciando un incremento en la contaminación en el período transcurrido entre ambos estudios. Igualmente ocurrió en el río Motagua, ya que en el presente estudio la concentración promedio en el río Motagua fue de 0.036 mg/L 2000-2001 se reportó como mayor concentración, 0.025 mg/L en el mes de agosto de 2000 mientras que en los otros muestreos se encontraron concentraciones entre 0.002 y 0.003 mg/L (Oliva et al., 2001).

En la tabla 29 se presentan los resultados de nitrógeno de nitratos determinados en el presente estudio. Los nitratos no se determinaron en el punto ubicado en el río Motagua. La mayor concentración de nitrógeno de nitratos se observó en el muestreo de julio con 4.95 mg/L, producto de una mayor cantidad de material arrastrado en la cuenca por la lluvia. LA menor concentración se observó en noviembre con 1.59 mg/L. Entre los sitios de muestreo, el punto en Bodega Centro 5 presentó la mayor concentración promedio de nitrógeno de nitratos con 4.34 mg/L. Es de destacar que en el presente estudio en todos los muestreos se encontraron concentraciones de nitratos superiores a 1.0 mg/L mientras que en el estudio realizado por Oliva y colaboradores en 2000-2001, solamente se encontraron concentraciones de nitrógeno de nitratos superiores a 1.0 mg/L en los muestreos realizados en agosto de 2000 y en enero de 2001 (Oliva et al., 2001), de tal forma que en la actualidad las concentraciones altas permanece superiores a dicho valor como consecuencia del incremento de la contaminación en la cuenca.

En la tabla 20 se presentan los resultados de nitrógeno total encontrados en los diferentes puntos en el río Las Vacas y en el río Motagua en la presente investigación. La mayor concentración promedio se observó en noviembre, con 23.02 mg/L de nitrógeno total, mientras que el sitio que presentó la mayor concentración promedio de nitrógeno total en el río Las Vacas fue el puente Santa Marta con 23.33 mg/L. Es de destacar que en la presente investigación no se encontraron concentraciones de nitrógeno total tan altas como las encontradas por Oliva y colaboradores en el estudio realizado entre 2000 y 2001, cuando reportaron concentraciones mayores a 40 mg/L en algunos sitios del río Las Vacas (Oliva et al., 2001). Sin embargo, en el río Motagua se encontró una concentración de 12.79 mg/L en marzo-

abril, superiores a las concentraciones reportadas para nitrógeno total por Oliva y colaboradores (2001).

En la tabla 21 se presentan los resultados de fósforo de fosfatos en el río Las Vacas y río Motagua encontrados en este estudio. La mayor concentración promedio fue encontrada en noviembre para el río Las Vacas con 1.85 mg/L, mientras que el punto que presentó la mayor concentración promedio para dicho parámetro (excluyendo el Colegio de Profesionales donde solamente se muestreo en marzo-abril), fue la Aldea Rincón Grande con 1.75 mg/L. En el estudio reportado por Oliva y colaboradores en 2000-2001, las concentraciones de fósforo de fosfatos fluctuaron entre 1.0 y 2.6 mg/L, en la mayoría de puntos de muestreo (Oliva et al., 2001), por lo que las concentraciones encontradas en el presente estudio son similares, con excepción del muestreo de noviembre, en que se encontraron concentraciones bajas en la Aldea Rincón Grande y en la Aldea Los olotes con 0.09 y 0.08 mg/L, respectivamente. En el río Motagua la mayor concentración de fósforo de fosfatos se observó en noviembre con 2.10 mg/L, mientras que la concentración promedio fue de 0.83 mg/L, mientras que Oliva y colaboradores reportaron 0.14 mg/L como la mayor concentración de fósforo de fosfatos en los cinco muestreos realizados (Oliva et al., 2001), lo que confirma el incremento en la contaminación del río Motagua en los últimos 20 años.

En la tabla 22 se presentan los resultados de las determinaciones de fósforo total para el presente estudio. La mayor concentración promedio de fósforo total en el río Las Vacas se observó en julio con 13.47 mg/L para este parámetro, aunque influida por el valor más alto encontrado para un punto de muestreo, de 65.09 mg/L en el Puente Belice, ya que los demás puntos presentaron concentraciones menores a 7 mg/L en dicho mes. Los sitios que presentaron las mayores concentraciones promedio de fósforo total en el río Las Vacas fueron el Puente Belice (25.57 mg/L), Colegio de Profesionales (14.87 mg/L, un solo muestreo en marzo-abril) y Puente Santa Marta (9.22 mg/L). Es importante mencionar que la mayor concentración promedio de fósforo total reportada en el estudio efectuado en 2000-2001 (Pérez Sabino et al., 2002), fue de 2.88 en octubre de 2000, lo que demuestra el incremento en la contaminación por este parámetro en los pasados 20 años. Al igual que para el río Motagua, para el que en el de mayo de 2000 a febrero de 2001 se reportó una concentración promedio de 0.23 mg/L



con un valor más alto de 0.60 mg/L de fósforo total, mientras que en el presente estudio la concentración promedio fue de 3.63 mg/L para dicho río.

## **Carga de nutrientes**

El caudal en la estación de muestreo del río Las Vacas más cercana a su desfogue hacia el río Motagua se calculó utilizando el método de velocidad-área o sección-velocidad. Como describen Ganiyu y Abdulrasaq (2019), este es uno de varios métodos usados para la medición de caudales e involucra la división del río en segmentos, para medir en cada segmento la velocidad promedio del flujo en esa ubicación y así calcular el caudal del segmento multiplicando dicho dato por el área del segmento. El caudal total se obtiene luego por la adición de todos los segmentos utilizados.

En la tabla 23 se detallan las mediciones de profundidades y flujos, así como los caudales calculados para cada sección, utilizando secciones de 1 m de ancho, para obtener un valor total de 5.04 m<sup>3</sup>/s para el río Las Vacas en el punto de Aldea Los Olotes, ubicada poco antes del desfogue de este río en el río Motagua, durante el muestreo de noviembre.

En la tabla 24 se recapitulan los resultados de nutrientes encontrados en el mes de noviembre en el sitio de Aldea Los Olotes y el caudal previamente calculado, a fin de presentar los valores de carga que transporta el río Las Vacas para cada uno de los parámetros considerados, en ese lugar y momento. Se observan cargas de 63.20 Kg/s y 49.14 Kg/s para nitrógeno total y fósforo total respectivamente que son aportadas al río Motagua por el río Las Vacas.

## **Metales ecotóxicos en muestras de agua y sedimentos**

En la Tabla 25 se presentan los resultados de plomo en agua para los puntos evaluados en los diferentes muestreos. En los muestreos 1 y 3, correspondientes a época seca, se encontraron valores detectables en todas las muestras analizadas, siendo el mínimo de 0.41 mg/L en la Aldea Rincón Grande en noviembre 2021 y el máximo de 1.24 mg/L en San Antonio Las Flores en ese mismo mes. En el

muestreo de época lluviosa el plomo se encontró por debajo del límite de detección de 0.033 mg/L en todos los puntos muestreados en esa ocasión.

No se observa de manera general un patrón ascendente o descendente en las concentraciones de plomo halladas en los puntos de muestreo al desplazarse a lo largo de todo el cauce del río. En el muestreo de noviembre se observa que las concentraciones se incrementan ligeramente entre cada punto de muestreo desde Bodega Centro 5 hasta Puente Santa Marta, por lo que se deduce que todos los afluentes que se van uniendo al río antes de cada punto aportan al contenido de plomo. Sin embargo, en el punto de muestreo San Antonio Las Flores el aumento es muy marcado por lo que se deduce una contribución mucho mayor por los ríos Chinautla y/o Zapote. Cabe destacar que el vertedero de la zona 3 capitalina se ubica en la cabecera del río Chinautla, pudiendo ser el origen del mayor valor de plomo observado en dicho punto.

De San Antonio Las Flores a Aldea Rincón Grande el contenido de plomo se diluye, posiblemente por el aporte de aguas del Río Quezada y otros afluentes que desfogon al río Las Vacas entre dichos puntos y que drenan zonas mayormente rurales. La concentración vuelve a aumentar en Aldea Los Olotes, luego de la incorporación del río Los Plátanos, por lo que se deduce que el mismo tiene una contribución significativa a este parámetro, posiblemente asociada a la magnitud significativamente mayor de la cuenca que drena este río respecto a la cuenca del río Las Vacas hasta el sitio de confluencia de ambos.

El río Motagua presenta concentraciones de plomo significativamente menores a las del río Las Vacas en los muestreos de época seca, con 0.12 mg/L y 0.14 mg/L, así como valores no detectables en época lluviosa. Por lo tanto, el río Las Vacas constituye una importante fuente de contaminación para el río Motagua con respecto al plomo que transporta.

