

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a knight on horseback, holding a shield and a sword. Above the knight is a crown. The seal is surrounded by Latin text: "UNIVERSITAS CONSPICUA CAROLINA AC" at the top and "CETEBRAS GUATEMALENSIS INTER COACTEMALENSIS INTER" at the bottom.

VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL
AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LEMPA (EL SALVADOR,
HONDURAS, GUATEMALA) Y DEL RÍO JUPILINGO EN EL
PERÍODO DEL AÑO 2010 AL 2018 EN LA REGIÓN TRIFINIO

DORA DULCE MARÍA MOREIRA GÓMEZ

CHIQUMULA, GUATEMALA, JULIO 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL
AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LEMPA (EL SALVADOR,
HONDURAS, GUATEMALA) Y DEL RÍO JUPILINGO EN EL
PERÍODO DEL AÑO 2010 AL 2018 EN LA REGIÓN TRIFINIO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

DORA DULCE MARÍA MOREIRA GÓMEZ

Al conferírsele el título de

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, JULIO 2021

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



**RECTOR EN FUNCIONES
M.A. PABLO ERNESTO OLIVA SOTO**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Estudiantes:	A.T. Estefany Rosibel Cerna Aceituno
Representante de Estudiantes:	PEM. Elder Alberto Masters Cerritos
Secretaria:	M.Sc. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M.A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	M.A. Marlon Alcides Valdez Velásquez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. David Horacio Estrada Jerez
Secretario:	Inga. Agra. Magda Irene Medrano Guerra
Vocal:	M.Sc. José Ramiro García Alvarez

TERNA EVALUADORA

M.Sc. Víctor Augusto Sandoval Roque
Ing. Civ. Edwin Adalberto Lemus Pazos
M.Sc. David Horacio Estrada Jerez

Guatemala, junio 2021

Señores:
Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **“VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LEMPA (EL SALVADOR, HONDURAS, GUATEMALA) Y DEL RÍO JUPILINGO EN EL PERÍODO DEL AÑO 2010 AL 2018 EN LA REGIÓN TRIFINIO”**, como requisito previo a optar el título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente:

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Dora Dulce María Moreira Gómez

Carné: 201241779

Chiquimula, 24 de mayo de 2021.

Ing. Edwin Filiberto Coy Cordón
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

Respetable Ingeniero Coy:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar a la estudiante **DORA DULCE MARÍA MOREIRA GÓMEZ**, en el trabajo de investigación denominado **“VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LEMPA (EL SALVADOR, HONDURAS, GUATEMALA) Y DEL RÍO JUPILINGO EN EL PERÍODO DEL AÑO 2010 AL 2018 EN LA REGIÓN TRIFINIO”**, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que se ha procedido a asesorar y orientar a la sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomendamos la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



MSc. José Ramiro García Álvarez
Asesor Principal

D-TG-AT-081/2021

EL INFRASCrito DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **DORA DULCE MARÍA MOREIRA GÓMEZ** titulado “**VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LEMPA (EL SALVADOR, HONDURAS, GUATEMALA) Y DEL RÍO JUPILINGO EN EL PERÍODO DEL AÑO 2010 AL 2018 EN LA REGIÓN TRIFINIO**”, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a veintitrés de junio del dos mil veintiuno.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
DIRECTOR
CUNORI – USAC



ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

Te doy gracias porque sé que existes, porque en el mundo y en la vida estás presente Tú, te doy gracias porque cuanto soy, cuanto puedo y cuanto recibo es regalo tuyo. Por permitirme caminar siempre de tu mano, por amarme y darme la sabiduría necesaria para poder culminar esta etapa en mi vida.

A MIS PADRES:

Walter Aparicio Moreira Vidal (+) y Dora Belarmina Gómez Jacinto, por su amor incondicional y no dejarme sola en ningún momento. Sin ustedes no podría cumplir este sueño. Gracias porque sé que dejaron mucho por dármelo todo. Los amo con todo mi corazón.

A MIS HERMANOS:

Edgardo, Carlos, Jorge Mario, Omar y Benjamín, por su amor y apoyo incondicional y nunca dejarme sola. Este triunfo también es de ustedes. Los amo.

A MIS SOBRINOS:

Mis niños, Roxy, Sofía, Walter, Abelardo, Jimena, Hazel, Eduardito, Aymoré, Emma y Danna por ser luz, alegría y amor en mi vida. Los amo.

A MIS CUÑADAS:

Por su apoyo y cariño a lo largo del tiempo que llevamos compartiendo juntas. Las quiero mucho.

A MIS FAMILIARES:

Por el apoyo incondicional y el ejemplo que me transmiten. Mi cariño, respeto y admiración.

A MIS AMIGOS:

Mis amigos y hermanos, gracias por su apoyo incondicional, por estar siempre para mí, por alentarme a alcanzar mis sueños, por tantas risas y momentos que hemos compartido juntos. Los quiero mucho, en especial a José López y familia, Melissa Estrada y Elsa Ponce; así también a muchos que, aunque nuestros caminos tomen rumbos distintos, los llevo siempre en mi corazón.

A MIS COMPAÑEROS:

Por ser parte fundamental en los años de formación, por tantos buenos momentos que guardo en mi corazón, por tantas risas. Mis compañeros y amigos Andrea, Gaby, Linda, Elsa, Sindy Chegüén, Sindy Rivera, Cory, Luisa, Auner, Deisy, Claudia Castañeda, Yanileysi, Karen, Elissa, Kathy, Rosalejandra y Claudia Pinto. Mi cariño siempre.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

**AL CENTRO UNIVERSITARIO
DE ORIENTE – CUNORI –:**

Por ser mi casa de estudios y darme la formación necesaria para ser una profesional.

**A LA CARRERA DE INGENIERÍA
EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL:**

Por la motivación recibida para seguir adelante y formarme como profesional en el campo de la gestión ambiental.

A MIS CATEDRÁTICOS:

Gracias por ayudarme a adquirir conocimientos que me servirán en lo profesional y personal.

A MI ASESOR:

M.Sc. José Ramiro García Álvarez, por asesorarme desde el inicio hasta el final de este trabajo de investigación.

A MI TERNA EVALUADORA:

Por sus aportes y sugerencias constructivas que me orientaron para enriquecer la información presentada.

A INGA. LORENA ROMERO:

Por el cariño y apoyo brindado durante la realización de este trabajo de investigación.

**A ING. LUIS VÁSQUEZ E INGA.
CECIBEL CERÓN:**

Por compartir de su conocimiento para la elaboración de esta investigación.

A ING. JOSÉ Y DRA. MELISSA:

Por el apoyo brindado al final de la elaboración del presente trabajo.

A LICDA. ANGÉLICA GÓMEZ:

Por ser un ejemplo para mí, por el apoyo brindado y por las palabras de ánimo que nunca me faltaron.

A MI MAMÁ:

Porque sin usted nada de esto hubiese sido posible. ¡Gracias mami!, la amo con todo mi corazón. ¡Lo logramos mami!

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DE PROBLEMA	5
4. JUSTIFICACIÓN	6
5. OBJETIVOS	8
5.1 Objetivo general	8
5.2 Objetivos específicos	8
6. MARCO TEÓRICO	9
6.1 Río Lempa	9
6.2 Calidad del agua	9
6.3 Características del agua	9
6.3.1 Características físicas	9
6.3.2 Características químicas	10
6.3.3 Características microbiológicas	13
6.4 Índice de Calidad del Agua	14
6.5 Utilidad de los Índices de Calidad del Agua	17
6.6 Variabilidad de la calidad del agua	18
6.6.1 Variabilidad temporal	18
6.6.2 Variabilidad espacial	18
6.7 Análisis estadísticos	18
6.7.1 Análisis univariado	18
6.7.2 Análisis multivariado	19
6.7.3 Análisis de componentes principales	19
6.7.4 Prueba pareada T	19
6.7.5 Diagrama de caja	19
7. MARCO REFERENCIAL	20
7.1 Ubicación del área de estudio	20
7.2 Cuenca alta del río Lempa	20
7.3 Red hidrológica superficial de la cuenca del río Lempa	21
7.4 Zonas de vida	21

7.5 Flora	22
7.6 Fauna	22
7.7 Suelo	23
7.8 Hidrología	25
7.9 Clima	25
7.10 Investigaciones relacionadas con el tema	27
8. MARCO METODOLÓGICO	30
8.1 Determinación del área de estudio	30
8.2 Recopilación de información de los resultados de los monitoreos	31
8.3 Determinación de la variabilidad temporal de los parámetros e índice de calidad del agua	32
8.3.1 Análisis univariado	32
8.3.2 Análisis multivariado (análisis de componentes principales)	32
8.3.3 Aplicación de la prueba pareada de T	32
8.3.4 Diagrama de cajas	33
8.4 Determinar el índice de calidad del agua	33
8.5 Estimación del índice de calidad del agua en la red hidrológica	34
8.5.1 Elaboración de hoja de cálculo para análisis	38
8.6 Determinación de la variabilidad del índice de calidad del agua	41
8.7 Tabulación y análisis de la información	41
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
9.1 Monitoreo de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo	42
9.2 Variabilidad temporal de las concentraciones física, química y microbiológica del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta de río Lempa y río Jupilingo	43
9.2.1 Variabilidad del potencial de hidrogeno pH del agua	43
9.2.2 Variabilidad de la temperatura del agua	47
9.2.3 Variabilidad de la conductividad eléctrica del agua	51
9.2.4 Variabilidad del oxígeno disuelto del agua	55
9.2.5 Variabilidad de la turbidez del agua	60

9.2.6 Variabilidad de los sólidos disueltos totales del agua	64
9.2.7 Variabilidad de la dureza del agua	68
9.2.8 Variabilidad en la concentración de bacterias coliformes fecales del agua	73
9.2.9 Variabilidad de los sulfatos del agua	78
9.2.10 Variabilidad de los nitratos del agua	82
9.2.11 Variabilidad de los nitritos del agua	86
9.2.12 Variabilidad de la DBO ₅ del agua	91
9.2.13 Variabilidad de niveles de fosfatos del agua	95
9.3 Variabilidad de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo	99
9.3.1 Índice canadiense de calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo	100
9.3.2 Calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo	102
9.3.3 Variabilidad temporal de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo	104
9.3.4 Variabilidad espacial de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa	108
10. CONCLUSIONES	110
11. RECOMENDACIONES	111
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
13. APÉNDICES	119

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1.	Clasificación del CWQI (Canadian Water Quality Index)	16
2.	Principales agrupaciones de suelo en el área de la cuenca alta del río Lempa (CARL)	24
3.	Zonas estratégicas homogéneas según Comisión Trinacional del Plan Trifinio	25
4.	Clasificación climática Thornthwaite para la región Trifinio	27
5.	Cuadro interpretativo para la calificación del CCME_WQI	36
6.	Clasificación cuantitativa y cualitativa del índice de calidad del agua	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
1.	Puntos de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa	31
2.	Valores promedio del potencial de hidrogeno -pH- del agua	44
3.	Análisis estadístico univariado para el pH del agua	44
4.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para el pH del agua	45
5.	Valores promedio la temperatura del agua	48
6.	Análisis estadístico univariado para la temperatura del agua	49
7.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para la temperatura del agua	49
8.	Valores promedio la conductividad eléctrica del agua	52
9.	Análisis estadístico univariado para la conductividad eléctrica del agua	53
10.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para la conductividad eléctrica del agua	53
11.	Valores promedio del oxígeno disuelto del agua	56
12.	Análisis estadístico univariado para el oxígeno disuelto del agua	57
13.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para el oxígeno disuelto del agua	58
14.	Valores promedio de la turbidez del agua	61
15.	Análisis estadístico univariado para la turbidez del agua	62
16.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para la turbidez del agua	62
17.	Valores promedio de los sólidos disueltos del agua	65
18.	Análisis estadístico univariado para los sólidos disueltos del agua	66
19.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para los sólidos disueltos del agua	66
20.	Valores promedio de la dureza del agua	70
21.	Análisis estadístico univariado para la dureza del agua	70
22.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para la dureza del agua	71
23.	Valores promedio de bacterias coliformes fecales del agua	74

24.	Análisis estadístico univariado para las coliformes fecales del agua	75
25.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para las coliformes fecales del agua	76
26.	Valores promedio de los sulfatos del agua	79
27.	Análisis estadístico univariado para los sulfatos del agua	79
28.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para los sulfatos del agua	80
29.	Valores promedio de los nitratos del agua	83
30.	Análisis estadístico univariado para los nitratos del agua	84
31.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para los nitratos del agua	84
32.	Valores promedio de los nitritos del agua	87
33.	Análisis estadístico univariado para los nitritos del agua	88
34.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para los nitritos del agua	89
35.	Valores promedio de la DBO ₅ del agua	92
36.	Análisis estadístico univariado para la DBO ₅ del agua	92
37.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para la DBO ₅ del agua	93
38.	Valores promedio de fosfatos del agua	96
39.	Análisis estadístico univariado para los fosfatos del agua	96
40.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para los fosfatos del agua	97
41.	Índice de calidad del agua de los puntos de monitoreo	101
42.	Calidad del agua en los puntos de monitoreo	102
43.	Análisis estadístico univariado para el índice de calidad del agua	105
44.	Análisis estadístico de la prueba pareada T para el ICA	106

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Contenido	Página
1.	Diagrama de cajas para el pH del agua	46
2.	Análisis de componentes principales para el pH del agua	47
3.	Diagrama de cajas para la temperatura del agua	50
4.	Análisis de componentes principales para la temperatura del agua	51
5.	Diagrama de cajas para la conductividad eléctrica del agua	54
6.	Análisis de componentes principales para la conductividad eléctrica del agua	55
7.	Diagrama de cajas para el oxígeno disuelto del agua	59
8.	Análisis de componentes principales para el oxígeno disuelto del agua	60
9.	Diagrama de cajas para la turbidez del agua	63
10.	Análisis de componentes principales para la turbidez del agua	64
11.	Diagrama de cajas para los sólidos disueltos del agua	67
12.	Análisis de componentes principales para los sólidos disueltos del agua	68
13.	Diagrama de cajas para la dureza del agua	72
14.	Análisis de componentes principales para la dureza del agua	73
15.	Diagrama de cajas para las coliformes fecales del agua	77
16.	Análisis de componentes principales para las coliformes fecales del agua	78
17.	Diagrama de cajas para los sulfatos del agua	81
18.	Análisis de componentes principales para los sulfatos del agua	82
19.	Diagrama de cajas para los nitratos del agua	85
20.	Análisis de componentes principales para los nitratos del agua	86

21.	Diagrama de cajas para los nitritos del agua	90
22.	Análisis de componentes principales para los nitritos del agua	91
23.	Diagrama de cajas para la DBO ₅ del agua	94
24.	Análisis de componentes principales para la DBO ₅ del agua	95
25.	Diagrama de cajas para los fosfatos del agua	98
26.	Análisis de componentes principales para los fosfatos del agua	99
27.	Diagrama de cajas para el índice de calidad del agua	107
28.	Análisis de componentes principales para el índice de calidad del agua	108
29.	Diagrama de cajas para el índice de calidad del agua a través del espacio	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1.	Hoja de cálculo para el ingreso de datos que corresponden a los resultados de los 20 puntos de monitoreo	39
2.	Hoja de cálculo para los excedentes de cada parámetro, factores y resultados del índice de calidad del agua	40
3.	Mapa de puntos de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo	42

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CARL	Cuenca Alta del Río Lempa
CWQI	Canadian Water Quality Index
CTPT	Comisión Trinacional del Plan Trifinio
CUNORI	Centro Universitario de Oriente
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DFG	Diputación Foral de Guipuzkoa
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
ICA	Índice de Calidad del Agua
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
LMA	Límite Máximo Aceptable
LMP	Límite Máximo Permisible
MTFRL	Mancomunidad Trinacional Fronteriza Río Lempa
SINTENT	Sistema de Información Territorial Trinacional
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territorial

RESUMEN

En la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo en la región Trifinio, han realizado monitoreos de la calidad del agua desde el 2010 al 2018, para determinar la características físicas, químicas y microbiológicas del agua en la corriente superficial y conocer su calidad, para se establecieron 20 puntos de monitoreo en principales afluentes del río Lempa y el cauce principal del río Jupilingo, en los tres países (Guatemala, El Salvador y Honduras).

El objetivo de la investigación es analizar la variabilidad temporal y espacial en la calidad del agua de los principales afluentes de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, en la región Trifinio durante el periodo del año 2010 al 2018. El estudio se realizó en la región Trifinio, en 15 afluentes de la cuenca alta de río Lempa de los países de Guatemala, El Salvador y Honduras y en el cauce principal del río Jupilingo en Guatemala.

La metodología para desarrollar la investigación se centró en recopilar los datos de los monitoreos de la calidad del agua realizados en el periodo de 2010 a 2018; posteriormente se analizó la variabilidad de las características físicas, químicas y microbiológicas de agua de los parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, coliformes fecales, sulfatos, nitratos, nitritos, DBO5, y fosfatos; para luego determinar el índice de calidad del agua con el método Canadian Water Quality Index conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés), con la base al índice de calidad del agua se determinó el clasificación de la calidad del agua utilizando la clasificación cualitativa del método CCME_WQI, para posteriormente determinar la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua en los principales afluentes del río Lempa y Jupilingo, utilizando la prueba pareada de T, los diagramas de cajas y el análisis de componente principales.

Los resultados muestran que las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, que presentan mayor variabilidad son: la Demanda Biológica del Oxígeno -DBO5- y los fosfatos, para el período de 2010 al 2018, y con menor variabilidad fueron el pH, conductividad y nitritos. El índice de calidad del agua para los 20 puntos de monitoreo establecidos en los 15 afluentes de la cuenca alta del río Lempa presenta valores de

19.72 a 57.64, donde el afluente con el menor índice de calidad de agua es el río San José con un índice de 19.72 y el afluente con el mayor índice de calidad del agua es el río Quilio 3 con un índice de 57.64 y el cauce principal del río Jupilingo con un índice de 27.85 a 37.28. Con el índice de calidad del agua, se clasificó la calidad para cada uno de los años que se dispone de datos en el periodo de estudio, determinado que en los años 2010, 2011, 2016, 2017 y 2018, la totalidad de los 20 puntos de monitoreo presenta calidad del agua clasificada como “Mala” porque el índice de calidad del agua se encuentra entre 0 – 44; para el año 3 puntos de monitoreo presentaron calidad del agua clasificada como “Regular” donde el índice de calidad del agua se encuentra en 45 – 64, estos puntos son: río Quilio 3, río Tulas y río Nunuapa, ubicados en Honduras y El Salvador; para el 2013, 3 puntos de monitoreo presentaron calidad del agua clasificada como “Regular”, estos puntos son: río Quilio 3, río Tulas y río Lempa Masahuat, ubicados en Honduras y El Salvador. Al analizar la variabilidad temporal del índice de calidad del agua se determinó los ríos con mayor variabilidad temporal son: río Quilio, río Tulas y río San José ubicados en Honduras y El Salvador. El análisis de la variabilidad espacial del índice de calidad del agua determinó que los años con mayor variabilidad espacial son: 2012, 2013 y 2016 en los 20 puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y cauce principal del río Jupilingo.

Como conclusión se puede indicar que, de acuerdo al análisis de los datos con el índice canadiense de calidad del agua, se determinó que el 85% de los puntos de monitoreo tiene calidad del agua clasificada como “Mala” con un índice de 0 a 44. Así mismo, se puede concluir que la calidad de agua no varía significativamente durante el periodo de estudio en los diferentes puntos de monitoreo en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es fundamental para la vida y en las economías modernas éste recurso es esencial para la agricultura, la industria, la generación de electricidad y el transporte. Cerca de la mitad de la población del mundo que, en su totalidad, vive en los países en desarrollo, padece enfermedades a causa de la escasez o la contaminación del agua.

El río Lempa con vertiente al Océano Pacífico es el río más largo de Centroamérica, su cuenca abarca tres países: El Salvador, Honduras y Guatemala. Nace entre las montañas volcánicas de las mesetas en el municipio de Olopa y Esquipulas en Guatemala, con una elevación aproximada de mil 500 metros sobre el nivel del mar (msnm), luego se unen los ríos Chacalapa, Tepoctún, La Planta y Olopita; recorre 30,4 km en territorio guatemalteco, ingresando a Honduras donde recorre el departamento de Ocotepeque por 31,4 km; cruza la frontera con El Salvador al noreste del departamento de Chalatenango y sigue su recorrido por 360,2 km, desembocando en la planicie costera del océano Pacífico, entre los departamentos de San Vicente y Usulután.

La cuenca del río Lempa tiene una extensión territorial de 17,926 km² de los cuales el 55.1% corresponden a El Salvador, el 30.6% a Honduras y 14.3% a Guatemala. De ese territorio, 4,343 km² corresponden a la Cuenca Alta del Río Lempa, ubicada en la región Trifinio, contemplada en un Tratado Trinacional firmado por las tres Repúblicas (El Salvador, Honduras y Guatemala). La cuenca alta del río Lempa es importante para el desarrollo humano, social y económico, ya que es una región productora de agua, vital para el desarrollo; por ello la contaminación del agua superficial es uno de los principales problemas ambientales y sociales, donde según estudios, esta es de origen antrópico por la descarga de agua servidas de los centros poblados, aguas mieles producto del beneficiado de café, uso de agroquímicos altamente tóxicos en la producción agrícola y, por los desechos sólidos.

El estudio tiene como objetivo determinar la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa y el cauce principal del río Jupilingo, en el período del año 2010 al 2018 en la región Trifinio.

Para realizar el estudio se utilizó la metodología canadiense para el análisis del índice de calidad del agua en cada uno de los monitoreos durante el periodo de 2010 al 2018. Se determinó la variabilidad temporal de los parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, coliformes fecales, sulfatos, nitratos, nitritos, DBO₅, fosfatos y la variable temporal y espacial del índice de calidad del agua obtenida del CWQI (Canadian Water Quality Index), a través de análisis estadísticos como: el análisis univariado y análisis de componentes principales, utilizando herramientas de geoestadística para el análisis, modelación y predicción de la variabilidad temporal y espacial.

En los resultados de la investigación se muestran los afluentes y los puntos de monitoreo establecidos, así como su ubicación; la variabilidad temporal de las características físicas y microbiológicas del agua, el índice canadiense de calidad el agua y la clasificación de la calidad del agua, para cada uno de los afluentes y los puntos de monitoreo; así como la variabilidad temporal y espacial del índice canadiense de calidad del agua y, por último, las principales conclusiones y recomendaciones del estudio.

2. ANTECEDENTES

El Plan Trifinio nace por la preocupación en la conservación de los recursos naturales: la defensa del bosque nuboso que corona el macizo de Montecristo, en el punto de confluencia de las fronteras de El Salvador, Guatemala y Honduras.

El objetivo la región del Trifinio, es la conservación del bosque nuboso, donde se requiere que las poblaciones circundantes tengan opciones productivas y recursos para atender las necesidades de sus familias sin tener que recurrir, como alternativa única, a la extracción forestal, legal o clandestina, para sobrevivir. Esto implica el desarrollo agrícola, artesanal, industrial, comercial y de servicios, con una adecuada base de apoyo en infraestructural, para generar ingresos familiares; sea como productores independientes, asociados o empleados; y, simultáneamente, acciones específicas de protección forestal y reforestación, tendientes a la reconstrucción, parcial por lo menos, del bosque primigenio que cubría totalmente la región, según los testimonios históricos.

Dada la importancia que el Plan Trifinio ha tenido como esfuerzo de desarrollo regional transfronterizo y como modalidad de integración de diversas iniciativas planteadas por los tres países desde los años setenta hasta la suscripción, el 12 de noviembre de 1986, del “Acuerdo de Cooperación Técnica de los Gobiernos de las Repúblicas de El Salvador, Honduras y Guatemala con la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura para la formulación de un Plan de Desarrollo Integral en la Región Fronteriza de los tres países”. El primer plan se concluyó en 1988, el cual se denominaría posteriormente “Plan Trifinio”, alcanzando el máximo reconocimiento político mediante la suscripción de un tratado entre los tres países.

La formulación del plan se orienta en dos sentidos estratégicos complementarios: de una parte, la conservación de los recursos naturales de la zona, fundamentado en una concepción integral del desarrollo y de otra, en la visión de la integración transfronteriza como eslabón de la integración centroamericana. Años después, ambos sentidos

estratégicos estuvieron presentes en la fundación de la Mancomunidad Trinacional Fronteriza Río Lempa, MTFRL.

El monitoreo de la calidad del agua del río Lempa surge principalmente por la contaminación del agua, uno de los temas principales desde el inicio han sido las aguas mieles las cuales de forma general son vertidas en los ríos sin tratamiento adecuado.

A partir del 2010, el Centro Universitario de Oriente CUNORI y la MTFRL toman la iniciativa de manejar una plataforma de información digital denominada Sistema de Información Territorial Trinacional SINTENT; que permitió establecer alianzas para mostrar la calidad del agua en los principales afluentes de la cuenca alta del río Lempa.

Una de las políticas públicas impulsada en el territorio para la MTFRL es la política pública local transfronteriza "aguas compartidas" que tiene como propósito la gestión integral del recurso hídrico, realizada de forma conjunta con las autoridades nacionales y municipales en los tres países. La Mancomunidad Trinacional Fronteriza Río Lempa y el Centro Universitario de Oriente firman un convenio de cooperación técnica entre ambas instituciones para realizar diversas actividades, con ellas el monitoreo de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa y el río Jupilingo; el Centro Universitario de Oriente CUNORI, dispone de los laboratorios y la capacidad para apoyar este esfuerzo a partir de la alianza establecida.

En el período del 2010 al 2012 sistematizaron los resultados en un documento publicado bajo el título de "Análisis de la calidad del agua de los afluentes de la cuenca alta del río Lempa y residuos de plaguicidas en la producción hortícola"; la información generada en los años posteriores es necesario sistematizarla como un insumo para la gestión de proyectos y para la toma de decisiones para cuidar y disminuir la contaminación en la región por parte de los centros poblados y la industria.

El monitoreo de la calidad del agua se realiza desde el 2010 en 34 afluentes los cuales pertenecen al río Lempa en El Salvador, Honduras y Guatemala; para realizar el análisis de variabilidad temporal y espacial del presente estudio se tomarán en cuenta 20 puntos de monitoreo ubicados en el río Lempa y en la región Trifinio.

3. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DE PROBLEMA

El agua, es el origen y base de la vida, se considera el recurso natural de mayor importancia; consolidado como medio indispensable para cualquier alternativa del futuro. No existe actividad económica, industrial, social o política que pueda prescindir de este vital recurso. El agua es esencial para la vida y su multiplicidad de usos, generan conflictos entre diversos sectores e intereses de la sociedad. Sin embargo, el tratamiento inadecuado de los desechos y la falta de infraestructuras para el tratamiento de aguas residuales es una amenaza a la salud pública, al desarrollo económico y social en los tres países.

Las aguas superficiales son las que se encuentran sobre la superficie del suelo, estas se producen por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas las cuales se constituyen como un recurso vital para el desarrollo humano, social y económico.

La contaminación del agua del río Lempa ha sido provocada por diversas causas; el agua se encuentra de diversas formas en la naturaleza e influenciada según el ambiente que le rodea, la cual de forma natural o por intervención humana ha sufrido alteraciones en sus propiedades naturales, como es el caso de la cuenca alta del río Lempa en donde ha aumentado la contaminación del agua superficial, dicha contaminación es de origen antropogénico por verter aguas residuales procedentes de ciudades, aguas industriales, uso de agroquímicos y plaguicidas en la producción agrícola y por desechos sólidos.

La cuenca alta del río Lempa y el río Jupilingo, como parte de la región Trifinio, son de interés para los gobiernos locales, por lo cual es urgente promover la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca. Para ello, se realizaron monitoreos de la calidad del agua en el período 2010 al 2018 para conocer las características y la variabilidad de la calidad en el tiempo y espacio, que permita la gestión e implementación de acciones para la conservación y mejora de la calidad agua en la región.

4. JUSTIFICACIÓN

La cuenca del río Lempa tiene una extensión territorial de 17,926 km², de los cuales un 55.1% corresponden a El Salvador, el 30.6% a Honduras y 14.3% a Guatemala. De ese territorio, 4,343 km² corresponden a la cuenca alta del río Lempa, la cual está ubicada en la región Trifinio, amparada con el Tratado Trinacional firmado por los congresos de los tres países.

El curso del río tiene una extensión de 422 kilómetros, nace en las montañas volcánicas de la meseta central del municipio de Olopa, Guatemala, a una elevación de 1200-1500 msnm, recorriendo 30,4 km de territorio guatemalteco; ingresando a Honduras, donde recorre parte del departamento de Ocotepeque por 31,4 km, y luego ingresa a El Salvador en el departamento de Chalatenango y continúa su recorrido por 360,2 km, desembocando en la planicie costera del océano Pacífico, entre los departamentos de San Vicente y Usulután de El Salvador.

La “Agenda Hídrica en la región Trifinio” del 2008 indica que la población total en la cuenca alta del río Lempa se estimó en 346.300 habitantes, de los cuales 12% se ubica en territorio de Honduras, 39% en El Salvador y 49% en Guatemala.

La cuenca alta del río Lempa es de importancia para el desarrollo humano, social y económico, por ser una zona productora de agua para El Salvador, dado que abastece con 2,160 millones de metros cúbicos de agua a la población, la cual es utilizada para consumo doméstico, producción agrícola, producción de energía (a 4 hidroeléctricas), uso industrial, entre otros. Es importante resaltar que el 37% de la población del Área Metropolitana de San Salvador (Aproximadamente 800 mil personas), se abastece del agua del río Lempa.

El estudio tiene como objetivo determinar la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa (El Salvador, Honduras y Guatemala) y el río Jupilingo en el período del 2010 al 2018 en la región Trifinio.

Es importante conocer y determinar la calidad del agua en el período del 2010 al 2018, así como la variabilidad temporal y espacial en cada uno de los puntos de monitoreo establecidos en los cuerpos superficiales de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo. Los resultados obtenidos permitirán conocer y evaluar las tendencias temporales y espaciales de la calidad del agua y del ambiente, evitando que la degradación ambiental incremente.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Analizar la variabilidad temporal y espacial en la calidad del agua superficial de los principales afluentes de la cuenca alta del río Lempa en la región Trifinio (El Salvador, Honduras, Guatemala) y río Jupilingo, durante el periodo del 2010 al 2018.

5.2 Objetivos Específicos

- Determinar la variabilidad temporal de los parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, coliformes fecales, sulfatos, nitratos, nitritos, DBO₅ y fosfatos en la red hidrológica superficial en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo en el periodo de 2010 al 2018.
- Establecer el índice de la calidad del agua por medio del método canadiense con los datos de los monitoreos de la calidad del agua en el período del 2010 al 2018 de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo.
- Determinar la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua a través del índice de la calidad del agua en la red hidrológica superficial en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo en el periodo del 2010 al 2018.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Río Lempa

La cuenca del río Lempa abarca tres países: El Salvador, Honduras y Guatemala. El río Lempa se origina en la zona sur-este de Guatemala, en las mesetas montañosas del municipio de Olopa en Chiquimula, donde confluyen los ríos Chacalapa, el Tepoctún, La Planta y Olopita; desplazándose por el Sur-Oeste de Honduras, a una elevación aproximada de 1,500 metros sobre el nivel del mar (msnm), pero su recorrido principal, incluyendo su desembocadura en el Océano Pacífico en El Salvador. El río Lempa forma parte de la Región Trifinio, así como el río Jupilingo ubicado en el municipio de Camotán en el departamento de Chiquimula (Comisión Trinacional del Plan Trifinio, 2013).

6.2 Calidad del agua

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose, que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, dependiendo del uso del agua, así se puede determinar la calidad para dichos usos (Comisión Trinacional del Plan Trifinio, 2010).

6.3 Características del agua

El agua es un recurso indispensable para la vida de las personas, animales y plantas. Las características del agua que permitirá, designarla como, de buena calidad, dependerá del uso al cual se destine (Arreaga, 1996).

6.3.1 Características físicas

Son aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos organolépticos; para lo cual, se hace uso de parámetros que permiten tener un juicio aceptado de la calidad del agua, como: turbidez, temperatura y color (Arreaga, 1996).

- a. **Turbidez:** Es una medida de la claridad del agua, el material suspendido disminuye el paso de la luz a través del agua. Materiales suspendidos incluyen partículas de suelo (arcilla, limo y arena), algas, plancton, microbios y otras sustancias. Una alta turbidez aumenta la temperatura del agua debido a que las partículas en suspensión absorben más calor. Esto, a su vez, reduce la concentración de oxígeno disuelto (OD), ya que el agua caliente tiene menos oxígeno disuelto a temperatura fría. Una alta turbidez también reduce la cantidad de luz que penetra en el agua, lo que reduce la fotosíntesis y la producción de la OD (Arreaga, 1996).

- b. **Color, olor y sabor:** Son lo que se denominan propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas potabilizables, por el rechazo que puede darse en el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no se asocie con “agua pura” (Arreaga, 1996).

- c. **Temperatura:** Es un dato muy útil ya que la temperatura influye sobre las actividades biológicas, la solubilidad de gases (especialmente oxígeno) y la viscosidad (García, 2010).

6.3.2 Características químicas

Son las que permiten determinar las cantidades de material mineral y orgánico presente en el agua y que afectan su calidad, como: oxígeno disuelto, pH, nitratos, fosfatos, nitritos, conductividad del agua (Arreaga, 1996).

- a. **Oxígeno disuelto:** El oxígeno es una sustancia indispensable para la supervivencia de los animales y de otros muchos seres vivos tanto acuáticos como terrestres. Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración. De esta forma cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que

descomponen y consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno. La temperatura, el material orgánico disuelto, los oxidantes inorgánicos, entre otros, afectan sus niveles (Arreaga, 1996).

- b. Potencial de hidrógeno pH:** Es una medida de la acidez o basicidad de una solución y representa la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinada sustancia, en este caso, el agua. El pH se expresa mediante un valor entre 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y básicas las que tienen pH mayores a 7; el pH = 7, indica la neutralidad de la disolución. Aunque no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, pues es un factor regulador de diferentes procesos biológicos y químicos (Girón, 2009).

- c. Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅:** Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aerobios puedan oxidar metabólicamente la materia orgánica presente en la muestra de agua. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅), y a una temperatura de 20°C, y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mgO₂/l). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (Girón, 2009).

- d. Demanda Química de Oxígeno DQO:** El valor DQO (mg/l) da una idea del contenido orgánico total de un residuo, sea o no biodegradable. Para dicho análisis se establecen valores de 250 mg/l para una concentración débil; 500 mg/l para una concentración media y 1000 mg/l para una concentración fuerte y a nivel nacional según la normativa 80 mg/l (García, 2010).

- e. Conductividad del agua:** La conductividad es una medida de la capacidad del agua para pasar una corriente eléctrica. La conductividad en el agua se ve afectada por la

presencia de sólidos disueltos inorgánicos tales como cloruro, nitrato, sulfato, y aniones fosfato (iones que llevan una carga negativa) o de sodio, magnesio, calcio, hierro, y cationes de aluminio (iones que llevan una carga positiva). La conductividad también se ve afectada por la temperatura, cuanto más caliente el agua, mayor es la conductividad. La conductividad en los arroyos y ríos se ve afectada principalmente por la geología de la zona por la que discurre el agua (Environmental Protection Agency, 1997).

- f. Especies de nitrógeno: nitratos y nitritos:** Los nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) son aniones que se pueden unir a compuestos orgánicos e inorgánicos, formando sales u otros compuestos. El nitrato está presente en el agua de forma natural pudiéndose incrementar su concentración por actividades humanas como la fertilización orgánica e inorgánica, pastoreo, pesticidas, fosas sépticas, aguas residuales y vertidos industriales o urbanos. La principal afección de la contaminación por nitratos es la enfermedad denominada metahemoglobinemia (síndrome del bebé azul), la cual afecta principalmente a menores de un año y, aunque la teoría aún está en revisión, existen algunos indicios que el consumo prolongado de agua con altas concentraciones de NO_3^- puede provocar cáncer (Girón, 2009).
- g. Fosfatos PO_4 :** Los Fosfatos son la principal forma en la que el fósforo se presenta en las aguas naturales. Estos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas (Arreaga, 1996).

Los fosfatos también estimulan el crecimiento de las algas lo que puede ocasionar un crecimiento rápido de las algas. Los crecimientos rápidos de algas se pueden reconocer con facilidad como capas de limo verde y pueden eventualmente cubrir la superficie del agua. Al crecer las plantas y las algas ahogan a otros organismos (Arreaga, 1996).

- h. Sulfatos SO_4 :** Son sales moderadamente solubles a muy solubles, excepto las de Sr (60 ppm) y de Ba (2 ppm). Los sulfatos se encuentran de manera natural en numerosos minerales (barita epsomita, tiza, entre otros.), y su origen se debe fundamentalmente a los procesos de disolución de las tizas, existentes en el terreno; sin embargo, también pueden llegar a las aguas por los excedentes de fertilizantes y pesticidas, así como, por el paso del agua de la lluvia, por yesos en el suelo. Las altas concentraciones de sulfato en el agua potable pueden producir diarrea transitoria. La diarrea aguda, puede producir deshidratación, particularmente en bebés y niños pequeños, que puede tener una condición o estado de diarrea (Girón, 2009).
- i. Dureza:** Es otra forma de indicar el contenido iónico de un agua, refiriéndolo a la concentración total de iones calcio, magnesio, estroncio y bario, aunque se debe fundamentalmente a los dos primeros. La presencia de este tipo de iones en el agua suele ser de origen natural, y raramente antrópica (Arreaga, 1996).

6.3.3 Características microbiológicas

En términos generales, los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales (incluidos los de las aves). Los excrementos pueden ser fuente de patógenos como bacterias, virus y protozoos (Girón, 2009).

El principal parámetro que determina la calidad microbiológica del agua es la presencia de coliformes, un grupo de especies bacterianas que se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, aunque muchas están distribuidas en la naturaleza. Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua, destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal (Girón, 2009).

Dentro de los Coliformes totales (CT), se encuentran los Coliformes fecales (CF), que provienen del tracto intestinal de animales de sangre caliente y que serían los mejores indicadores de riesgo de afecciones humanas; dentro de éstas últimas, *Escherichia coli*, la cual provoca (principalmente en niños) el síndrome diarreico agudo (Girón, 2009).

6.4 Índice de la calidad de agua

El índice de calidad del agua, indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100 (Ros, 2011).

Para conocer el grado de la calidad de las aguas, independientemente del posible uso al que vayan a ser destinadas, se parte de la toma de muestras para la obtención de una serie de parámetros e indicadores. Estos datos, analizados y procesados, posteriormente se convierten en un valor numérico, que permite obtener una serie de índices que determinan el estado general de las aguas en función de unos rangos de calidades establecidos (Ros, 2011).

El índice de calidad de agua según la metodología canadiense CWQI (Canadian Water Quality Index) se basa en la determinación de tres factores que representan alcance, frecuencia y amplitud. El alcance define el porcentaje de variables que tienen valores fuera del rango de niveles deseables para el uso que se esté evaluando respecto al total de variables consideradas. La frecuencia se halla por la relación entre la cantidad de valores fuera de los niveles deseables respecto al total de datos de las variables estudiadas. Mientras la amplitud es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la magnitud de los excesos de cada dato fuera de rango al compararlo con su umbral (Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, 2001).

Para determinar el índice de calidad del agua en la metodología canadiense intervienen los siguientes parámetros (Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, 2001):

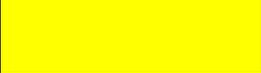
- pH (en unidades de pH)
- Temperatura (en °C)
- Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}10$)
- Oxígeno Disuelto (OD en % saturación)
- Turbidez (en NTU)
- Sólidos Disueltos Totales (en mg/l)
- Dureza (mg/L)
- Coliformes Fecales (en NMP/100ml)
- Sulfatos (mg/L)
- Nitratos (NO_3 en mg/l)
- Nitritos (mg/L)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO_5 en mg/L)
- Fosfatos (PO_4 en mg/l)

a. Estimación del índice de calidad de agua general (CWQI)

El “CWQI” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación en curso de agua en estudio.

Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base al cuadro 1:

Cuadro 1. Clasificación del CWQI (Canadian Water Quality Index)

CALIDAD DEL AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		95-100
Buena		80-94
Favorable		65-79
Regular		45-64
Mala		0-44

Fuente: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, 2001

Las aguas con (CWQI) de categoría “Excelente” están protegidas con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.

Las aguas con (CWQI) de categoría “Buena” se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.

Las aguas con (CWQI) de categoría “Favorable” natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.

Las aguas con (CWQI) de categoría “Regular” no cumplen con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.

Las aguas con (CWQI) de categoría “Mala” no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

El propósito de los índices de calidad de aguas, es simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua (SNET, 2007).

Para determinar el valor del (CWQI) en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los trece parámetros implicados en el cálculo del Índice los cuales son pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, coliformes fecales, sulfatos, nitratos, nitritos, DBO₅ y fosfatos (SNET, 2007).

6.5 Utilidad de los índices de calidad del agua

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua. Los posibles usos de los índices son (SNET, 2007):

- a. Manejo del recurso. Pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- b. Clasificación de áreas. Para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- c. Aplicación de normatividad. Permite determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- d. Análisis de la tendencia. El análisis de los índices en un período de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.
- e. Información pública. Los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- f. Investigación científica. Simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

6.6 Variabilidad de la calidad del agua

Son los cambios y variaciones de las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. La calidad del agua es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. Son las variaciones en la calidad del agua debidas a los cambios estacionales y de acuerdo al origen (Diersing, 2009).

6.6.1 Variabilidad temporal

Es como varía la calidad del agua a través del tiempo cronológico. Puede ser de orden diario, mensual, estacional, anual, o en intervalos temporales más largos (décadas, centurias, milenios) (Comas, 1998).

6.6.2 Variabilidad espacial

La variabilidad espacial se da a través de distancias largas o cortas de manera que puedan observarse diferencias (Comas, 1998).

6.7 Análisis estadísticos

El análisis estadístico es un componente del análisis de datos en donde se requiere recoger y examinar cada muestra de datos por individual en una serie de artículos donde los cuales se puede extraer otras muestras.

6.7.1 Análisis univariado

Consiste en el análisis de cada una de las variables estudiadas por separado, es decir, el análisis está basado en una sola variable por vez (Montero, 2018).

6.7.2 Análisis multivariado

Es un método estadístico en donde se investiga la influencia de dos o más variables independientes, junto o no, a una o más variables asociadas (covariables o cofactores) sobre una o más variables dependientes (Montero, 2018).

6.7.3 Análisis de componentes principales (ACP)

Es una técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Técnicamente, el ACP busca la proyección según la cual los datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados. Esta convierte un conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables sin correlación lineal llamadas componentes principales (Wikipedia, 2021).

6.7.4 Prueba pareada T

La prueba t pareada es útil para analizar el mismo conjunto de elementos que se midieron bajo dos condiciones/tiempos diferentes, las diferencias entre dos tratamientos administrados al mismo sujeto. El valor que se tomó en cuenta para determinar diferencia significativa entre un par de datos es inferior a 0.05 (Minitab, 2020).

6.7.5 Diagrama de caja

Los diagramas de caja son una forma útil de graficar datos divididos en cuatro cuartiles, cada uno con igual cantidad de valores. El diagrama de caja no grafica frecuencia ni muestra las estadísticas individuales, pero en ellos podemos ver claramente dónde se encuentra la mitad de los datos. Es un buen diagrama para analizar la asimetría en los datos (Shmoop University, 2021).

7. MARCO REFERENCIAL

7.1 Ubicación del área de estudio

La región del Trifinio es área de especial interés que comparten tres países: El Salvador, Honduras y Guatemala. Esta región del trifinio tiene una extensión aproximada de 7,541 km², de los cuales se estima que el 46.5% corresponden a Guatemala, el 15.6% a El Salvador y el 37.9% a Honduras (Plan Trifinio, 2011).

Está ubicada entre los 88°45' y 89°50' de longitud oeste y entre los 14°05' y 15°12' de latitud norte. Se destacan tres formas principales de relieve, montaña, pie de montaña y zonas planas. Las precipitaciones medias anuales son de 500 a 1800 mm, las temperaturas medias entre 15°C y 30°C y la humedad relativa entre 70% y 88% (Plan Trifinio, 2011).

7.2 Cuenca alta del río Lempa

Según el Plan Trifinio (2011), la parte alta de la cuenca del río Lempa tiene una extensión aproximada de 4,343 km² donde se ubican 45 municipios, 8 municipios de los departamentos de Santa Ana y Chalatenango en El Salvador; 15 municipios de los departamentos de Jutiapa y Chiquimula en Guatemala; y 22 municipios de los departamentos de Ocotepeque y Copán en Honduras. Según la red hídrica, la parte alta de la cuenca tiene siete sub cuencas, dentro de las que se distinguen 84 microcuencas de ríos de tercer y cuarto orden.

El río Jupilingo, aunque no pertenece a la cuenca alta del río Lempa, también forma parte de la Región Trifinio, el cual fue incluido en dicha investigación ya que los datos obtenidos del mismo sirvieron para la toma de decisiones obtenidas a través del presente documento.

7.3 Red hidrológica superficial de la cuenca del río Lempa

La cuenca del río Lempa tiene una extensión de 17,926 km², nace en las montañas volcánicas de la meseta central del municipio de Olopa en Guatemala, a una elevación

aproximada de 1200-1500 msnm, recorriendo 2,563 km² de territorio guatemalteco; ingresando a Honduras, donde recorre parte del departamento de Ocotepeque por 5,485 km², cruza la frontera con El Salvador al noreste del departamento de Chalatenango y sigue su recorrido por 9,877 km², desembocando en la planicie costera del Océano Pacífico, entre los departamentos de San Vicente y Usulután en El Salvador (Plan Trifinio, 2011).

El río Jupilingo es una corriente que se encuentra localizada en la zona del municipio de Esquipulas y Camotán, departamento de Chiquimula, Guatemala; se origina al Norte del caserío San Antonio, con la fluencia de los ríos Mapá y Panela, su latitud de 14.8 y longitud de -89.2333. Su trayecto sigue su curso serpenteando hacia el Norte y le influyen varias corrientes que hacen que este río sea más grande. Colinda al Noreste de la aldea Shalaguá y finalmente descarga en el río Grande (Plan Trifinio, 2011).

7.4 Zonas de vida

En el territorio de la cuenca alta del río Lempa (CARL), se encuentran las siguientes zonas de vida con base a la clasificación de Holdridge (Plan Trifinio, 2011):

- **Bosque Seco Tropical (bs-T):** Está presente en los alrededores del lago Güija y Metapán. La biotemperatura es de 24.2°C y la precipitación promedio anual de 1,301 mm. Esta zona se caracteriza por sus pendientes pronunciadas, especialmente las cubiertas con lava, sin posibilidad de uso agropecuario.
- **Bosque Húmedo Subtropical (bh-ST):** La temperatura media anual es de 24°C y en las partes altas es de 22°C, la biotemperatura promedio anual no llega a los 24°C. La precipitación por año varía de 1,400 mm a 2,000 mm. En la zona existe un régimen de distribución de lluvias durante seis meses del año y seis meses secos.
- **Bosque muy Húmedo Subtropical (bmh-ST):** Es la zona inmediata superior al húmedo subtropical (fresco), desde los 100 msnm hasta los 1,500 msnm, con una biotemperatura de 22°C y precipitaciones mayores a 2,000 mm promedio anual.

- **Bosque muy Húmedo Montano (bmh-M):** Es la zona que corresponde a la parte más alta del Cerro El Pital y otros puntos de la cordillera fronteriza con Honduras. Tiene entre 2500 y 2700 msnm, una topografía muy accidentada y suelos latosoles húmicos – hidromórficos; la temperatura media, varía de 6-12°C y la precipitación anual de 1000 a 2000 mm. En esta zona hay posibilidad de que sucedan heladas, la estación seca se reduce a tres a cuatro meses.

7.5 Flora

La región Trifinio se caracteriza por poseer tres biorregiones, las cuales son consideradas importantes y a la vez amenazadas, las cuales son: El Bosque Seco Tropical, Bosque de pino-encino y Bosque Montano Húmedo (Plan Trifinio, 2011).

En la región Trifinio, se reconocen al menos 51 especies de plantas que hasta el momento no se muestran en otros ecosistemas de Centroamérica, entre ellas la planta carnívora (*Pinguicula mesophytica*), que posee un hábitat altamente restringido. También se localiza la especie silvestre de la flor de pascua (*Euphorbia pulcherrima*) (Plan Trifinio, 2011).

La Región es considerada un refugio para al menos 8 especies de plantas que estaban incluidas como especies vulnerables, en peligro o peligro crítico en el listado rojo de 2010 publicado por UICN, 9 a nivel mundial. Estas incluyen pinabete (*Abies guatemalensis*), cedro (*Cedrela odorata*), escobillo (*Eugenia salamensis*), guayacán (*Guaiacum sanctum*), hampeareynea, *Nectandra rudis*, cayou (*Persea schiedeana*) y pino de la cierra (*Pinus tecunumanii*) (Plan Trifinio, 2011).

7.6 Fauna

Se estima que en la región Trifinio existen 3,000 especies de plantas, 300 especies de aves, 90 especies de mamíferos y 55 especies de anfibios y reptiles entre los cuales encontramos nuevas especies como lo son la salamandra, la rana, las lagartijas, el bebeleche, las culebras, coralillo cola larga y por lo menos 5 especies de escarabajos, entre otros (Plan Trifinio, 2011).

La región Trifinio es además una ruta transnacional de migración para 225 especies de aves aproximadamente. El macizo de Montecristo se considera como área crítica para la conservación como hábitat invernal del chipe caridorado o Golden-cheeked Warble *Dendroicachrysopharia* (Plan Trifinio, 2011).

7.7 Suelo

En la región Trifinio, existe una alta variabilidad de material parental distribuido en un relieve heterogéneo y sometido a condiciones climáticas y biológicas muy variables, ha originado una diversidad de suelos (CTPT, 2009).

El uso del suelo identificado en el área de la cuenca alta del río Lempa se agrupa de la siguiente manera (CTPT, 2009):

- Área de uso agrícola: presencia dominante de cultivos anuales como maíz y frijol, hortalizas en pequeña escala, cultivos anuales café, pastos bajo riego estos usos se encuentran en toda la cuenca, pero en mayor porcentaje en Esquipulas, Ocotepeque, Asunción Mita, Olopa y Santa Catarina Mita.
- Áreas sin manejo temporal: Estas áreas son un conjunto de pastos, arbustos, matorrales, bosques caducifolios y coníferas abiertos. Se utilizan para pastos en época de lluvia y en algunas áreas para cultivos anuales, aunque con rendimientos bajos.

A continuación, en el cuadro 2 se describen los principales tipos de suelo presentes en el área de la cuenca alta del río Lempa y sus características principales.

Cuadro 2. Principales agrupaciones de suelo en el área de la cuenca alta del río Lempa (CARL)

Agrupaciones principales	Ubicación	Características
Incepti-, enti- y vertisoles	Pies de monte del macizo de Montecristo	Son suelos de textura moderadamente gruesa, susceptibles a la erosión y de poco a medianamente productivos con medidas de conservación de suelos.
Ando-, alfi- y ultisoles	Montañas y tierras altas del macizo Montecristo	Son suelos profundos, arcillosos, muy susceptibles a la erosión y de productividad de muy baja a moderada, para cultivos perennes.

Fuente: CTPT Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.

Con base a condiciones de intensidad de uso de la tierra, fisiografía, red hídrica, concentraciones poblacionales, flujos de mercado, infraestructura vial y productiva, sistemas productivos, potenciales turísticos y de desarrollo empresarial, se ha dividido la cuenca en cinco zonas, las cuales se presentan en el cuadro 3:

Cuadro 3. Zonas estratégicas homogéneas según Comisión Trinacional del Plan Trifinio

Zona 1	Cafetalera y forestal con alto valor agregado
Zona 2	Potencial ecoturístico y para regulación hídrica
Zona 3	Producción forestal y regulación hídrica
Zona 4	Agroempresarial con potencial agroindustrial
Zona 5	Desarrollo silvopastoril y agroforestal con conservación

Fuente: CTPT Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.

7.8 Hidrología

La región Trifinio es rica en recursos hídricos. Destaca por ser parte relevante de uno de los sistemas hídricos más importantes en América Central (Plan Trifinio, 2011):

- Red hídrica superficial

La región Trifinio cuenta con un sistema hídrico de importancia regional para América Central. La red hídrica superficial está conformada por partes de tres grandes cuencas: la cuenca trinacional río Lempa, la cuenca binacional del río Motagua, la cuenca nacional del río Ulúa.

Dichas cuencas se encuentran conformadas por un conjunto de diez subcuencas: siete en la cuenca del río Lempa, dos subcuencas que drenan hacia el río Motagua y la subcuenca del río Higuito que forman parte de la cuenca del Río Ulúa.

7.9 Clima

La región del Trifinio se ve influenciada por los fenómenos meteorológicos que provienen de las regiones ecuatoriales y tropicales (zona Intertropical de convergencia de los vientos alisios y las ondas del este) y de las regiones polares (frentes fríos y anticiclones). Los primeros fenómenos influyen con más énfasis en la zona sur del trifinio y sobre algunos valles, entre los meses de mayo hasta mediados de octubre, con un pequeño período de menor efecto entre mediados de julio y mediados de agosto. Los segundos influyen con más énfasis sobre el lado de la zona norte del Trifinio y en el resto del año. El período de dominio de los frentes fríos y los anticiclones generan las condiciones de sequía (que es más marcada en el lado sur del Trifinio) especialmente entre noviembre y abril, siendo enero y febrero los meses más secos; por ello, en el período de invierno del hemisferio norte, esta región presenta el período seco clasificado como “invierno seco” (correspondiente al clima lluvioso con invierno seco) (CTPT, 2013).

En el lado norte predomina el llamado Clima Tropical Lluvioso de Altura, en el que los meses más lluviosos son junio y septiembre y los menos lluviosos febrero y marzo. En general, el clima de la región Trifinio está influenciado por la convergencia intertropical y la actividad ciclónica del mar Caribe (huracanes y depresiones tropicales, y por el ingreso y paso de frentes cálidos procedentes del océano Pacífico. En los valles de la región, el calentamiento del aire superficial favorece la formación de lluvias convectivas (CTPT, 2013).

- Clasificación climática según Thornthwaite

Las estaciones climáticas de la región Trifinio según la jerarquía de humedad de Thornthwaite se pueden caracterizar como muy húmedo, húmedos o semisecos. Según el estudio realizado por Programa Bosques y Agua de la cooperación regional entre la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT) y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), la clasificación climática en la región corresponde respectivamente: cálido, semicálido o templado (ver cuadro 4) (Plan Trifinio, 2011).

Cuadro 4. Clasificación climática Thornthwaite para la región Trifinio

Estación	Nombre	Jerarquía de humedad (i)	Símbolo "i"	Jerarquía de temperatura (y)	Símbolo "y"	Carácter del clima
ELSA15	Guija	89.16	B	140.85	A'	Cálido húmedo
ELSG4	La Palma	186.82	A	114.93	B'	Semicálido muy húmedo
ELSG13	Las Pilas	127.72	A	89.28	B 2'	Templado muy húmedo
GUA040402	Esquipulas	127.16	B	119.25	B'	Semicálido húmedo
GUA101301	Asunción Mita	75.82	B	139.41	A'	Cálido húmedo
GUA090303	La Ceibita	84.1	B	146.07	A'	Cálido húmedo
GUA31	Camotán	64.85	B	125.055	B'	Semicálido húmedo
ELSA31	Planes de Mont	208.11	A	85.905	B 2'	Templado muy húmedo
HONU718	N. Ocotepeque	59.025	C	130.275	A'	Cálido semiseco
HONU717	Santa Rosa	90.18	B	114.21	B'	Semicálido húmedo

Fuente: Estado de la región Trifinio 2010, Datos socioeconómicos y ambientales de los municipios. noviembre, 2011.

7.10 Investigaciones relacionadas con el tema

7.10.1 El programa trinacional de la cuenca alta del río Lempa, paradigma de cooperación sur-sur en América Latina y el Caribe

En el 2010, el estudio realizado por Oviedo, destaca la gran capacidad hídrica de esta región, lo que la hace viable para el desarrollo de proyectos en sectores claves de la economía de la región Trifinio, así mismo, haciendo referencia al problema de contaminación del recurso hídrico, que se ocasiona por los desechos sólidos que se depositan en botaderos de basura a cielo abierto; presencia de aguas residuales domésticas vertidas sin ningún tipo de tratamiento a cuerpos de agua; inadecuado manejo de las aguas mieles y pulpa de la producción de café artesanal e industrial; manejo inadecuado de la disposición de las excretas; y contaminación por presencia de agroquímicos (Oviedo, 2010).

De acuerdo con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), citado en la Agenda Hídrica, el impacto ocasionado por dicha problemática se ve reflejado en la calidad del agua, prevalencia de enfermedades parasitarias y gastrointestinales,

convirtiéndose en las causas más frecuentes de morbilidad en los habitantes de la región (Oviedo, 2010).

Otro de los fenómenos que está afectando el ecosistema en la CARL, es la deforestación, que se manifiesta en pérdida de la cobertura forestal ocasionado por el cambio de uso en agricultura y ganadería, y las quemadas y rozas para la extracción de leña (Oviedo, 2010).

7.10.2 Variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en el río Urola, Guipuzkoa, España

En 1998, un estudio realizado por el departamento de Ecología de la facultad de Biología en la Universidad de Barcelona; a través de la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes en donde se requirió disponer de bases de datos relativamente grandes y completas. Los estudios de seguimiento solían acumular una cantidad importante de información sobre la cual se pueden aplicar estas técnicas, caracterizadas por su capacidad sintetizadora. El río Urola alberga una red de estaciones de muestreo perteneciente a la Diputación Foral de Guipuzkoa (DFG) donde, desde 1977, se recoge información físico-química con regularidad. Este trabajo expone los resultados de la aplicación de un Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre la matriz de datos recogidos por la DFG. Los dos primeros componentes explican más de la mitad de la varianza. El primer factor, FI, se identifica como una medida del nivel de contaminación orgánica y el segundo, FII, se relaciona con la ordenación espacial. El análisis de la variabilidad espacial de los valores de FI revela la existencia de un tramo fluvial profundamente contaminado, hecho que corrobora la necesidad, prevista por la DFG, de ubicar una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR). La metodología del ACP permite modelizar la respuesta del río en este tramo cuando funcione la depuradora. El estudio de la variabilidad temporal refleja diferencias interanuales e intra anuales, lo cual permite interpretar, en términos generales, la evolución del río en base a su grado de contaminación (Comas, Armengol, Sabater y Sabater, 1998).

7.10.3 Línea base de la calidad de las fuentes de agua superficiales en la finca El Cascajal, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2013

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la cantidad y calidad de las fuentes de agua y la red hidrológica superficial en la finca El Cascajal, para proponer estrategias que permitan promover la gestión del recurso hídrico; el cual se desarrolló en un período de 12 meses, en donde se monitorearon las 12 fuentes de agua (nacimientos) y 9 corrientes superficiales, analizando 17 parámetros con el propósito de conocer la calidad del agua y determinar el Índice de Calidad del Agua –ICA– en las corrientes superficiales, así como se determinaron los caudales de las fuentes de agua y la corriente superficial principal. Se llevaron a cabo 4 monitoreos en los meses de octubre de 2013, abril, mayo y julio de 2014, donde se determinaron parámetros a nivel de campo como: temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto; y a nivel de laboratorio, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, sólidos disueltos y totales, turbidez, dureza, demanda biológica de oxígeno, coliformes totales y coliformes fecales en donde con los resultados se determinó el Índice de Calidad del Agua –ICA– de las principales corrientes superficiales para conocer la calidad del agua general (Casasola, 2014).

8. MARCO METODOLÓGICO

8.1 Determinación del área de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, ubicados en la región Trifinio (El Salvador, Honduras y Guatemala), esta región está conformada por 45 municipios de los tres países. La cuenca alta del río Lempa tiene una extensión territorial de 4,343 km², y desde el 2010 se realizan monitoreos de la calidad del agua superficial en los principales afluentes del río, para lo cual se establecieron 20 puntos de monitoreo sobre el cauce de la corriente superficial de los cuales 6 puntos de monitoreo están ubicados en Guatemala (entre ellos el río Jupilingo), 6 puntos de monitoreo en Honduras y 8 puntos de monitoreo en El Salvador. En la tabla 1, se presentan los ríos y puntos de monitoreo los cuales fueron objeto de estudio en cada uno de los tres países en la región Trifinio.

Es importante indicar que, existen más puntos de monitoreo, pero para este estudio se analizó la información de 20 puntos con los cuales se cuenta con información desde el 2010.

Tabla 1. Puntos de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo

No.	Río	Punto de Monitoreo	País	Coordenadas WGS 1984	
				X	Y
1	Río Olopita	Río Olopita	Guatemala	-89.29825012	14.6006216
2	Río Atulapa	Río Atulapa	Guatemala	-89.30970938	14.4816039
3	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	Guatemala	-89.29561782	14.5692462
4	Río Ostúa	Río Ostúa 1	Guatemala	-89.62275831	14.3167811
5		Río Ostúa 2	Guatemala	-89.69087468	14.3324978
6	Río Jupilingo	Río Jupilingo	Guatemala	-89.33897	14.85116
7	Río Frío	Río Frío	Honduras	-89.23321106	14.4896726
8	Río Quilio	Río Quilio	Honduras	-89.19330497	14.574978
9		Río Quilio 2	Honduras	-89.1265585	14.5508268
10		Río Quilio 3	Honduras	-89.13611762	14.529274
11	Río Tulas	Río Tulas	Honduras	-89.15473718	14.4924901
12	Río Pomola	Río Pomola	Honduras	-89.20401568	14.4246491
13	Río Lempa	Río Lempa (Citalá)	El Salvador	-89.21229977	14.3707745
14	Río Nunuapa	Río Nunuapa	El Salvador	-89.1526583	14.2901333
15	Río Angue	Río Angue	El Salvador	-89.55093827	14.3312926
16	Río San José	Río San José	El Salvador	-89.46714325	14.3332748
17	Río Lempa	Río Lempa (Masahuat)	El Salvador	-89.43352105	14.2009908
18	Río Guajoyo	Río Guajoyo	El Salvador	-89.49715592	14.2150229
19	Río Cusmapa	Río Cusmapa 1	El Salvador	-89.62358761	14.1667627
20		Río Cusmapa 2	El Salvador	-89.57503578	14.2055295

Fuente: *Elaboración propia, 2020*

8.2 Recopilación de información de los resultados de los monitoreos de la calidad del agua de 2010 a 2018

Para el desarrollo de la investigación se recopiló y ordenó la información de los resultados de los monitoreos de la calidad del agua de la cuenca alta del río Lempa, realizados durante los años del 2010 al 2018. Dichos monitoreos se realizaron en trabajo conjunto de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local del Centro Universitario de Oriente y la Mancomunidad Trinacional Fronteriza Río Lempa. Para ello se utilizó la base de datos del laboratorio ambiental de CUNORI.

La información recolectada fue tabulada y ordenada en hojas de cálculo en el programa Excel que permitió que se realizaran los análisis estadísticos correspondientes y determinar el índice de calidad del agua. (Ver apéndice 1)

8.3 Determinación de la variabilidad temporal y espacial de los parámetros e índice de calidad del agua

8.3.1 Análisis univariado

El análisis univariado fue realizado en el programa estadístico InfoStat analizando las medidas de tendencia central y medidas de dispersión (media, mediana y moda, entre otras) las cuales describieron la información para cada punto de monitoreo según su comportamiento, ocupándose más bien de medir el centro, el foco o el medio de cada uno de los mismos.

8.3.2 Análisis multivariado (análisis de componentes principales)

El análisis de componentes principales realizado en el programa estadístico InfoStat es una técnica utilizada para describir un conjunto de datos en términos de nuevos componentes no correlacionados. Los componentes se ordenaron por la cantidad de varianza original que describen.

Técnicamente, el análisis de componentes principales buscó la proyección según la cual los puntos de monitoreo, quedarán mejor representados en términos de mínimos cuadrados. Esta técnica convirtió un conjunto de observaciones en los puntos de monitoreo posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores (años) sin correlación lineal llamados componentes principales. Todo esto hizo reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos haciendo relevancia en los resultados más afines.

8.3.3 Aplicación de la prueba pareada de T

La prueba pareada de t – Student brindó un parámetro de comparación de un antes y un después de los puntos de monitoreo según la variación de la calidad del agua a través del tiempo por medio de los datos obtenidos en cada uno de los monitoreos.

Las pruebas t de las muestras dependientes o pareadas, consisten típicamente en una muestra de pares de valores con similares unidades estadísticas, o un grupo de unidades que han sido evaluadas en dos ocasiones diferentes.

La valoración de la coincidencia se llevó a cabo mediante la identificación de pares de valores que consistieron en una observación en dos muestras, donde las observaciones del par son similares en términos de otras variables medidas.

8.3.4 Diagrama de cajas

Los diagramas de caja o bigotes se realizaron con el programa estadístico InfoStat siendo la presentación visual que describe características importantes al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría.

Para su representación en las gráficas, representan tres cuartiles, valores, mínimo y máximo de los datos, sobre un rectángulo, alineados horizontal o verticalmente.

Una gráfica de este tipo consiste en una caja rectangular, donde los lados más largos muestran el recorrido intercuartílico. Este rectángulo está dividido por un segmento vertical que indica donde se posiciona la mediana y por lo tanto su relación con los cuartiles primero y tercero. La caja está ubicada a escala sobre un segmento que tiene como extremos los valores mínimos y máximos de la variable a estudiarse; las líneas que sobresalen de la caja se llaman bigotes, estos bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que cualquier dato o caso que no se encuentre dentro de este rango es marcado e identificado individualmente.

En el estudio, por medio del programa InfoStat se realizaron diagramas de caja con los cuales se determinó la dispersión y simetría de los parámetros analizados durante los monitoreos de la calidad del agua y para el índice de calidad del agua.

8.4 Determinar el índice de calidad del agua

Se utilizó el modelo de cálculo canadiense “Canadian Water Quality Index” conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés) una herramienta que permite evaluar y obtener datos correspondientes a la calidad del agua.

8.5 Estimación del índice de calidad del agua

Para determinar la variabilidad temporal de la calidad del agua en los principales afluentes de la cuenca alta del río Lempa, se determinó el índice de calidad de agua para cada uno de los puntos de monitoreo establecidos sobre la corriente superficial del río Lempa y río Jupilingo en los años 2010 al 2018.

La metodología utilizada en la investigación fue el método Canadian Water Quality Index conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés). Este método fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad del agua y se basa en la determinación de tres factores que representan el alcance, la frecuencia y la amplitud.

Una vez que se determinan los tres factores, el índice puede calcularse, sumándose los tres valores como si fueran vectores. La suma de los cuadrados de cada factor es igual al cuadrado del índice, utilizando la siguiente fórmula para obtener el índice canadiense de calidad de agua:

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

El valor de 1.732 normaliza el resultado a un valor entre 0 – 100, donde 0 representa la “peor” calidad y 100 la “mejor” calidad de agua.

Para el cálculo del índice es necesario operar los tres factores de la siguiente manera:

F1 (alcance): Representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (En este caso COGUANOR 29001 LMA, normativa que establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

F2 (frecuencia): Representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA - Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de los monitoreos)

$$F2 = \frac{\text{Número de los parámetros que NO cumplen el ECA agua de los datos evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

Donde:

Datos = Resultados de los monitoreos

F3 (amplitud): Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F3 = \left(\frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes} + 1} \right) * 100$$

En donde, la Suma Normalizada de Excedentes (nse):

$$\text{nse} = \text{Suma normalizada de excedentes} = \frac{\sum_i^n = \text{Excedente}_i}{\text{Total de datos}}$$

EXCEDENTE, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA-Agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA- Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente } i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA agua}} \right) - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA- Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente } i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA agua}} \right) - 1$$

Una vez obtenido los valores de los factores (F1, F2, y F3) se procede a realizar el cálculo del índice de calidad de agua que se menciona al inicio; la diferencia de un rango de 0 a 100, siendo 100 el valor que representa un ICA de excelente calidad y 0 el valor que representa un ICA de mala calidad, la diferencia se realiza con el valor que viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres (03) factores, F1, F2 y F3, se expresa en la siguiente ecuación:

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

Para el desarrollo del cálculo del índice de calidad del agua, se empleó una aplicación en Microsoft Excel (hoja de cálculo), un macro donde se introdujo los datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores (F1, F2 y F3) y asimismo el valor del índice de calidad de agua, CCMEWQI, es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre 1- 100, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que se expresan y califican el estado de la calidad del agua, como “Mala”, “Regular”, “Favorable”, “Buena” y “Excelente”. A continuación, en el cuadro 5 se puede observar la interpretación de cada una de las calificaciones:

Cuadro 5. Cuadro interpretativo para la calificación del CCME_WQI

CCME_WQI	Calificación	Interpretación
95- 100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80- 94	Buena	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65- 79	Favorable	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
45- 64	Regular	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.
0- 44	Mala	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: Elaboración propia, 2020

Este tipo de calificación cualitativa viene asociada a una escala cromática (cada calificación tendrá un color), el cual tiene por propósito facilitar la comunicación del estado de calidad del agua.

Este indicador de calidad del agua, aplicado durante un periodo de tiempo evalúa la incidencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que son considerados, y que mediante una herramienta matemática nos permite transformar grandes cantidades de datos (concentraciones de los parámetros en estudio) a una escala de medición única, expresado en porcentaje. Siendo un valor ICA cercano a 0%, el cual representa la alta afectación que existe en la calidad del agua de ese punto de monitoreo, en tanto que presente excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.

La metodología adoptada, es aplicada también para los siguientes casos, en los cuales es importante contar con la data de los monitoreos para calcular y presentar los ICA de una zona o cuerpo de agua, con los datos de: (1) todos los monitoreos, (2) monitoreos en época seca, (3) monitoreos en época húmeda, (4) para agua superficial y (5) para agua subterránea.

Respecto a los resultados del índice de calidad de agua, según desarrollo del procedimiento del cálculo del ICA, se presenta a continuación:

8.5.1 Elaboración de hoja de cálculo para el análisis

A través de la creación de la hoja de cálculo en el programa Excel que se automatiza el proceso de cálculo (fórmulas matemáticas para la obtención de los factores y el CCMEWQI), que contienen las condiciones para el cálculo de los excedentes, y así completa la suma normalizada de todos los excedentes que se presenten en los datos completos de los monitoreos del cuerpo de agua, para realizarse el cálculo de los factores y del valor numérico del índice de calidad del agua junto al resultado cualitativo en la escala de colores a la cual representa.

Para el ingreso de los datos en la hoja de cálculo, se debe ingresar el nombre del punto de monitoreo, seguidamente los resultados de los monitoreos los cuales en esta investigación fueron presentados por el laboratorio ambiental de CUNORI y, los valores establecidos en los Estándares de Calidad de Agua (en este caso, COGUANOR 29001 LMA, normativa que establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano), con los cuales se realiza la evaluación de comparación entre los resultados obtenidos de cada parámetro y los límites máximos permisibles de la normativa utilizada. En la figura 1 se puede observar la hoja de cálculo para el ingreso de datos correspondientes a los resultados obtenidos de los monitoreos.

Figura 1. Hoja de cálculo para el ingreso de datos que corresponden a los resultados de los 20 puntos de monitoreo en la cuenca alta del río Lempa y el río Jupilingo

		ESTÁNDARES NORMATIVOS CALIDAD DEL AGUA														MONITOREOS				
		RESULTADOS PRIMER MONITOREO (época seca) (noviembre)																		
		COGUANOR 2900 LMA														COGUANOR 2900 LMP				
		pH		Temperatura		Conductividad eléctrica	Oxígeno Disuelto		Turbidez	Sólidos Disueltos Totales		Dureza		Coliformes fecales	Coliformes Totales	E.Coli	Sulfatos	Arsénico	Nitratos	Nitritos
Punto	Nombre	Unidades pH		C°		µS/cm10	mg/L		FAU	mg/L		mg/L		U/100ml	U/100ml	U/100ml	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
		7	7.5	15	25	750	7	100	5	0	500	0	100	0	0	0	0	0	0	1
1	Río Antúlap	7.55		19.9		37.8	7.84	6.65	24.10	2.133	2400					14.58		1.22	0.0260	
2	Río Lempa Cascaja																			
3	Río Frio	7.81		19.6		41.45	8.2	7.85	26.88	17.85	2400					16.77		0.72	0.0050	
4	Río Quillo	7.69		20.4		26.5	8.1	11.5	17.21	15.3	2400					15.57		0.14	0.0080	
5	Río Tulas	7.63		18.3		23.6	8.19	11.25	15.49	17.31	2400					16.33		0.12	0.0070	
6	Río Lempa Citáá	8.12		24.5		69.9	8.53	57.71	45.44	38.76	2400					24.57		0.55	0.0210	
7	Río Nunuapa	8.11		21.3		56.6	7.98	8.82	35.84	23.07	2400					16.57		0.54	0.0060	
8	Río Olopita	8.79		22.56		154.3	8.11	14.7	98.37	100.98	2400					38.90		0.54	0.0080	
9	Río Jupilingo	8.35		26.6		22.55	7.29	50.08	140.8	157.53	2400					26.13		1.03	0.0140	
10	Río Angue	7.94		20.9		236	7.4	3.7	147.2	146.37	2400					36.13		0.71	0.0050	
11	Río San José	7.49		20.4		263	3.25	5.47	163.2	156.57	2400					36.30		0.79	0.0150	
12	Río Lempa Masahuat	8.22		20.8		98.7	8.65	8.9	62.34	61.2	2400					24.23		0.52	0.0070	
13	Río Guajego	8.21		22.5		250	8.56	4.48	155.52	153.51	2400					23.13		0.87	0.0100	
14	Río Cusmapa 2	8.7		25.6		223.5	10.76	2.78	138.37	128.01	2400					27.70		1.24	0.0530	
15	Río Cusmapa 1	7.92		23.5		154.4	7.6	3.4	96.71	92.82	2400					23.53		1.55	0.0030	
16	Río Ostúa 1	7.9		25.3		230	7.13	31.8	143.36	123.93	2400					23.60		1.56	0.0160	
17	Río Ostúa 2	8.43		26.1		162	8.02	4.58	101.5	93.84	2400					26.60		1.10	0.0230	
18	Río Pomota																			

Fuente: Elaboración propia, 2020

Para el cálculo de los factores (F1, F2, F3): La hoja de cálculo en Excel contiene fórmulas y condiciones, las cuales calculan automáticamente los resultados promedio al ingreso de los datos.