En la Tabla 26 se presentan los resultados de cadmio en agua para los puntos evaluados en los diferentes muestreos. Todos los sitios muestreados en el río Las Vacas y río Motagua presentan valores debajo del límite de detección de 0.005 mg/L en los tres muestreos realizados.

En la Tabla 27 se presentan los resultados de cromo en agua para los puntos evaluados en los diferentes muestreos. En los muestreos 1 y 2, correspondientes a época seca y época lluviosa, no se encontraron valores detectables en ninguna de las muestras analizadas del río Las Vacas y el río Motagua, con un límite de detección de 0.005 mg/L.

Por el contrario, en el muestreo de noviembre 2021, correspondiente a la fase temprana de la época seca, se encontraron concentraciones detectables de cromo en todas las muestras. Para el río Las Vacas el menor resultado fue de 0.81 mg/L en la Puente Belice y Aldea Los Olotes, mientras el mayor fue de 0.99 mg/L en Puente Santa Marta. Para el río Motagua el resultado fue de 0.67 mg/L, el cual es menor al rango de lo encontrado en el río Las Vacas. Se observa que el río Las Vacas también constituye una fuente de contaminación al río Motagua en este aspecto, aunque de forma menos marcada que para el plomo.

La determinación de plomo, cadmio y cromo se realizó por método fotométrico utilizando celdas de reacción para medición UV-Vis, en vez del uso de Absorción Atómica inicialmente propuesto. Esto debido a que el equipo de Absorción Atómica presentó fallas después de recolectarse las muestras y antes de realizar el análisis, por lo tanto no estuvo disponible durante el período de ejecución del proyecto. No se determinaron arsénico y mercurio dado que no se contaba con alternativas analíticas disponibles dentro de la unidad de investigación para dichos elementos ante la falla del equipo de Absorción Atómica (principalmente en el generador de hidruros).

Para el análisis de metales en sedimentos únicamente se logró coleccionar muestras durante el muestreo de noviembre en dos de los puntos de muestreo, siendo los más cercanos a la confluencia con el río

Motagua. En ambas muestras se encontraron concentraciones detectables de plomo y cromo, mientras que el cadmio estuvo por debajo del límite de detección y no se pudo determinar arsénico ni mercurio, de manera análoga a los resultados de metales en agua.

No se reportan resultados para metales en el anterior estudio realizado sobre sitios de muestreo equivalentes o similares en el río Las Vacas (Oliva, *et. al.*, 2001), por lo que no se realiza una comparación histórica para este componente.

## **Contaminantes emergentes tipo farmacéuticos**

En la Tabla 29 se presentan los resultados de concentraciones de algunos analgésicos y antibióticos seleccionados en el agua de los puntos de muestreo, que son considerados contaminantes emergentes. Se observa que el acetaminofén no fue detectado en ninguno de los puntos del río Las Vacas y río Motagua. Por el contrario, la cafeína está presente en casi todos los puntos de muestreo, con excepción de Colegio de Profesionales y Aldea Rincón Grande. Las concentraciones encontradas de cafeína en los puntos que fue detectable están en el rango de 2.74 µg/L a 20.65 µg/L en los puntos en los que fue detectable del río Las Vacas, mientras que en el río Motagua se encontró una concentración de sólo 0.15 µg/L.

El ibuprofeno no pudo ser determinado a través del método analítico desarrollado, a pesar de que dicho método fue el resultado de un arduo proceso de optimización que llevó a las mejores condiciones para separar y cuantificar la mayor cantidad posible de analitos de interés. Por lo tanto, no se cuenta con resultados para dicho fármaco.

La tetraciclina únicamente fue encontrada en Aldea Rincón Grande sobre el río Las Vacas con 2.21 µg/L y en el punto de muestreo del río Motagua, con 0.80 µg/L. En el río Las Vacas el trimetoprim fue detectable en Colegio de Profesionales, Bodega Centro 5 y Aldea Rincón Grande con valores entre 4.28 µg/L y 15.80 µg/L, mientras que no fue detectable en el sitio del río Motagua. El sulfametoxazol

se encontró en concentraciones en el rango de 0.74 µg/L a 1.36 µg/L en la mayoría de estaciones del río Las Vacas, con excepción de Puente Belice y San Antonio Las Flores. En el punto de muestreo del río Motagua no fue detectable este fármaco.

No se analizaron contaminantes emergentes en el anterior estudio realizado sobre sitios de muestreo equivalentes o similares en el río Las Vacas (Oliva, *et. al.*, 2001), por lo que no se realiza una comparación histórica para este componente.

## **Comparación de resultados con estudios previos**

En la tabla No. 30 se presentan los promedios de los resultados para cada uno de los diferentes parámetros analizados en el río Las Vacas, considerando todos los muestreos y sitios abarcados, respectivamente en la presente investigación y en el estudio de referencia (Oliva et al., 2001). Para comparar estos indicadores generales, obtenidos a partir de los resultados de ambos estudios, se calculó el porcentaje de diferencia entre los mismos (Rojas, 2018). Dado que se tomó el estudio más antiguo como el valor de referencia, los porcentajes positivos indican incremento y los negativos reducción respecto a lo encontrado en esa oportunidad.

De los parámetros considerados el pH no muestra variación significativa aparentemente, pero es necesario considerar que al tratarse de una escala logarítmica la diferencia entre valores representa un cambio mucho mayor que en las escalas lineales. Por lo tanto, todos los parámetros muestran un cambio apreciable en las características del agua del río Las Vacas entre el año 2000 y el 2021, siendo el pH y la conductividad los que menor cambio registran, con condiciones menos alcalinas y un poco menos de conductividad en la actualidad.

Los parámetros que muestran los mayores incrementos porcentuales en 2021 respecto a 2000 son el fósforo total, la DBO y el nitrógeno amoniacal, con porcentajes de diferencia en el orden de las centenas por ciento. El incremento de 259 % de la DBO refleja un marcado aumento de la carga de

materia orgánica transportada por el río. El aumento del fósforo total con un porcentaje de diferencia de 394 %, pero sin aumento del fósforo inorgánico, también evidencia la mayor carga orgánica en la actualidad.

En cuanto a los nutrientes, se observan aumentos significativos de las especies de nitrógeno inorgánico y del fósforo total. Por el contrario, el nitrógeno total y el fósforo de ortofosfatos se redujeron, con valores de porcentaje de diferencia de -20 % y -8% respectivamente. El nitrógeno amoniacal presenta un porcentaje de diferencia de 156%, que refleja una importante degradación de este cuerpo de agua, dada la toxicidad del amonio para los organismos acuáticos y la relación de este parámetro con condiciones reductoras o anóxicas en el río.

Otros parámetros que muestran aumento en la actualidad respecto al anterior estudio son la temperatura, los sólidos disueltos y la DQO, con porcentajes de diferencia en el orden de las decenas. Esto también confirma la degradación de la calidad del agua en el tiempo transcurrido entre los dos estudios.

Los sólidos sedimentables, suspendidos y totales, por el contrario, muestran reducción, con porcentajes de diferencia de -82 %, -97% y -35% respectivamente. Una posible explicación es el efecto sedimentador que pueden estar ejerciendo el embalse y la operación en general de la Hidroeléctrica Las Vacas, localizada en San Antonio Las Flores, Chinautla, dado que la misma entró en operación en mayo de 2002 (CNEE, 2022), es decir posteriormente al desarrollo del estudio de Oliva y colaboradores, 2001. Su presa de 18.85 m de alto permite almacenar un volumen de 258969 m<sup>3</sup> de agua en el embalse de regulación diaria, proveyendo cierta capacidad de sedimentación al total del caudal del río.

De forma análoga al análisis anterior, en la tabla No. 31 se presentan los datos correspondientes para el Río Motagua. Todos los parámetros muestran un cambio apreciable en las características del agua

del río entre el año 2000 y el 2021, siendo el pH y la temperatura los que menor cambio registran, con condiciones algo menos alcalinas y más cálidas en la actualidad.

Los parámetros que muestran los mayores incrementos porcentuales en 2021 respecto a 2000 son la DBO, los sólidos sedimentables, la DQO, el fósforo total y los sólidos totales disueltos, con porcentajes de diferencia en el orden de los miles por ciento. El marcado incremento de 4900 % de la DBO refleja un drástico aumento de la carga de materia orgánica transportada por el río. Los porcentajes de diferencia de 3400 % en sólidos sedimentables y aumentos en los diferentes nutrientes en el orden de las centenas por ciento confirman el fenómeno.

Se observan incrementos significativos en cada uno de los parámetros relacionados a nutrientes, con excepción del nitrógeno amoniacal, que no fue detectado. De los mismos, el parámetro con la variación más marcada es el fósforo total con un porcentaje de diferencia de 1466 %. Las demás sustancias en disolución también se han incrementado significativamente respecto a lo encontrado en el estudio anterior, como se observa en los porcentajes de diferencia de 734 %, 1282 % y 1833 % para conductividad, sólidos disueltos y DQO respectivamente. El único parámetro que muestra una reducción en sus valores actuales respecto a lo encontrado en el estudio anterior es el de sólidos en suspensión.

## 11.3 Conclusiones:

Las concentraciones de la mayoría de los diferentes parámetros físicos y químicos encontrados en el presente estudio revelan un incremento en la contaminación de los ríos Las Vacas y Motagua en los pasados 20 años.

La contaminación por materia orgánica en el río Las Vacas y río Motagua es muy elevada, lo que se manifiesta por las altas concentraciones de nitrógeno de amonio, fósforo total, DQO y DBO.

El río Las Vacas aporta cargas importantes de nitrógeno y fósforo al río Motagua, conteniendo diferentes especies químicas, que contribuyen a fenómenos de eutrofización en los cuerpos de agua.

En el agua y sedimentos del río Las Vacas, así como en el agua del río Motagua no se detectó cadmio en ningún muestreo. Así mismo, en época lluviosa tampoco se encontró plomo ni cromo en el agua de dichos ríos.

En el agua del río Las Vacas en época seca se encontraron concentraciones de plomo en el rango de 0.41 mg/L a 1.24 mg/L y cromo desde no detectable (menor de 0.005 mg/L) hasta 0.99 mg/L.

Las concentraciones de plomo del río Las Vacas son marcadamente mayores a las encontradas en el río Motagua para la misma época, con valor máximo de 0.14 mg/L. También son mayores en el caso del cromo, que presenta un solo dato detectable en el Motagua de 0.67 mg/L.

En sedimentos del río Las Vacas se encontraron concentraciones de plomo de hasta 27.45 mg/Kg y hasta 35.71 mg/Kg de cromo.

En el agua del río Las Vacas se encontraron concentraciones detectables de cafeína, trimetoprim, tetraciclina y sulfametoxazol, mientras que en el río Motagua únicamente se encontró cafeína y tetraciclina, con valores menores a los hallados en el río Las Vacas.



No se encontró acetaminofén en ninguno de los puntos de muestreo utilizando los procedimientos de preparación de muestras y de análisis cromatográfico aplicados en esta investigación.

Las concentraciones máximas encontradas de fármacos seleccionados de interés fueron de 20.65 µg/L para cafeína, 15.80 µg/L para trimetoprim, 2.21 µg/L para tetraciclina y 1.36 µg/L para sulfametoxazol.

Los resultados actuales para parámetros fisicoquímicos y nutrientes evidencian en general una peor calidad de agua, tanto en el río Las Vacas como en el río Motagua en el año 2021 respecto a lo observado en el año 2000 para dichos cuerpos de agua.

Tanto en el río Las Vacas como en el río Motagua, las comparaciones históricas muestran que ha aumentado significativamente la materia orgánica transportada por los ríos, así como la concentración de nutrientes y sustancias disueltas. Esto implica la mayor concentración de sustancias con potencial toxicidad para la vida acuática y el establecimiento de peores condiciones de hábitat para el desarrollo de la vida en estos cuerpos de agua.

El contenido de sólidos sedimentables y en suspensión en el río Las Vacas muestra una reducción significativa respecto a lo encontrado en el estudio anterior, siendo el único aspecto que puede interpretarse como una mejora. Algo similar ocurre con los sólidos en suspensión en el río Motagua. Sin embargo, estas mejoras tienen muy poco impacto positivo a comparación del resto de cambios con impacto negativo observados.

## 12 Referencias

- Adeniyi Ganiyu Adeogun and Apalando Abdulrasaq Mohammed (2019). Review of Methods of Measuring Streamflow Using Hydraulic Structures, Hydraulic Structures Theory and Applications, Amimul Ahsan, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.82342.
- Aga, D. (2008) Fate of Pharmaceuticals in the Environment and in Water Treatment Systems. CRS Press Taylor and Francis Group, New York. 390 pp.
- Aguilar, C. A., Canedo, Y., Montalvo, C., Ruiz, A., & Barreto, R. (2021). Heavy Metal Contamination in a Protected Natural Area from Southeastern Mexico: Analysis of Risks to Human Health. In M. K. Nazal, & H. Zhao (Eds.), Heavy Metals - Their Environmental Impacts and Mitigation. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95591>.
- APHA, AWWAA, WEF. (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1193pp.
- Bicudo C.; Bicudo D. (2004). Amostragem em Limnologia. RiMa Editora. ISBN -85-86552-82-8. Sao Carlos, Brasil. 351 pp.
- Calabrese, E.J., Canada, A.T., Sacco, C. (1985) Trace elements and public health. Annual Review of Public health. 6:131.146.
- Catalina, S., Vasile, G., Stanescu, E., and Eugenia, I., (2017). Metals Toxic Effects in Aquatic Ecosystems: Modulators of Water Quality, Water Quality, Hlanganani Tutu, IntechOpen, DOI: 10.5772/65744. <https://www.intechopen.com/books/water-quality/metals-toxic-effects-in-aquatic-ecosystems-modulators-of-water-quality>.

CETESB. (1990) Implantação de Métodos para Avaliação da bioconcentração de agentes químicos em peixes. Resultados iniciais. Relatório Técnico CETESB, São Paulo. 31 p.

Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE- (2022). Hidroeléctrica Río Las Vacas. Hidroeléctrica Río Las Vacas | CNEE.

Daughton, C. (2004) Non-regulated water contaminants: emerging research. Environ. Impact. Assess. Rev. 24:711.

EFSA (2004) Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission related to cadmium as undesirable substance in animal feed. EFSA Journal 72: 1-24.

EPA. (1986). Quality Criteria for Water. EPA, USA. 444 pp.

España, M.J., (2010) Aguas negras amenazan a la Ciudad de Guatemala; EDOM 1972-2000 fue olvidado. Diario La Hora 17 diciembre 2010.

García, T., Iriarte, C., (1998) Proceso Histórico Ambiental de la Ciudad de Guatemala 1976-1996. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela de Historia. 93p.

Greenpeace (2008). Informe Contaminación en España. Greenpeace. España, pp 269.

Hernández E., (2013) Análisis de Contaminantes Emergentes de Tipo Farmacéutico (Acetaminofeno, Cafeína, Dexketoprofeno, Diclofenaco Sódico, Fenilefrina e Ibuprofeno) en el Agua del Río Las Vacas (Municipio de Guatemala) y Río Villalobos (Municipio de Amatitlán. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela de Química. 119p.

Hootsmans M., Minns, E. van Stevbeninck, J. Vermaat. Fielwork Limburg. A. (1997). Chemical, biological and hydrological study. Lecture Notes. Netherlands: IHE Delft. p.12.

Jones, O.A., Lester, J.N., Voulvoulis, N. (2005) Pharmaceuticals: athreat to drinking water? Trends Biotechnol. 23: 163.

Kumar, P., & Pathak, S. (2018). Short-Term Response of Plants Grown under Heavy Metal Toxicity. In H. E. M. Saleh, & R. F. Aglan (Eds.), Heavy Metals. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75722>. 1-14pp.

Lin, K., Gan J., (2011) Sorption and degradation of wastewater-associated non-steroidal anti-inflammatory drugs and antibiotics in soils. Chemosphere 83: 240-246.

Oliva Hernández, B.E., Callejas Rivera, B.C., & Pérez Sabino, J.F. (2001). *Calidad Fisicoquímica y Bacteriológica del agua del Río Las Vacas*, Informe Final Proyecto FODEYCT 82-99. CONCYT-USAC, Guatemala.

Oliva, B.; J.F. Pérez; M. del Cid; F.J. Martínez y B. Valladares. (2009). Estudio de contaminantes ecotóxicos en agua y organismos acuáticos del Lago de Atitlán, INF-2009-064, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación.

- OMS. (1989) Guías para la Calidad del Agua Potable. Organización Mundial de la Salud, Washington. 132pp.
- Ortiz, N., (2019). Green Water Treatment for Pharmaceutical Pollution, Green Chemistry Applications, Murat Eyvaz and Ebubekir Yüksel, *IntechOpen*, DOI: 10.5772/intechopen.85116. <https://www.intechopen.com/books/green-chemistry-applications/green-water-treatment-for-pharmaceutical-pollution>.
- Pain, D.J. (1995) Lead in the environment. En Handbook of Ecotoxicology. Eds. Hoffmann, D.J., Rattner, B.A. Burton, G.A., Carins Jr., J. pp. 424-468.
- Pérez, Sabino, J.F. Oliva Hernández, B.E. & Callejas, B. (2002). *Impacto de la contaminación de río Las Vacas sobre la calidad del agua del Río Motagua, Guatemala*, En: A. Fernández Cirelli & E. Abraham (Eds.), *EL AGUA EN IBEROAMERICA. De la escasez a la Desertificación* (pp. 111-120), Buenos Aires; CYTED.
- Rezende, C.E. (1993) Origen, Transporte e Destino da Materia Organica na interfase fluvio-marinha, sob diferentes condicoes de uso do solo e sua relacao como o transito de poluentes metálicos na baia de Sepetiva- RJ. Tese de Doutorado. Brasil: Instituto de Biofisica, UFRJ.
- Ribeiro Pedroso, R.C., Peralba, M.C., Zimnoch dos Cantos, J.H., Pizzolato, T.M. (2011) Desenvolvimento de Métodos de Análise por CLAE-UV para os antimicrobianos tetraciclina, sulfametoxazol e trimetoprima utilizando materiais à base de sílica como sistemas de préconcentração. *Quim. Nova* 34: 206.
- Rojas A., C., (2018). Razonamiento cuantitativo, 2a edición: Notas de clase. Universidad del Norte, Colombia. ISBN 9587419480, 9789587419481. 50 pp.