Figura 2. Hoja de cálculo para los excedentes de cada parámetro, factores y resultado del índice de calidad del agua

FACTORES CALCULADOS		VALOR EXCEDENTE DE CADA PARÁMETRO RESPECTO AL VALOR ESTABLECIDO EN EL ECA-AGUA																				
F1	F2	53.85				53.85				46.15				46.15				46.15				
Propietario		32.69				28.85				30.77				34.62				30.77				
		P1				P2				P3				P4				P5				
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
pH	0.0027	0.017	0.073	0.07914	0	0.0027	0	0	0	0.0187	0.063	0	0	0.1144	0.1368	0.206	0.165	0	0	0.0997	0.12	
Temperatura	0	0.248	0	0	0	0	0.05	0	0	0.112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Conductividad electrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Oxigeno Disuelto	0	0.143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0938	0.4894	0.346	0.417	0	0	0	0.11	
Turbidez	0	0	0.862	0	0.728	0	0.88	0	0	0	0	1.56	0.522	0.892	0.52	0	0	0.438	0.76	0.096	0	
Solidos Disueltos Totales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dureza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Coliformes fecales	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799
Sulfatos	0.00	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Coliformes totales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nitratos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nitritos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DBO5	5.28	0	0.08	0.84	4.52	4.12	0	0.96	4.4	0.16	0	0.8	4.32	0	3.4	0	4.64	0	3.04	0	0	
Fosfatos	1.56	0	0.52	2.68	0	0.32	6.24	1.56	0.12	0.32	1.76	1.76	0.16	0	0	2.56	3.4	0.56	0.12	2.76	0	
NSC	61.6991				61.8343				61.6845				61.7276				61.7720					
F3	98.4051				98.4086				98.4047				98.4058				98.4069					
COME-WQI	32.5400				33.1257				34.7795				34.1394				34.7783					

FACTORES CALCULADOS

RESULTADO ICA

Fuente: Elaboración propia, 2020

Para el análisis estadístico se utilizó el software estadístico InfoStat en donde se realizó el análisis univariado de la información que incluye medidas de tendencia central y medidas de dispersión (media, mediana y moda).

Así mismo, la información de los monitoreos de la calidad del agua de la cuenca alta del río Lempa y el río Jupilingo obtenida durante los siete años fue objeto de análisis multivariado, donde se incluyó el análisis de componentes principales que permitió medir distancias euclidianas y la relación entre los ríos y los parámetros a través del tiempo. Además, la aplicación de la prueba pareada T la cual permitió la comparación en el tiempo de los parámetros de la calidad del agua; también, por medio del diagrama de cajas se obtiene una representación visual que analiza varias características importantes como la dispersión y simetría que permitió estudiar la variabilidad tanto temporal como espacial de los datos.

8.6 Determinación de la variabilidad del índice de calidad del agua

La variabilidad espacial se determinó por medio de diagramas de cajas en el programa estadístico InfoStat, con lo cual se determinó la variabilidad de la calidad del agua de los puntos de monitoreo de los ríos para cada uno de los años analizados.

8.7 Tabulación y análisis de la información

La estimación del índice de calidad del agua de los parámetros indicados se realizó por medio del modelo de cálculo para la estimación del Índice de la Calidad del Agua (CCME_WQI), en el agua superficial de la cuenca alta del río Lempa y el río Jupilingo, utilizando el programa Microsoft Excel para la elaboración de tablas y descripción de resultados.

La información obtenida de los análisis estadísticos fue interpretada de forma descriptiva, utilizando programas informáticos tales como: Microsoft Word y Microsoft Excel, generando gráficas y descripciones referentes a la variabilidad temporal y espacial de los parámetros y del índice de calidad del agua de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo.

La información obtenida mediante el estudio de variabilidad espacial de la variable “índice de calidad del agua” fue representada mediante gráficas (diagramas de cajas) mostrando el comportamiento de la calidad de la misma en el tiempo.

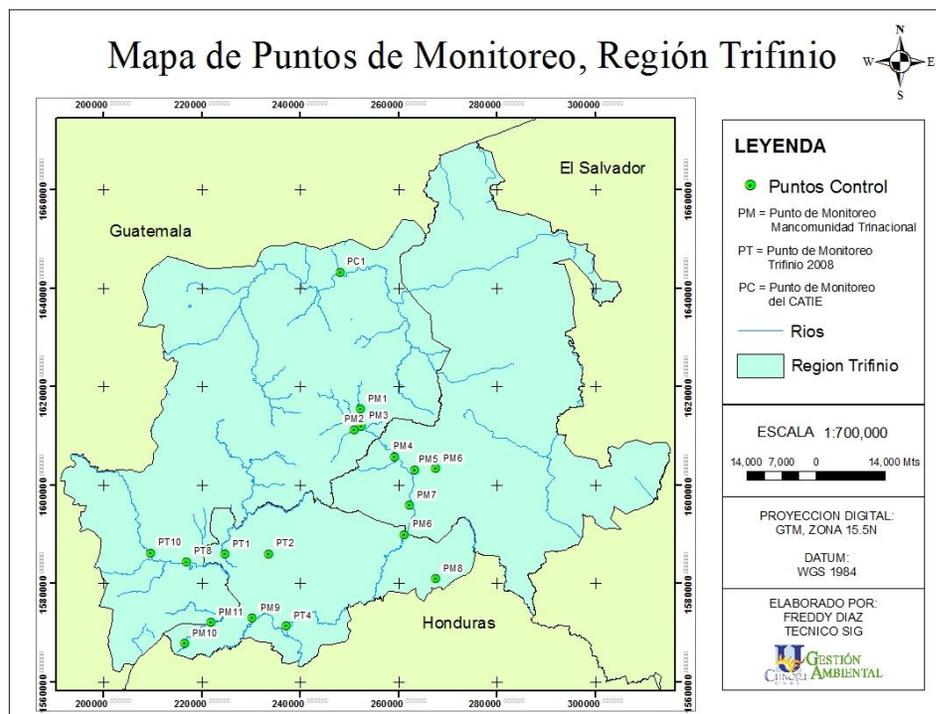
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Monitoreo de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo

El área de estudio corresponde a la cuenca alta del río Lempa ubicada en la región Trifinio (El Salvador, Honduras y Guatemala) y el río Jupilingo. En la cuenca del río Lempa se han realizado monitoreos para determinar la calidad del agua desde el año 2010, para lo cual se establecieron 20 puntos de monitoreo en los tres países (El Salvador, Honduras y Guatemala).

Los puntos de monitoreo fueron georreferenciados utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS) WGS 1984, los cuales se presentan en la figura 3.

Figura 3. Mapa de puntos de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo



Fuente: Fredy Díaz, 2015

Para el desarrollo de la investigación se recopiló y ordenó la información de los resultados de la calidad del agua para determinar el índice de calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa y el río Jupilingo de los monitoreos realizados durante los años 2010, 2011, 2012, 2013, 2016, 2017 y 2018.

9.2 Variabilidad temporal de la concentración física, química y microbiológica del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta de río Lempa y río Jupilingo.

Variabilidad es un término que hace referencia a los cambios inevitables que modifican un proceso a través del tiempo y espacio. Para fines del estudio, en este apartado se analiza la variabilidad temporal la cual es la variación a través del lapso de tiempo comprendido entre el año 2010 al 2018 en los parámetros pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales, dureza, coliformes fecales, sulfatos, nitratos, nitritos, DBO₅, fosfatos y variable ICA (cuadro resumen análisis estadístico univariado de la calidad física, química y microbiológica del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo en *apéndice 2* y cuadro resumen análisis estadístico prueba pareada T en *apéndice 3*).

9.2.1 Variabilidad del potencial de hidrogeno (pH) del agua

El pH indica el grado de alcalinidad o acidez de una solución. Su importancia radica en que muchos de los procesos químicos solo pueden desarrollarse en un determinado valor de pH. Por ejemplo, los efectos tóxicos de sustancias como el hierro, aluminio, mercurio, entre otros metales pesados, están disponibles en aguas con pH ácidos.

En la tabla 2, se presentan los valores promedio del potencial de hidrógeno del agua en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río lempa, durante el periodo del año 2010 al 2018, dichos valores son el resultado de los diferentes monitoreos realizados durante este periodo.

Tabla 2. Valores promedio del potencial de hidrógeno -pH- del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Potencial de Hidrógeno pH en unidades						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	7.55	7.49	7.51	7.32	7.27	7.08	8.24
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	7.65	7.59	7.77	7.43	7.10	7.54
3	Río Frío	Río Frío	7.81	7.73	7.80	7.73	7.62	7.48	7.62
4	Río Quilio	Río Quilio	7.69	7.67	7.76	6.75	6.48	7.60	7.76
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	6.72	7.18	6.96	N/D	7.61
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	7.20	7.93	7.70	N/D	7.47
7	Río Tulas	Río Tulas	7.63	7.65	7.66	8.42	7.83	7.50	7.69
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	8.17	8.78	8.43	9.33	8.22	N/D	7.75
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	8.11	8.08	8.11	8.38	7.74	7.60	7.67
10	Río Olopita	Río Olopita	8.79	8.07	7.96	7.98	8.12	7.79	7.74
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	8.35	5.65	5.60	8.75	8.39	N/D	8.20
12	Río Angue	Río Angue	7.94	7.89	7.94	7.39	7.54	N/D	7.68
13	Río San José	Río San José	7.49	7.36	7.44	7.14	7.27	N/D	8.12
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	8.22	8.28	8.37	8.71	8.22	N/D	8.30
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	8.21	8.16	8.16	8.36	7.95	N/D	8.18
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	8.70	8.53	8.55	8.48	8.53	N/D	8.41
17		Río Cusmapa 1	7.92	7.83	7.94	N/D	7.78	N/D	8.43
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	7.90	7.85	7.99	8.06	7.71	N/D	8.28
19		Río Ostúa 2	8.43	8.28	8.17	7.84	7.78	N/D	8.13
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	7.96	7.83	8.16	7.87	7.37	7.70

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 3, presenta el análisis estadístico univariado para el pH del agua en el periodo de 2010 al 2018 de acuerdo a la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 3. Análisis estadístico univariado para el pH del agua en el periodo de 2010 al 2018

Análisis Univariado pH							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	8.06	7.83	7.74	7.98	7.72	7.44	7.92
Varianza (n-1)	0.15	0.42	0.44	0.42	0.24	0.06	0.10
Mediana	8.03	7.87	7.88	7.98	7.76	7.49	7.76

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son 2012, 2013 y 2011 respectivamente; esto indica los años con mayor variabilidad en el pH del agua en cada uno de los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 4, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para el pH del agua en el periodo de 2010 al 2018.

Tabla 4. Análisis estadístico de la prueba pareada T para el pH del agua en el periodo de 2010 al 2018

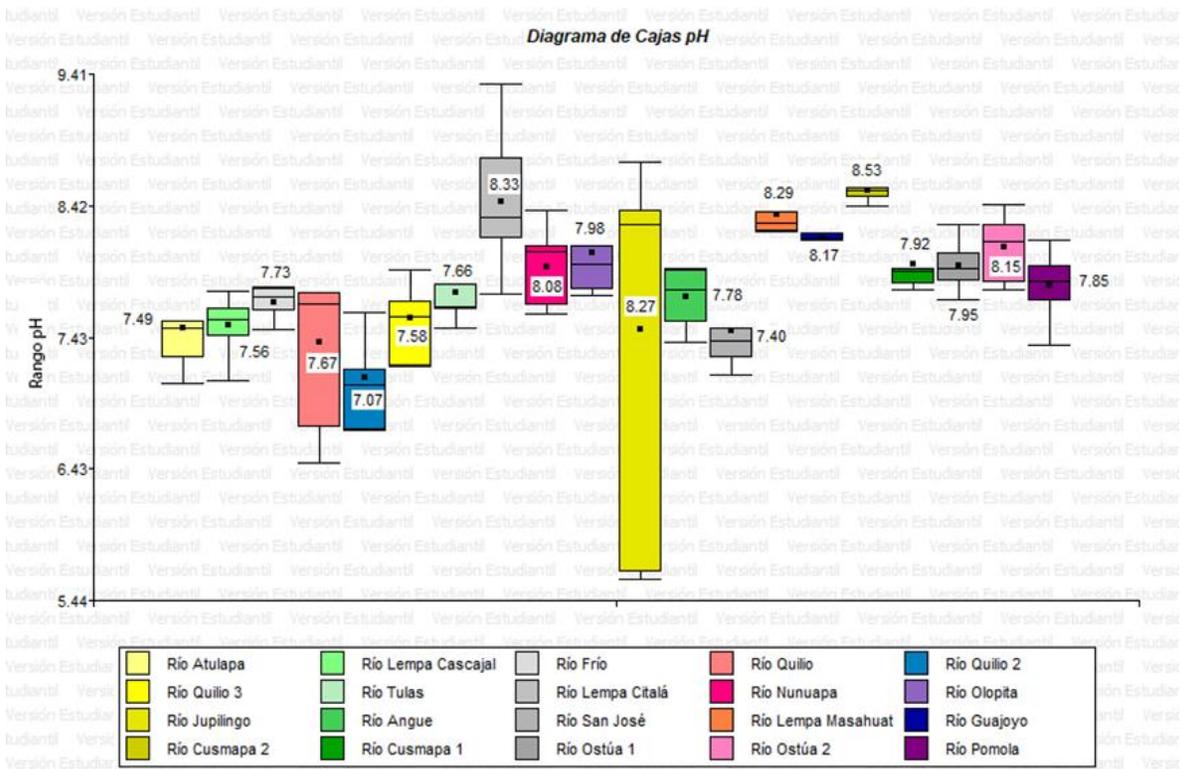
Prueba Pareada T pH								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	0.23	8.06	7.83	0.7	1.28	0.2188
2010	2012	16	0.22	8.06	7.84	0.72	1.23	0.2374
2010	2013	15	0.02	8.07	8.04	0.59	0.15	0.8808
2010	2016	16	0.28	8.06	7.78	0.34	3.28	0.005
2010	2017	6	0.42	7.93	7.51	0.33	3.11	0.0266
2010	2018	16	0.05	8.06	8.01	0.45	0.41	0.6865
2011	2012	18	0.01	7.83	7.82	0.12	0.21	0.839
2011	2013	17	-0.21	7.83	8.03	0.85	-1	0.3344
2011	2016	18	0.07	7.83	7.76	0.76	0.36	0.72
2011	2017	8	0.35	7.79	7.44	0.19	5.19	0.0013
2011	2018	18	-0.14	7.83	7.97	0.74	-0.79	0.4381
2012	2013	19	-0.26	7.73	7.98	0.84	-1.34	0.1984
2012	2016	20	0.02	7.74	7.72	0.75	0.1	0.9197
2012	2017	8	0.34	7.78	7.44	0.15	6.2	0.0004
2012	2018	20	-0.19	7.74	7.92	0.69	-1.21	0.2393
2013	2016	19	0.27	7.98	7.72	0.31	3.72	0.0016
2013	2017	8	0.37	7.81	7.44	0.57	1.85	0.1064
2013	2018	19	0.09	7.98	7.9	0.65	0.57	0.5741
2016	2017	8	0.1	7.54	7.44	0.51	0.58	0.5798
2016	2018	20	-0.2	7.72	7.92	0.48	-1.91	0.0709
2017	2018	8	-0.3	7.44	7.74	0.37	-2.3	0.0552

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas en el pH del agua y por lo tanto existe variabilidad entre los años (2010 – 2016), (2010 – 2017), (2011 – 2017), (2012 – 2017) y (2013 – 2016).

En la gráfica No 1, se presenta el diagrama de cajas del pH del agua, donde se observa la variabilidad de este en el periodo de 2010 al 2018 para cada monitoreo.

Gráfica 1. Diagrama de cajas del pH del agua para el periodo de 2010 al 2018, en los puntos de monitoreo

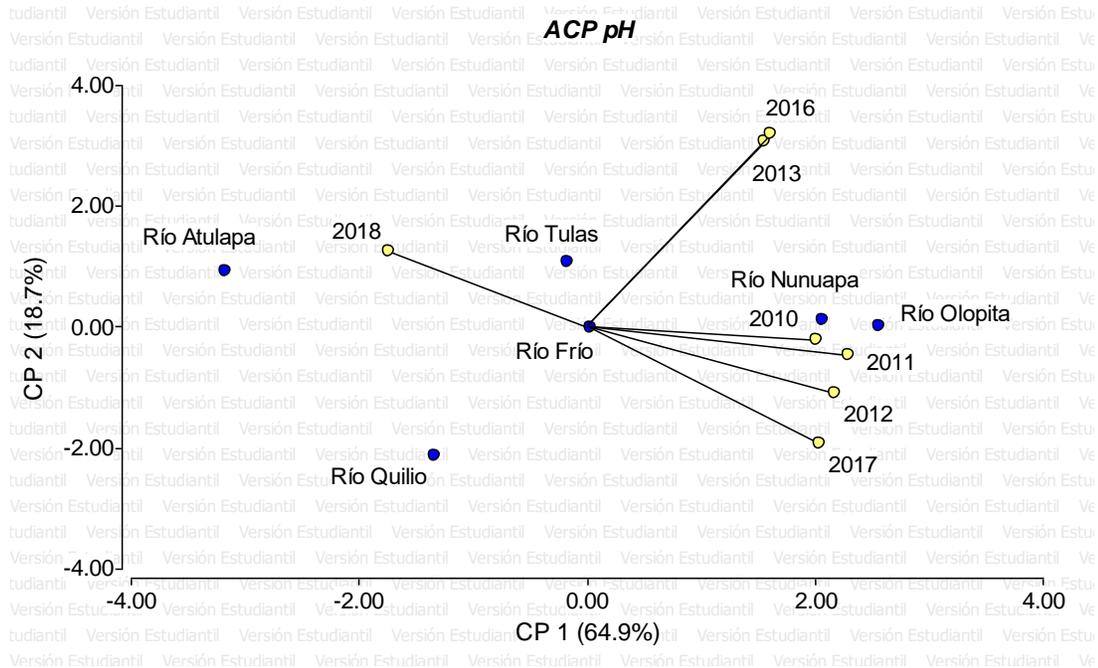


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en el pH del agua son “río Jupilingo”, “río Quilío” y “río Lempa Citalá”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad son “río Guajoyo”, “río Cusmapa 2” y “río Cusmapa 1”.

En la gráfica 2, se presenta el análisis de componentes principales para el pH del agua donde se observa la variabilidad con el fin de reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos buscando la proyección de acuerdo a la mejor representación en términos de mínimos cuadrados.

Gráfica 2. Análisis de componentes principales del pH del agua, periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 83.6% de los datos totales analizados. Acorde a la gráfica anterior, los puntos de monitoreo que tienen menor variabilidad en el pH del agua son “río Tulas”, “río Frío”, “río Nunuapa” y “río Olopita” para el período del 2010 al 2018. Así mismo, es importante indicar que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en el pH del agua son el “río Atulapa” y el “río Quilio” en el año 2018.

9.2.2 Variabilidad de la temperatura del agua

La temperatura es la medida de calor o energía térmica de una sustancia, lo cual pueden afectar la solubilidad del oxígeno y otras partículas en el agua. La solubilidad del oxígeno es importante en el medio acuático, pues influye en el metabolismo de las especies, como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica.

La tabla 5, presenta los valores promedio de temperatura del agua en los puntos de monitoreo, establecidos en la cuenca alta del río lempa y río Jupilingo, en el periodo del 2010 al 2018.

Tabla 5. Valores promedio de la temperatura del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Temperatura del agua						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	19.90	18.27	19.08	21.21	22.10	17.82	21.45
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	18.50	19.61	22.20	21.60	18.25	24.00
3	Río Frío	Río Frío	19.60	18.02	19.49	22.40	21.13	20.60	21.55
4	Río Quilio	Río Quilio	20.40	18.92	20.47	20.00	19.00	23.60	21.25
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	18.41	21.30	18.88	N/D	20.00
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	18.68	24.50	22.75	N/D	21.20
7	Río Tulas	Río Tulas	18.30	17.98	19.71	24.50	20.45	20.10	22.40
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	24.50	25.58	25.29	31.90	23.89	N/D	29.45
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	21.30	19.83	21.21	26.30	21.39	21.00	25.45
10	Río Olopita	Río Olopita	22.56	20.38	20.97	21.17	26.18	21.40	23.70
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	26.60	15.33	19.18	30.60	30.04	N/D	28.15
12	Río Angue	Río Angue	20.90	22.27	22.33	27.00	24.18	N/D	26.05
13	Río San José	Río San José	20.40	21.83	21.92	25.80	23.33	N/D	25.30
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	20.80	23.47	24.04	29.30	26.00	N/D	28.40
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	22.50	24.89	25.75	29.80	26.13	N/D	27.90
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	25.60	29.57	27.70	30.00	29.58	N/D	29.30
17		Río Cusmapa 1	23.50	24.51	25.90	N/D	25.45	N/D	26.90
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	25.30	26.32	26.37	30.00	28.03	N/D	30.20
19		Río Ostúa 2	26.10	26.25	27.13	31.00	28.63	N/D	31.05
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	23.88	23.87	29.50	23.33	24.00	28.55

Fuente: *Elaboración propia, 2020*

En donde ND = No Determinado

La tabla 6, presenta el análisis estadístico univariado para la temperatura del agua en el periodo del 2010 al 2018, donde se presenta el resumen de la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 6. Análisis estadístico univariado para la temperatura del agua en el periodo de 2010 al 2018

Análisis Univariado Temperatura del Agua							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	22.39	21.99	22.35	26.24	24.10	20.85	25.61
Varianza (n-1)	6.70	14.51	9.74	15.94	11.12	4.92	12.07
Mediana	21.90	22.05	21.57	26.30	23.61	20.80	25.75

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son 2013, 2011 y 2018 respectivamente; en estos años existió mayor variabilidad en los valores de la temperatura del agua para cada uno de los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 7, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para la temperatura del agua en el periodo de 2010 al 2018.

Tabla 7. Análisis estadístico de la prueba pareada T para la temperatura del agua en el periodo de 2010 al 2018

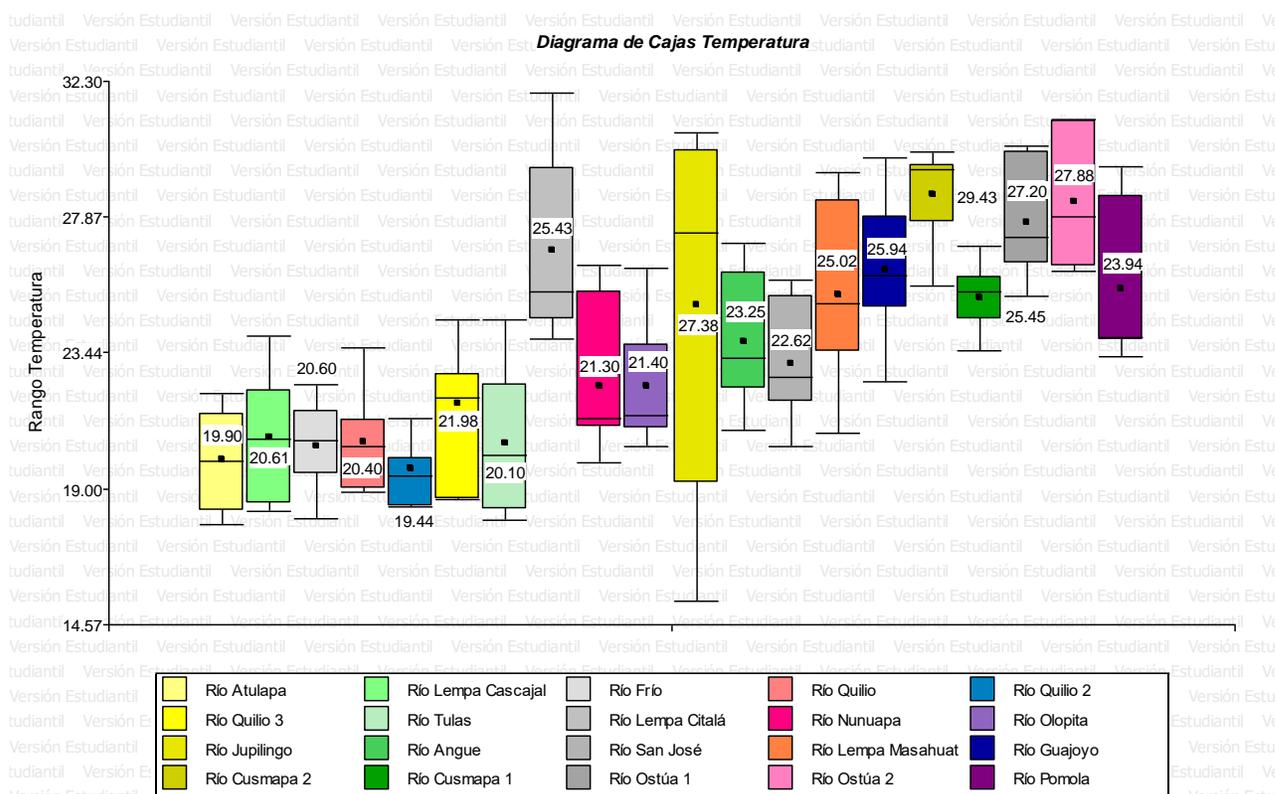
Prueba Pareada T Temperatura del agua								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	0.3	22.39	22.09	3.42	0.36	0.7274
2010	2012	16	-0.52	22.39	22.91	2.51	-0.82	0.4231
2010	2013	15	-4.41	22.32	26.73	2.81	-6.08	<0.0001
2010	2016	16	-2.33	22.39	24.72	1.74	-5.35	0.0001
2010	2017	6	-0.41	20.34	20.75	1.96	-0.51	0.6313
2010	2018	16	-3.77	22.39	26.16	1.89	-7.97	<0.0001
2011	2012	18	-0.79	21.99	22.78	1.15	-2.91	0.0098
2011	2013	17	-4.79	21.84	26.63	3.31	-5.97	<0.0001
2011	2016	18	-2.48	21.99	24.47	3.5	-3.01	0.008
2011	2017	8	-1.38	19.47	20.85	1.72	-2.26	0.0581
2011	2018	18	-4.18	21.99	26.17	2.55	-6.96	<0.0001
2012	2013	19	-4.07	22.17	26.24	2.55	-6.96	<0.0001
2012	2016	20	-1.75	22.35	24.1	2.71	-2.88	0.0096
2012	2017	8	-0.3	20.55	20.85	1.42	-0.59	0.5745
2012	2018	20	-3.26	22.35	25.61	1.8	-8.11	<0.0001
2013	2016	19	2.21	26.24	24.03	2.76	3.49	0.0026
2013	2017	8	2.56	23.41	20.85	3.13	2.32	0.0535
2013	2018	19	0.69	26.24	25.54	1.48	2.03	0.0574
2016	2017	8	1.05	21.9	20.85	3.06	0.97	0.3649
2016	2018	20	-1.51	24.1	25.61	2.14	-3.16	0.0051
2017	2018	8	-2.7	20.85	23.54	2.55	-2.99	0.0202

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de la temperatura del agua y por lo tanto variabilidad en los años (2010 – 2013), (2010 – 2016), (2010 – 2018), (2011 – 2012), (2011 – 2013), (2011 – 2016), (2011 – 2018), (2012 – 2013), (2012 – 2016), (2012 – 2018), (2013 – 2016), (2016 – 2018) y (2017 – 2018).

En la gráfica 3, se presenta el diagrama de cajas para la temperatura del agua en la cual se observa la variabilidad a través del tiempo en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo bajo estudio.

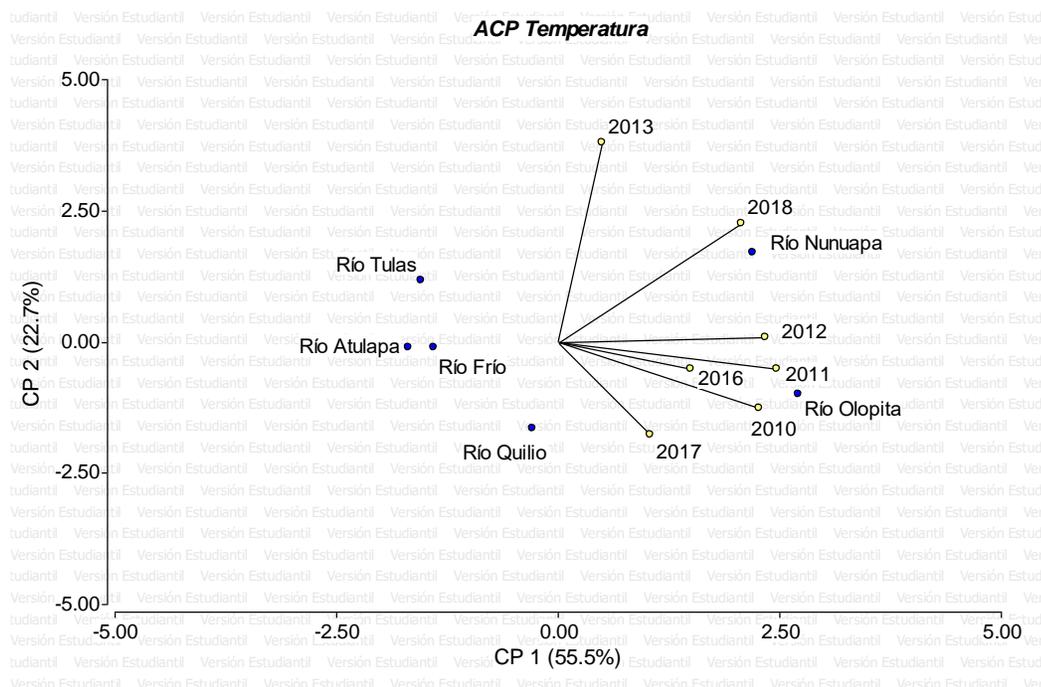
Gráfica 3. Diagrama de cajas de la temperatura del agua para el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo



La gráfica muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la temperatura del agua son: “río Jupilingo”, “río Lempa Citalá” y “río Pomola”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la temperatura del agua son: “río Quillo 2”, “río Cusmapa 1” y “río Cusmapa 2”.

En la gráfica 4, se presenta el análisis de componentes principales para la temperatura del agua en los puntos de monitoreo, en el período del 2010 al 2018.

Gráfica 4. Análisis de componentes principales para la temperatura del agua en los puntos de monitoreo, en el período del 2010 al 2018



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe variabilidad del 78.2% de los datos totales analizados. Donde los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la temperatura del agua son: “río Olopita”, “río Quilio” y “río Nunuapa” en los años 2011, 2017 y 2018 respectivamente. Así mismo, es importante indicar los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la temperatura del agua son el “río Tulas”, “río Atulapa” y “río Frío” en los años 2013 y 2016.

9.2.3 Variabilidad de la conductividad eléctrica del agua

La conductividad es una medida de la capacidad de la solución acuosa de transmitir una corriente eléctrica. Dicha capacidad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiente. Este parámetro es muy utilizado para

la determinación del contenido de sales en el agua, debido a que está estrechamente relacionado al contenido de sólidos disueltos totales y dureza (carbonatos de calcio).

La tabla 8, presenta los valores promedio de la conductividad eléctrica del agua en los puntos de monitoreo en la cuenca alta del río lempa y río Jupilingo, durante el periodo del 2010 al 2018.

Tabla 8. Valores promedio de la conductividad eléctrica del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Conductividad Eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}10$						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	37.80	42.00	52.12	52.12	57.15	50.15	59.15
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	40.75	54.48	54.48	62.20	54.75	65.20
3	Río Frío	Río Frío	41.45	38.07	59.50	59.50	65.19	71.10	69.45
4	Río Quilio	Río Quilio	26.50	26.42	38.77	38.77	35.30	56.70	43.95
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	30.67	30.67	37.73	N/D	37.10
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	30.94	30.94	48.48	N/D	43.65
7	Río Tulas	Río Tulas	23.60	23.49	34.06	34.06	39.40	44.05	46.25
8	Río Lempa Citalá	Río Lempa Citalá	69.90	65.46	94.79	94.79	114.11	N/D	128.05
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	56.60	53.35	81.39	81.39	99.35	87.95	99.10
10	Río Olopita	Río Olopita	154.30	135.92	191.04	191.04	186.28	144.65	257.50
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	22.55	185.50	192.89	192.89	276.17	N/D	380.00
12	Río Angue	Río Angue	236.00	208.38	285.86	285.86	221.89	N/D	366.50
13	Río San José	Río San José	263.00	291.09	408.15	408.15	553.20	N/D	550.85
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	98.70	84.43	119.52	119.52	110.74	N/D	151.25
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	250.00	210.16	302.67	302.67	274.08	N/D	368.17
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	223.50	166.90	320.22	320.22	355.00	N/D	449.00
17		Río Cusmapa 1	154.40	165.77	248.55	248.55	238.00	N/D	273.00
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	230.00	212.42	299.49	299.49	385.23	N/D	495.50
19		Río Ostúa 2	162.00	148.79	238.68	238.68	256.38	N/D	324.15
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	44.24	66.54	66.54	85.78	75.10	85.45

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 9, presenta el análisis estadístico univariado para la conductividad eléctrica del agua en el periodo de 2010 al 2018, donde se presenta el resumen de la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 9. Análisis estadístico univariado de la conductividad eléctrica del agua en el periodo de 2010 al 2018

Análisis Univariado Conductividad Eléctrica							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	128.14	119.06	157.52	157.52	175.08	73.06	214.66
Varianza (n-1)	8274.79	6763.00	14551.38	14551.38	20291.78	1046.31	29760.44
Mediana	126.50	110.17	107.15	107.15	112.43	63.90	139.65

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son 2018, 2016, 2013 y 2012 respectivamente; en estos años existe mayor variabilidad en los valores de conductividad eléctrica del agua para cada uno de los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 10, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para la conductividad eléctrica del agua en el periodo de 2010 al 2018.

Tabla 10. Análisis estadístico de la prueba pareada T para la conductividad eléctrica del agua en el periodo de 2010 al 2018

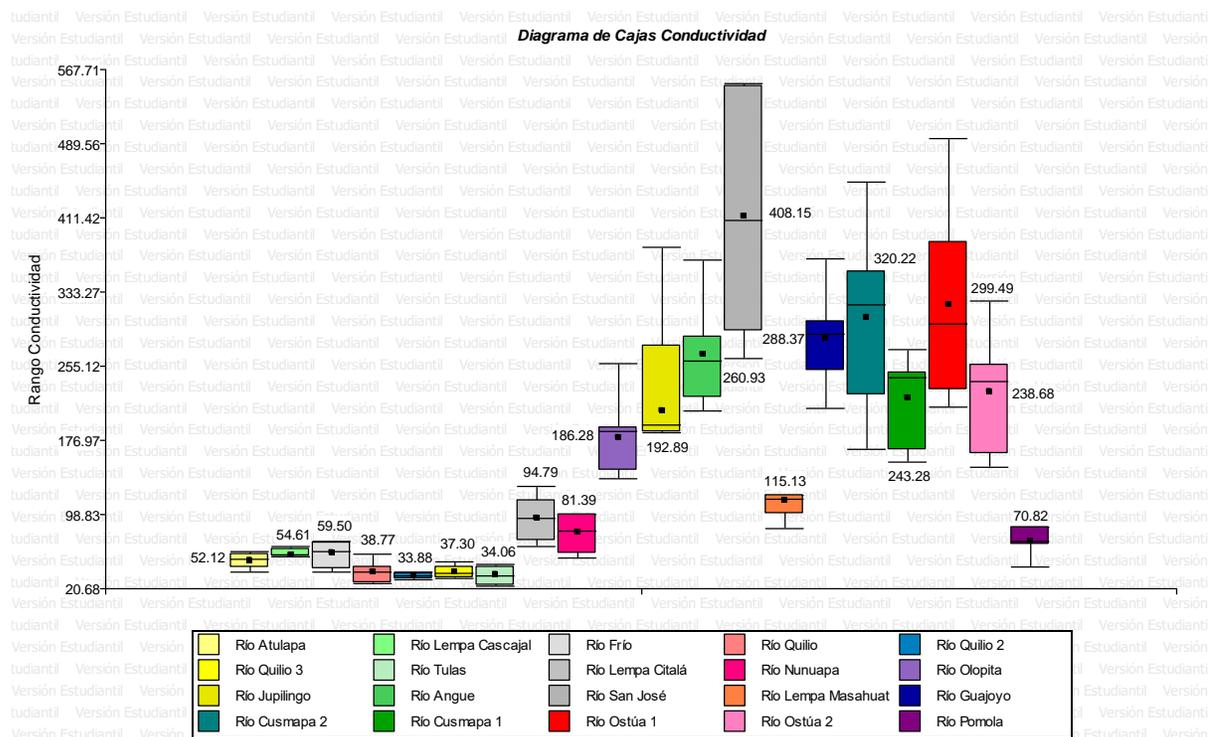
Prueba Pareada T Conductividad Eléctrica								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	-0.49	128.14	128.63	47.68	-0.04	0.9677
2010	2012	16	-57.34	128.14	185.48	48.63	-4.72	0.0003
2010	2013	16	-57.34	128.14	185.48	48.63	-4.72	0.0003
2010	2016	16	-76.07	128.14	204.22	89.53	-3.4	0.004
2010	2017	6	-19.06	56.71	75.77	15.87	-2.94	0.0322
2010	2018	16	-125.72	128.14	253.87	106.79	-4.71	0.0003
2011	2012	18	-52.53	119.06	171.59	43.45	-5.13	0.0001
2011	2013	18	-52.53	119.06	171.59	43.45	-5.13	0.0001
2011	2016	18	-70.68	119.06	189.75	70.5	-4.25	0.0005
2011	2017	8	-22.52	50.53	73.06	11.08	-5.75	0.0007
2011	2018	18	-114.96	119.06	234.03	93.62	-5.21	0.0001
2012	2013	20	0	157.52	157.52	0	sd	sd
2012	2016	20	-17.57	157.52	175.08	44.35	-1.77	0.0926
2012	2017	8	-0.82	72.24	73.06	20.08	-0.12	0.9113
2012	2018	20	-57.15	157.52	214.66	61.39	-4.16	0.0005
2013	2016	20	-17.57	157.52	175.08	44.35	-1.77	0.0926
2013	2017	8	-0.82	72.24	73.06	20.08	-0.12	0.9113
2013	2018	20	-57.15	157.52	214.66	61.39	-4.16	0.0005
2016	2017	8	5.77	78.83	73.06	18.24	0.9	0.4003
2016	2018	20	-39.58	175.08	214.66	47.64	-3.72	0.0015
2017	2018	8	-17.7	73.06	90.76	39.32	-1.27	0.2436

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de la conductividad eléctrica del agua; y por lo tanto existe variabilidad entre los años (2010 – 2012), (2010 – 2013), (2010 – 2016), (2010 – 2017), (2010 – 2018), (2011 – 2012), (2011 – 2013), (2011 – 2016), (2011 – 2017), (2011 – 2018), (2012 – 2018), (2013 – 2018) y (2016 – 2018).

En la gráfica 5, se presenta el diagrama de cajas para la conductividad eléctrica del agua en la cual se observa la variabilidad durante el periodo del 2010 al 2018 para cada punto de monitoreo.

Gráfica 5. Diagrama de cajas de la conductividad eléctrica del agua en el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo

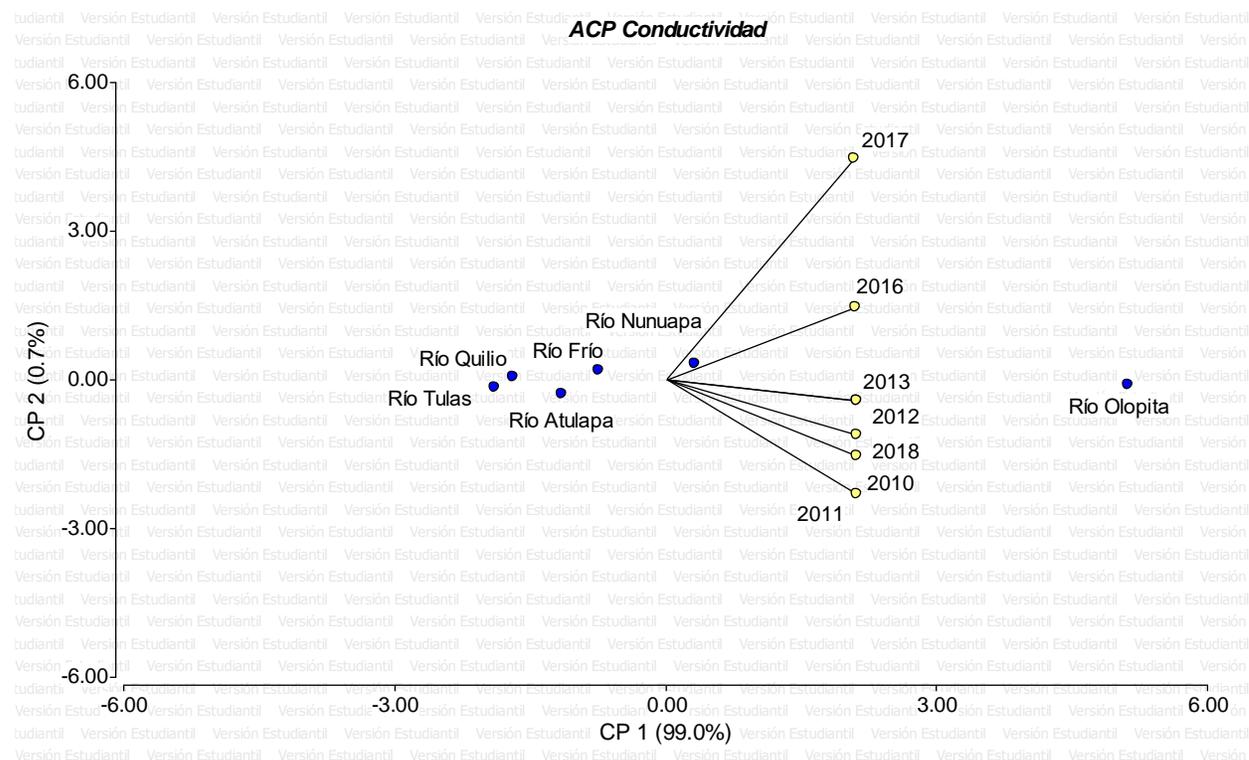


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica anterior muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la conductividad eléctrica del agua son: “río San José”, “río Ostúa 1” y “río Cusmapa 2”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la conductividad eléctrica del agua son “río Quilio 2”, “río Lempa Cascajal” y “río Quilio 3”.

En la gráfica 6, se presenta el análisis de componentes principales para la conductividad eléctrica del agua de los puntos de monitoreo, durante el período del 2010 al 2018.

Gráfica 6. Análisis de componentes principales de la conductividad eléctrica del agua para el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 99.7% de los datos totales analizados. Donde el punto de monitoreo con menor variabilidad en la conductividad eléctrica del agua es el “río Nunuapa”, en el año 2016 y los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la conductividad eléctrica del agua son: el “río Frío”, “río Atulapa”, “río Quilio”, “río Tulas” y “río Olopita.

9.2.4 Variabilidad del oxígeno disuelto del agua

Es el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, proveniente en su mayoría de la turbulencia de la corriente, y es esencial para un río, existen factores ambientales que condicionan el contenido del oxígeno (y de otros gases) en el agua, como lo son la

temperatura del medio acuático (inversamente proporcional a la disolución de oxígeno), la altura sobre el nivel del mar (siendo menor la cantidad de gases disueltos en el agua a medida que ascendemos en altura), la cantidad de sales disueltas (cuanto mayor sea la salinidad menor será la capacidad del medio acuática para disolver gases) y las características del cauce (flujos turbulentos favorecen la mezcla y disolución de gases). El oxígeno disuelto es un indicador de la contaminación, porque generalmente los niveles altos de oxígeno revelan mejor calidad del agua, ya que en ella la vida acuática se ve beneficiada (peces, plantas y microorganismos).

La tabla 11, presenta los valores promedio del oxígeno disuelto del agua en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, en el periodo del 2010 al 2018, dichos valores son el resultado de los diferentes monitoreos realizados por año.

Tabla 11. Valores promedio del oxígeno disuelto del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Oxígeno Disuelto en mg/L						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	7.84	7.80	8.28	7.13	8.08	8.34	7.23
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	7.96	8.06	7.97	8.37	8.39	6.89
3	Río Frío	Río Frío	8.20	8.50	8.33	7.96	8.42	7.99	7.40
4	Río Quilio	Río Quilio	8.10	8.44	8.34	7.54	5.31	10.30	7.22
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	7.13	7.58	7.16	N/D	6.80
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	7.79	8.09	8.34	N/D	6.76
7	Río Tulas	Río Tulas	8.19	8.31	8.12	8.02	8.18	10.75	7.29
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	8.53	8.72	8.00	9.12	8.34	N/D	8.53
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	7.98	8.27	8.09	7.44	7.94	9.47	7.24
10	Río Olopita	Río Olopita	8.11	7.40	7.62	6.02	7.64	8.84	6.18
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	7.29	5.85	4.89	8.39	8.84	N/D	8.02
12	Río Angue	Río Angue	7.40	6.94	7.21	1.97	6.56	N/D	4.04
13	Río San José	Río San José	3.25	2.57	3.10	0.22	1.94	N/D	0.94
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	8.65	8.54	8.91	8.77	9.78	N/D	8.03
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	8.56	8.67	8.48	9.67	8.33	N/D	5.69
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	10.76	10.01	9.98	9.63	10.73	N/D	8.79
17		Río Cusmapa 1	7.60	7.03	7.23	N/D	7.86	N/D	6.47
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	7.13	7.04	8.05	7.46	7.31	N/D	7.18
19		Río Ostúa 2	8.02	9.22	8.53	7.58	10.10	N/D	8.47
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	7.76	7.55	7.44	8.21	10.04	7.28

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 12, presenta el análisis estadístico univariado para el oxígeno disuelto del agua en el periodo de 2010 al 2018, donde se presenta el resumen de la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 12. Análisis estadístico univariado para el oxígeno disuelto del agua en el periodo 2010 al 2018

Análisis Univariado Oxígeno Disuelto							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	7.85	7.72	7.69	7.26	7.87	9.26	6.82
Varianza (n-1)	2.18	2.56	2.08	5.57	3.34	1.05	3.05
Mediana	8.06	8.12	8.06	7.58	8.19	9.16	7.22

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son: 2013, 2016 y 2018 respectivamente; lo que indica que existe mayor variabilidad en los valores de oxígeno disuelto del agua en los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 13, muestra el análisis estadístico de la prueba pareada T para el oxígeno disuelto del agua en el periodo 2010 al 2018.

Tabla 13. Análisis estadístico de la prueba pareada T del oxígeno disuelto del agua para el periodo de 2010 al 2018

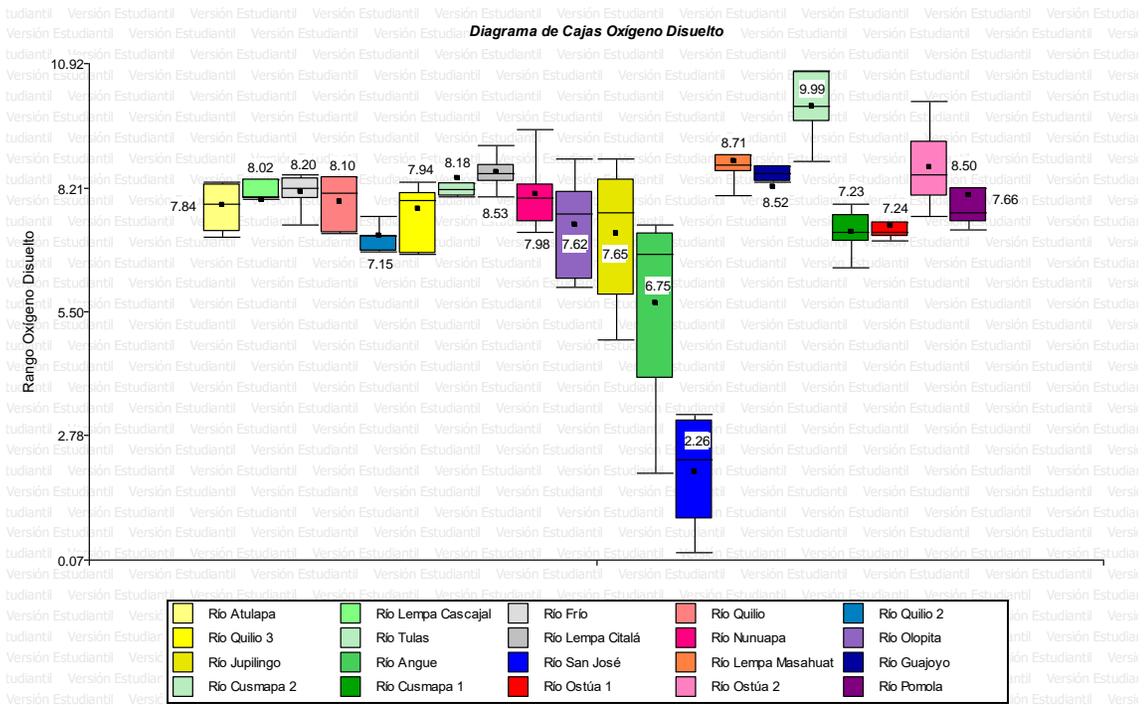
Prueba Pareada T Oxígeno Disuelto								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	0.14	7.85	7.71	0.61	0.94	0.3631
2010	2012	16	0.15	7.85	7.7	0.74	0.83	0.421
2010	2013	15	0.74	7.87	7.13	1.7	1.69	0.1141
2010	2016	16	0.02	7.85	7.83	1.12	0.06	0.9522
2010	2017	6	-1.21	8.07	9.28	1.06	-2.79	0.0383
2010	2018	16	1.06	7.85	6.79	1.16	3.65	0.0024
2011	2012	18	0.01	7.72	7.71	0.48	0.12	0.9045
2011	2013	17	0.57	7.76	7.2	1.58	1.49	0.1561
2011	2016	18	-0.16	7.72	7.88	1.17	-0.58	0.5693
2011	2017	8	-1.21	8.06	9.26	1.01	-3.37	0.0119
2011	2018	18	0.9	7.72	6.83	1.11	3.44	0.0031
2012	2013	19	0.45	7.71	7.26	1.73	1.13	0.275
2012	2016	20	-0.19	7.69	7.87	1.29	-0.64	0.5278
2012	2017	8	-1.21	8.05	9.26	1.12	-3.07	0.0181
2012	2018	20	0.86	7.69	6.82	1.27	3.05	0.0066
2013	2016	19	-0.61	7.26	7.87	1.46	-1.82	0.0854
2013	2017	8	-1.82	7.44	9.26	1.13	-4.57	0.0026
2013	2018	19	0.42	7.26	6.84	1.16	1.59	0.1298
2016	2017	8	-1.5	7.77	9.26	1.73	-2.44	0.0445
2016	2018	20	1.05	7.87	6.82	1	4.71	0.0002
2017	2018	8	2.17	9.26	7.09	1.01	6.07	0.0005

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores del oxígeno disuelto del agua y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2017), (2010 – 2018), (2011 – 2017), (2011 – 2018), (2012 – 2017), (2012 – 2018), (2013 – 2017), (2016 – 2017), (2016 – 2018) y (2017 – 2018).

En la gráfica 7, se presenta el diagrama de cajas para el oxígeno disuelto del agua, en donde se observa la variabilidad de esto en el periodo de 2010 al 2018 de los diferentes puntos de monitoreo.

Gráfica 7. Diagrama de cajas del oxígeno disuelto del agua para el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo

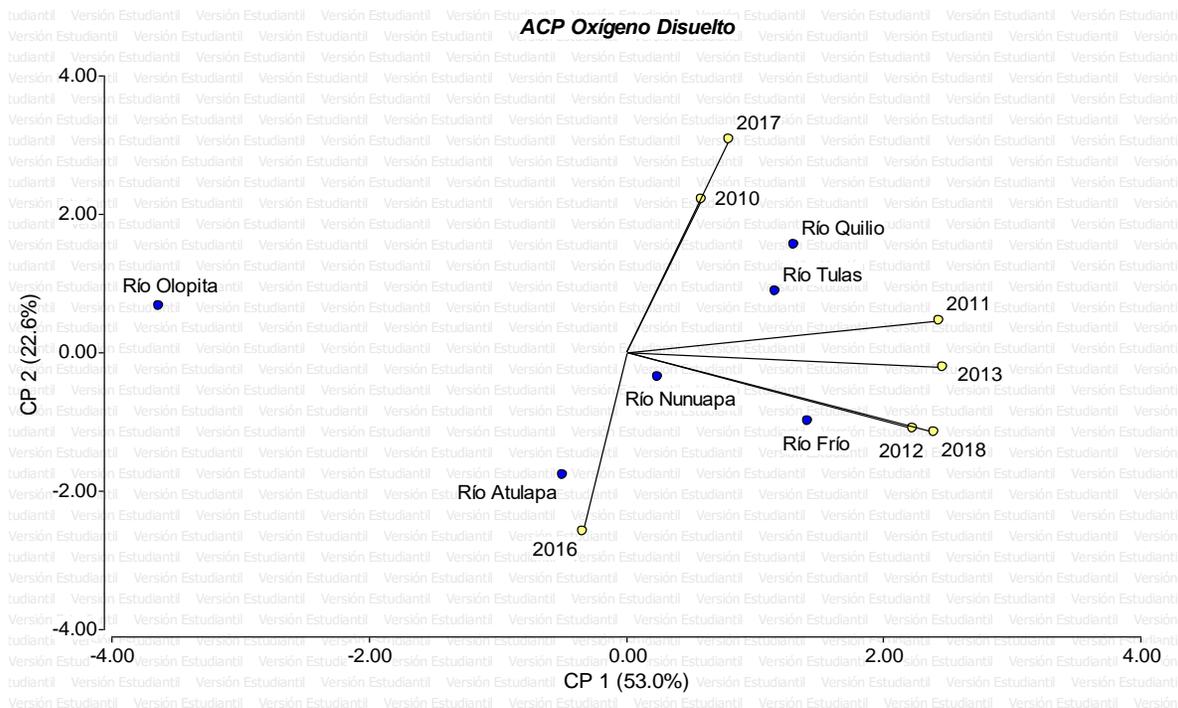


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en el oxígeno disuelto del agua son: “río Angue”, “río Jupilingo” y “río San José”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en el oxígeno disuelto del agua son: “río Tulas”, “río Ostúa 1” y “río Guajoyo”.

En la gráfica 8, se presenta el análisis de componentes principales para el oxígeno disuelto en el agua de los puntos de monitoreo entre los años 2010 y 2018.

Gráfica 8. Análisis de componentes principales del oxígeno disuelto del agua para el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 75.6% de los datos totales analizados. Los puntos de monitoreo que tienen menor variabilidad en el oxígeno disuelto del agua son: “río Quilito”, “río Tulas”, “río Nunuapa”, “río Frío” y “río Atulapa”, el punto de monitoreo con mayor variabilidad de oxígeno disuelto del agua fue el “río Olopita” en el 2016.

9.2.5 Variabilidad de la turbidez del agua

La turbidez es una medida no específica de la cantidad de partículas en el agua (arcilla, arena, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, microorganismos, etc.), se mide detectando la cantidad de luz dispersa por las partículas de una muestra, relacionada con la cantidad dispersa por una solución o suspensión de referencia. El agua con mucha turbidez indica la presencia de más sólidos en suspensión, que evita el paso de los rayos ultravioleta del sol para la descomposición adecuada de la materia orgánica en los

cauces, reduciendo el oxígeno disuelto y, en casos extremos provoca la pérdida de la vida acuática.

La tabla 14, presenta los valores promedio de la turbidez del agua en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo del 2010 al 2018, dichos valores son el resultado de los diferentes monitoreos realizados en cada año.

Tabla 14. Valores promedio de la turbidez del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Turbidez en FAU						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	6.65	12.17	10.53	2.01	4.70	4.22	2.03
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	6.83	11.33	2.16	6.24	4.92	3.30
3	Río Frío	Río Frío	7.85	6.37	6.57	3.44	6.45	4.50	4.60
4	Río Quilio	Río Quilio	11.50	24.17	42.03	5.60	6.15	13.00	6.60
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	11.17	10.20	6.20	N/D	11.55
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	15.67	9.30	24.75	N/D	9.81
7	Río Tulas	Río Tulas	11.25	13.04	13.33	9.20	22.59	7.30	6.89
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	57.71	22.97	33.20	36.10	41.93	N/D	10.52
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	8.82	13.73	22.03	1.60	5.82	1.00	1.42
10	Río Olopita	Río Olopita	14.70	18.53	11.47	3.00	37.72	8.00	9.75
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	50.08	17.07	308.83	4.80	227.67	N/D	25.20
12	Río Angue	Río Angue	3.70	21.03	20.20	3.43	243.10	N/D	4.97
13	Río San José	Río San José	5.47	21.00	11.67	68.20	69.35	N/D	5.41
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	8.90	37.13	64.10	14.50	350.55	N/D	2.35
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	4.48	116.63	84.63	2.70	53.28	N/D	3.72
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	2.76	15.60	8.40	2.70	23.00	N/D	1.20
17		Río Cusmapa 1	3.40	10.30	9.87	N/D	5.00	N/D	2.80
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	31.80	75.37	87.13	9.40	49.65	N/D	2.23
19		Río Ostúa 2	9.58	76.57	79.60	7.80	41.57	N/D	6.59
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	23.83	20.52	9.20	11.97	8.60	12.55

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 15, presenta el análisis estadístico univariado para la turbidez del agua en el periodo de 2010 al 2018, donde se presenta el resumen de los resultados de acuerdo a la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 15. Análisis estadístico univariado de la turbidez del agua para el periodo 2010 al 2018

Análisis Univariado Turbidez							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	14.92	29.57	43.61	10.81	61.88	6.44	6.67
Varianza (n-1)	280.16	877.79	4630.70	253.74	9172.46	13.07	31.44
Mediana	8.86	19.76	17.94	5.60	23.88	6.11	5.19

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son 2016, 2012 y 2011 respectivamente; esto indica que existe mayor variabilidad en los valores de turbidez del agua en los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 16, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para la turbidez del agua en el periodo de 2010 al 2018.

Tabla 16. Análisis estadístico de la prueba pareada T para la turbidez del agua en el periodo 2010 al 2018

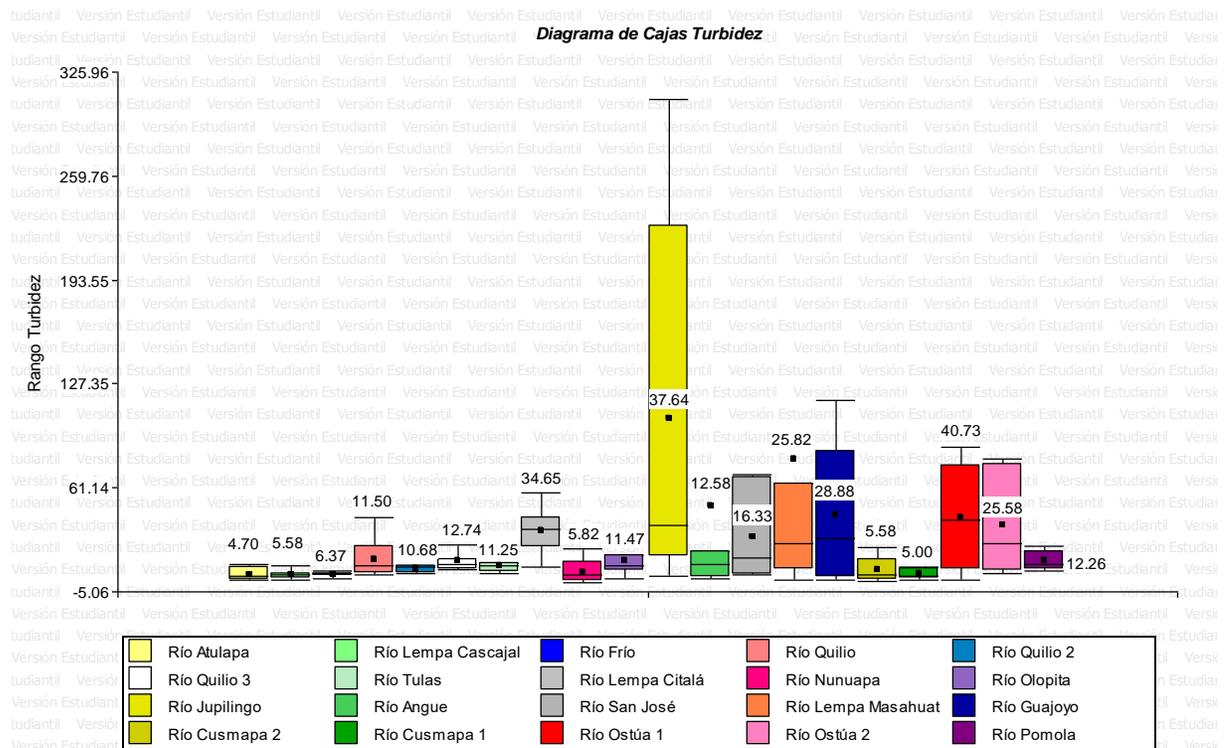
Prueba Pareada T Turbidez								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	-16.44	14.92	31.35	35.33	-1.86	0.0824
2010	2012	16	-35.93	14.92	50.85	66.26	-2.17	0.0465
2010	2013	15	4.05	15.68	11.63	22.38	0.7	0.4948
2010	2016	16	-59.37	14.92	74.28	102.75	-2.31	0.0354
2010	2017	6	3.79	10.13	6.34	3.31	2.81	0.0377
2010	2018	16	8.9	14.92	6.02	13.33	2.67	0.0174
2011	2012	18	-17.4	29.57	46.97	69.58	-1.06	0.3036
2011	2013	17	19.78	30.71	10.93	35.4	2.3	0.035
2011	2016	18	-37.47	29.57	67.04	101.85	-1.56	0.137
2011	2017	8	8.39	14.83	6.44	4.92	4.82	0.0019
2011	2018	18	23.35	29.57	6.23	30.87	3.21	0.0052
2012	2013	19	34.58	45.39	10.81	72.94	2.07	0.0535
2012	2016	20	-18.27	43.61	61.88	86.36	-0.95	0.356
2012	2017	8	10.79	17.23	6.44	9.49	3.21	0.0148
2012	2018	20	36.94	43.61	6.67	64.44	2.56	0.019
2013	2016	19	-54.07	10.81	64.88	97.74	-2.41	0.0268
2013	2017	8	-1.92	4.53	6.44	3.12	-1.73	0.1265
2013	2018	19	3.93	10.81	6.88	16.66	1.03	0.3173
2016	2017	8	6.26	12.7	6.44	11.28	1.57	0.1603
2016	2018	20	55.21	61.88	6.67	94.81	2.6	0.0174
2017	2018	8	0.55	6.44	5.89	3.05	0.51	0.6245

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas en los valores de turbidez del agua y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2012), (2010 – 2016), (2010 – 2017), (2010 – 2018), (2011 – 2013), (2011 – 2017), (2011 – 2018), (2012 – 2017), (2012 – 2018), (2013 – 2016) y (2016 – 2018).

En la gráfica 9, se presenta el diagrama de cajas para la turbidez del agua donde se observa la variabilidad en el periodo de 2010 al 2018 para los puntos de monitoreo.

Gráfica 9. Diagrama de cajas de la turbidez del agua para el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo

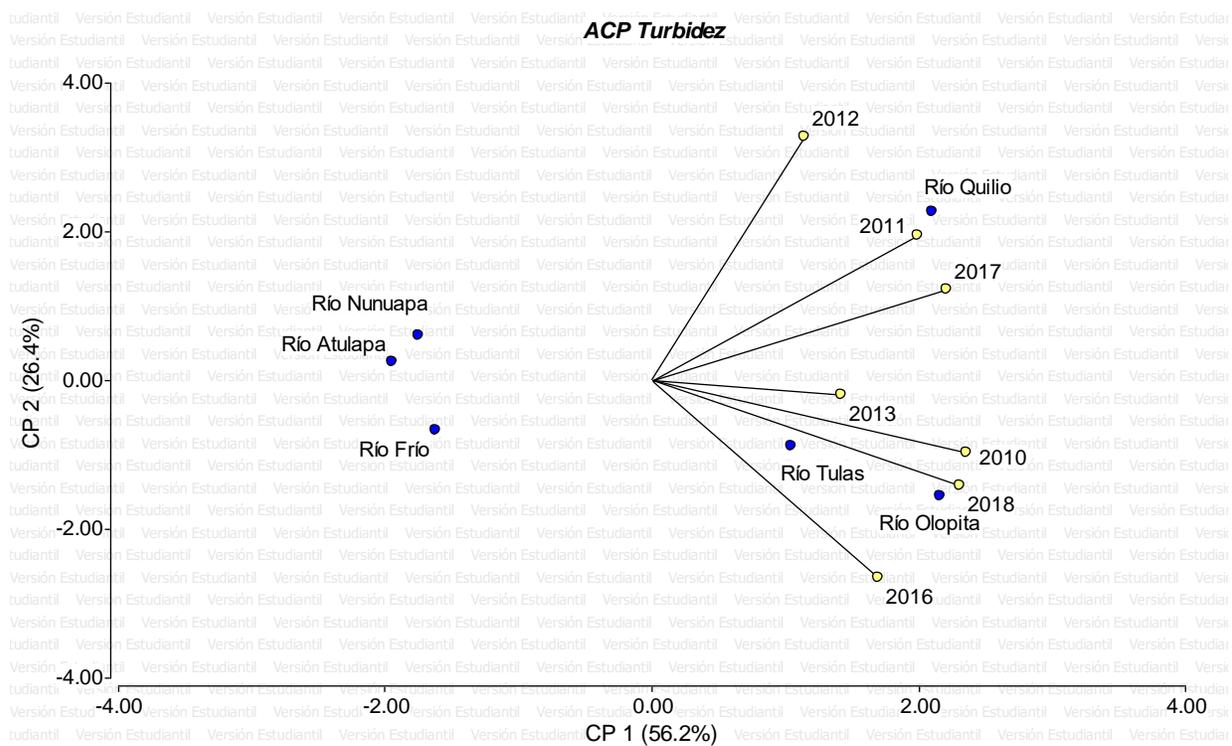


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la turbidez del agua son: “río Jupilingo”, “río Guajoyo” y “río Ostúa 2”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la turbidez del agua son: “río Lempa Cascajal”, “río Frío” y “río Quilio 2”.

En la gráfica 10, se presenta el análisis de componentes principales de la turbidez del agua durante el período 2010 al 2018.

Gráfica 10. Análisis de componentes principales de la turbidez del agua para el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 82.6% de los datos totales analizados. Los puntos de monitoreo que tienen menor variabilidad en la turbidez del agua son: “río Quillio”, “río Tulas” y “río Olopita” en los años 2011, 2013 y 2018 respectivamente y los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la turbidez del agua son: el “río Frío”, “río Atulapa” y “río Nunuapa” en el 2012 y 2016.

9.2.6 Variabilidad en los sólidos disueltos totales del agua

Los sólidos disueltos totales son partículas en disolución presentes en el agua; comúnmente son sales minerales que se disuelven en el agua, y están directamente relacionados con la conductividad, es decir, cuando la concentración de sólidos disueltos es alta, también lo es la conductividad eléctrica. También, la temperatura influye

directamente en la disponibilidad de los minerales disueltos, ya que a mayor temperatura que posea el medio acuático, mayor será la concentración de minerales en disolución (mayor conductividad).

La tabla 17, presenta los valores promedio de los sólidos disueltos totales del agua en los puntos de monitoreo de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo de 2010 al 2018.

Tabla 17. Valores promedio de los sólidos disueltos del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Sólidos Disueltos Totales en mg/L						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	24.19	93.62	33.36	43.97	34.73	21.26	27.80
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	90.56	34.69	44.80	37.55	34.25	29.00
3	Río Frío	Río Frío	26.88	93.63	38.08	53.18	39.57	31.50	31.20
4	Río Quilio	Río Quilio	17.21	117.30	24.81	24.00	21.17	27.40	20.58
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	19.63	24.96	22.61	N/D	21.38
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	19.81	37.76	29.21	N/D	21.08
7	Río Tulas	Río Tulas	15.49	103.56	21.79	28.54	23.98	22.90	24.75
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	45.44	129.62	60.66	83.20	69.94	N/D	51.85
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	35.84	119.33	52.09	69.06	60.42	45.10	43.35
10	Río Olopita	Río Olopita	98.37	186.62	122.27	159.36	110.78	86.40	97.60
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	140.80	116.80	123.45	206.08	167.48	N/D	160.95
12	Río Angue	Río Angue	147.20	195.41	182.95	246.40	132.59	N/D	156.95
13	Río San José	Río San José	163.20	233.49	261.26	570.24	326.94	N/D	237.70
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	62.34	129.58	76.49	97.54	66.33	N/D	62.05
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	155.52	228.27	193.71	98.00	162.27	N/D	155.25
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	138.37	227.52	204.94	268.80	223.87	N/D	198.40
17		Río Cusmapa 1	96.71	201.40	159.14	N/D	152.32	N/D	125.90
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	143.36	456.11	160.44	282.88	228.07	N/D	197.65
19		Río Ostúa 2	101.50	331.33	152.75	179.20	151.62	N/D	124.80
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	122.47	42.59	63.37	52.16	36.05	34.60

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 18, presenta el análisis estadístico univariado para los sólidos disueltos totales del agua en el periodo 2010 al 2018, donde se presenta el resumen de la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 18. Análisis estadístico univariado para los sólidos disueltos del agua en el periodo 2010 al 2018

Análisis Univariado Sólidos Disueltos Totales							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	88.28	176.48	99.24	135.86	105.68	38.11	91.14
Varianza (n-1)	3049.30	9168.18	5712.61	18470.61	7279.44	439.08	5185.53
Mediana	97.54	129.60	68.58	83.20	68.14	32.88	56.95

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años de mayor varianza son: 2013, 2011 y 2016 en dichos años se presentó mayor variabilidad en los valores de los sólidos disueltos totales del agua en los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 19, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para los sólidos disueltos del agua en el periodo de 2010 al 2018.

Tabla 19. Análisis estadístico de la prueba pareada T para los sólidos disueltos del agua del periodo 2010 al 2018

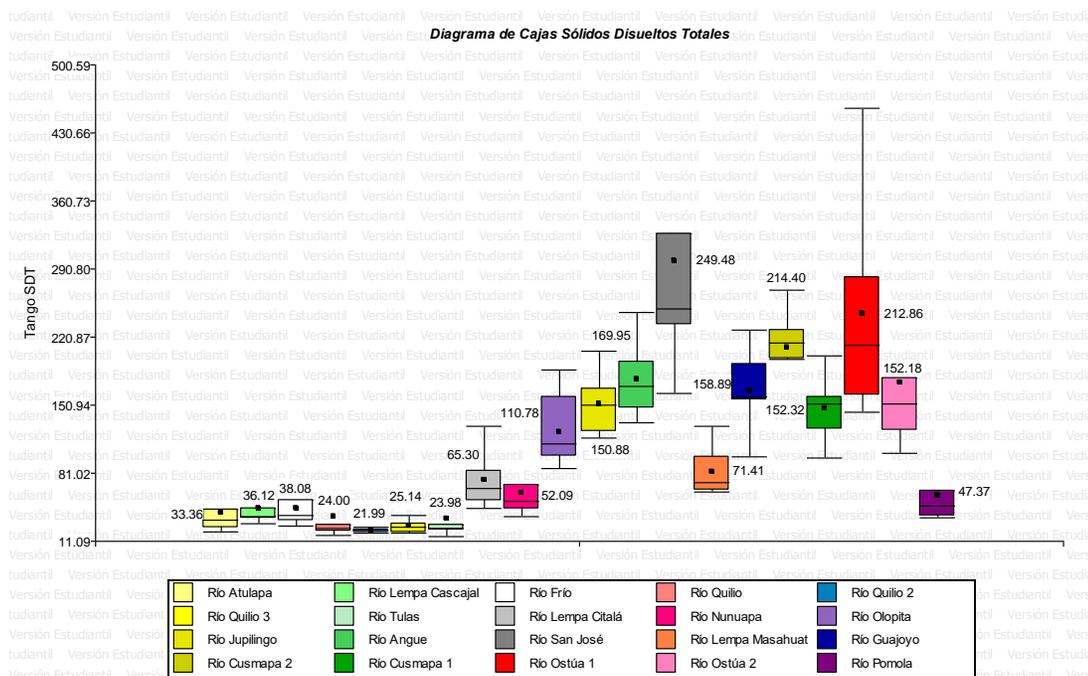
Prueba Pareada T Sólidos Disueltos Totales								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	-96.95	88.28	185.22	75.59	-5.13	0.0001
2010	2012	16	-28.49	88.28	116.76	28.86	-3.95	0.0013
2010	2013	15	-72.98	87.71	160.7	105.05	-2.69	0.0176
2010	2016	16	-34.98	88.28	123.25	44.74	-3.13	0.0069
2010	2017	6	-2.76	36.33	39.09	8.62	-0.78	0.4681
2010	2018	16	-19.02	88.28	107.3	23.71	-3.21	0.0059
2011	2012	18	68.4	176.48	108.08	71.64	4.05	0.0008
2011	2013	17	26.86	175.01	148.15	115.65	0.96	0.3525
2011	2016	18	61.94	176.48	114.54	70.2	3.74	0.0016
2011	2017	8	77.78	115.89	38.11	14.55	15.12	<0.0001
2011	2018	18	77.57	176.48	98.91	66.9	4.92	0.0001
2012	2013	19	-39.77	96.09	135.86	77.85	-2.23	0.039
2012	2016	20	-6.43	99.24	105.68	27.66	-1.04	0.3113
2012	2017	8	8.1	46.21	38.11	12.25	1.87	0.1037
2012	2018	20	8.1	99.24	91.14	19.59	1.85	0.08
2013	2016	19	32.64	135.86	103.22	61.22	2.32	0.032
2013	2017	8	22.68	60.78	38.11	22.9	2.8	0.0265
2013	2018	19	46.55	135.86	89.31	77.02	2.63	0.0168
2016	2017	8	9.44	47.54	38.11	9.81	2.72	0.0297
2016	2018	20	14.54	105.68	91.14	21.51	3.02	0.007
2017	2018	8	-0.5	38.11	38.61	5.96	-0.24	0.8187

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas en los valores de sólidos disueltos totales del agua y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2011), (2010 – 2012), (2010 – 2013), (2010 – 2016), (2010 – 2018), (2011 – 2012), (2011 – 2016), (2011 – 2017), (2011 – 2018), (2012 – 2013), (2013 – 2016), (2013 – 2017), (2013 – 2018), (2016 – 2017) y (2016 – 2018).

En la gráfica 11, se presenta el diagrama de cajas para los sólidos disueltos totales del agua, donde se observa la variabilidad en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo.