Santos, J.L., Aparicio, I., Alonso, E. Callejón, M. (2005) Simultaneous determination of pharmaceutically active compounds in wastewater samples by solid phase extraction and high-performance liquid chromatography with diode array and fluorescence detectors. *Anal. Chim. Acta* 550: 116-122.

Schulman, L.J., Sargent, E.V., Naumann, B.D., Faria, E.C., Dolan, D.G., Wargo, J.P. (2002) A human health risk assessment of pharmaceuticals in the aquatic environment. *Hum. Ecol. Risk Assess.* (: 657.

Solorzano de Z.M.; Herrera, K. (1997) Determinación de *Vibrio cholerae*, *Salmonella* sp y *Shigella* sp, en las principales descargas de aguas residuales de la ciudad de Guatemala, antes y después de irradiarlas con Cobalto 60. Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas -IIQB- Proyecto 96-10.

Valcárcel, Y., González A., S., Rodríguez-Gil J.L., Romo M., R., Gil A., Catalá M., (2011) Analysis of the presence of cardiovascular and analgesic/anti-inflammatory/antipyretic pharmaceuticals in river- and drinking-water of the Madrid Region in Spain. *Chemosphere* 82: 1062–1071.

Weiner, E. R. (2008). *Applications of Environmental Aquatic Chemistry. A Practical Guide.* CRC Press, Taylor & Francis Group. USA. 436 pp.

Wren, C.D., Harris, S., Harttrup, P. (1995) *Ecotoxicology of Mercury and Cadmium.* Handbook of Ecotoxicology. Eds. Hoffmann, D.J., Rattner, B.A. Burton, G.A., Cairns Jr., J. pp. 392-423.

## 13 Apéndice

### 13.1 Sitios de colecta

Tabla No. 32, Puntos de muestreo propuesto y puntos de muestreo utilizados (observaciones) luego de realizar análisis.

Punto de muestreo propuestos	Ubicación*	Observaciones
Paso a desnivel zona 15	Km 7.5 Carretera Interamericana Oriente, junto al paso a desnivel hacia zona 15.	No hay acceso seguro a este sitio, se intentará reubicarlo. Por el momento no es factible la colecta de muestras de agua ni de sedimentos tampoco la colocación del muestreador pasivo.
Colegio de Profesionales	Junto a las instalaciones del complejo de Colegios Profesionales, zona 15.	Se puede colectar muestras de agua sin problema en temporada seca es factible la colecta de sedimentos y la colocación del muestreado pasivo.
Cayalá	Antes de la unión con el río Contreras, frente al Parque Ecológico Cayalá, zona 15.	Se reubicó aproximadamente a 800 metros del Parque Ecológico Cayalá. Puente del complejo Bodegas Centro 5, sobre Boulevard Lourdes. Es factible la colecta de muestras de agua, pendiente de verificar colecta de sedimentos. No es factible la colocación del muestreador pasivo.
Puente Belice	Después de la unión con el río Contreras, bajo el Puente Belice, junto a la Calzada de la Paz, a 200 m de la gasolinera.	Debajo del puente, ubicado sobre la Calzada la Paz, a la par de Ferco. Se puede colectar muestras de agua, pendiente de verificar la colecta de sedimentos, no es factible la colocación del muestreador pasivo.
Las Piedrecitas	Cercano al Hospital de Dermatología “Las Piedrecitas”, final de la Colonia Santa Isabel, Nueva Chinautla.	Debido al difícil acceso a este punto se decidió aguas abajo en el puente de Santa Marta límite municipal entre zona 6 Guatemala y Chinautla.
Chinautla	Km. 9 ruta RD-GUA-04.	Verificada en marzo (En temporada seca, se puede colectar muestras de agua

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

		<p>superficial y sedimentos sin problemas. No es factible colocar muestreador pasivo). Este punto es un tributario al río Las Vacas, por lo tanto no se tomará éste como punto de muestreo si no el de San Antonio Las Flores en el cual ya se han mezclados las aguas.</p>
San Antonio Las Flores	Km. 16 ruta RD-GUA-04.	<p>Verificado en marzo (En temporada seca, se puede coleccionar muestras de agua superficial y sedimentos sin problemas. Se requiere vehículo con doble tracción. No es factible colocar muestreador pasivo).</p>
Aldea Rincón Grande	Bajo el puente peatonal que une las aldeas Rincón Grande y Petacá, a 56 Km de la Ciudad de Guatemala	<p>Pendiente de verificar, se buscó en tres posibles rutas sin embargo no fue posible localizar el puente. Posiblemente deba reubicarse este punto de muestreo. No es factible colocar muestreador pasivo.</p>
Aldea Los Olotes	Finca La Vega de Panajax, 200 m antes de la unión del Río Las Vacas al Río Motagua, a 60 Km de la Ciudad de Guatemala	<p>Verificado en marzo (En temporada seca, se puede coleccionar muestras de agua superficial y sedimentos sin problemas. Se requiere vehículo con doble tracción. No es factible colocar muestreador pasivo).</p>
Motagua		<p>Este punto no está dentro del cauce del río Las Vacas sin embargo vale la pena muestrear sus aguas con el fin de saber su calidad justo antes de recibir las aguas del río Las Vacas.</p>

Fuente: Proyecto Fodecyt 88-98 y Proyecto Digi AP17-2021, \* Puntos de muestreo propuestos por Oliva 2001 y Hernández 2013.



Tabla No. 33, Puntos de muestreo georeferenciados, utilizados en los muestreos realizados en el proyecto Digi AP17-2021.

Punto de muestreo	norte (north)	oeste (west)	msnm
Colegio de Profesionales	14.601639	-90.502908	1442
Bodega Centro 5	14.626611	-90.487361	1427
Puente Belice	14.643778	-90.486139	1407
Puente Santa Marta	14.691222	-90.483500	1340
San Antonio Las Flores	14.749972	-90.496722	1124
Aldea Rincón Grande	14.84105	-90.412586	485
Aldea Los Olotes	14.872056	-90.396611	429
Río Motagua, delta	14.875028	-90.395583	405

Fuente: Proyecto AP17-2021

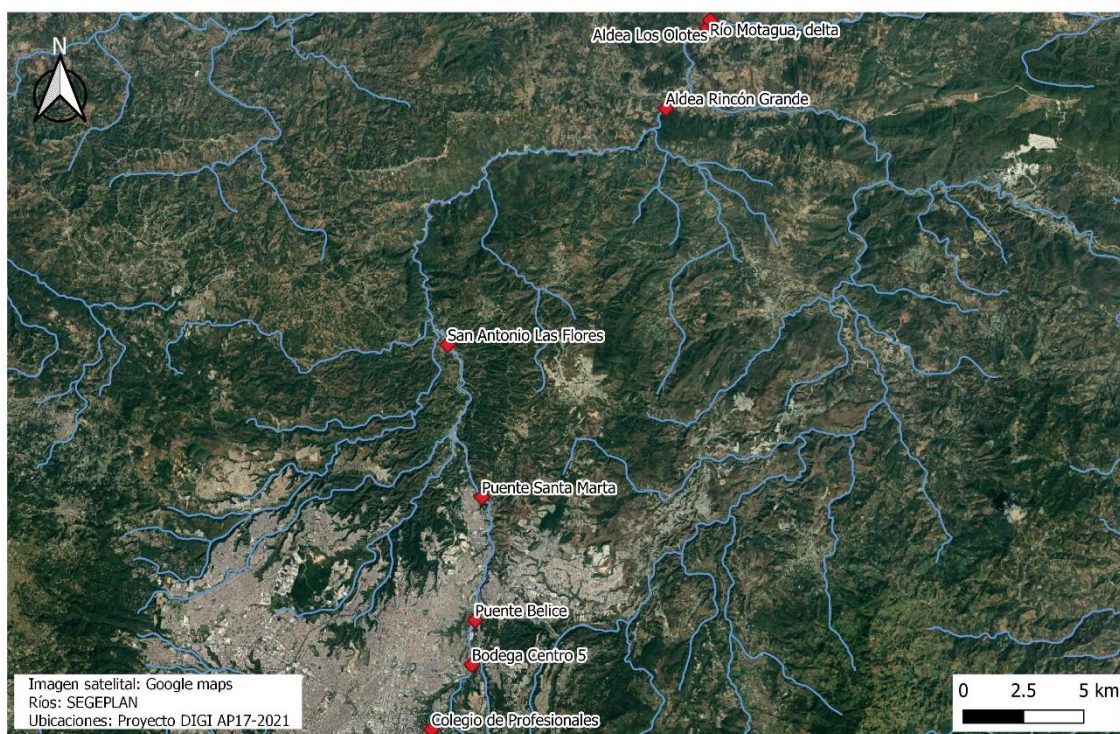


Figura No.01: mapa de los sitios de muestreo de agua en el río Las Vacas: Colegio de Profesionales, Bodega Centro 5, Puente Belice, Puente Santa Marta, San Antonio Las Flores, Aldea Rincón Grande, Aldea Los Olotes, río Motagua delta.