Gráfica 11. Diagrama de cajas de los sólidos disueltos totales del agua para el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo

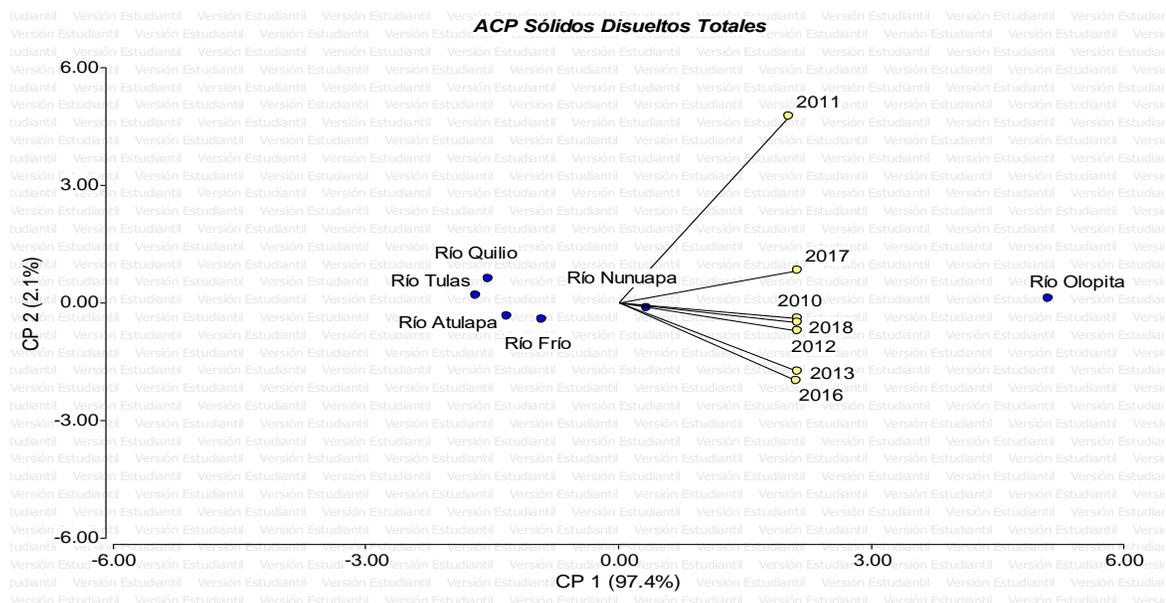


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica anterior muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad de los sólidos disueltos totales del agua son: “río Ostúa 1”, “río San José” y “río Olopita”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en los sólidos disueltos totales del agua son: “río Quilío 2”, “río Quilío” y “río Tulas”.

En la gráfica 12, se presenta el análisis de componentes principales para los sólidos disueltos del agua de los puntos de monitoreo.

Gráfica 12. Análisis de componentes principales para los sólidos disueltos del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 99.5% de los datos totales analizados. El punto de monitoreo con menor variabilidad en los sólidos disueltos totales del agua es el “río Nunuapa” en el año 2010. Y los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en los sólidos disueltos totales del agua son: el “río Frio”, “río Atulapa”, “río Quilio”, “río Tulas” y “río Olopita” en el período de 2010 al 2018.

9.2.7 Variabilidad de la dureza del agua

Se le denomina dureza del agua, a la concentración de compuestos minerales que existe en una cantidad de agua, especialmente sales de magnesio y calcio, aunque los iones de otros metales como aluminio, hierro, magnesio, estroncio y zinc pueden contribuir si están presentes en altas concentraciones.

El agua es catalogada como “dura” cuando tiene una alta concentración de dichas sales, mientras que el agua “blanda” la contiene en poca cantidad. La presencia de sales de magnesio y calcio en el agua depende de las formaciones geológicas atravesadas por el agua de forma previa a su captación.

Los suelos de la región Trifinio se caracterizan por su riqueza en sales minerales, entre los que destacan el sodio, calcio, magnesio y potasio, gracias a los procesos geológicos naturales que ha sufrido la corteza terrestre. Por esta razón, el agua de los afluentes de la cuenca alta del río Lempa presenta concentraciones que clasifican el agua como “semi dura” a “dura”.

La tabla 20, presenta los valores promedio de la dureza del agua en los puntos de monitoreo en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo del año 2010 al 2018, dichos valores son el resultado de los monitoreos realizados por año es este periodo.

Tabla 20. Valores promedio de la dureza del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Dureza en mg/L						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	21.93	28.50	21.33	21.00	40.00	46.50	32.50
2	Río Lempa	Río Lempa	N/D	22.91	33.33	20.00	27.50	40.00	17.57
3	Río Frio	Río Frio	17.85	19.85	22.67	24.00	23.75	25.00	30.00
4	Río Quilio	Río Quilio	15.30	19.47	20.67	10.00	42.50	20.00	15.00
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	17.67	10.00	40.00	N/D	17.50
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	16.00	11.00	15.00	N/D	15.00
7	Río Tulas	Río Tulas	17.31	14.62	19.33	10.00	22.50	30.00	20.00
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	38.76	38.25	39.67	32.00	52.50	N/D	40.00
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	29.07	28.57	25.67	30.00	63.75	45.00	35.00
10	Río Olopita	Río Olopita	100.98	88.96	82.83	92.00	103.75	97.50	42.45
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	157.59	81.32	96.33	137.00	142.50	N/D	177.50
12	Río Angue	Río Angue	146.37	134.23	133.33	161.00	130.00	N/D	157.50
13	Río San José	Río San José	156.57	138.91	153.00	150.00	157.50	N/D	137.50
14	Río Lempa	Río Lempa	61.20	123.86	91.33	52.00	70.00	N/D	62.50
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	153.51	142.76	143.33	108.00	162.50	N/D	145.00
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	128.01	107.44	130.00	127.00	151.67	N/D	115.00
17		Río Cusmapa 1	92.82	81.97	103.67	N/D	121.00	N/D	180.00
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	123.93	109.22	75.33	125.00	153.75	N/D	137.50
19		Río Ostúa 2	93.84	77.65	38.33	86.00	133.75	N/D	97.50
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	31.86	31.83	23.00	43.75	35.00	22.50

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 21, presenta el análisis estadístico univariado para la dureza del agua en el periodo 2010 al 2018 indicando el resumen de la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 21. Análisis estadístico univariado de la dureza del agua para el periodo 2010 al 2018

Análisis Univariado Dureza							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	84.69	71.69	64.78	64.68	84.88	42.38	74.88
Varianza (n-1)	3091.31	2170.73	2303.30	2998.12	2891.75	582.63	3716.51
Mediana	93.33	79.48	39.00	32.00	66.88	37.50	41.23

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza en la dureza del agua son: 2018, 2010 y 2013, en estos años se presentó mayor variabilidad de la dureza del agua en los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 22, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para la dureza del agua en el periodo 2010 al 2018.

Tabla 22. Análisis estadístico de la prueba pareada T de la dureza del agua para el periodo de 2010 al 2018

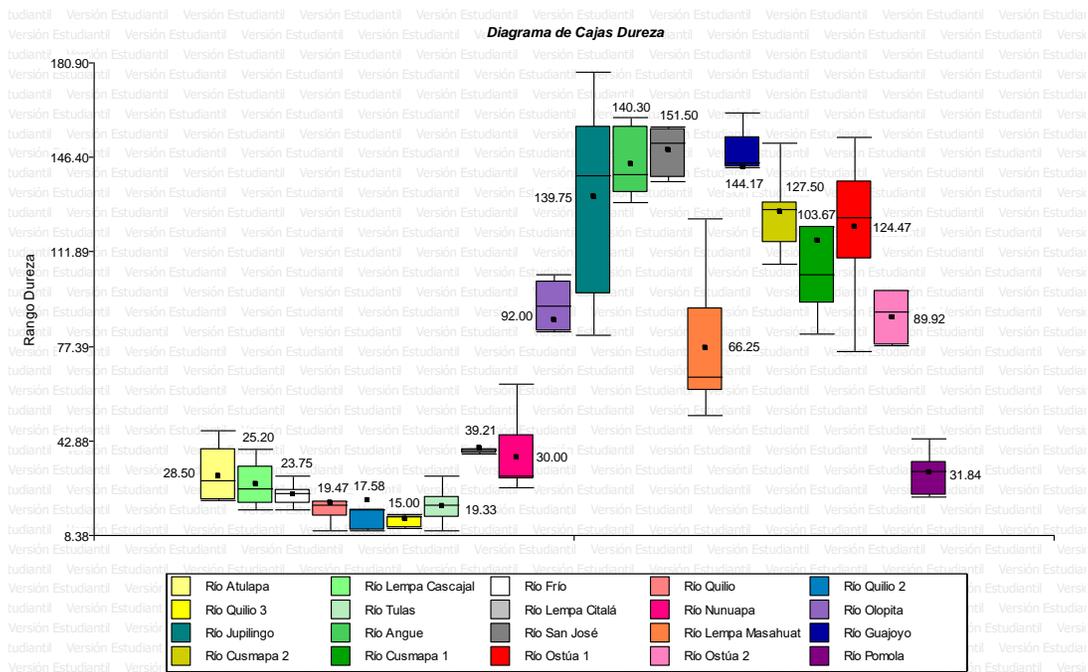
Prueba Pareada T Dureza								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	7.47	84.69	77.22	26.66	1.12	0.2803
2010	2012	16	9.89	84.69	74.8	24.96	1.58	0.1339
2010	2013	15	6.48	84.15	77.67	13.41	1.87	0.0823
2010	2016	16	-13.52	84.69	98.21	16.52	-3.28	0.0051
2010	2017	6	-10.26	33.74	44	9.72	-2.59	0.0491
2010	2018	16	-4.37	84.69	89.06	28.69	-0.61	0.5516
2011	2012	18	1.57	71.69	70.11	17.74	0.38	0.7111
2011	2013	17	0.02	71.08	71.06	26.62	0.0034	0.9973
2011	2016	18	-19.57	71.69	91.26	26.2	-3.17	0.0056
2011	2017	8	-10.53	31.84	42.38	7.02	-4.25	0.0038
2011	2018	18	-9.7	71.69	81.39	38.52	-1.07	0.3001
2012	2013	19	-1.95	62.74	64.68	24.27	-0.35	0.7306
2012	2016	20	-20.1	64.78	84.88	27.62	-3.25	0.0042
2012	2017	8	-10.17	32.21	42.38	9.02	-3.19	0.0153
2012	2018	20	-10.09	64.78	74.88	33.94	-1.33	0.1994
2013	2016	19	-18.3	64.68	82.98	18.81	-4.24	0.0005
2013	2017	8	-13.63	28.75	42.38	8.15	-4.73	0.0021
2013	2018	19	-4.66	64.68	69.34	18.6	-1.09	0.2892
2016	2017	8	3.56	45.94	42.38	12.7	0.79	0.4534
2016	2018	20	10.01	84.88	74.88	26.95	1.66	0.1132
2017	2018	8	15.5	42.38	26.88	17.79	2.46	0.0432

Fuente: *Elaboración propia, 2020*

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de dureza del agua y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2016), (2010 – 2017), (2011 – 2016), (2011 – 2017), (2012 – 2016), (2012 – 2017), (2013 – 2016), (2016 – 2017) y (2017 – 2018).

En la gráfica 13, se presenta el diagrama de cajas de la dureza del agua donde se observa la variabilidad en el periodo 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo.

Gráfica 13. Diagrama de cajas de la dureza del agua para el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo

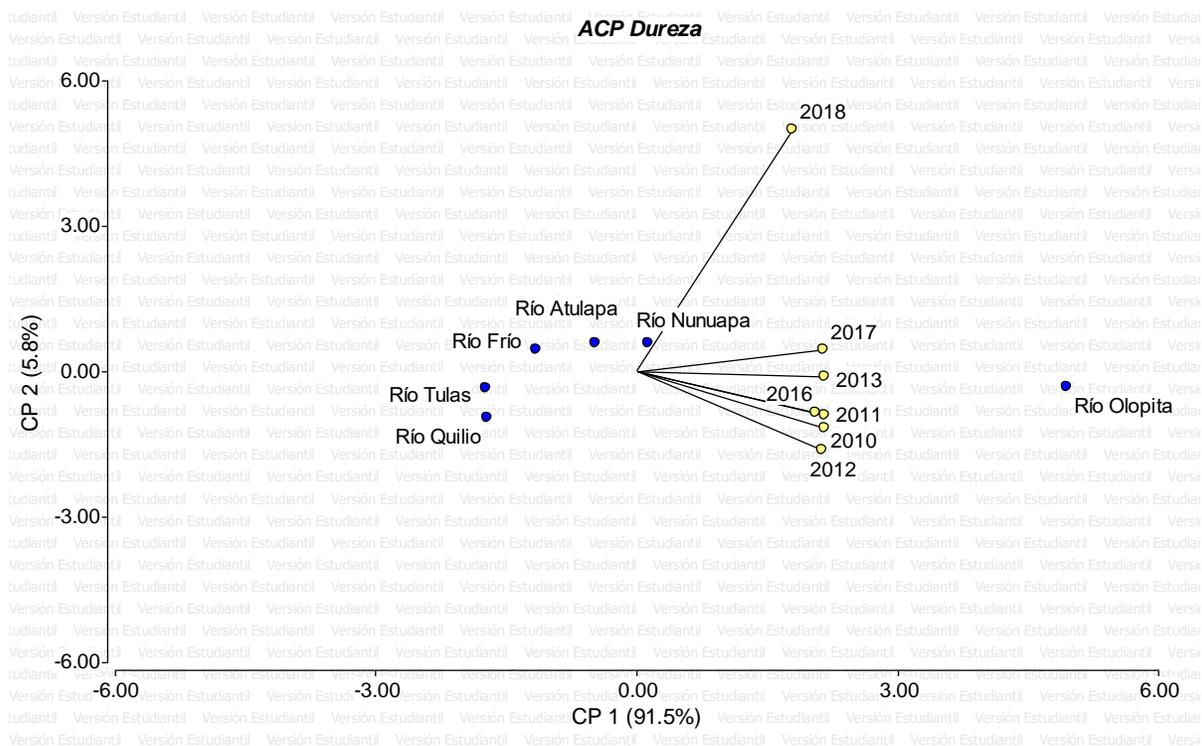


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica anterior muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la dureza del agua son: “río Jupilingo”, “río Lempa Masahuat” y “río Cusmapa 1”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la dureza del agua son: “río Quilío”, “río Frío” y “río Quilío 3”.

En la gráfica 14, se presenta el análisis de componentes principales de la dureza del agua en los puntos de monitoreo establecidos en el río Lempa y el río Jupilingo en el período 2010 al 2018.

Gráfica 14. Análisis de componentes principales de la dureza del agua para el periodo 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 97.3% de los datos totales analizados. El punto de monitoreo con menor variabilidad en la dureza del agua es el “río Nunuapa”, para el año 2017. Los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la dureza del agua son: “río Atulapa”, “río Frio”, “río Tulas”, “río Quilio” y “río Olopita” durante el período de estudio.

9.2.8 Variabilidad en la concentración de bacterias coliformes fecales del agua

Las coliformes fecales son un subconjunto del grupo de coliformes totales que se encuentran en los intestinos humanos y animales de sangre caliente; es indicador estrictamente relacionado a la contaminación de los ríos por descargas de aguas negras o residuales.

La tabla 23, presenta los valores promedio de las coliformes fecales en el agua en los puntos de monitoreo de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo

2010 al 2018, dichos valores son el resultado de los diferentes monitoreos realizados en este periodo.

Tabla 23. Valores promedio de las bacterias coliformes fecales del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Coliformes Fecales en NMP/100mL						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	2400.00	1680.00	936.67	2400.00	2400.00	1430.00	2400.00
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	1650.00	1533.33	2400.00	2400.00	1320.00	2400.00
3	Río Frío	Río Frío	2400.00	1650.00	741.00	460.00	2400.00	2400.00	2400.00
4	Río Quilio	Río Quilio	2400.00	894.33	209.33	1100.00	2400.00	2400.00	2400.00
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	313.33	2400.00	2400.00	N/D	2400.00
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	486.67	75.00	2400.00	N/D	2400.00
7	Río Tulas	Río Tulas	2400.00	879.33	119.33	75.00	2400.00	2400.00	2400.00
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	2400.00	1650.00	2400.00	1100.00	2400.00	N/D	2400.00
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	2400.00	960.33	125.33	2400.00	2400.00	2400.00	2400.00
10	Río Olopita	Río Olopita	2400.00	2400.00	376.67	2400.00	2400.00	1430.00	2400.00
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	2400.00	825.00	1600.00	1100.00	2400.00	N/D	2400.00
12	Río Angue	Río Angue	2400.00	313.33	966.67	240.00	2400.00	N/D	2400.00
13	Río San José	Río San José	2400.00	2400.00	2400.00	2400.00	2400.00	N/D	2400.00
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	2400.00	217.67	885.00	43.00	2400.00	N/D	2400.00
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	2400.00	1680.00	1003.33	440.00	2400.00	N/D	2400.00
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	2400.00	1033.33	905.00	460.00	2400.00	N/D	2400.00
17		Río Cusmapa 1	2400.00	911.00	911.00	N/D	2400.00	N/D	2400.00
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	2400.00	911.00	1966.67	1100.00	2400.00	N/D	2400.00
19		Río Ostúa 2	2400.00	2400.00	2400.00	2400.00	2400.00	N/D	2400.00
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	142.00	516.67	2400.00	2075.00	2400.00	2400.00

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

De acuerdo a los resultados, el agua de los ríos está contaminada tanto de coliformes totales, fecales y E. Coli, ya que los valores son superiores a los establecidos por la normativa del agua para consumo humano, lo cual indica que los ríos de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo son contaminados por heces fecales humanas o animales de sangre caliente y no es apta para consumo humano sin tratamiento.

La tabla 24, presenta el análisis estadístico univariado para las coliformes fecales del agua en el periodo 2010 al 2018, presentando el resumen de los resultados de la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 24. Análisis estadístico univariado para las bacterias coliformes fecales del agua en el periodo de 2010 al 2018

Análisis Univariado Coliformes Fecales							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	2400.00	1255.41	1039.80	1336.47	2383.75	2022.50	2400.00
Varianza (n-1)	0.00	517217.94	581712.66	981690.15	5281.25	272592.86	0.00
Mediana	2400.00	996.83	908.00	1100.00	2400.00	2400.00	2400.00

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son: 2013, 2012 y 2011 indicando que existe mayor variabilidad en los valores de las coliformes fecales del agua para los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 25, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para las bacterias coliformes fecales en el agua, en el periodo 2010 al 2018.

Tabla 25. Análisis estadístico de la prueba pareada T para las bacterias coliformes fecales del agua en el periodo de 2010 al 2018

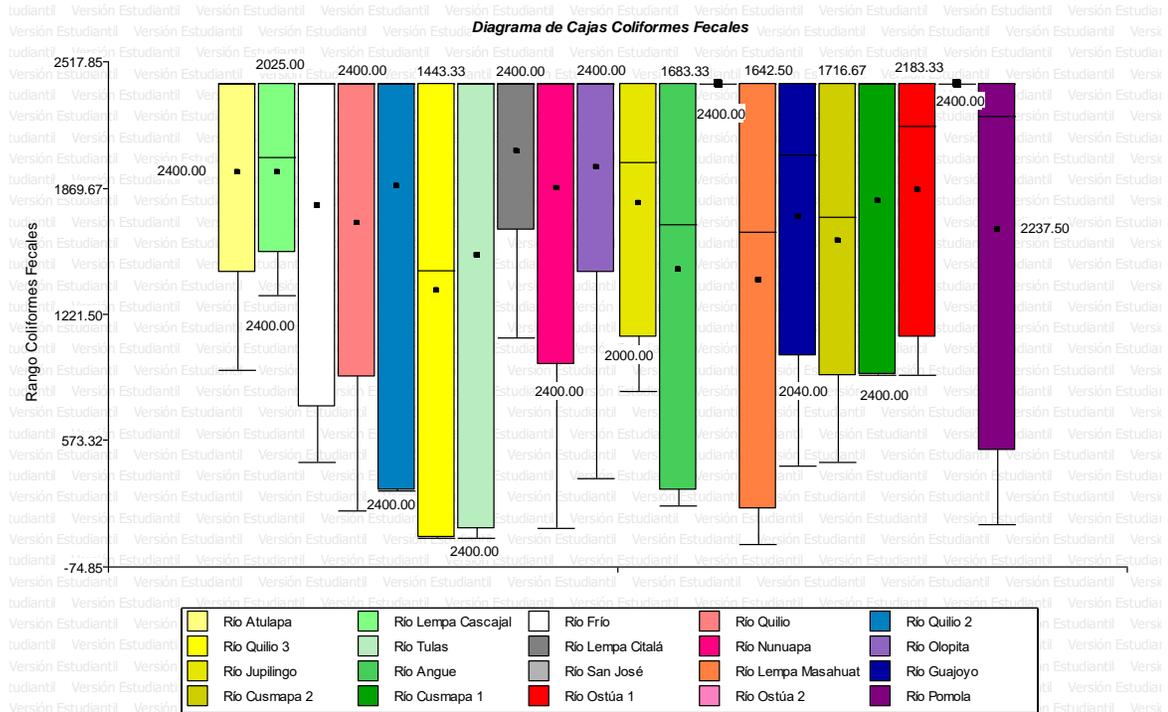
Prueba Pareada T Coliformes Fecales								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	1099.67	2400	1300.33	700.72	6.28	<0.0001
2010	2012	16	1278.38	2400	1121.63	799.77	6.39	<0.0001
2010	2013	15	1192.13	2400	1207.87	942.56	4.9	0.0002
2010	2016	16	0	2400	2400	0	sd	sd
2010	2017	6	323.33	2400	2076.67	500.91	1.58	0.1747
2010	2018	16	0	2400	2400	0	sd	sd
2011	2012	18	144.52	1255.41	1110.89	790.34	0.78	0.4485
2011	2013	17	-72.45	1275.67	1348.12	886.86	-0.34	0.7406
2011	2016	18	-1126.54	1255.41	2381.94	693.19	-6.89	<0.0001
2011	2017	8	-740.5	1282	2022.5	1136.33	-1.84	0.1078
2011	2018	18	-1144.59	1255.41	2400	719.18	-6.75	<0.0001
2012	2013	19	-289.89	1046.58	1336.47	1153.55	-1.1	0.2878
2012	2016	20	-1343.95	1039.8	2383.75	754.39	-7.97	<0.0001
2012	2017	8	-1452.71	569.79	2022.5	924.99	-4.44	0.003
2012	2018	20	-1360.2	1039.8	2400	762.7	-7.98	<0.0001
2013	2016	19	-1046.42	1336.47	2382.89	1012.75	-4.5	0.0003
2013	2017	8	-318.13	1704.38	2022.5	1367.89	-0.66	0.5317
2013	2018	19	-1063.53	1336.47	2400	990.8	-4.68	0.0002
2016	2017	8	336.88	2359.38	2022.5	566.44	1.68	0.1364
2016	2018	20	-16.25	2383.75	2400	72.67	-1	0.3299
2017	2018	8	-377.5	2022.5	2400	522.1	-2.05	0.0801

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de coliformes fecales del agua y variabilidad entre los años (2010 – 2016), (2010 – 2017), (2011 – 2016), (2011 – 2017), (2012 – 2016), (2012 – 2017), (2013 – 2016), (2013 – 2017) y (2017 – 2018).

En la gráfica 15, se presenta el diagrama de cajas para las bacterias coliformes fecales del agua donde se observa la variabilidad en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo.

Gráfica 15. Diagrama de cajas para las bacterias coliformes fecales del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo

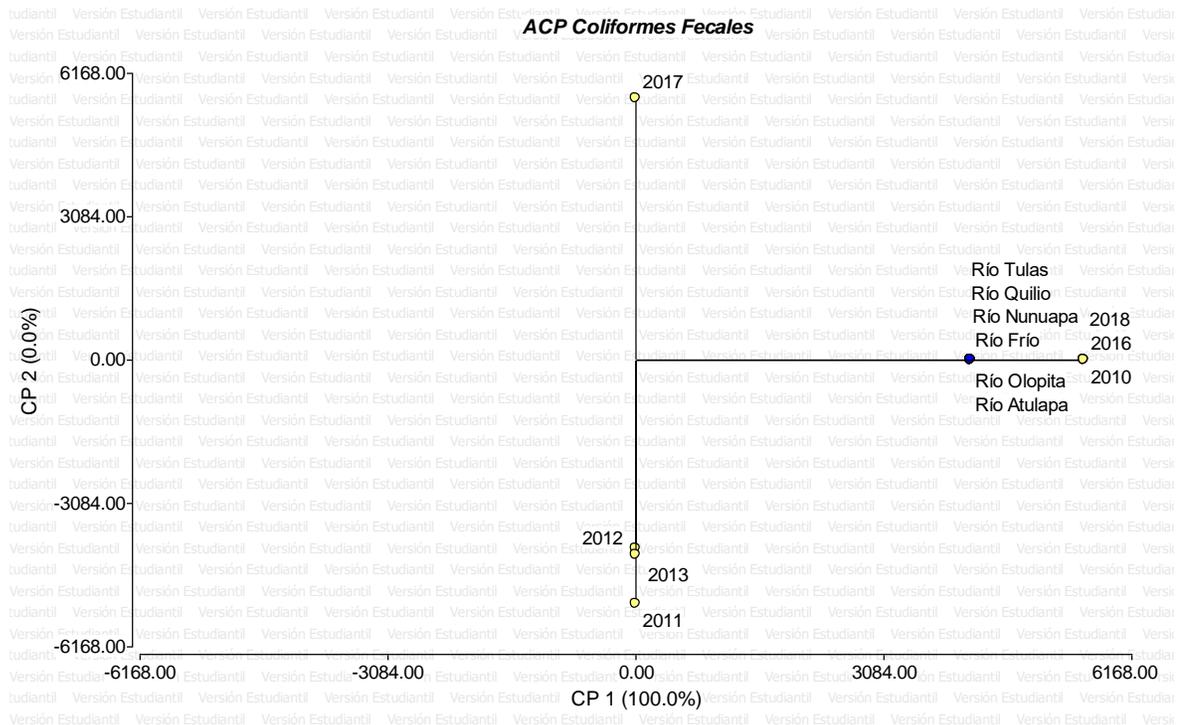


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la concentración de las bacterias de coliformes fecales son: “río Quillo 3”, “río Tulas” y “río Lempa Masahuat”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la concentración de coliformes fecales del agua son: “río San José”, “río Ostúa 2” y “río Lempa Citalá”.

En la gráfica 16, se presenta el análisis de componentes principales para las bacterias coliformes fecales en el agua de los puntos de monitoreo durante el período comprendido entre 2010 y 2018.

Gráfica 16. Análisis de componentes principales para las bacterias coliformes fecales del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 100% de los datos totales analizados. Donde los puntos de monitoreo que tienen menor variabilidad en las bacterias coliformes fecales del agua son: “río Tulas”, “río Quilio”, “río Nunuapa”, “río Frío”, “río Olopita” y “río Atulapa” en el 2010, 2016 y 2018.

9.2.9 Variabilidad de la concentración de los sulfatos en el agua

Los sulfatos con compuestos que surge de forma natural en el agua cuando los cauces atraviesan formaciones geológicas compuestas de yeso, por lo cual, altas concentraciones de sulfatos están directamente relacionado a la dureza y sólidos disueltos en el agua; también están presentes en las aguas residuales industriales.

La tabla 26, presenta los valores promedio de los sulfatos en el agua para los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, en el periodo 2010 al 2018.

Tabla 26. Valores promedio de los sulfatos del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Sulfatos en mg/L						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	14.58	14.47	16.07	1.73	20.78	4.82	1.70
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	14.51	17.82	1.20	5.75	4.96	1.90
3	Río Frío	Río Frío	16.77	15.82	12.29	12.93	9.52	9.73	10.07
4	Río Quilio	Río Quilio	15.57	12.62	11.11	1.60	11.94	5.87	2.57
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	13.34	2.07	10.85	N/D	1.84
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	13.31	2.33	8.60	N/D	0.10
7	Río Tulas	Río Tulas	16.93	17.08	12.80	2.73	15.58	3.33	1.27
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	24.57	25.22	13.69	7.73	10.35	N/D	9.27
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	16.57	13.01	11.58	1.07	8.29	6.27	5.64
10	Río Olopita	Río Olopita	38.90	28.30	26.78	29.27	13.09	5.52	35.87
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	26.13	34.81	27.76	59.07	37.33	N/D	49.73
12	Río Angue	Río Angue	36.13	43.08	42.07	61.93	28.80	N/D	27.14
13	Río San José	Río San José	38.30	47.69	43.32	38.33	26.85	N/D	34.80
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	24.23	25.73	15.80	15.75	11.29	N/D	6.90
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	29.13	29.24	20.96	10.53	19.10	N/D	4.91
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	27.70	29.81	18.22	1.67	9.40	N/D	24.53
17		Río Cusmapa 1	23.53	25.33	20.84	N/D	21.20	N/D	0.14
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	23.60	29.06	22.77	28.67	23.37	N/D	23.00
19		Río Ostúa 2	28.60	29.07	26.24	15.20	25.98	N/D	12.30
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	17.31	10.18	2.80	19.33	8.67	3.80

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 27, muestra el análisis estadístico univariado para los sulfatos en el agua para el periodo 2010 al 2018 donde indica el resumen de los resultados la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 27. Análisis estadístico univariado para los sulfatos en el agua en el periodo de 2010 al 2018

Análisis Univariado Sulfatos							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	25.08	25.12	19.85	15.61	16.87	6.15	12.87
Varianza (n-1)	62.60	102.79	90.12	371.94	71.42	4.40	210.41
Mediana	24.40	25.53	16.95	7.73	14.33	5.69	6.27

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son: 2013, 2018 y 2011, en estos años existe mayor variabilidad en los valores de los sulfatos los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 28, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para los sulfatos en el agua en el periodo 2010 al 2018 en donde se observa la variabilidad en los años.

Tabla 28. Análisis estadístico de la prueba pareada T para los sulfatos del agua en el periodo de 2010 al 2018

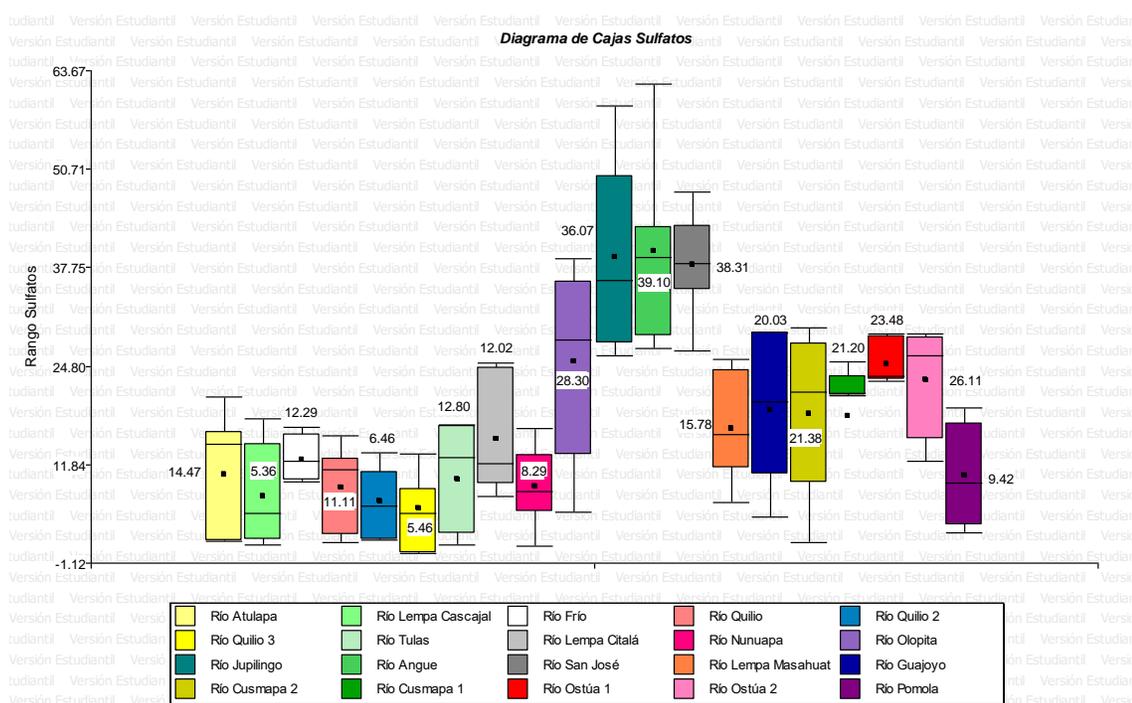
Prueba Pareada T Sulfatos								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	-1.19	25.08	26.27	4.93	-0.97	0.3475
2010	2012	16	3.68	25.08	21.39	5.39	2.73	0.0154
2010	2013	15	5.97	25.18	19.21	16.28	1.42	0.1776
2010	2016	16	6.77	25.08	18.3	9.07	2.99	0.0092
2010	2017	6	13.96	19.89	5.92	9.74	3.51	0.0171
2010	2018	16	9.46	25.08	15.61	11.3	3.35	0.0044
2011	2012	18	4.55	25.12	20.57	4.21	4.58	0.0003
2011	2013	17	7.92	25.11	17.19	13.07	2.5	0.0238
2011	2016	18	7.46	25.12	17.66	7.93	3.99	0.0009
2011	2017	8	10.49	16.64	6.15	5.53	5.37	0.001
2011	2018	18	10.93	25.12	14.2	9.93	4.67	0.0002
2012	2013	19	4.18	19.79	15.61	12.33	1.48	0.1564
2012	2016	20	2.98	19.85	16.87	7.14	1.86	0.0778
2012	2017	8	8.68	14.83	6.15	6.49	3.78	0.0069
2012	2018	20	6.97	19.85	12.87	10.16	3.07	0.0063
2013	2016	19	-1.03	15.61	16.64	13.66	-0.33	0.7462
2013	2017	8	0.52	6.67	6.15	9.83	0.15	0.8851
2013	2018	19	2.07	15.61	13.54	10.51	0.86	0.402
2016	2017	8	6.89	13.03	6.15	5.83	3.34	0.0124
2016	2018	20	4	16.87	12.87	11.64	1.54	0.1412
2017	2018	8	-1.71	6.15	7.85	11.69	-0.41	0.6923

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de sulfatos del agua y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2012), (2010 – 2016), (2010 – 2017), (2011 – 2012), (2011 – 2013), (2011 – 2016), (2011 – 2017), (2011 – 2018), (2012 – 2017), (2012 – 2018) y (2016 – 2017).

En la gráfica 17, se presenta el diagrama de cajas para los sulfatos en el agua donde se observa la variabilidad en el periodo 2010 al 2018, de los puntos de monitoreo.

Gráfica 17. Diagrama de cajas para los sulfatos del agua en el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo

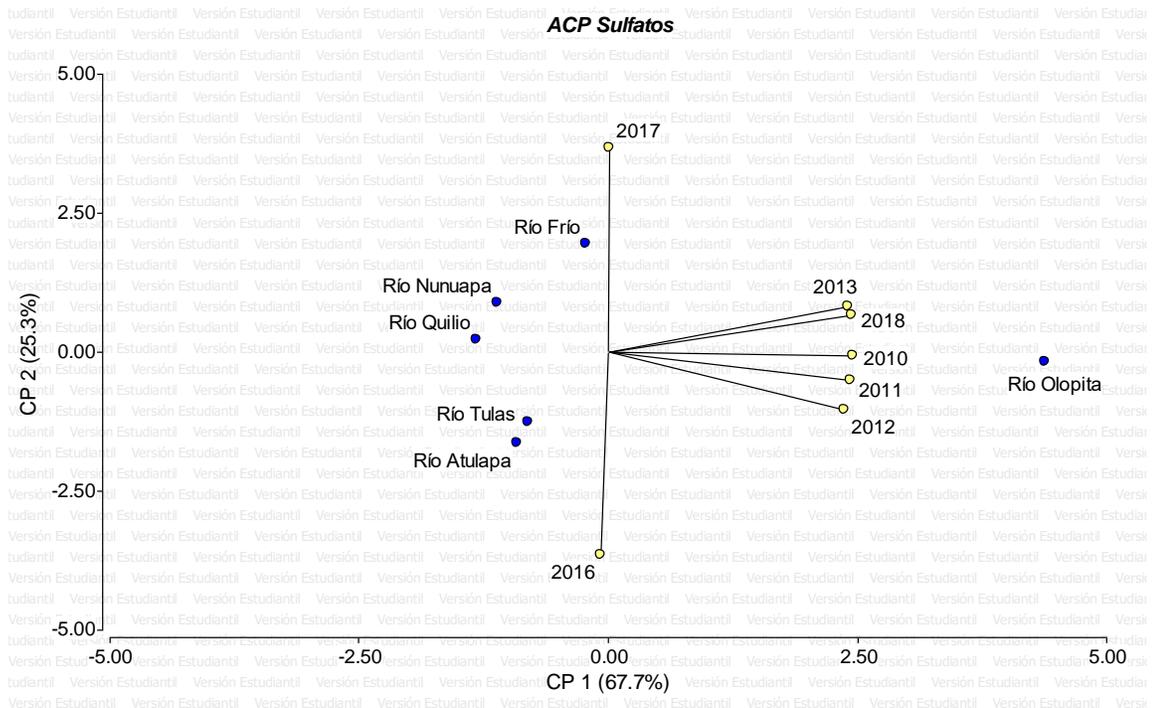


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en los sulfatos son: “río Olopita”, “río Jupilingo” y “río Cusmapa 2”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en los sulfatos son: “río Cusmapa 1”, “río Ostúa 1” y “río Frío”.

En la gráfica 18, se presenta el análisis de componentes principales para los sulfatos en el agua de los puntos de monitoreo durante el período 2010 y 2018.