### 13.2 Fotografías



Fotografía No.01, Colecta de muestra de agua en el punto Colegio de Profesionales, primer punto en el recorrido en el muestreo de marzo-abril





Fotografía No.02, Colecta de muestra de agua en el punto Bodega Centro 5, segundo punto en el recorrido en el muestreo de julio.



Fotografía No.03, Colecta de muestra de agua en el puente Bodega Centro 5, (Cayalá) zona 15 de Guatemala, muestra colectada en abril 2021.



Fotografía No.04, Colecta de muestra de agua en las cercanías del puente Belice, muestreo julio 2021.



Fotografía No.05, Colecta de muestra de agua en el puente Santa Marta zona 6 de Guatemala, muestra colectada en abril 2021.





Fotografía No.06, Colecta de muestra de agua en el punto “puente Santa Marta”, en el Río Las Vacas, julio 2021.



Fotografía No.07, Colecta de muestra de agua en el punto “San Antonio Las Flores”, en el Río Las Vacas, julio 2021.



Fotografía No.08, colecta de muestra de agua del Río Las Vacas, punto Rincón Grande, muestreo noviembre 2021.





Fotografía No.09, determinación del flujo en el Río Las Vacas, para posterior determinación del caudal, correspondiente al muestreo de noviembre 2021.



Fotografía No.10, Manuel Muñoz realizando mezcla de reactivos para determinación de cromo total en muestras de agua del río las Vacas.



Fotografía No.11, Elisandra Hernández, determinando oxígeno disuelto en muestra de agua colectada en el Río Las Vacas, como parte del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.



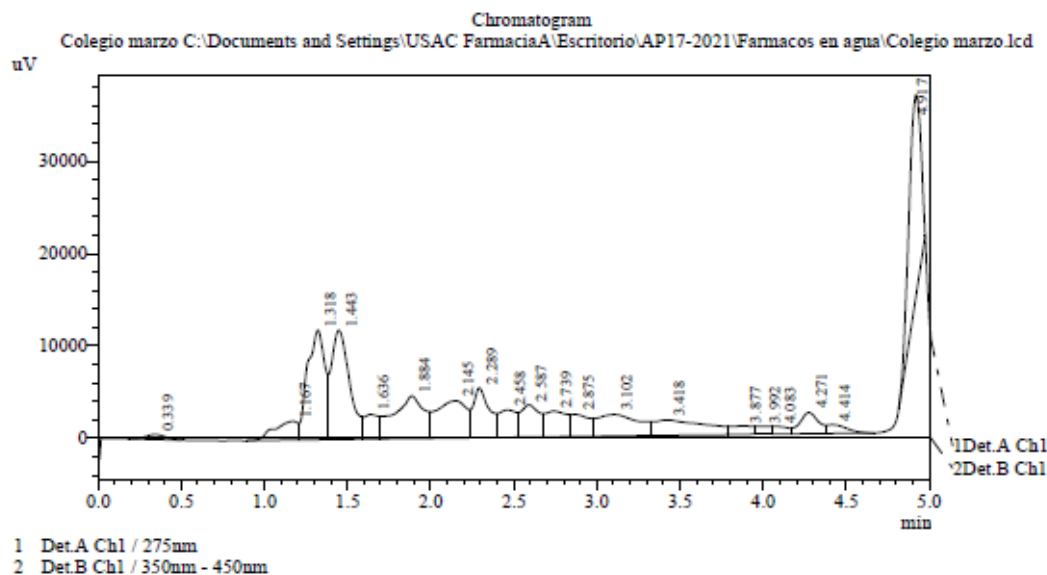
Fotografía No.12, Christa Lemus, elaboración de curva de calibración de orto-fosfatos, mediante espectrofotometría UV/Visible





Fotografía No.13, Christa Lemus, determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno, en muestras de agua del Río Las Vacas, colectadas en el muestreo de noviembre 2021.

## 13.3 Espectros de HPLC de fármacos (estándares y muestras)



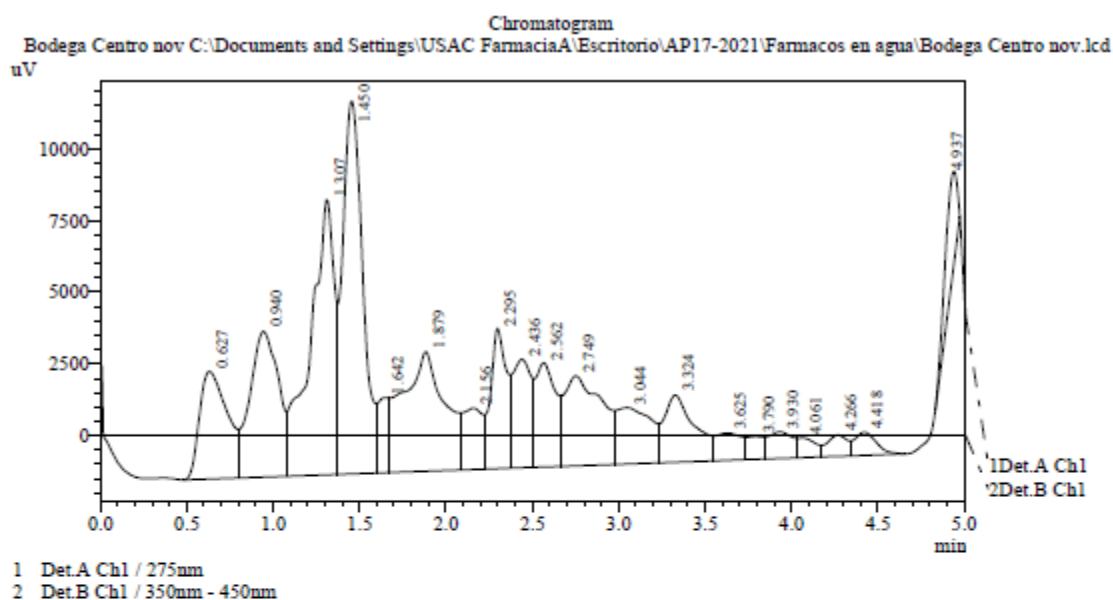
PeakTable

Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	0.339	4156	530	0.603	0.612
2	1.167	20207	2009	2.931	2.318
3	1.318	86749	11861	12.584	13.686
4	1.443	89447	11833	12.976	13.654
5	1.636	16457	2670	2.387	3.081
6	1.884	58775	4599	8.526	5.307
7	2.145	49202	4040	7.138	4.661
8	2.289	37589	5433	5.453	6.269
9	2.458	21133	2987	3.066	3.447
10	2.587	27057	3491	3.925	4.028
11	2.739	25914	2776	3.759	3.203
12	2.875	17497	2390	2.538	2.758
13	3.102	40628	2335	5.894	2.695
14	3.418	36537	1679	5.300	1.938

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
15	3.877	8519	915	1.236	1.056
16	3.992	5118	867	0.742	1.000
17	4.083	5259	825	0.763	0.952
18	4.271	18013	2305	2.613	2.660
19	4.414	7720	958	1.120	1.105
20	4.917	113359	22157	16.445	25.567
Total		689334	86662	100.000	100.000

Figura No.2, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Colegio de Profesionales, muestreo marzo-abril 2022.