Gráfica 18. Análisis de componentes principales para los sulfatos del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 93% de los datos totales analizados. El punto de monitoreo que tiene menor variabilidad de sulfatos es el “río Frío” en el 2017. Es importante indicar los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en los sulfatos son: “río Nunuapa”, “río Quilio”, “río Tulas”, “río Atulapa” y “río Olopita” en el período 2010 al 2018.

9.2.10 Variabilidad de los nitratos del agua

Los nitratos son uno de los compuestos principales de las aguas naturales, pero sus concentraciones pueden elevarse gradualmente debido al lixiviado del nitrógeno proveniente de los fertilizantes, desechos alimenticios o fosas sépticas. La concentración media de nitratos en el agua se encuentra entre 0.2 mg/L y 2 mg/L. A su vez, son elementos esenciales para el desarrollo de las plantas, que, y en concentraciones elevadas, provocan un crecimiento excesivo de algas, micro algas y plancton.

La tabla 29, presenta los valores promedio de los nitratos en agua en los puntos de monitoreo de en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo del año 2010 al 2018, dichos valores son el resultado de los diferentes monitoreos realizados por año.

Tabla 29. Valores promedio de los nitratos del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Nitratos en mg/L						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	1.22	0.50	0.95	0.14	0.34	0.52	0.41
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	0.58	0.98	0.12	0.69	0.41	0.43
3	Río Frío	Río Frío	0.72	0.39	1.01	0.11	0.50	0.27	0.24
4	Río Quilio	Río Quilio	0.14	0.20	0.45	0.29	0.12	0.12	0.16
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	0.17	0.13	0.14	N/D	0.18
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	0.15	0.12	0.11	N/D	0.09
7	Río Tulas	Río Tulas	0.12	0.95	0.76	0.10	0.36	0.18	1.95
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	0.55	1.01	1.20	0.21	0.51	N/D	0.33
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	0.54	0.66	0.88	0.16	0.18	0.11	0.22
10	Río Olopita	Río Olopita	0.54	0.52	0.84	0.20	0.25	0.39	0.45
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	1.03	1.16	0.94	0.14	0.50	N/D	0.58
12	Río Angue	Río Angue	0.71	1.05	0.89	0.18	1.23	N/D	0.51
13	Río San José	Río San José	0.79	1.12	0.69	0.30	0.33	N/D	0.59
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	0.52	0.44	0.94	0.21	0.20	N/D	0.30
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	0.87	0.75	0.68	0.21	0.45	N/D	0.68
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	1.24	1.45	0.82	0.17	0.30	N/D	0.72
17		Río Cusmapa 1	1.55	1.00	0.38	N/D	0.22	N/D	1.66
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	1.56	1.47	0.78	0.53	1.45	N/D	0.95
19		Río Ostúa 2	1.10	1.46	1.14	0.41	1.15	N/D	1.00
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	0.57	0.35	0.16	0.17	0.13	0.18

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 30, presenta el análisis estadístico univariado para los nitratos del agua en el periodo 2010 al 2018, donde indica el resumen de los resultados de acuerdo a la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 30. Análisis estadístico univariado para los nitratos del agua en el periodo de 2010 al 2018

Análisis Univariado Nitratos							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	0.83	0.85	0.75	0.20	0.46	0.27	0.58
Varianza (n-1)	0.19	0.15	0.09	0.01	0.15	0.02	0.24
Mediana	0.76	0.85	0.83	0.17	0.34	0.23	0.44

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son: 2018, 2010, 2011 y 2016 en estos años existe mayor variabilidad en los valores de nitratos para cada uno de los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 31, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para los nitratos presentes en el agua en el periodo 2010 al 2018.

Tabla 31. Análisis estadístico de la prueba pareada T para los nitratos del agua, periodo de 2010 al 2018

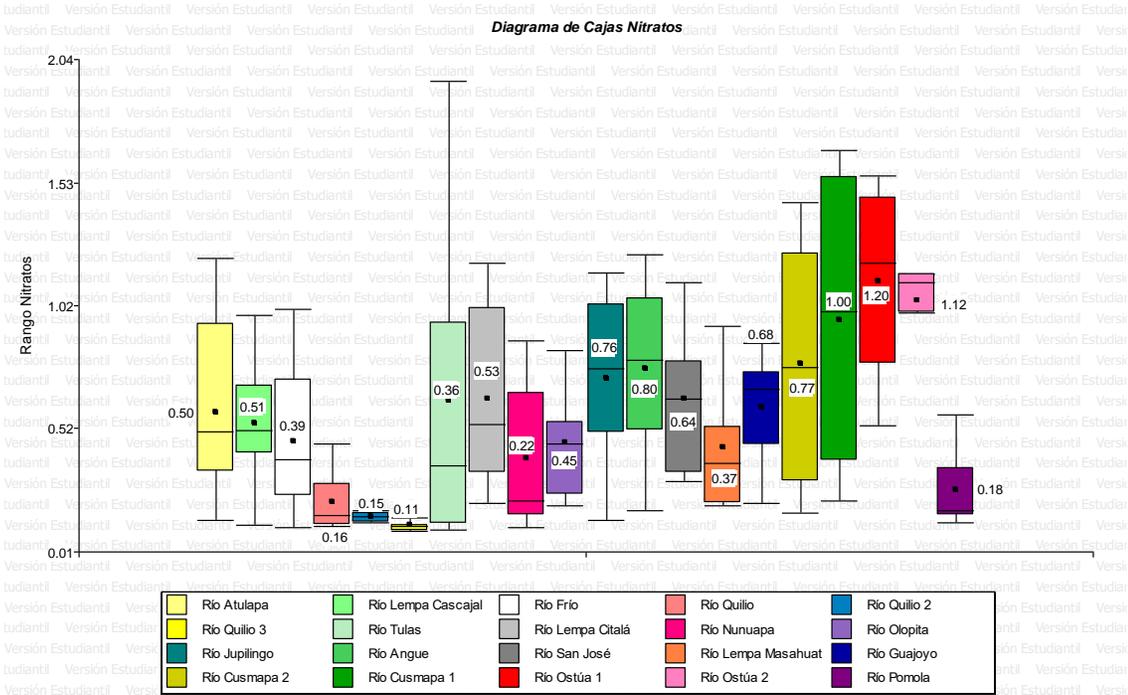
Prueba Pareada T Nitratos								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	-0.06	0.83	0.88	0.39	-0.59	0.5611
2010	2012	16	-0.01	0.83	0.83	0.49	-0.07	0.9449
2010	2013	15	0.55	0.78	0.22	0.36	5.88	<0.0001
2010	2016	16	0.32	0.83	0.51	0.46	2.79	0.0138
2010	2017	6	0.28	0.55	0.27	0.29	2.38	0.0634
2010	2018	16	0.15	0.83	0.67	0.58	1.06	0.3046
2011	2012	18	0.03	0.85	0.82	0.41	0.34	0.7386
2011	2013	17	0.63	0.84	0.21	0.36	7.16	<0.0001
2011	2016	18	0.35	0.85	0.5	0.36	4.2	0.0006
2011	2017	8	0.28	0.55	0.27	0.28	2.88	0.0237
2011	2018	18	0.22	0.85	0.63	0.45	2.07	0.0542
2012	2013	19	0.56	0.77	0.2	0.3	8.21	<0.0001
2012	2016	20	0.29	0.75	0.46	0.36	3.63	0.0018
2012	2017	8	0.51	0.78	0.27	0.19	7.61	0.0001
2012	2018	20	0.17	0.75	0.58	0.55	1.36	0.1911
2013	2016	19	-0.27	0.2	0.47	0.34	-3.46	0.0028
2013	2017	8	-0.11	0.16	0.27	0.18	-1.63	0.1465
2013	2018	19	-0.32	0.2	0.53	0.42	-3.32	0.0038
2016	2017	8	0.06	0.33	0.27	0.17	1	0.35
2016	2018	20	-0.12	0.46	0.58	0.54	-1.01	0.3275
2017	2018	8	-0.24	0.27	0.51	0.62	-1.09	0.3134

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de nitratos presentados en el agua y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2013), (2010 – 2016), (2011 – 2013), (2011 – 2016), (2011 – 2017), (2012 – 2013), (2012 – 2016), (2012 – 2017), (2013 – 2016) y (2013 – 2018).

En la gráfica 19, se presenta el diagrama de cajas para los nitratos presentes en el agua en la cual se observa la variabilidad a través del tiempo en el periodo de 2010 al 2018 para los puntos de monitoreo.

Gráfica 19. Diagrama de cajas para los nitratos del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo

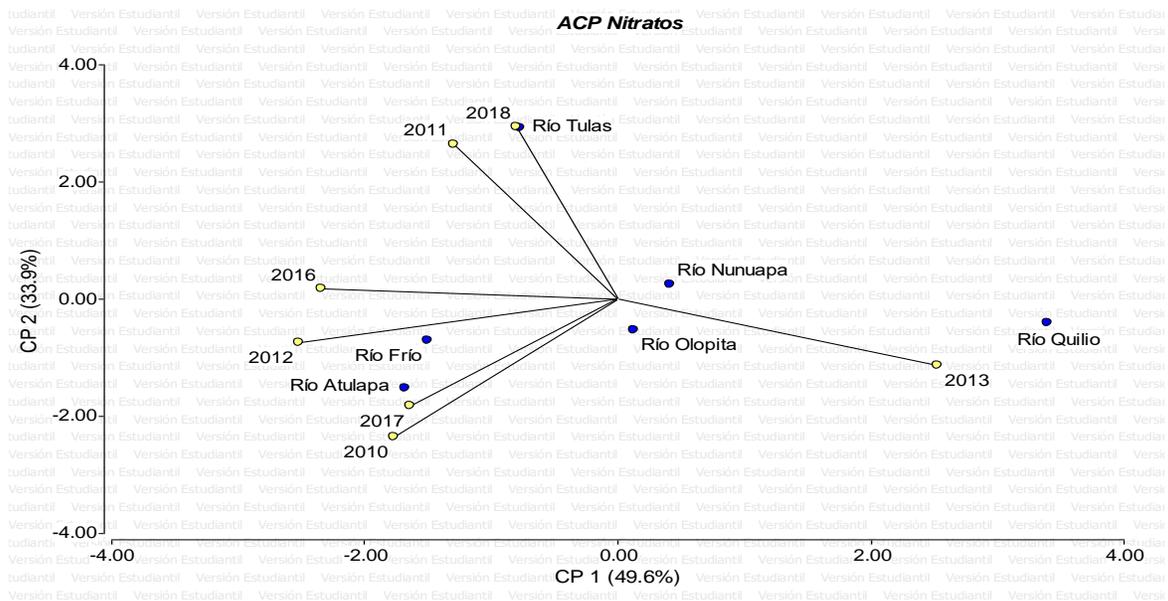


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica anterior muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la concentración de nitratos en el agua son: “río Cusmapa 1”, “río Cusmapa 2” y “río Tulas”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la concentración de nitratos en el agua son: “río Quilío 3”, “río Quilío 2” y “río Ostúa 2”.

En la gráfica 20, se presenta el análisis de componentes principales para los nitratos presentes en el agua de los puntos de monitoreo durante el período 2010 y 2018.

Gráfica 20. Análisis de componentes principales para los nitratos del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 83.5% de los datos totales analizados. Los puntos de monitoreo que presenta menor variabilidad en los nitratos del agua son: “río Quilío”, “río Tulas”, “río Nunuapa”, “río Frío” y “río Atulapa” en el período 2010 al 2018.

9.2.11 Variabilidad de los nitritos del agua

El nitrito típicamente no se encuentra en las aguas naturales en niveles significativos, excepto bajo condiciones reductoras (pH ácido). Pueden encontrarse cuando un cuerpo de agua está contaminado por aguas residuales, por las altas concentraciones de amoníaco (compuesto principal de la orina) y al entrar en contacto con el agua, las bacterias descomponen el amoníaco utilizando el oxígeno disuelto para transformarlo en nitritos. Una de las principales fuentes de nitritos en el agua de los ríos se debe al uso

de fertilizantes nitrogenados en la producción agrícola y las descargas de aguas residuales.

Los nitritos producen dos reacciones químicas las cuales pueden afectar nocivamente la salud, entre las cuales resalta la metahemoglobinemia o síndrome del bebé azul, donde el cuerpo absorbe mayor cantidad de oxígeno para transformar los nitritos presentes en el cuerpo, provocando un descenso acelerado del oxígeno en la sangre causando la muerte en los infantes.

La tabla 32, presenta los valores promedio de los nitritos presentes en el agua en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo 2010 al 2018.

Tabla 32. Valores promedio de los nitritos presentes en el agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Nitritos en mg/L						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
3	Río Frío	Río Frío	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4	Río Quilio	Río Quilio	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	0.00	0.01	0.00	N/D	0.00
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	0.00	0.00	0.01	N/D	0.00
7	Río Tulas	Río Tulas	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	N/D	0.00
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
10	Río Olopita	Río Olopita	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	0.01	0.00	0.03	0.00	0.02	N/D	0.01
12	Río Angue	Río Angue	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	N/D	0.01
13	Río San José	Río San José	0.02	0.04	0.02	0.06	0.02	N/D	0.02
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	N/D	0.00
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	N/D	0.01
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	N/D	0.00
17		Río Cusmapa 1	0.00	0.00	0.33	N/D	0.00	N/D	0.01
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	0.02	0.04	0.64	0.04	0.04	N/D	0.04
19		Río Ostúa 2	0.02	0.05	0.05	0.03	0.10	N/D	0.07
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

Los resultados muestran que los valores son relativamente bajos, siendo el más alto entre el total de los datos es del río Ostúa, con una concentración de nitritos de 0.64 mg/l.

La tabla 33, presenta el análisis estadístico univariado para los nitritos presentes en el agua en el periodo de 2010 al 2018, el cual indica el resumen de los resultados de la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 33. Análisis estadístico univariado para los nitritos presentes en el agua en el periodo 2010 al 2018

Análisis Univariado Nitritos							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	0.01	0.01	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01
Varianza (n-1)	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Mediana	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que el año con mayor varianza es el 2012 indicando que en este año existió mayor variabilidad en los valores de nitritos presentados en el agua para los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 34, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para los nitritos presentes en el agua en el periodo 2010 al 2018, donde se observa variabilidad al comparar los años.

Tabla 34. Análisis estadístico de la prueba pareada T para los nitritos presentes en el agua, periodo 2010 al 2018

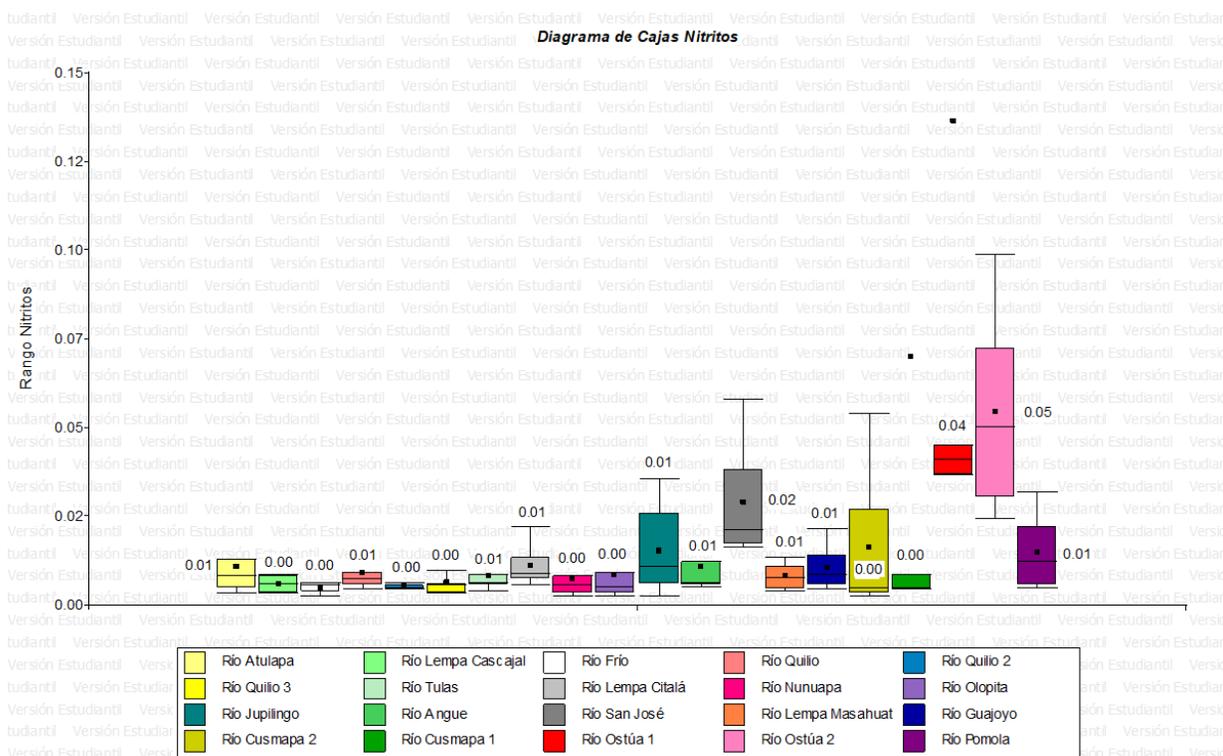
Prueba Pareada T Nitritos								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	0.0029	0.01	0.01	0.02	0.68	0.5086
2010	2012	16	-0.06	0.01	0.07	0.17	-1.32	0.208
2010	2013	15	0.0023	0.01	0.01	0.02	0.43	0.672
2010	2016	16	-0.01	0.01	0.02	0.02	-1.47	0.1635
2010	2017	6	0.01	0.01	0.0048	0.01	1.78	0.1345
2010	2018	16	0.0029	0.01	0.01	0.02	0.56	0.5804
2011	2012	18	-0.05	0.01	0.07	0.16	-1.45	0.1658
2011	2013	17	0.00052	0.01	0.01	0.01	0.24	0.8155
2011	2016	18	-0.01	0.01	0.02	0.02	-2.66	0.0164
2011	2017	8	0.0022	0.01	0.005	0.01	0.96	0.3679
2011	2018	18	0.0012	0.01	0.01	0.01	0.57	0.577
2012	2013	19	0.03	0.04	0.01	0.14	1.08	0.2931
2012	2016	20	0.04	0.06	0.02	0.15	1.16	0.2599
2012	2017	8	0.01	0.01	0.005	0.01	1.24	0.2549
2012	2018	20	0.05	0.06	0.01	0.15	1.48	0.1545
2013	2016	19	-0.01	0.01	0.02	0.02	-2.13	0.0475
2013	2017	8	-0.0018	0.0031	0.005	0.0026	-2	0.085
2013	2018	19	0.0011	0.01	0.01	0.01	0.34	0.7374
2016	2017	8	0.01	0.01	0.005	0.01	2.65	0.0331
2016	2018	20	0.01	0.02	0.01	0.01	4.74	0.0001
2017	2018	8	0.0021	0.005	0.0028	0.0025	2.48	0.0424

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de nitritos presentes en el agua y por lo tanto variabilidad entre los años: (2011 – 2016), (2013 – 2016), (2016 – 2017), (2016 – 2018) y (2017 – 2018).

En la gráfica 21, se presenta el diagrama de cajas para los nitritos presentes en el agua en la cual se observa la variabilidad a través del tiempo para el periodo de 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo.

Gráfica 21. Diagrama de cajas para los nitritos presentes en el agua del periodo 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo

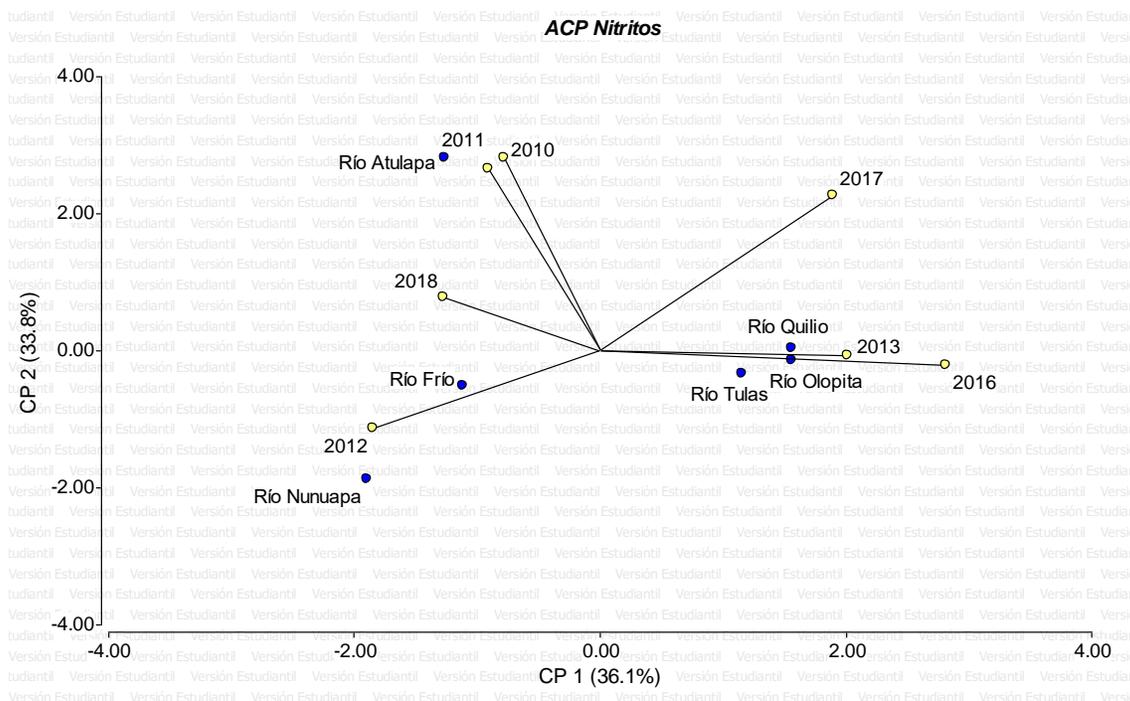


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en los nitritos presentes en el agua son: “río Ostúa 2”, “río Cusmapa 2” y “río Jupilingo”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en los nitritos presentes en el agua son: “río Quilío 2”, “río Quilío 3” y “río Frío”.

En la gráfica 22, se presenta el análisis de componentes principales para los nitritos presentes en el agua de los puntos de monitoreo durante el período 2010 al 2018.

Gráfica 22. Análisis de componentes principales para los nitritos presentes en el agua en el periodo 2010 al 2018 en los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 69.9% de los datos totales analizados. Los puntos de monitoreo que tienen menor variabilidad en los nitritos presentes en el agua son: “río Atulapa”, “río Nunuapa”, “río Frío”, “río Quilio”, “río Tulas” y “río Olopita” en el período 2010 al 2018.

9.2.12 Variabilidad de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ del agua

La demanda biológica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente las bacterias (Pseudomas, E. Coli, Bacillus, etc), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en una muestra.

La tabla 35, muestra los valores promedio de la DBO₅ en el agua en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo 2010 al 2018.

Tabla 35. Valores promedio de la DBO₅ del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			DBO ₅ en mg/L						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	0.34	14.75	35.42	13.20	75.60	14.85	9.68
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	7.02	47.40	22.80	98.40	26.25	7.73
3	Río Frio	Río Frio	0.12	8.32	26.00	48.00	70.20	30.00	11.70
4	Río Quilio	Río Quilio	0.32	389.02	27.50	21.60	79.20	37.20	10.13
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	24.20	12.00	81.90	N/D	9.68
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	14.10	9.60	62.70	N/D	7.88
7	Río Tulas	Río Tulas	0.26	7.80	19.87	16.80	81.00	30.00	8.18
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	0.51	9.37	38.43	31.20	84.08	N/D	3.60
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	0.38	8.09	37.00	25.30	73.20	108.00	6.23
10	Río Olopita	Río Olopita	0.75	11.74	33.53	16.80	115.28	78.45	13.43
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	0.60	5.63	36.47	68.00	75.90	N/D	8.18
12	Río Angue	Río Angue	0.57	21.14	104.67	61.20	105.00	N/D	17.75
13	Río San José	Río San José	4.07	114.32	308.67	1881.00	470.25	N/D	30.68
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	0.23	18.58	81.33	49.20	109.50	N/D	7.43
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	0.59	73.34	73.00	64.80	115.50	N/D	11.63
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	0.50	16.00	113.93	81.60	117.20	N/D	3.00
17		Río Cusmapa 1	0.35	19.47	86.60	N/D	82.80	N/D	2.70
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	0.81	23.30	94.13	121.20	100.50	N/D	8.63
19		Río Ostúa 2	2.48	33.30	82.80	66.00	99.30	N/D	9.68
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	8.68	37.07	30.00	85.80	28.80	7.35

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

La tabla 36, presenta el análisis estadístico univariado para la DBO₅ en el agua en el periodo de 2010 al 2018, indicando el resumen de los resultados de la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 36. Análisis estadístico univariado para la DBO₅ del agua en el periodo de 2010 al 2018

Análisis Univariado DBO5							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	0.80	43.88	66.11	138.96	109.17	44.19	9.76
Varianza (n-1)	1.05	8176.42	4197.83	178818.25	7491.53	1016.65	36.49
Mediana	0.50	15.37	37.75	31.20	84.94	30.00	8.40

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza son: 2013, 2011 y 2016, en estos años existió mayor variabilidad en los valores de la demanda biológica de oxígeno del agua para cada uno de los puntos de monitoreo.

La tabla 37, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para la DBO₅ del agua en el periodo de 2010 al 2018, donde se observa la variabilidad entre los años.

Tabla 37. Análisis estadístico de la prueba pareada T para la DBO₅ del agua en el periodo de 2010 al 2018

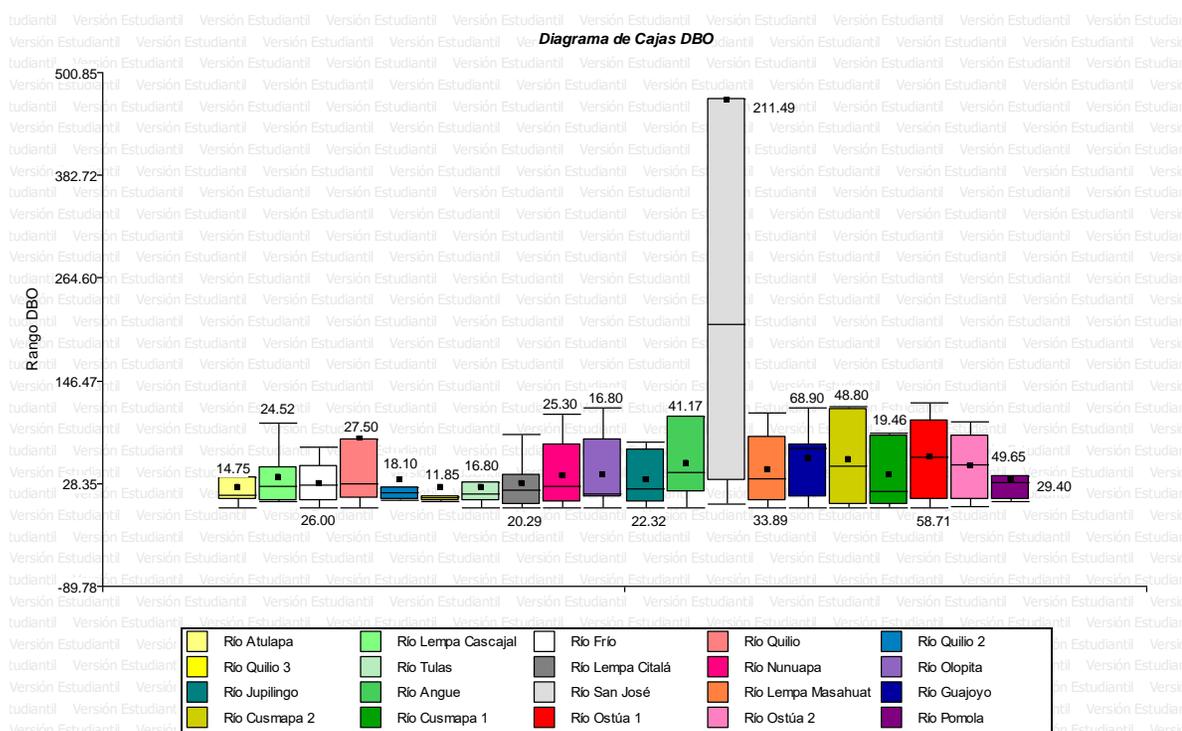
Prueba Pareada T DBO5								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	-47.58	0.8	48.38	95.13	-2	0.0639
2010	2012	16	-74.16	0.8	74.96	68.84	-4.31	0.0006
2010	2013	15	-170.23	0.83	171.06	473.07	-1.39	0.1852
2010	2016	16	-115.1	0.8	115.91	95.05	-4.84	0.0002
2010	2017	6	-49.39	0.36	49.75	35.59	-3.4	0.0193
2010	2018	16	-9.36	0.8	10.16	6.01	-6.23	<0.0001
2011	2012	18	-27.44	43.88	71.32	106.78	-1.09	0.2907
2011	2013	17	-108.73	45.32	154.04	438.74	-1.02	0.3221
2011	2016	18	-69.38	43.88	113.26	116.4	-2.53	0.0216
2011	2017	8	12.73	56.93	44.19	140.74	0.26	0.8054
2011	2018	18	34.01	43.88	9.87	89.11	1.62	0.1238
2012	2013	19	-73.94	65.03	138.96	363.37	-0.89	0.3868
2012	2016	20	-43.06	66.11	109.17	35.72	-5.39	<0.0001
2012	2017	8	-11.22	32.97	44.19	32.08	-0.99	0.3554
2012	2018	20	56.35	66.11	9.76	60.68	4.15	0.0005
2013	2016	19	28.41	138.96	110.55	335.74	0.37	0.7165
2013	2017	8	-19.88	24.31	44.19	34.3	-1.64	0.1451
2013	2018	19	128.83	138.96	10.13	417.92	1.34	0.1957
2016	2017	8	40.64	84.83	44.19	32.69	3.52	0.0098
2016	2018	20	99.41	109.17	9.76	81.67	5.44	<0.0001
2017	2018	8	34.89	44.19	9.3	32.12	3.07	0.018

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de la demanda biológica de oxígeno del agua y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2012), (2010 – 2016), (2010 – 2018), (2011 – 2016), (2012 – 2016), (2012 – 2018), (2016 – 2017), (2016 – 2018) y (2017 – 2018).

La gráfica 23, muestra el diagrama de cajas para la DBO₅ del agua en la cual se observa la variabilidad a través del tiempo durante el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo.

Gráfica 23. Diagrama de cajas para la DBO₅ del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo

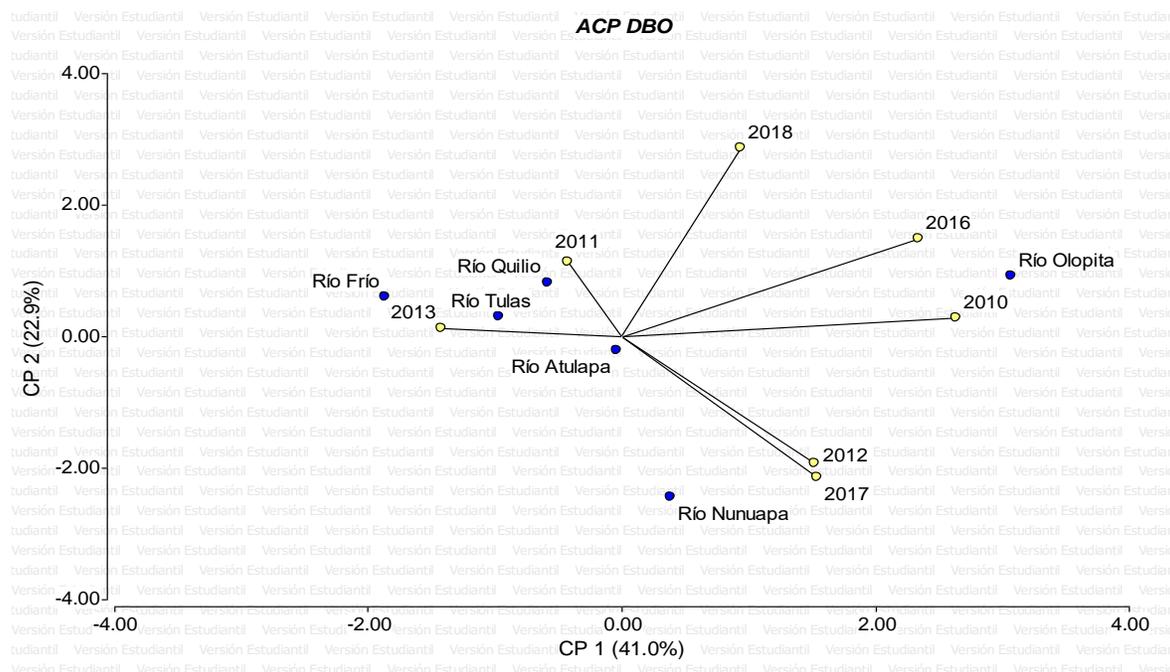


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica anterior muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en la demanda biológica de oxígeno del agua son: “río San José”, “río Cusmapa 2” y “río Ostúa 1”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la demanda biológica de oxígeno del agua son: “río Quilío 3”, “río Quilío 2” y “río Tulas”.

En la gráfica 24, se presenta el análisis de componentes principales para la DBO₅ en el agua de los puntos de monitoreo durante el período 2010 y 2018.

Gráfica 24. Análisis de componentes principales para la DBO₅ del agua en el periodo 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 63.9% de los datos totales analizados. Los puntos de monitoreo con menor variabilidad en la demanda biológica de oxígeno del agua son: “río Olopita”, “río Quilio”, “río Tulas”, “río Frío”, “río Atulapa” y “río Nunuapa” en el período 2010 al 2018.

9.2.13 Variabilidad de niveles de fosfatos del agua

El fósforo está presente en las aguas naturales en forma de fosfatos, estos pueden encontrarse naturalmente en plantas, estiércol de animales y heces humanas, en muchos casos las altas concentraciones de este compuesto en los ríos se deben a la descarga de aguas residuales que se encuentran mezcladas con productos de limpieza como detergentes (ricos en fosfatos).

También los fertilizantes con fuente de fósforo, los cuales al ser aplicados en el suelo por efecto de escorrentía o lixiviación se infiltran al manto freático que alimenta los ríos, provocando un aumento de la concentración fósforo en el agua.

La tabla 38, presenta los valores promedio de fosfatos del agua en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo 2010 al 2018.

Tabla 38. Valores promedio de fosfatos del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, monitoreos del 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	Parámetro						
			Fosfatos en mg/L						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	1.94	0.33	0.59	0.48	0.54	0.34	0.56
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	1.24	0.75	0.11	0.75	0.23	0.56
3	Río Frío	Río Frío	2.08	0.19	0.40	0.21	0.50	0.66	0.51
4	Río Quilio	Río Quilio	0.96	0.50	0.55	0.09	0.40	0.58	0.61
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	0.30	0.10	0.68	N/D	0.52
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	0.11	0.24	0.99	N/D	0.53
7	Río Tulas	Río Tulas	1.49	0.25	0.51	0.17	1.08	0.40	0.17
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	3.40	0.43	0.67	0.83	1.06	N/D	1.07
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	1.52	0.44	0.68	0.98	0.75	1.16	1.06
10	Río Olopita	Río Olopita	0.69	0.92	0.59	0.43	0.58	0.67	0.74
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	0.72	0.19	0.20	0.15	0.28	N/D	1.77
12	Río Angue	Río Angue	0.61	0.38	0.61	0.89	1.22	N/D	1.33
13	Río San José	Río San José	3.32	10.43	6.62	29.06	5.45	N/D	9.89
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	0.45	0.36	0.65	0.69	1.26	N/D	0.93
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	1.34	1.22	1.13	1.78	2.18	N/D	2.27
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	1.43	1.52	0.99	3.76	2.55	N/D	0.86
17		Río Cusmapa 1	0.92	0.70	0.94	N/D	1.23	N/D	2.21
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	1.49	1.40	1.21	1.78	1.66	N/D	1.72
19		Río Ostúa 2	1.12	1.28	1.03	1.98	2.47	N/D	1.96
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	1.29	1.36	0.27	7.32	0.57	1.70

Fuente: *Elaboración propia, 2020*

En donde ND = No Determinado

La tabla 39, presenta el análisis estadístico univariado para los niveles de fosfatos del agua en el periodo 2010 al 2018, indicando el resumen de los resultados de acuerdo a la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 39. Análisis estadístico univariado para los niveles de fosfatos en el agua, periodo 2010 al 2018

Análisis Univariado Fosfatos							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	1.47	1.28	0.99	2.32	1.65	0.58	1.55
Varianza (n-1)	0.76	5.43	1.86	42.81	3.14	0.08	4.25
Mediana	1.38	0.60	0.66	0.48	1.07	0.58	0.99

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza en los niveles de fosfatos en el agua son: 2013, 2011 y 2018 indicando que en estos años existió mayor variabilidad en los valores de fosfatos para los 20 puntos de monitoreo.

La tabla 40, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para los niveles de fosfatos del agua en el periodo 2010 al 2018, donde se observa variabilidad entre los años.