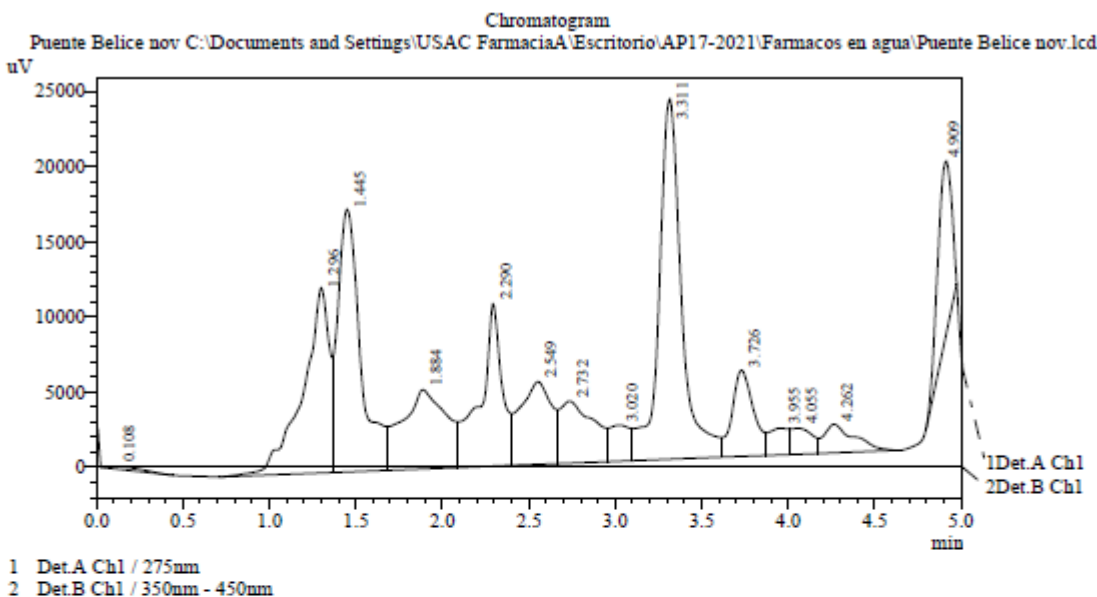
PeakTable

Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	0.627	42180	3752	6.477	5.487
2	0.940	58446	5084	8.975	7.436
3	1.307	95377	9597	14.646	14.036
4	1.450	104050	12980	15.977	18.984
5	1.642	11572	2616	1.777	3.826
6	1.879	69954	4168	10.742	6.096
7	2.156	17287	2141	2.654	3.131
8	2.295	31998	4900	4.913	7.166
9	2.436	27829	3785	4.273	5.536
10	2.562	29266	3633	4.494	5.313
11	2.749	46742	3135	7.177	4.585
12	3.044	27082	1964	4.159	2.872
13	3.324	28825	2335	4.426	3.415
14	3.625	9724	952	1.493	1.392

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
15	3.790	5097	796	0.783	1.164
16	3.930	9399	926	1.443	1.354
17	4.061	4853	687	0.745	1.004
18	4.266	5975	741	0.917	1.084
19	4.418	7057	806	1.084	1.178
20	4.937	18521	3377	2.844	4.939
Total		651236	68373	100.000	100.000

Figura No.3, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Bodega Centro 5, muestreo noviembre 2022.

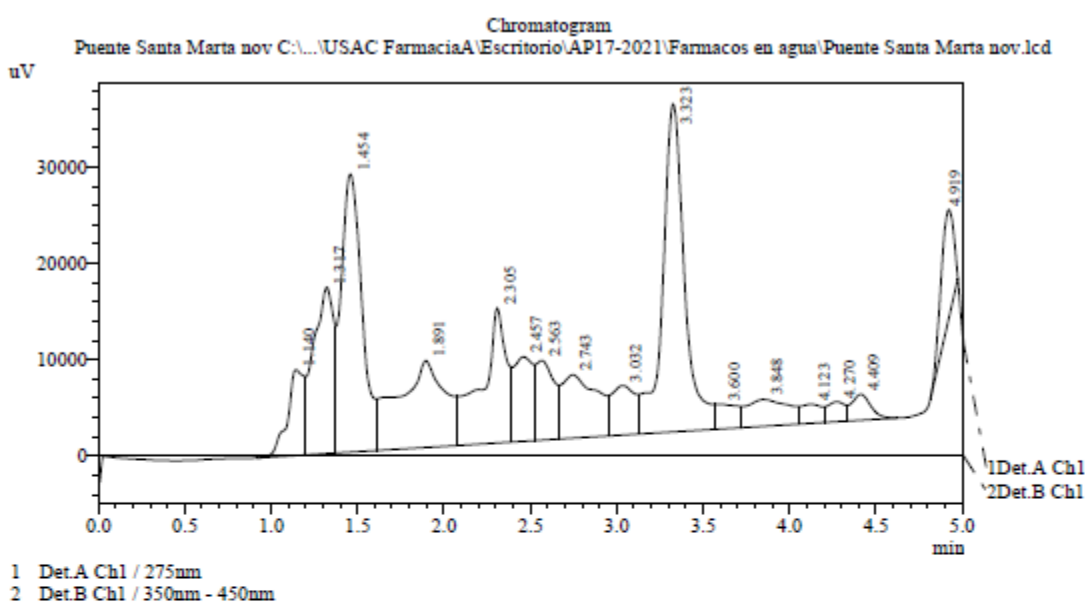


PeakTable

Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	0.108	2656	169	0.261	0.162
2	1.296	132098	12325	12.996	11.750
3	1.445	159767	17470	15.718	16.655
4	1.884	94050	5261	9.253	5.016
5	2.290	95319	10826	9.378	10.321
6	2.549	70165	5488	6.903	5.232
7	2.732	55114	4126	5.422	3.933
8	3.020	20627	2401	2.029	2.289
9	3.311	217648	23980	21.413	22.862
10	3.726	50009	5728	4.920	5.461
11	3.955	13564	1779	1.334	1.696
12	4.055	14870	1724	1.463	1.644
13	4.262	23038	1898	2.267	1.810
14	4.909	67509	11717	6.642	11.171

Figura No.4, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Puente Belice, muestreo noviembre 2022.



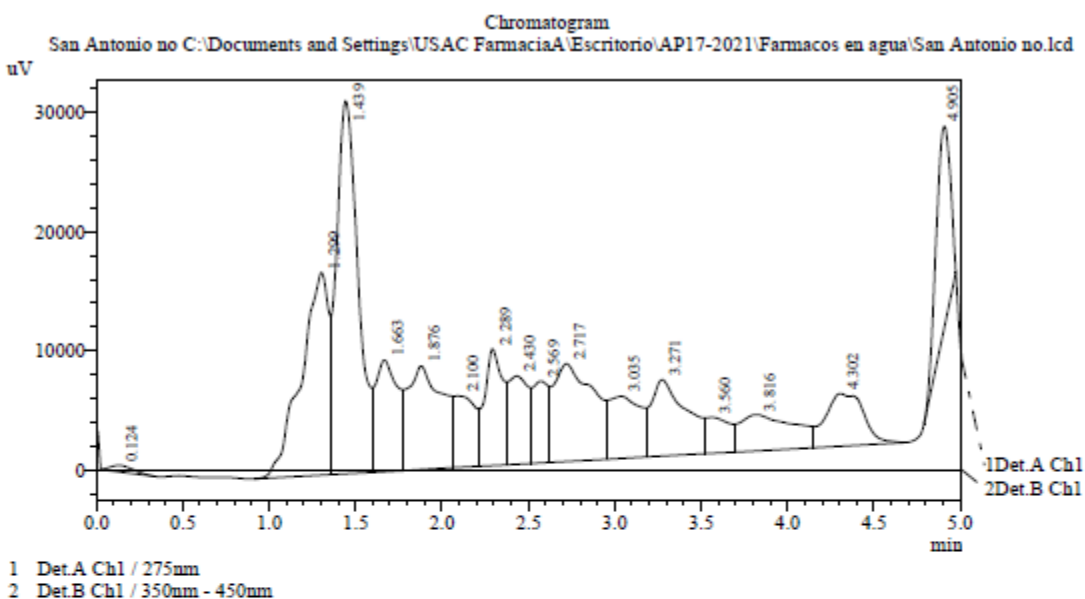
PeakTable

Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	1.140	61596	8938	4.065	5.426
2	1.317	141849	17263	9.362	10.481
3	1.454	239230	28905	15.790	17.549
4	1.891	173747	9014	11.468	5.473
5	2.305	143239	14020	9.454	8.512
6	2.457	66384	8764	4.381	5.321
7	2.563	60901	8288	4.020	5.032
8	2.743	91957	6581	6.069	3.996
9	3.032	48743	5149	3.217	3.126
10	3.323	304395	34103	20.091	20.706
11	3.600	22998	2573	1.518	1.562
12	3.848	46012	2789	3.037	1.694
13	4.123	16662	1978	1.100	1.201
14	4.270	14929	2082	0.985	1.264

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
15	4.409	20892	2687	1.379	1.632
16	4.919	61569	11570	4.064	7.025
Total		1515104	164705	100.000	100.000

Figura No.5, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Puente Santa Marta, muestreo noviembre 2022.