Tabla 40. Análisis estadístico de la prueba pareada T para los niveles de fosfatos en el agua, periodo 2010 al 2018

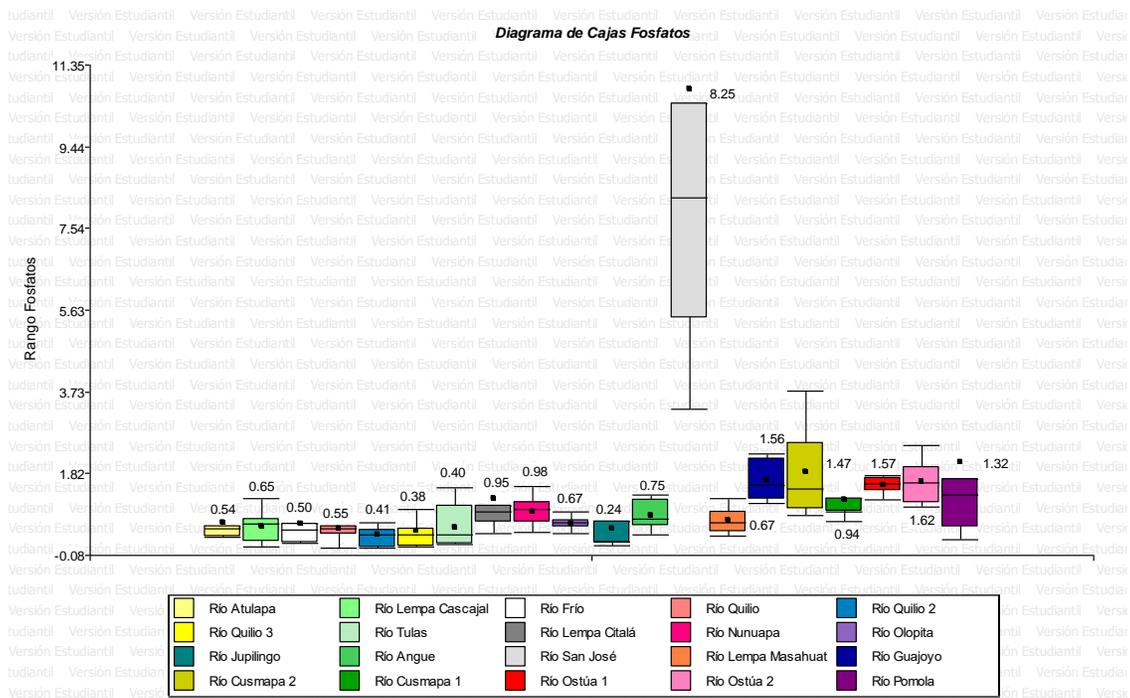
Prueba Pareada T Fosfatos								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	0.18	1.47	1.28	2.14	0.34	0.7387
2010	2012	16	0.38	1.47	1.09	1.24	1.23	0.2389
2010	2013	15	-1.38	1.5	2.89	6.84	-0.78	0.447
2010	2016	16	0.02	1.47	1.45	1.17	0.06	0.9531
2010	2017	6	0.81	1.44	0.63	0.64	3.09	0.0271
2010	2018	16	-0.26	1.47	1.73	1.99	-0.52	0.6087
2011	2012	18	0.2	1.28	1.08	0.94	0.9	0.3798
2011	2013	17	-1.25	1.32	2.57	4.54	-1.14	0.2725
2011	2016	18	-0.45	1.28	1.74	1.95	-0.99	0.3372
2011	2017	8	0.07	0.65	0.58	0.58	0.34	0.7456
2011	2018	18	-0.38	1.28	1.66	0.66	-2.42	0.0269
2012	2013	19	-1.32	1	2.32	5.18	-1.11	0.2816
2012	2016	20	-0.65	0.99	1.65	1.38	-2.1	0.0491
2012	2017	8	0.1	0.68	0.58	0.41	0.69	0.512
2012	2018	20	-0.55	0.99	1.55	0.81	-3.04	0.0068
2013	2016	19	0.65	2.32	1.67	5.79	0.49	0.6315
2013	2017	8	-0.23	0.34	0.58	0.2	-3.38	0.0118
2013	2018	19	0.8	2.32	1.51	4.53	0.77	0.449
2016	2017	8	0.91	1.49	0.58	2.39	1.08	0.3162
2016	2018	20	0.1	1.65	1.55	1.76	0.25	0.803
2017	2018	8	-0.16	0.58	0.74	0.43	-1.04	0.333

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores de los niveles de fosfatos en el agua y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2017), (2011 – 2018), (2012 – 2016), (2012 – 2018) y (2013 – 2017).

En la gráfica 25, se presenta el diagrama de cajas para los niveles de fosfatos en el agua en donde se observa la variabilidad de estos en el periodo 2010 al 2018.

Gráfica 25. Diagrama de cajas para los niveles de fosfatos en el agua en el periodo 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo

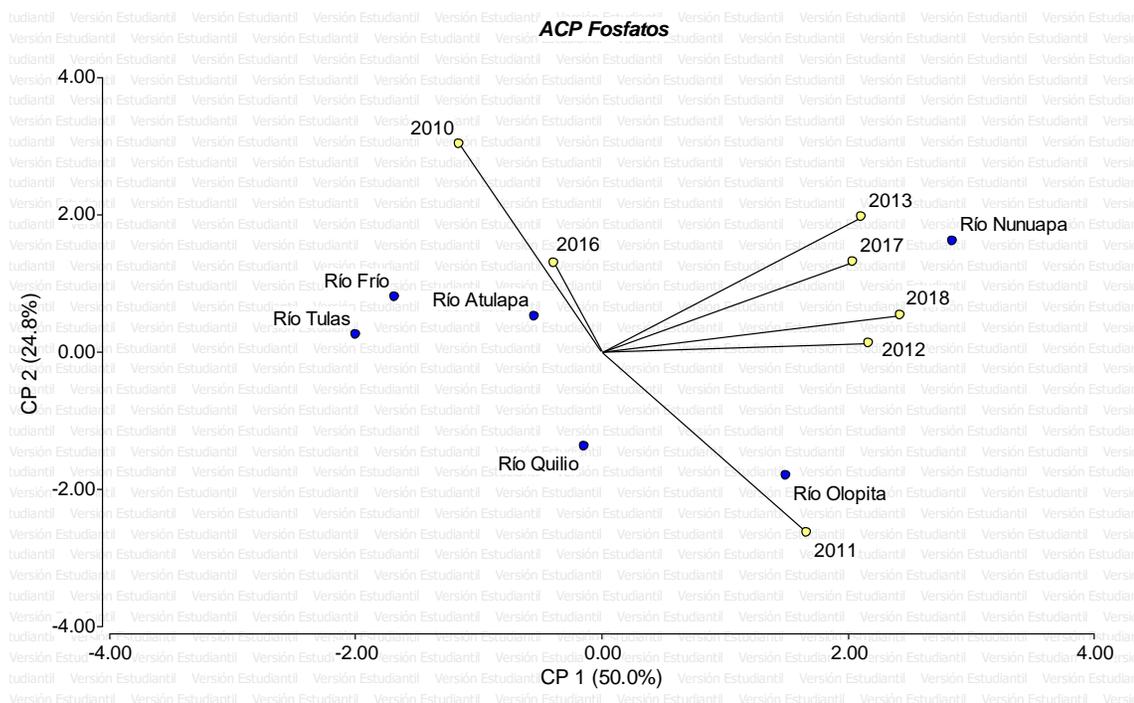


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica anterior muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en los niveles de fosfatos en el agua son: “río San José”, “río Cusmapa 2” y “río Pomola”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en los niveles de fosfatos en el agua son: “río Quilío”, “río Olopita” y “río Atulapa”.

En la gráfica 26, se presenta el análisis de componentes principales para los niveles de fosfatos en el agua de los puntos de monitoreo durante el período 2010 y 2018.

Gráfica 26. Análisis de componentes principales para los niveles de fosfatos en el agua, periodo 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 74.8% de los datos totales analizados. Los puntos de monitoreo que tienen menor variabilidad en los niveles de fosfatos en el agua son: “río Olopita”, “río Nunuapa”, “río Atulapa” y “río Frío” en los años 2011, 2013 y 2016. Es importante indicar los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en los niveles de fosfatos en el agua son: “río Tulas” y “río Quilio” en el período 2010 al 2018.

9.3 Variabilidad de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo

La variabilidad de la calidad del agua son los cambios y variaciones de las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua.

La calidad del agua es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. Son las

variaciones en la calidad del agua debidas a los cambios estacionales y de acuerdo al origen (Diersing, 2009).

Para determinar la variabilidad de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo se utilizó el análisis del índice calidad del agua a través de la metodología Canadian Water Quality Index conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés) mostrando en los resultados la calidad del agua por año y la variación en el período 2010 al 2018.

9.3.1 Índice Canadiense de Calidad del Agua de la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo

La calidad del agua de los puntos de monitoreo en la red hidrológica superficial establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, se determinó utilizando la metodología del Índice Canadiense de Calidad del Agua, dicha metodología consiste en el método Canadian Water Quality Index conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés). Este método, fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad de las aguas.

Con los resultados del Índice de Calidad de Agua Canadiense en los 20 puntos de monitoreo establecidos, sobre la corriente superficial de agua pertenecientes a la cuenca alta del río Lempa y el río Jupilingo, se determinó la calidad de agua en base a la normativa de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecido por el Canadian Water Quality Index, tomando como referencia los valores establecidos por la Norma COGUANOR 29001 que definen las características del agua para el consumo humano en Guatemala.

En las tablas 41 y 42 se muestran los resultados obtenidos del índice de calidad del agua canadiense CCME_WQI para cada uno de los puntos de monitoreo establecidos en el periodo del 2010 al 2018.

Tabla 41. Índice de calidad del agua (CCME_WQI) en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo en el período 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (CCME_WQI)						
			AÑOS						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	37.85	37.21	38.47	41.81	32.54	41.18	40.60
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	39.01	36.91	41.82	33.13	38.23	37.56
3	Río Frío	Río Frío	37.86	39.69	38.21	43.55	34.78	41.81	39.45
4	Río Quilio	Río Quilio	37.85	37.69	42.48	41.15	34.14	35.08	39.00
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	39.44	41.81	34.78	N/D	37.05
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	45.06	57.64	34.46	N/D	36.47
7	Río Tulas	Río Tulas	37.84	38.60	48.09	57.62	36.76	40.14	39.45
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	37.85	36.39	33.91	32.67	33.42	N/D	36.46
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	37.86	39.88	47.09	37.88	35.07	37.87	38.48
10	Río Olopita	Río Olopita	35.08	34.78	39.93	37.88	28.28	33.95	36.46
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	31.79	37.28	26.06	36.00	27.85	N/D	32.65
12	Río Angue	Río Angue	37.88	36.34	32.08	37.27	27.42	N/D	29.09
13	Río San José	Río San José	35.05	32.34	29.35	19.72	24.73	N/D	23.84
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	37.87	37.40	31.66	49.58	33.73	N/D	37.88
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	37.88	30.79	30.29	34.78	26.57	N/D	31.82
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	35.08	31.97	31.11	34.47	28.15	N/D	35.08
17		Río Cusmapa 1	40.14	33.19	29.53	N/D	31.82	N/D	31.82
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	31.81	26.05	26.87	28.95	27.02	N/D	32.66
19		Río Ostúa 2	35.08	31.02	31.81	31.82	26.58	N/D	33.43
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	44.39	36.46	35.08	38.41	40.14	35.80

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado.

De acuerdo al índice de calidad del agua, en la tabla anterior se puede observar que los puntos de monitoreo “río Quilio 3” (45.06 y 57.64) y “río Tulas” (48.09 y 57.62) presentaron calidad del agua clasificada como “REGULAR” en los años 2012 y 2013; el punto de monitoreo “río Nunuapa” (47.09) presenta calidad del agua clasificada como “REGULAR” en el 2012 y, en el punto de monitoreo “río Lempa Masahuat” (49.58) presenta calidad del agua clasificada como “REGULAR” en el año 2013. El resto de puntos de monitoreo presentan calidad del agua clasificada como “MALA” en el período del 2010 al 2018.

En resumen, se puede concluir que durante el 2010 el 100% de los ríos analizados presenta “MALA” calidad del agua, tendencia que continua hacia el año 2011. En los

años 2012 y 2013 se muestra el 85% de los ríos analizados tienen “MALA” calidad y el 15% tienen calidad “REGULAR”. Sin embargo, del año 2016 al 2018, el 100% de los ríos analizados vuelven a presentar “MALA” calidad de agua.

Todo ello indica una fuerte contaminación por aguas residuales, ya que, según los resultados mostrados con anterioridad, los parámetros que muestran altas concentraciones a lo largo del tiempo son las coliformes fecales, con tendencia de reducción por dos años y tienden a aumentar y a mantenerse constante en el tiempo hasta el 2018.

9.3.2 Calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo

Tabla 42. Calidad del agua en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo en el período 2010 al 2018

No.	Río	Punto de Monitoreo	CALIDAD DEL AGUA						
			AÑOS						
			2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
1	Río Atulapa	Río Atulapa	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala
2	Río Lempa	Río Lempa Cascajal	N/D	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala
3	Río Frío	Río Frío	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala
4	Río Quilio	Río Quilio	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala
5		Río Quilio 2	N/D	N/D	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
6		Río Quilio 3	N/D	N/D	Regular	Regular	Mala	N/D	Mala
7	Río Tulas	Río Tulas	Mala	Mala	Regular	Regular	Mala	Mala	Mala
8	Río Lempa	Río Lempa Citalá	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
9	Río Nunuapa	Río Nunuapa	Mala	Mala	Regular	Mala	Mala	Mala	Mala
10	Río Olopita	Río Olopita	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala
11	Río Jupilingo	Río Jupilingo	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
12	Río Angue	Río Angue	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
13	Río San José	Río San José	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
14	Río Lempa	Río Lempa Masahuat	Mala	Mala	Mala	Regular	Mala	N/D	Mala
15	Río Guajoyo	Río Guajoyo	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
16	Río Cusmapa	Río Cusmapa 2	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
17		Río Cusmapa 1	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala	N/D	Mala
18	Río Ostúa	Río Ostúa 1	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
19		Río Ostúa 2	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	N/D	Mala
20	Río Pomola	Río Pomola	N/D	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala

Fuente: Elaboración propia, 2020

En donde ND = No Determinado

Cuadro 6. Clasificación cuantitativa y cualitativa del índice de calidad del agua (CCME_QWI)

Excelente	Buena	Favorable	Regular	Mala
95-100	80-94	65-79	45-64	0-44

Fuente: Elaboración propia, 2020

Como se mencionó, la metodología canadiense empleada en la investigación utiliza lineamientos estrictos, tomando en cuenta los límites establecidos de la COGUANOR 29001.

Durante el 2010 el 100% de los puntos de monitoreo presentaron calidad del agua clasificada como “MALA” para consumo humano.

Durante el 2011 el 100% de los puntos de monitoreo presentaron calidad del agua clasificada como “MALA” para consumo humano.

En el 2012 los puntos de monitoreo “río Quilio 3”, “río Tulas” y “río Nunuapa” presentaron calidad del agua clasificada como “REGULAR” y el resto de puntos de monitoreo presentan calidad del agua clasificada como “MALA” para consumo humano.

En el 2013 los puntos de monitoreo “río Quilio 3”, “río Tulas” y “río Lempa Masahuat” presentaron calidad del agua clasificada como “REGULAR” y el resto de puntos de monitoreo presentan calidad del agua clasificada como “MALA” para consumo humano.

Durante el 2016 el 100% de los puntos de monitoreo presentaron calidad del agua clasificada como “MALA” para consumo humano.

Durante el 2017 el 100% de los puntos de monitoreo presentaron calidad del agua clasificada como “MALA” para consumo humano. En este año, no se cuenta con la información de 12 puntos de monitoreo.

Durante el 2018 el 100% de los puntos de monitoreo presentaron calidad del agua clasificada como “MALA” para consumo humano.

El agua en los puntos de monitoreo analizados necesita un adecuado tratamiento previo a su uso; sin tratamiento, no se recomienda utilizar el agua para consumo humano por los altos niveles de contaminación y el peligro que representa el uso de agua contaminada como: intoxicación, enfermedades digestivas crónicas, alergias de piel, contaminación de cultivos, muerte piscícola, enfermedades estomacales en ganado, entre otras.

9.3.3 Variabilidad temporal de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo

El Índice de Calidad del Agua (ICA), indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100 (Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 1999).

El cambio de la calidad del agua se ve directamente afectado por la contaminación con aguas residuales municipales y agroindustriales, así como por, actividades antropogénicas y factores climáticos que inciden de forma indirecta por la disminución de la precipitación, lo cual provoca que los caudales reduzcan su volumen mientras las cargas de contaminación se mantienen constantes.

La tabla 41, presenta los valores promedio del índice de calidad del agua en los puntos de monitoreo de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo, durante el periodo 2010 al 2018, dichos valores son el resultado de los monitoreos realizados en este periodo.

La tabla 43, presenta el análisis estadístico univariado para el índice de calidad del agua en el periodo de 2010 al 2018, indicando el resumen de los resultados de acuerdo a la media, varianza (n-1) y mediana.

Tabla 43. Análisis estadístico univariado para el índice de calidad del agua en el periodo de 2010 al 2018

Análisis Univariado Índice de Calidad del Agua CCMEWQI							
Resumen	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Media	36.55	35.78	35.74	39.03	31.48	38.55	35.25
Varianza (n-1)	5.48	18.36	42.75	82.64	15.99	8.06	16.69
Mediana	37.85	36.80	35.18	37.88	32.83	39.19	36.46

Fuente: Elaboración propia, 2020

El análisis univariado muestra que los años con mayor varianza en el ICA son: 2013, 2012 y 2011, en estos años existe mayor variabilidad en los valores del índice de calidad del agua (CCMEWQI) para cada uno de los puntos de monitoreo.

La tabla 44, presenta el análisis estadístico de la prueba pareada T para el índice de calidad del agua en el periodo de 2010 al 2018, donde se muestra la variabilidad entre los años.

Tabla 44. Análisis estadístico de la prueba pareada T para el índice de calidad del agua en el periodo de 2010 al 2018

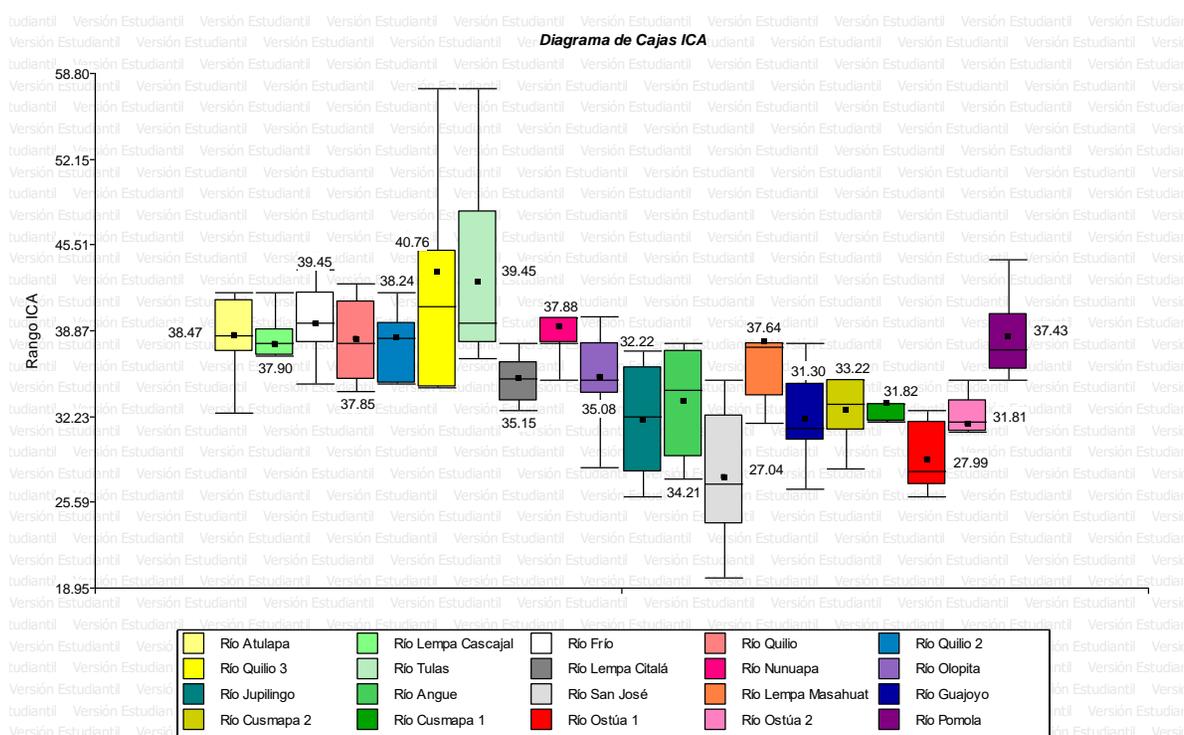
Prueba Pareada T Índice de Calidad del Agua CCMEWQI								
Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
2010	2011	16	1.51	36.55	35.04	3.39	1.78	0.095
2010	2012	16	1.74	36.55	34.81	6.12	1.14	0.2732
2010	2013	15	-1.37	36.31	37.68	7.91	-0.67	0.5138
2010	2016	16	5.99	36.55	30.55	3.06	7.84	<0.0001
2010	2017	6	-0.95	37.39	38.34	2.67	-0.87	0.4232
2010	2018	16	1.66	36.55	34.88	4.37	1.52	0.1489
2011	2012	18	0.76	35.78	35.02	5.2	0.62	0.5427
2011	2013	17	-1.84	35.93	37.77	7.14	-1.06	0.3046
2011	2016	18	4.65	35.78	31.13	2.58	7.65	<0.0001
2011	2017	8	0.35	38.91	38.55	2.72	0.37	0.724
2011	2018	18	0.69	35.78	35.08	4.16	0.71	0.4885
2012	2013	19	-2.96	36.07	39.03	6.76	-1.91	0.0723
2012	2016	20	4.26	35.74	31.48	4.7	4.05	0.0007
2012	2017	8	2.4	40.96	38.55	5.71	1.19	0.2725
2012	2018	20	0.49	35.74	35.25	4.82	0.45	0.6555
2013	2016	19	7.56	39.03	31.46	7.12	4.63	0.0002
2013	2017	8	3.55	42.1	38.55	6.53	1.54	0.1686
2013	2018	19	3.59	39.03	35.43	6.96	2.25	0.0371
2016	2017	8	-4.41	34.14	38.55	2.66	-4.69	0.0022
2016	2018	20	-3.77	31.48	35.25	2.86	-5.9	<0.0001
2017	2018	8	0.2	38.55	38.35	2.6	0.22	0.8324

Fuente: Elaboración propia, 2020

La prueba de T – bilateral muestra que existen diferencias significativas entre los valores del índice de calidad del agua (CCMEWQI) y por lo tanto variabilidad entre los años (2010 – 2016), (2011 – 2016), (2012 – 2016), (2013 – 2016), (2013 – 2018), (2016 – 2017) y (2016 – 2018).

La gráfica 27 muestra el diagrama de cajas para el índice de calidad del agua donde se observa la variabilidad en el periodo 2010 al 2018.

Gráfica 27. Diagrama de cajas para el índice de calidad del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo

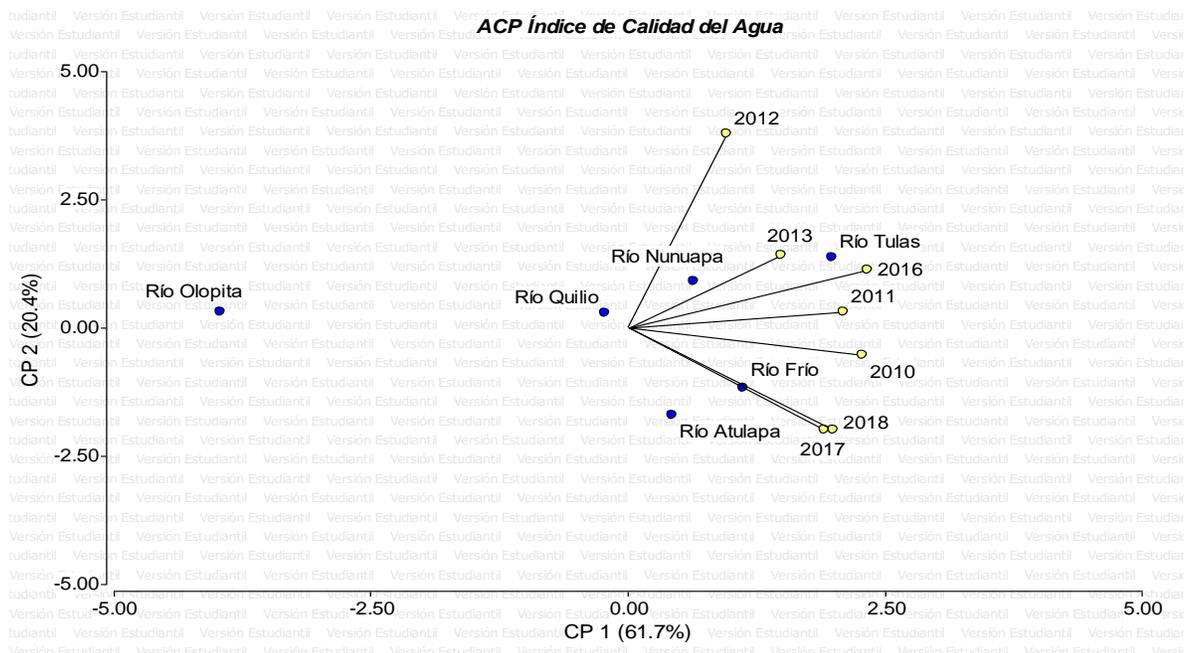


Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica muestra que los puntos de monitoreo con mayor variabilidad en el índice de calidad del agua (CCMEWQI) son: “río Quilío 3”, “río Tulas” y “río San José”; y los puntos de monitoreo con menor variabilidad en el índice de calidad del agua (CCMEWQI) son: “río Cusmapa 1”, “río Lempa Cascajal” y “río Nunuapa”.

En la gráfica 28, se presenta el análisis de componentes principales para el índice de calidad del agua de los puntos de monitoreo durante el período 2010 al 2018.

Gráfica 28. Análisis de componentes principales para el índice de calidad del agua en el periodo de 2010 al 2018 de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis de componentes principales uno y dos, existe una variabilidad del 82.1% de los datos totales analizados. Los puntos de monitoreo que presentan menor variabilidad en el índice de calidad del agua (CCMEWQI) son: “río Quilío”, “río Nunuapa”, “río Tulas”, “río Frío” y “río Atulapa”. Es importante indicar el punto de monitoreo con mayor variabilidad en el índice de calidad del agua (CCMEWQI) es el “río Olopita” en el año 2017.

9.3.4 Variabilidad espacial de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo

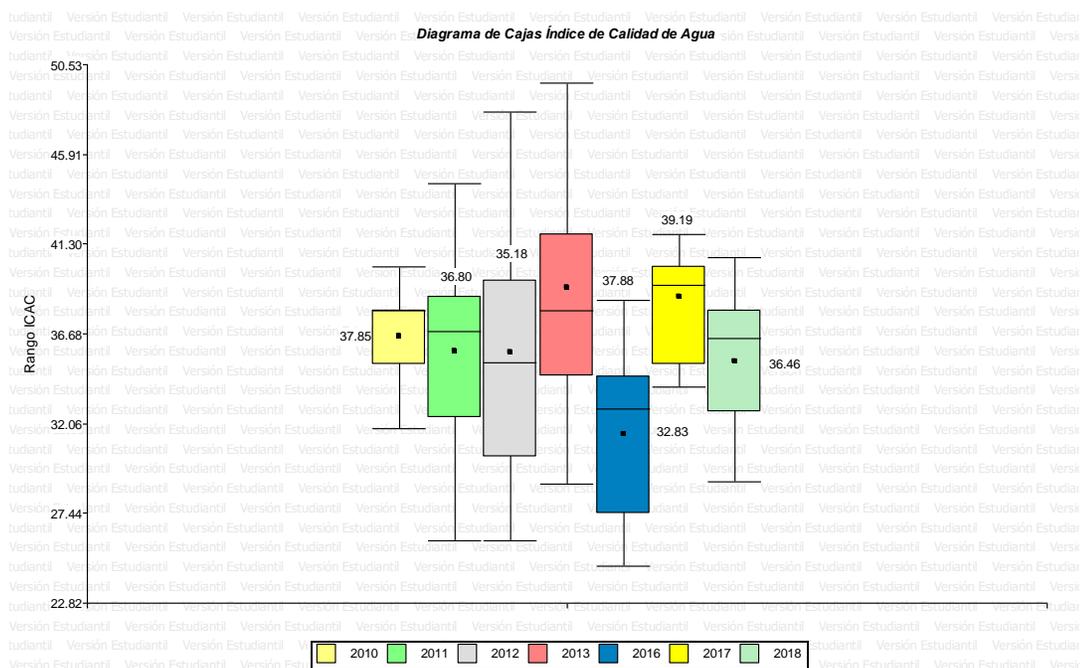
La variabilidad espacial se da a través de distancias largas o cortas de manera que puedan observarse diferencias. La variabilidad espacial de la calidad del agua se ve

modificada por múltiples actividades tanto naturales como socioeconómicas, para ello es importante determinar la variabilidad de la calidad del agua de los ríos por año en específico.

Para determinar la variabilidad espacial se utilizaron únicamente los resultados del índice de calidad del agua obtenidos a través del CCME_WQI con el objetivo de identificar el comportamiento de la calidad del agua de todos los puntos de monitoreo por año en el período 2010 al 2018.

En la gráfica 29, se presenta el diagrama de cajas para el índice de calidad del agua en la cual se observa el comportamiento de la calidad del agua a través del espacio a los puntos de monitoreo establecidos por año para el período del 2010 al 2018.

Gráfica 29. Diagrama de cajas para el índice de calidad del agua a través del espacio



Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica muestra que los años con mayor variabilidad espacial para el índice de calidad del agua (CCMEWQI) son: “2012”, “2013” y “2016”; y el año con menor variabilidad espacial para el índice de calidad del agua (CCMEWQI) es el “2010”.

De acuerdo a la gráfica anterior, el año 2012 presenta mayor variabilidad en el índice de calidad del agua (CCMEWQI) de los puntos de monitoreo bajo estudio, mientras el año con menor variabilidad en el índice de calidad del agua (CCMEWQI) es el 2010.

10. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a las características físicas, químicas y microbiológicas del agua en los principales afluentes del río Lempa y cauce principal del río Jupilingo; los parámetros con mayor variabilidad fueron: la Demanda Biológica del Oxígeno -DBO5- con valores de 0.12 a 470 mg/l, y los fosfatos con valores de 0.10 a 29.06 mg/l, para el período de 2010 al 2018.
2. El índice canadiense de calidad del agua en la cuenca alta del río Lempa muestra valores de 19.72 a 57.64, con un promedio de 35.97, y el cauce principal del río Jupilingo valores de 27.85 a 37.28, con un promedio de 31.94.
3. Los resultados muestran que el 80% de los ríos bajo estudio en el período 2010 al 2018, presentan calidad del agua clasificada como “MALA” con un índice canadiense de calidad del agua de 0 a 44, y el 20% de los ríos, presenta calidad del agua clasificada como “REGULAR” con un índice canadiense de calidad del agua de 45 a 54.
4. Los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca alta del río Lempa y cauce principal del río Jupilingo, que presentaron mayor variabilidad en el índice canadiense de calidad del agua son: “río Quilio 3” y “río Tulas” ubicado en el río de mismo nombre en Honduras y, el punto de monitoreo del “río San José”, ubicado en el río del mismo nombre en El Salvador.
5. El año con mayor variabilidad espacial del índice canadiense de calidad del agua fue el 2012 con índice de 26.87 a 45.06; y el año con menor variabilidad espacial en el índice canadiense de calidad del agua es el 2010, con un índice de 31.81 a 40.14.

11. RECOMENDACIONES

1. A las autoridades de la región Trifinio, continuar con el monitoreo de la calidad del agua de forma periódica y sistemática en la cuenca alta del río Lempa y el cauce principal del río Jupilingo.
2. Realizar estudios del impacto social y económico que tiene la calidad del agua en la salud humana y la producción agrícola en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo.
3. A las municipalidades de la región Trifinio, identificar las fuentes de contaminación antropogénicas y los puntos geográficos con mayor impacto ambiental que inciden en la calidad del agua superficial de la cuenca alta del río Lempa y el cauce principal del río Jupilingo.
4. Brindar tratamiento a las aguas residuales provenientes de los centros poblados y procesos agroindustriales que se vierten sobre el cauce del río Lempa y río Jupilingo.
5. A la población, implementar procesos de concientización y sensibilización, promoviendo la educación ambiental en la región Trifinio, con el fin de proteger, conservar y hacer un uso sostenible de los recursos hídricos.
6. Establecer alianzas estratégicas con diversas organizaciones para continuar con el monitoreo de la calidad del agua del río Lempa y río Jupilingo.
7. Fortalecer la organización comunitaria en torno al agua en la región Trifinio, para la gestión proyectos ambientales en conjunto con las municipalidades, instituciones gubernamentales y no gubernamentales, que permitan mejorar la calidad del agua y la vida de las familias que habitan en la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo.

8. Brindar seguimiento a la investigación por parte del Centro Universitario de Oriente - CUNORI-, para continuar generando información que permita la toma de decisiones, con el objetivo de realizar una gestión integral del recurso hídrico.