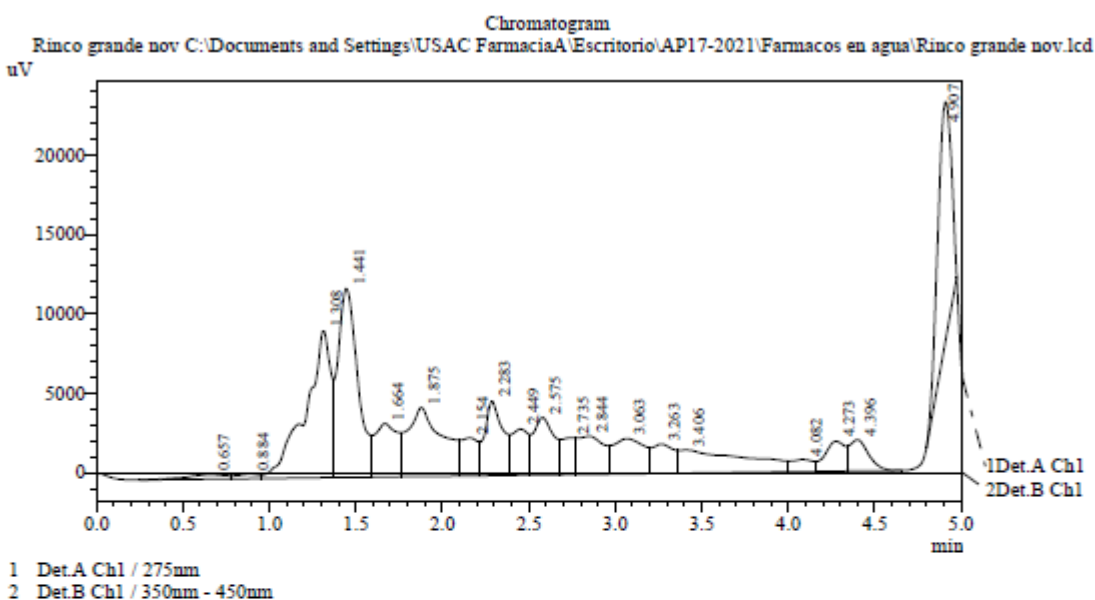


PeakTable

Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	0.124	5042	538	0.348	0.372
2	1.299	190708	17026	13.153	11.767
3	1.439	272304	31356	18.781	21.671
4	1.663	83759	9391	5.777	6.490
5	1.876	123065	8711	8.488	6.020
6	2.100	50241	5990	3.465	4.140
7	2.289	71826	9832	4.954	6.795
8	2.430	59454	7428	4.101	5.134
9	2.569	43078	6874	2.971	4.751
10	2.717	129294	8200	8.917	5.668
11	3.035	66770	5223	4.605	3.610
12	3.271	91763	6430	6.329	4.444
13	3.560	27531	3024	1.899	2.090
14	3.816	66477	3043	4.585	2.103

Figura No.6, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en San Antonio Las Flores, muestreo noviembre 2022.



PeakTable

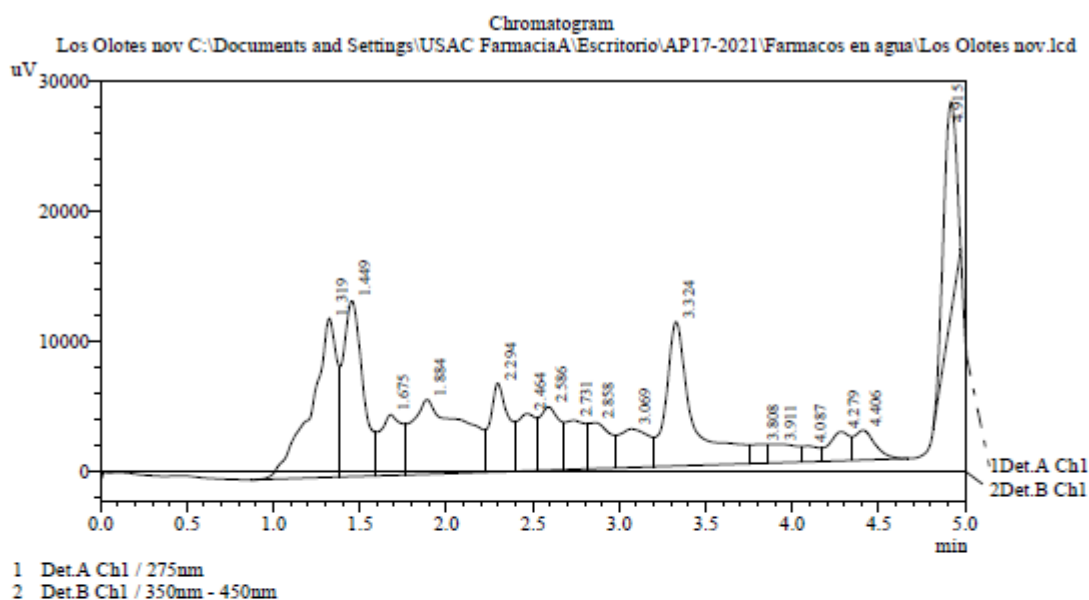
Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	0.657	4535	296	0.719	0.406
2	0.884	2554	284	0.405	0.389
3	1.308	96403	9220	15.288	12.633
4	1.441	93176	11879	14.776	16.277
5	1.664	29820	3359	4.729	4.603
6	1.875	61559	4332	9.762	5.936
7	2.154	15989	2394	2.536	3.280
8	2.283	34610	4678	5.489	6.410
9	2.449	19123	2901	3.033	3.975
10	2.575	30367	3609	4.816	4.945
11	2.735	12543	2306	1.989	3.160
12	2.844	24850	2393	3.941	3.279
13	3.063	27443	2221	4.352	3.044
14	3.263	16610	1850	2.634	2.535

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
15	3.406	39297	1457	6.232	1.997
16	4.082	6714	761	1.065	1.043
17	4.273	15433	1890	2.447	2.590
18	4.396	14914	1968	2.365	2.697
19	4.907	84654	15180	13.424	20.801
Total		630593	72979	100.000	100.000

Figura No.7, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Aldea Rincón Grande, muestreo noviembre 2022.





PeakTable

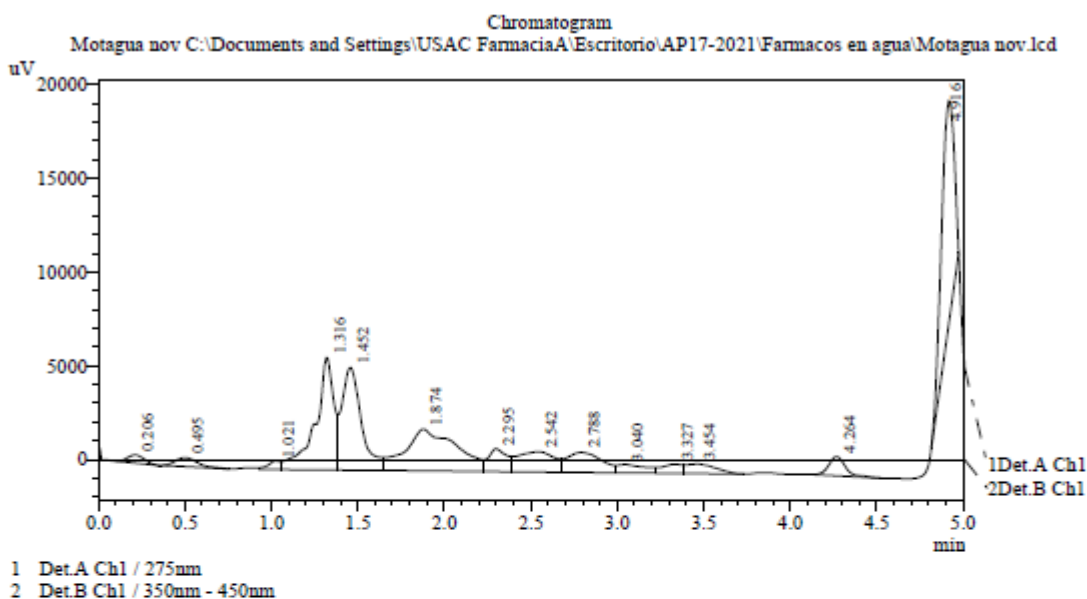
Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	1.319	127638	12187	14.405	12.391
2	1.449	106244	13450	11.990	13.675
3	1.675	42198	4623	4.762	4.700
4	1.884	116997	5709	13.204	5.804
5	2.294	50939	6807	5.749	6.920
6	2.464	31188	4391	3.520	4.465
7	2.586	40442	4847	4.564	4.928
8	2.731	29042	3752	3.278	3.815
9	2.858	29646	3524	3.346	3.583
10	3.069	35935	2949	4.056	2.998
11	3.324	119518	11036	13.488	11.221
12	3.808	9409	1453	1.062	1.477
13	3.911	15524	1421	1.752	1.445
14	4.087	8004	1204	0.903	1.224

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
15	4.279	19128	2228	2.159	2.265
16	4.406	18383	2282	2.075	2.320
17	4.915	85845	16493	9.688	16.769
<b>Total</b>		<b>886080</b>	<b>98355</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>

Figura No.8, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en Aldea Los Olotes, muestreo noviembre 2022.



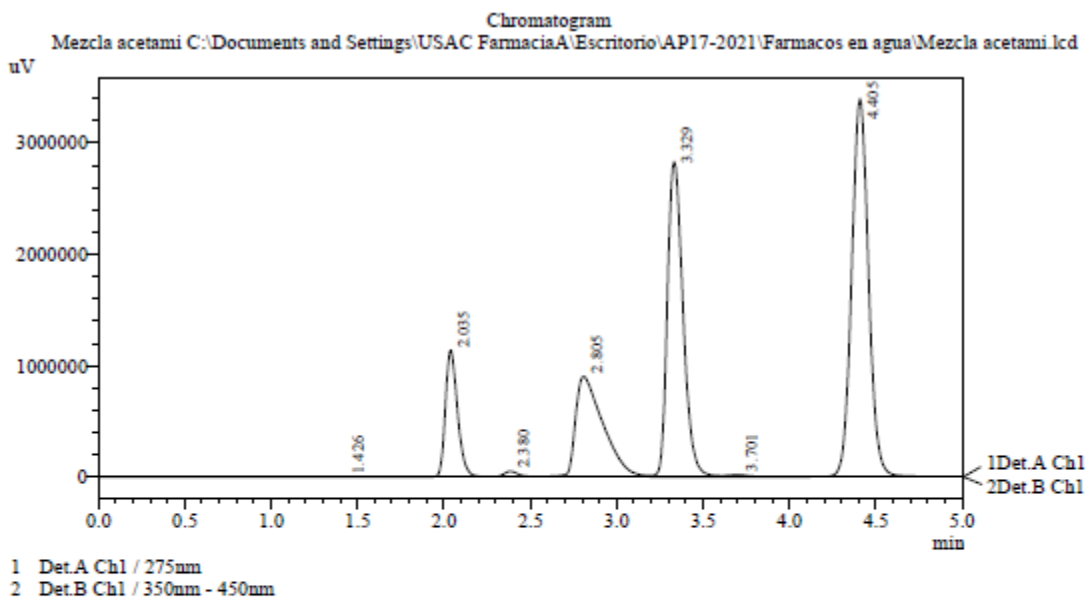


PeakTable

Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	0.206	2804	424	1.047	1.290
2	0.495	4319	480	1.613	1.459
3	1.021	2352	465	0.878	1.415
4	1.316	44827	5988	16.744	18.213
5	1.452	42739	5471	15.964	16.641
6	1.874	45547	2223	17.013	6.763
7	2.295	9342	1219	3.490	3.708
8	2.542	15665	1080	5.851	3.285
9	2.788	15034	1070	5.616	3.253
10	3.040	4914	441	1.836	1.341
11	3.327	4078	481	1.523	1.462
12	3.454	5977	506	2.232	1.538
13	4.264	6956	1027	2.598	3.124
14	4.916	63162	12002	23.593	36.507

Figura No.9, Cromatograma y tabla de picos del eluato obtenido por SPE correspondiente a la muestra de agua colectada en río Motagua delta, muestreo noviembre 2022.

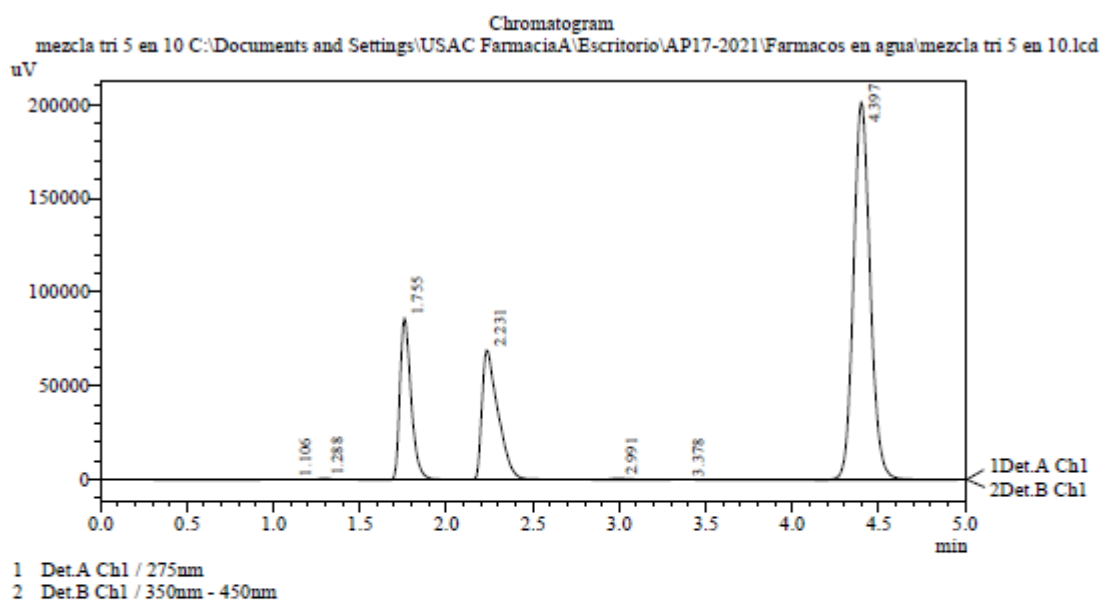


PeakTable

Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	1.426	4000	495	0.007	0.006
2	2.035	5571235	1141029	9.798	13.689
3	2.380	304219	51677	0.535	0.620
4	2.805	10003798	902628	17.594	10.829
5	3.329	17895152	2832066	31.472	33.975
6	3.701	65170	11155	0.115	0.134
7	4.405	23016879	3396567	40.480	40.748
Total		56860453	8335618	100.000	100.000

Figura No.10, Cromatograma y tabla de picos de estándares de acetaminofén, tetraciclina, caféina y sulfametoxazol.



PeakTable

Detector A Ch1 275nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	1.106	1666	139	0.075	0.039
2	1.288	3953	853	0.179	0.237
3	1.755	390599	86420	17.648	24.048
4	2.231	455354	69297	20.574	19.283
5	2.991	7015	730	0.317	0.203
6	3.378	1061	175	0.048	0.049
7	4.397	1353654	201744	61.160	56.140
Total		2213301	359359	100.000	100.000

Figura No.11, Cromatograma y tabla de picos de estándar de trimetoprin (segundo pico) y sulfametoxazol (tercer pico).

## 14 Aspectos éticos y legales (si aplica)

No se requirió trámite de permisos, registros o licencia en instituciones del Estado para realizar la presente investigación.

## 15 Vinculación

A la fecha aún no se podido concretar alguna vinculación con instituciones u organizaciones externas a la Usac. Sin embargo los resultados obtenidos como producto de esta investigación serán de gran valor para el Ministerio de Ambiente y Recurso Naturales y aquellas instituciones que realizan investigación nacional e internacional en esta temática.

## 16 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Se ha preparado un manuscrito científico titulado “Calidad fisicoquímica del agua del río Las Vacas, ubicado en el departamento de Guatemala”, el cual será enviado a la revista Ciencia Tecnología y Salud para su evaluación.

## 17 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

Esencialmente al ODS 6, Agua Limpia y Saneamiento, pues aporta insumos para contribuir a la reducción de la contaminación y mejora de la calidad del agua, tendiente al restablecimiento de ecosistemas riparios. Así mismo, coadyuva a alcanzar el ODS 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles, dado que contribuye a reducir el impacto ambiental negativo de la Ciudad de Guatemala y comunidades aledañas en materia de gestión de sus aguas residuales, y el ODS 12, Producción y Consumo Responsables, al contribuir a la reducción de la liberación de productos químicos al agua como parte de una gestión ambientalmente racional de desechos que forman parte del ciclo de vida de los productos clasificados como contaminantes emergentes.

## 18 Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Manuel Alejandro Muñoz Wug	Coordinador	20090848	Sí	
Christa Melisa Lemus Lucas	Auxiliar de Investigación I	20211039	Sí	

## 19 Declaración del Coordinador del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

<b>Lic. Manuel Alejandro Muñoz Wug</b> <b>Coordinador del proyecto de investigación AP17-2021</b>	<b>Firma</b>
25/04/2022	

## 20 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto “Determinación de contaminantes emergentes, metales ecotóxicos, nutrientes y parámetros generales de calidad en agua y sedimentos del Río Las Vacas” en mi calidad de Directora del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas –IIQB-, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<b>Vo.Bo. Dra. María Eunice Enríquez Cotton</b> <b>Dirección Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas</b>	<b>Firma</b>
25/04/2022	

## 21 Visado de la Dirección General de Investigación

<b>Vo.Bo. Ing. Augusto Saul Guerra Gutiérrez</b> <b>Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente</b>	<b>Firma</b>
25/04/2022	

<b>Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Pérez</b> <b>Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación</b>	<b>Firma</b>
25/04/2022	