9. Al Centro Universitario de Oriente -CUNORI- y Mancomunidad Trinacional Fronteriza Río Lempa -MTFRL-, socializar la información de esta investigación con los diferentes actores locales y autoridades de la región Trifinio.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arreaga Fion, H. 1996. Seguridad industrial en una planta formuladora de productos químicos (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 106 p. Consultado 26 ago. 2019. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0467_IN.pdf

Ávila Baray, HL. 2006. Introducción a la metodología de la investigación (en línea). Ed. electrónica. México, Eumed.net. p. 98-100. Consultado 20 feb. 2020. Disponible en <https://docplayer.es/8281686-Avila-baray-h-l-2006-introduccion-a-la-metodologia-de-la-investigacion-espana-consulta-en-linea-07-de-enero-de-2010.html>



Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. 2001. CCME wáter quality index 1.0: user's manual (en línea). *Canadá*. 5 p. Consultado 18 sep. 2019. Disponible en https://drive.google.com/file/d/1rfEf2mXfo7XkbdOFAAhF2uD5SZR6E_NB/view?usp=sharing

Casasola Garza, AK. 2014. Línea base de la calidad de las fuentes de agua superficiales en la finca El Cascajal, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2013 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC, Cunori. 160 p. Consultado 10 ene. 2020. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Linea_base_de_la_calidad_de_las_fuentes_de_agua_superficiales_en_la_finca_el_cascajal_ubicada_en_el_municipio_de_Esquipulas_departamento_de_Chiquimula_2013.pdf

COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 2003. Norma técnica guatemalteca COGUANOR NTG 29001: agua para consumo humano (agua potable) (en línea). Guatemala. 12 p. Consultado 02 ene. 2020. Disponible en <https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemaltecaNTG29001.pdf>

Comas, E; Armengol, J; Sabater, S; Sabater, F. 1998. Variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en el río Urola (Guipuzkoa) (en línea). Universitat Politècnica de Valencia 5(4):29-36. Consultado 12 feb. 2020. Disponible en <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2769>

Comisión Trinacional del Plan Trifinio. 2005. Programa Trinacional de Desarrollo Sostenible de la cuenca alta del río Lempa (en línea). La Libertad, El Salvador, SICA. Consultado 05 jun. 2019. Disponible en <https://www.sica.int/busqueda/Proyectos.aspx?IDItem=4628&IDCat=23&IdEnt=401&Idm=2&IdmStyle=2>



CTPT (Comisión Trinacional del Plan Trifinio). 2009. El Trifinio: los recursos hídricos en la parte alta de la cuenca del río Lempa (en línea). Buch, MS; Jiménez, A (eds.). Esquipulas, Chiquimula, Guatemala, Programa para la promoción de la Administración de Agua como Bien Público Regional en la Cuenca Alta del Río Lempa en la Región del Trifinio. 113 p. Consultado 06 sep. 2019. Disponible en https://www.sica.int/documentos/el-trifinio-los-recursos-hidricos-en-la-parte-alta-de-la-cuenca-del-rio-lempa_1_72583.html

CTPT (Comisión Trinacional del Plan Trifinio). 2013. Región del trifinio en breve (en línea, sitio web). San Salvador. Consultado 14 mar. 2020. Disponible en https://www.sica.int/trifinio/r_breve.aspx

Diersing, N. 2009. Water quality: frequently asked questions (en línea). Miami, Florida, Estados Unidos, National Marine Sanctuaries. 2 p. Consultado 26 mar. 2020. Disponible en <https://drive.google.com/file/d/1gkRQO-zSdfTN63MYs5meFKk9uAu00luR/view?usp=sharing>

EPA (Environmental Protection Agency). 1997. Volunteer stream monitoring: a methods manual (en línea). Estados Unidos. 227 p. Consultado 12 ago. 2019. Disponible en https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/volunteer_stream_monitoring_a_methods_manual.pdf

García Álvarez, JR. 2010. Contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula (en línea). Tesis M.Sc. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 87 p. Consultado 23 ago. 2019. Disponible en <http://postgrado.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/09/Jos%C3%A9-Ramiro-Garc%C3%ADa-%C3%81lvarez.pdf>



García Álvarez, JR; Cerón Elías, VC. 2019. Variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua de los afluentes de la cuenca alta del río Lempa, en la región Trifinio, período 2010-2018 (en línea). Ocotepeque, Honduras, Mancomunidad Trinacional Fronteriza Río Lempa/CUNORI. 112 p. Consultado 04 feb. 2019. Disponible en <https://www.trinacionalriolempa.org/mtfrr/archivos/biblioteca/publicaciones/publicaciones/variabilidad-espacial-temporal-de-calidad-agua-de-afluentes-de-carl.pdf>

García Álvarez, JR; Hernández, HE; Suchini, JG. 2013. Análisis de la calidad del agua de los afluentes de la cuenca alta del río Lempa y residuos de plaguicidas en la producción hortícola: región Trifinio período 2010 – 2012 (en línea). Ocotepeque, Honduras, Mancomunidad Trinacional Fronteriza Río Lempa, Chiquimula, Guatemala/CUNORI/CATIE. 48 p. Consultado 04 may. 2019. Disponible en <http://www.trinacionalriolempa.org/mtfrr/archivos/biblioteca/publicaciones/publicaciones/analisis-de-calidad-del-agua.pdf>

Girón y Girón, DE. 2009. Evaluación y mapeo de la calidad de agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento y su posible relación con la red hidrológica en el casco urbano de la Ciudad de Chiquimula, 2009 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC, CUNORI. 96 p. Consultado 26 may. 2019. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Girn.D.2009.Evaluacin_Mapeo_AguaSubterrnea_Chiquimula.pdf

Gramajo Cifuentes, BM. 2004. Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 69 p. Consultado 03 ago. 2019. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0907_Q.pdf



Guevara Paz, MR. 2015. Calidad del agua superficial y propuesta de manejo en la microcuenca del río Atulapa, del área protegida trinacional Montecristo, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2014 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC, Cunori, IGAL. 154 p. Consultado 12 feb. 2019. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Calidad_del_agua_superficial_y_propuesta_de_manejo_en_la_microcuenca_del_rio_atulapa_del_area_protegida_trinacional_Montecristo_ubicada_en_el_municipio_de_Esquipulas_departamento_de_Chiquimula_2014.pdf

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1987. Diagnóstico socio económico regional trinacional del Plan de Desarrollo Integral Trifinio (en línea). El Salvador, OEA/IICA. 258 p. Consultado 12 feb. 2021. Recuperado de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/9752/BVE20057893e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Minitab. 2020. Revisión general de t pareada (en línea, sitio web). Consultado 20 jul. 2019 Disponible en <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/paired-t/before-you-start/overview/>

Montero Murcia, V; Ramírez Dalel, Y. 2018. Análisis de variabilidad en la calidad del agua a partir del uso de índices de contaminación (ICO's) como aporte al Pomca de la cuenca del río Guayuriba (en línea). Tesis Lic. Villavicencio, Colombia, Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Ambiental. 122 p. Consultado 02 may. 2019. Disponible en <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13688/2018valentinamontero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Oviedo, KM. 2010. El programa trinacional de la cuenca alta del río Lempa, paradigma de cooperación sur-sur en América Latina y el Caribe (en línea). Tesis Lic. Bogotá, Colombia, Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Facultad de Relaciones Internacionales. 62 p. Consultado 12 jul. 2019. Disponible en <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/2202/52820331-2010.pdf?sequence=1>



Plan Trifinio. 2011. Estado de la región Trifinio 2010: datos socioeconómicos y ambientales de los municipios (en línea). 83 p. Washington, GIZ/Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo Consultado 12 feb. 2020. Disponible en http://www.oas.org/en/sedi/dsd/IWRM/Ongoing_Projects/Documents/TrifinioZONA2012.pdf

Ros Moreno, A. 2011. El agua, calidad y contaminación (2/2): clasificación de los ICA (en línea, sitio web). Mail x mail. Consultado 03 jul. 2019. Disponible en <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/clasificacion-ica>

Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. 1993. Plan Trifinio – El Salvador – Guatemala – Honduras (en línea). Washington D.C., Estados Unidos, OAS/IICA. Consultado 12 ago. 2019. Disponible en <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea29s/begin.htm#Contents>

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Compendio de estadísticas ambientales: Índice de calidad del agua (en línea). México, Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Consultado 03 feb. 2020. Disponible en http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/Presentacion/index.htm

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2007. Estimación del índice de calidad del agua general ICA (en línea). San Salvador, El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales/SNET. 13 p. Consultado 02 sep. 2019. Disponible en <https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00119/doc00119-contenido.pdf>



Shmoop University. 2021. Diagrama de cajas (en línea, sitio web). Consultado 18 ene. 2021. Disponible en <https://www.shmoop.com/estadistica-basica-probabilidades/diagrama-caja.html>

Wikipedia, la enciclopedia libre. 2021. Análisis de componentes principales (en línea, sitio web). Consultado 22 feb. 2021. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_componentes_principales



13. APÉNDICES

Apéndice 1. Base de datos de monitoreos de la calidad del agua del río Lempa y río Jupilingo del período 2010 al 2018

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA NOVIEMBRE DE 2010														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.55	19.9	37.8	7.84	6.65	24.19	1.936	1.215	0.026	14.577			
2	Río Lempa Cascajal													
3	Río Frio	7.81	19.6	41.45	8.2	7.85	26.88	2.075	0.72	0.005	16.767	0.12	17.85	23
4	Río Quillio	7.69	20.4	26.5	8.1	11.5	17.21	0.961	0.144	0.008	15.567	0.32	15.3	93
5	Río Quillio 2													
6	Río Quillio 3													
7	Río Tulas	7.63	18.3	23.6	8.19	11.25	15.49	1.486	0.122	0.007	16.933	0.26	17.31	150
8	Río Lempa Citalá	8.17	24.5	69.9	8.53	57.71	45.44	3.4	0.552	0.021	24.567	0.51	38.76	> 2400
9	Río Nunuapa	8.11	21.3	56.6	7.98	8.82	35.84	1.522	0.541	0.006	16.567	0.38	29.07	240 NMP/100ml
10	Río Olopita	8.79	22.56	154.3	8.11	14.7	98.37	0.689	0.541	0.008	38.9	0.75	100.98	93
11	Río Jupilingo	8.35	26.6	22.55	7.29	50.08	140.8	0.717	1.027	0.014	26.133	0.6	157.59	1100
12	Río Angue	7.94	20.9	236	7.4	3.7	147.2	0.606	0.712	0.005	36.133	0.57	146.37	> 2400
13	Río San José	7.49	20.4	263	3.25	5.47	163.2	3.322	0.791	0.015	38.3	4.069	156.57	> 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.22	20.8	98.7	8.65	8.9	62.34	0.45	0.524	0.007	24.233	0.225	61.2	210
15	Río Guajoyo	8.21	22.5	250	8.56	4.48	155.52	1.344	0.867	0.01	29.13	0.585	153.51	460 NMP/100ml
16	Río Cusmapa 2	8.7	25.6	223.5	10.76	2.76	138.37	1.425	1.239	0.053	27.7	0.495	128.01	1100
17	Río Cusmapa 1	7.92	23.5	154.4	7.6	3.4	96.71	0.919	1.552	0.003	23.533	0.345	92.82	93
18	Río Ostúa 1	7.9	25.3	230	7.13	31.8	143.36	1.489	1.557	0.016	23.6	0.81	123.93	> 2400
19	Río Ostúa 2	8.43	26.1	162	8.08	9.58	101.5	1.117	1.098	0.023	28.6	2.475	93.84	> 2400
20	Río Pomola													
Límite Máximo Aceptable		7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
Límite Máximo Permisible		6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA FEBRERO DE 2011														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.26	18.5	68.6	6.64	10.3	43.904	0.411	0.639	0.015	24.7	24.1351	51.51	> 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.59	19	64.5	7	6	41.28	2.325	0.484	0.008	25.6	5.745	36.72	> 2400
3	Río Frio	7.95	17.7	50.9	8.45	2.6	32.576	0.272	0.435	0.002	26	0.96	27.54	> 2400
4	Río Quillio	7.85	19.05	37.85	8.34	5.8	24.224	0.758	0.22	0.003	22.633	0.66	21.42	43
5	Río Quillio 2													
6	Río Quillio 3													
7	Río Tulas	7.84	18.5	33.45	8.14	6.11	21.408	0.197	0.883	0.004	27.4	0.885	18.87	> 2400
8	Río Lempa Citalá	9.9	28.1	83.6	9.05	16.4	53.504	0.775	0.375	0.005	33.2	2.91	37.74	> 2400
9	Río Nunuapa	8.42	21.9	71.35	7.69	2	45.664	0.792	0.457	0.002	21.467	1.155	35.7	9
10	Río Olopita	8.21	20.6	194.8	6.53	4.08	124.67	1.831	0.579	0.002	31.7	1.62	120.87	> 2400
11	Río Jupilingo	8.71	24.9	231.5	9.12	14.7	148.16	0.278	2.745	0.004	60.167	1.299	99.96	75
12	Río Angue	7.83	23.6	276	5.55	1.7	176.64	0.531	1.443	0.004	50.833	2.97	167.7	240 NMP/100ml
13	Río San José	7.3	22.9	482.5	0.19	36.3	308.8	19.186	0.927	0.042	61.333	63.96	164.73	> 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.66	25.3	107.4	8.64	4.1	68.736	0.519	0.527	0.002	31.733	0.975	156.57	43 NMP/100ml
15	Río Guajoyo	8.49	26.3	254	9.89	4.5	162.56	1.422	0.747	0.003	34.033	1.755	142.29	> 2400
16	Río Cusmapa 2	8.98	28.6	266.5	12.71	1.5	170.56	2.253	0.951	0.002	31.1	2.4	144.33	460
17	Río Cusmapa 1	7.68	25.45	172.05	5.95	2.5	110.112	0.872	1.109	0.001	28.7	0.495	97.92	> 2400
18	Río Ostúa 1	8.05	27.7	282	7.04	17	180.48	1.589	1.166	0.027	35.133	1.185	135.66	240
19	Río Ostúa 2	8.96	27.95	197.1	12.12	3.9	126.144	1.469	1.446	0.042	34.633	2.685	98.94	> 2400
20	Río Pomola	8.21	25.3	58.1	7.65	13.4	37.184	2.294	0.22	0.005	28.133	1.74	54.57	93
Límite Máximo Aceptable		7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
Límite Máximo Permisible		6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

Continúa apéndice 1.

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA SEPTIEMBRE DE 2011														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.66	20.6	3.98	8.06	21	171.52	0.511	0.539	0.017	15.89	11.1	21	> 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.7	20.8	4.06	8.09	9	151.04	1.325	0.784	0.0088	14.25	9.9	19	> 2400 NMP/100ml
3	Río Frío	7.51	20.35	4.22	8.18	12	186.88	0.2	0.475	0.0022	12	10.2	17	150
4	Río Quillio	7.61	21.7	2.51	8.03	56	179.2	0.658	0.32	0.004	12.56	1155	23	> 2400
5	Río Quillio 2													
6	Río Quillio 3													
7	Río Tulas	7.63	20.7	2.52	7.98	23	138.24	0.47	1.883	0.003	20.7	14.7	17	210
8	Río Lempa Citalá	7.79	26.9	6.76	7.72	41	215.04	0.375	2.375	0.0045	30.2	13.2	34	> 2400
9	Río Nunuapa	7.78	21.2	4.44	8.37	34	161.28	0.392	1.457	0.0033	11.467	11.7	20	460
10	Río Olopita	8.04	23.5	12.38	7.47	40	294.4	0.83	0.57	0.0044	25	23.4	69	> 2400
11	Río Jupilingo													
12	Río Angue	7.87	24.8	16.13	7.22	56	202.24	0.431	1.243	0.0044	40.35	35.85	84	460
13	Río San José	7.36	24.1	20.27	3.83	19	186.88	11.186	1.927	0.052	59.33	214.2	95	> 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.02	25.8	7.98	7.86	101	212.48	0.419	0.427	0.0022	30.733	31.35	150	460
15	Río Guajoyo	7.95	26.8	17.48	7.27	341	312.32	1.822	0.647	0.002	30.033	185.85	140	> 2400
16	Río Cusmapa 2	7.98	28	15.01	7.2	41	358.4	2	1.951	0.0035	38	30.6	60	> 2400
17	Río Cusmapa 1	7.98	26.47	14.77	7.4	24	312.32	0.772	1.1	0.002	26.78	39.9	67	240
18	Río Ostúa 1	7.54	27.3	15.75	6.47	179	965.12	1.989	1.966	0.067	30.133	50.1	73	> 2400
19	Río Ostúa 2	7.66	26.5	8.76	7.32	219	691.2	1.969	1.946	0.082	36.633	64.2	44	> 2400
20	Río Pomola	7.75	25.03	4.06	7.5	38	225.28	1.294	1.22	0.055	20.13	11.1	19	93
	Limite Máximo Aceptable	7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
	Limite Máximo Permissible	6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA DICIEMBRE DE 2011														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.56	15.7	53.43	8.71	5.2	65.44	0.0722	0.3288	0.003	2.8333	9	13	240
2	Río Lempa Cascajal	7.66	15.7	53.7	8.8	5.5	79.366	0.0722	0.481	0.0032	3.6667	5.4	13	150
3	Río Frío	7.72	16	59.1	8.88	4.5	61.44	0.0944	0.2473	0.0027	9.4667	13.8	15	> 2400
4	Río Quillio	7.56	16	38.9	8.96	10.7	148.48	0.0778	0.0734	0.0051	2.6667	11.4	14	240
5	Río Quillio 2													
6	Río Quillio 3													
7	Río Tulas	7.47	14.73	34.5	8.81	10	151.04	0.0778	0.0924	0.005	3.1333	7.8	8	28
8	Río Lempa Citalá	8.65	21.73	106.03	9.38	11.5	120.32	0.1389	0.2853	0.009	12.2667	12	43	150
9	Río Nunuapa	8.03	16.4	84.27	8.74	5.2	151.04	0.15	0.0788	0.0069	6.1	11.4	30	21
10	Río Olopita	7.96	17.03	200.57	8.2	11.5	140.8	0.1111	0.4076	0.005	28.2	10.2	77	Mayor o igual 2400
11	Río Jupilingo	8.25	21.1	325	8.42	36.5	202.24	0.2833	0.7201	0.0098	44.2667	15.6	144	Mayor o igual 2400
12	Río Angue	7.97	18.4	333	8.04	5.4	207.36	0.1917	0.4674	0.0044	38.0663	24.6	151	240
13	Río San José	7.43	18.5	370.5	3.7	7.7	204.8	0.9278	0.4946	0.0173	22.4	64.8	157	Mayor o igual 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.16	19.3	137.9	9.13	6.3	107.52	0.15	0.3641	0.0051	14.7333	23.4	65	150 NMP/100ml
15	Río Guajoyo	8.03	21.57	359	8.86	4.4	209.92	0.4139	0.8533	0.0084	23.6667	32.4	146	240
16	Río Cusmapa 2	8.63	32.1	219.2	10.11	4.3	153.6	0.3167	1.4429	0.0043	20.3333	15	118	240
17	Río Cusmapa 1	7.82	21.6	310.5	7.74	4.4	181.76	0.4472	0.7799	0.0061	20.5	18	81	93
18	Río Ostúa 1	7.96	23.97	339.5	7.6	30.1	222.72	0.625	1.2663	0.0184	21.9	18.6	119	93
19	Río Ostúa 2	8.21	24.3	240.5	8.22	6.8	176.64	0.4083	0.9837	0.0167	15.9333	33	90	Mayor o igual 2400
20	Río Pomola	7.93	21.3	70.57	8.12	20.1	104.96	0.2722	0.2745	0.003	3.6667	13.2	22	240
	Limite Máximo Aceptable	7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
	Limite Máximo Permissible	6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

Continúa apéndice 1.

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA MARZO DE 2012														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.67	19.23	55.26	8.33	4.5	35.36	0.386	0.89	0.004	25	32.4	25	150
2	Río Lempa Cascajal	7.603	20	60.83	7.65	3	38.4	1.2	0.492	0.0052	30	75.6	40	1100
3	Río Frio	7.89	20.5	59.83	8.16	1.5	38.29	0.475	0.3473	0.002	15	20.4	15	1100
4	Río Quillio	8	21.5	47	8.266	10.1	30.08	0.7778	0.3734	0.0053	15	21.6	18	75
5	Río Quillio 2	6.74	18.6	35.1	6.64	15	22.464	0.074	0.055	0.003	20.3	31.2	13	460
6	Río Quillio 3	7.4	19.2	34.8	7.63	18	22.27	0.077	0.073	0.0051	18	13.2	13	1100
7	Río Tulas	8.02	20.83	42.067	7.986	8	26.92	0.3778	0.9924	0.005	15	14.4	14	43
8	Río Lempa Citalá	9.45	27.467	114.86	8.243	30.3	73.51	0.775	0.9853	0.006	15.8	34.8	38	Mayor o igual a 2400.0
9	Río Nunupa	8.356	23.63	102.36	7.393	2	65.51	0.63	0.387	0.0032	12.8	25.2	35	43
10	Río Olopita	8.056	20.3	236	7.533	10	151.04	0.893	0.4076	0.003	28.2	31.2	77	460
11	Río Jupilingo	8.66	28.2	313	7.89	26.5	200.32	0.28	1.7201	0.0088	48.2667	20.6	164	Mayor o igual 2400
12	Río Angue	7.91	22.1	388	6.6	3	248.32	0.3917	1.4674	0.0044	38	116.4	150	240
13	Río San José	7.28	21.57	621.66	0.17	10	397.99	15.9278	0.8946	0.0373	65.4	301.2	147	Mayor o igual 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.55	25.3	146.43	8.63	85	93.71	0.65	0.3641	0.0051	16.7333	57.6	100	15
15	Río Guajoyo	8.31	26.06	333	9.326	6.4	213.12	1.4139	0.8533	0.0044	25.6667	28.8	130	150
16	Río Cusmapa 2	8.99	30.56	363.66	11.6	4	232.74	0.316	1.429	0.0043	18.3333	36	129	240
17	Río Cusmapa 1	7.62	25.36	247.66	5.812	4	158.5	0.7472	0.8799	0.0051	20	39.6	91	240
18	Río Ostúa 1	8.03	27.1	390.66	7.463	25.1	250.02	1.625	1.2663	1.0184	29.9	37.2	120	1100
19	Río Ostúa 2	8.396	27.8	274	9.21	9.8	175.36	1.4083	1.9837	0.0367	20.9333	67.2	90	Mayor o igual 2400
20	Río Pomola	7.81	25.1	83.63	7.01	10.56	53.52	2.8722	0.2645	0.0033	3.6667	19.2	33	210
Limite Máximo Aceptable		7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
Limite Máximo Permisible		6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA SEPTIEMBRE DE 2012														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.39	20	53.9	8.14	21	34.5	1.19	1.7	0.018	20	51.6	23	260
2	Río Lempa Cascajal	7.58	20.43	54.5	8.1	21	34.88	0.84	2.04	0.0083	20	39.6	35	1100
3	Río Frio	7.68	20.06	65.56	8.2	12	41.96	0.39	1.85	0.0029	15	46.8	16	1100
4	Río Quillio	7.57	21.3	33	8.19	56	21.12	0.53	0.24	0.0048	15	45.6	21	93
5	Río Quillio 2	6.64	19.33	26.8	7.07	12	17.15	0.74	0.13	0.0025	18	26.4	15	240
6	Río Quillio 3	7.03	19.73	27.53	7.67	20	17.64	0.15	0.14	0.0055	20	16.8	17	240
7	Río Tulas	7.4	20.9	28.3	7.89	23	18.11	0.94	0.34	0.0058	20	37.2	15	240
8	Río Lempa Citalá	7.38	23.8	82.2	7.5	60	52.61	0.63	0.84	0.005	18	55.2	36	Mayor o igual a 2400.0
9	Río Nunupa	7.87	20.7	55.9	8.53	60	35.78	0.62	0.58	0.058	18	70.8	28	240
10	Río Olopita	7.67	21.9	122.43	7.71	20	78.36	0.44	1.61	0.0039	27	49.2	73	210
11	Río Jupilingo	8.14	29.33	265.66	6.79	900	170.02	0.33	1.11	0.094	35	88.8	125	Mayor o igual 2400
12	Río Angue	7.96	23.6	171.57	7.516	56	109.8	0.67	0.69	0.0045	40	162.6	100	Mayor o igual a 2400.0
13	Río San José	7.67	23	216.8	6.48	15	138.75	0.82	0.49	0.003	45	124.8	120	Mayor o igual 2400
14	Río Lempa Masahuat	7.83	24.83	98.73	8.07	100	63.19	0.82	2.02	0.0068	20	146.4	125	Mayor o igual a 2400.0
15	Río Guajoyo	7.97	26.4	232	7.35	240	148.48	0.87	1.1	0.0048	23	145.2	135	Mayor o igual a 2400
16	Río Cusmapa 2	7.916	25.73	240	7.43	20	153.6	0.93	0.88	0.0045	22	250.8	80	Mayor o igual a 2400.0
17	Río Cusmapa 1	8.59	28.73	269	8.85	24	172.35	1.08	0.142	0.98	25	175.20	100	Mayor o igual a 2400.0
18	Río Ostúa 1	7.84	25.7	116.8	7.58	230	74.75	0.89	0.9	0.89	23	205.2	90	Mayor o igual a 2400.0
19	Río Ostúa 2	7.726	26.9	188.03	7.056	219	120.34	0.29	0.98	0.093	35	121.2		Mayor o igual a 2400.0
20	Río Pomola	7.69	23.4	50.7	7.77	38	32.45	0.87	0.4	0.083	21	72	25	1100
Limite Máximo Aceptable		7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
Limite Máximo Permisible		6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

Continúa apéndice 1.

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA DICIEMBRE DE 2012														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.47	18	47.2	8.37	6.1	30.208	0.19	0.26	0.002	3.2	22.25	16	Mayor o igual a 2400.0
2	Río Lempa Cascajal	7.58	18.4	48.1	8.43	10	30.784	0.22	0.42	0.003	3.47	27	25	Mayor o igual a 2400.0
3	Río Frío	7.82	17.9	53.1	8.64	6.2	33.98	0.32	0.83	0.002	6.87	10.8	37	23
4	Río Quillio	7.71	18.6	36.3	8.56	60	23.23	0.33	0.74	0.004	3.33	15.3	23	460
5	Río Quillio 2	6.78	17.3	30.1	7.69	6.5	19.264	0.09	0.32	0.003	1.73	15	25	240
6	Río Quillio 3	7.18	17.1	30.5	8.07	9	19.52	0.11	0.23	0.003	1.93	12.3	18	120
7	Río Tulas	7.56	17.4	31.8	8.47	9	20.35	0.21	0.96	0.004	3.4	8	29	75
8	Río Lempa Citalá	8.47	24.6	87.3	8.26	9.3	55.872	0.61	1.76	0.007	7.27	25.3	45	Mayor o igual a 2400.0
9	Río Nunuapa	8.1	19.3	85.9	8.34	4.1	54.976	0.78	1.67	0.002	3.93	15	14	93
10	Río Olopita	8.15	20.7	214.7	7.63	4.4	137.408	0.44	0.49	0.002	25.13	20.2	98.5	460
11	Río Jupilingo													
12	Río Angue	7.94	21.3	298	7.51	1.61	190.72	0.77	0.5	0.002	48.2	35	150	260
13	Río San José	7.36	21.2	386	2.66	10	247.04	3.11	0.69	0.007	19.56	500	192	Mayor o igual a 2400.0
14	Río Lempa Masahuat	8.74	22	113.4	10.03	7.3	72.576	0.49	0.43	0.004	10.67	40	49	240
15	Río Guajoyo	8.21	24.8	343	8.77	7.5	219.52	1.11	0.08	0.003	14.2	45	165	460
16	Río Cusmapa 2	8.74	26.8	357	10.9	1.2	228.48	1.72	0.14	0.002	14.33	55	181	75
17	Río Cusmapa 1	7.61	23.6	229	7.03	1.6	146.56	0.99	0.13	0.001	17.53	45	120	93
18	Río Ostúa 1	8.11	26.3	391	9.12	6.3	156.56	1.12	0.18	0.018	15.4	40	16	Mayor o igual a 2400
19	Río Ostúa 2	8.38	26.7	254	9.32	10	162.56	1.4	0.45	0.026	22.8	60	25	Mayor o igual a 2400
20	Río Pomola	7.99	23.1	65.3	7.88	13	41.79	0.34	0.4	0.005	5.87	20	37.5	240
	Limite Máximo Aceptable	7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
	Limite Máximo Permissible	6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA MAYO DE 2013														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.32	21.21	68.7	7.13	2.01	43.968	0.48	0.14	0.002	1.73	13.2	21	Mayor o igual a 2400.0
2	Río Lempa Cascajal	7.77	22.2	70	7.97	2.16	44.8	0.11	0.12	0.002	1.2	22.8	20	Mayor o igual a 2400.0
3	Río Frío	7.73	22.4	83.1	7.96	3.44	53.184	0.21	0.11	0.001	12.93	48	24	460
4	Río Quillio	6.75	20	37.5	7.54	5.6	24	0.09	0.29	0.006	1.6	21.6	10	1100
5	Río Quillio 2	7.18	21.3	39	7.58	10.2	24.96	0.1	0.13	0.005	2.07	12	10	Mayor o igual a 2400.0
6	Río Quillio 3	7.93	24.5	59	8.09	9.3	37.76	0.24	0.12	0.004	2.33	9.6	11	75
7	Río Tulas	8.42	24.5	44.6	8.02	9.2	28.544	0.17	0.1	0.005	2.73	16.8	10	75
8	Río Lempa Citalá	9.33	31.9	130	9.12	36.1	83.2	0.83	0.21	0.012	7.73	31.2	32	1100
9	Río Nunuapa	8.38	26.3	107.9	7.44	1.6	69.056	0.98	0.16	0.002	1.07	25.3	30	Mayor o igual a 2400.0
10	Río Olopita	7.98	21.17	249	6.02	3	159.36	0.43	0.2	0.002	29.27	16.8	92	Mayor o igual a 2400.0
11	Río Jupilingo	8.75	30.6	322	8.39	4.8	206.08	0.15	0.14	0.001	59.07	68	137	1100
12	Río Angue	7.39	27	385	1.97	3.43	246.4	0.89	0.18	0.011	61.93	61.2	161	240
13	Río San José	7.14	25.8	891	0.22	68.2	570.24	29.06	0.3	0.057	38.33	1881	150	Mayor o igual a 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.71	29.3	152.4	8.77	14.5	97.536	0.69	0.21	0.012	15.75	49.2	52	43
15	Río Guajoyo	8.36	29.8	318	9.67	2.7	98	1.78	0.21	0.003	10.53	64.8	108	440
16	Río Cusmapa 2	8.48	30	420	9.63	2.7	268.8	3.76	0.17	0.002	1.67	81.6	127	460
17	Río Cusmapa 1													
18	Río Ostúa 1	8.06	30	442	7.46	9.4	282.88	1.78	0.53	0.044	28.67	121.2	125	1100
19	Río Ostúa 2	7.84	31	280	7.58	7.8	179.2	1.98	0.41	0.029	15.2	66	86	Mayor o igual a 2400
20	Río Pomola	8.16	29.5	99	7.44	9.2	63.366	0.27	0.16	0.005	2.8	30	23	Mayor o igual a 2400
	Limite Máximo Aceptable	7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
	Limite Máximo Permissible	6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

Continúa apéndice 1.

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA FEBRERO DE 2016														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.52	18.5	57.3	8.22	4.76	36.67	0.64	0.39	0.006	3.13	188.4	15	Mayor o igual a 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.5	18.7	59.5	8.54	8.64	38.08	0.21	0.8	0.003	12.27	165.6	15	Mayor o igual a 2400
3	Río Frio	7.64	19	70.3	8.57	3.69	44.99	0.28	0.29	0.009	13.93	162	30	Mayor o igual a 2400
4	Río Quilio	6.73	16.6	34.7	6.4	9.46	22.21	0.29	0.14	0.004	3.8	159.6	15	Mayor o igual a 2400
5	Río Quilio 2	7.21	16.7	37.8	7.68	7.19	24.19	1.1	0.15	0.003	35.2	169.2	20	Mayor o igual a 2400
6	Río Quilio 3	7.97	20.9	50.7	8.47	7.16	32.45	2.17	0.13	0.011	9.13	133.2	15	Mayor o igual a 2400
7	Río Tulas	7.94	17.6	47.2	8.65	8.63	30.21	1.91	0.18	0.043	36	177.6	35	Mayor o igual a 2400
8	Río Lempa Citalá	9.09	21.3	110.2	7.74	18.1	70.53	1.83	0.55	0.006	19.33	165.7	35	Mayor o igual a 2400
9	Río Nunuapa	7.87	20.4	94.8	7.78	1.9	60.67	0.55	0.32	0.002	12	151.2	30	Mayor o igual a 2400
10	Río Olopita	7.79	21.2	240	6.71	5.71	153.6	0.25	0.34	0.005	2.67	184.8	110	Mayor o igual a 2400
11	Río Jupilingo	8.73	32	280	11.16	3.92	179.2	0.07	0.14	0.002	57.13	12	160	Mayor o igual a 2400
12	Río Angue	7.73	21.3	318	5.58	77.5	203.52	0.9	0.4	0.002	47.6	156	170	Mayor o igual a 2400
13	Río San José	7.28	19.6	767	0.48	1.7	490.88	5.97	0.13	0.054	58.67	570	160	Mayor o igual a 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.54	25.2	136.4	9.48	4.1	87.04	0.94	0.09	0.001	4.93	117.6	70	Mayor o igual a 2400
15	Río Guajoyo	8.23	23.4	339	9.14	7.4	216.96	1.04	0.28	0.011	12.13	124.8	150	Mayor o igual a 2400
16	Río Cusmapa 2	8.4	27.1	447	11.83	7.7	286.08	0.44	0.25	0.04	0.53	153.6	190	Mayor o igual a 2400
17	Río Cusmapa 1													
18	Río Ostúa 1	8.06	26.6	514	9.02	6.5	328.96	0.35	1.02	0.006	2.2	141.6	180	Mayor o igual a 2400
19	Río Ostúa 2	8.26	27.4	345	14.43	4.8	220.8	3.65	0.84	0.127	21.33	115.2	150	Mayor o igual a 2400
20	Río Pomola	7.75	20.1	78.1	8.14	10	49.98	4.16	0.22	0.002	12.73	172.8	35	Mayor o igual a 2400
	Límite Máximo Aceptable	7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
	Límite Máximo Permisible	6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA JUNIO DE 2016														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.63	31.2	77.3	6.29	1.76	49.47	0.23	0.15	0.003	5.33	26.4	80	Mayor o igual a 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.52	23.9	82.8	8.27	2.79	52.99	0.33	0.12	0.003	0.12	153.6	30	Mayor o igual a 2400
3	Río Frio	7.97	27.8	84.7	7.33	1.69	54.21	0.33	0.21	0.002	14.87	34.8	30	Mayor o igual a 2400
4	Río Quilio	6.52	21.3	39.9	4.7	7.6	25.54	0.18	0.09	0.07	1.67	12	30	Mayor o igual a 2400
5	Río Quilio 2	7.14	21.5	41.4	7.24	8.8	26.49	0.39	0.15	0.007	1.87	25.2	20	Mayor o igual a 2400
6	Río Quilio 3	8.37	28.6	61.6	7.91	15	39.42	0.4	0.1	0.007	6	27.6	10	Mayor o igual a 2400
7	Río Tulas	8.57	24.9	45.5	8.65	37.8	29.12	0.41	1.12	0.016	11.4	15.6	20	Mayor o igual a 2400
8	Río Lempa Citalá	7.95	25.9	117.6	8.22	19.5	75.26	1.27	0.38	0.023	15.93	43.4	50	Mayor o igual a 2400
9	Río Nunuapa	7.69	23.1	106.2	7.35	1	67.97	0.97	0.18	0.004	6.67	20.4	45	Mayor o igual a 2400
10	Río Olopita	8.52	31.5	202	8.84	10.7	129.28	0.63	0.25	0.06	22.4	193.5	95	Mayor o igual a 2400
11	Río Jupilingo	8.5	33.02	327	9.12	2.75	209.28	0.38	0.28	0.002	56.73	136.8	150	Mayor o igual a 2400
12	Río Angue	7.41	28	222	6.01	49.3	142.08	2.09	4.21	0.075	40.8	130.8	100	Mayor o igual a 2400
13	Río San José	7.14	27	517	0.31	47.7	330.88	12.06	0.45	0.006	27.73	459	155	Mayor o igual a 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.32	30.2	144	9.31	24.1	92.16	1.38	0.49	0.017	19.33	114	85	Mayor o igual a 2400
15	Río Guajoyo	7.78	30.4	266	9.16	11.4	170.24	3.71	0.85	0.038	16.4	132	200	Mayor o igual a 2400
16	Río Cusmapa 2	8.65	33.3	358	9.93	40.3	219.12	5.31	0.45	0.024	10.93	117.6	145	Mayor o igual a 2400
17	Río Cusmapa 1													
18	Río Ostúa 1	7.45	30.8	333	5.05	22	213.12	2.37	2.54	0.104	30.6	56.4	100	Mayor o igual a 2400
19	Río Ostúa 2	7.53	30.4	245	5.37	24.4	156.8	2.4	1.82	0.089	35.13	73.2	120	Mayor o igual a 2400
20	Río Pomola	8.45	28.7	96.6	7.9	3.8	61.82	0.43	0.24	0.003	4.93	32.4	40	1100
	Límite Máximo Aceptable	7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
	Límite Máximo Permisible	6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

Continúa apéndice 1.

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA SEPTIEMBRE DE 2016														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	6.99	20.8	50.5	8.9	9.31	32.32	0.38	0.43	0.003	36.67	32.4	30	Mayor o igual a 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.46	26.3	52.2	7.18	9.4	33.41	1.81	1.3	0.004	3.07	15.6	30	Mayor o igual a 2400
3	Río Frio	7.48	20.4	54.17	8.41	12.8	34.69	0.69	0.83	0.003	7.93	30	20	Mayor o igual a 2400
4	Río Quilío	6.22	20	33.2	5.2	4.06	21.25	0.23	0.15	0.004	1.47	132	50	Mayor o igual a 2400
5	Río Quilío 2	6.82	20.1	35.5	7.39	5.48	22.72	0.28	0.18	0.005	2.6	121.2	50	Mayor o igual a 2400
6	Río Quilío 3	7.2	21.5	38.6	8.15	73.1	24.7	0.82	0.14	0.013	11	33.6	15	Mayor o igual a 2400
7	Río Tulas	7.35	20.8	36.1	8.32	39.2	23.1	0.31	0.1	0.01	8.13	115.2	15	Mayor o igual a 2400
8	Río Lempa Citalá	7.29	26.15	154.65	7.02	123	98.98	0.77	0.65	0.004	5.73	111.6	55	Mayor o igual a 2400
9	Río Nunuapa	7.5	22.55	121.9	7.43	16.6	78.02	0.87	0.15	0.02	13.87	109.2	75	Mayor o igual a 2400
10	Río Olopita	7.49	25.9	98.2	7.43	129	62.15	0.72	0.26	0.022	23.4	22.8	100	Mayor o igual a 2400
11	Río Jupilingo	8.14	29.33	265.66	6.79	900	170.02	0.33	1.11	0.094	35	88.8	125	Mayor o igual a 2400
12	Río Angue	7.42	23.1	112.55	7.98	834	72.04	1.34	0.2	0.027	26.47	70.8	130	Mayor o igual a 2400
13	Río San José	7.58	24	207.8	6.43	167	132.99	2.46	0.45	0.02	20.2	102	160	Mayor o igual a 2400
14	Río Lempa Masahuat	7.11	23.7	54.55	8.41	1371	34.91	2.31	0.14	0.019	20.13	92.4	70	Mayor o igual a 2400
15	Río Guajoyo	7.89	25.7	162.3	8.21	186	103.87	1.52	0.46	0.026	29.53	86.4	125	Mayor o igual a 2400
16	Río Cusmapa 2	8.53	28.35	260	10.43	21	166.4	1.9	0.2	0.013	16.73	80.4	120	Mayor o igual a 2400
17	Río Cusmapa 1	7.78	25.45	238	7.86	5	152.32	1.23	0.22	0.003	21.2	82.8	121	Mayor o igual a 2400
18	Río Ostúa 1	7.38	27	215.9	7.11	152	138.18	1.76	1.23	0.027	23.67	90	150	Mayor o igual a 2400
19	Río Ostúa 2	7.74	27	121.5	7.8	133	77.76	0.91	1.1	0.022	23.6	91.2	110	Mayor o igual a 2400
20	Río Pomola	7.66	23.6	103.5	7.49	30.8	66.24	0.43	0.16	0.009	7.13	126	40	Mayor o igual a 2400
Limite Máximo Aceptable		7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
Limite Máximo Permisible		6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA DICIEMBRE DE 2016														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	6.95	17.9	43.5	8.92	2.95	20.47	0.92	0.39	0.015	38	55.2	35	Mayor o igual a 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.23	17.5	54.3	9.39	4.12	25.7	0.64	0.55	0.003	7.53	58.8	35	Mayor o igual a 2400
3	Río Frio	7.39	17.3	51.6	9.36	7.61	24.4	0.69	0.68	0.002	1.33	54	15	Mayor o igual a 2400
4	Río Quilío	6.44	18.1	33.4	4.94	3.49	15.67	0.89	0.08	0.004	40.8	13.2	75	Mayor o igual a 2400
5	Río Quilío 2	6.68	17.2	36.2	6.32	3.34	17.03	0.94	0.07	0.001	3.73	12	70	Mayor o igual a 2400
6	Río Quilío 3	7.24	20	43	8.84	3.74	20.25	0.58	0.07	0.002	8.27	56.4	20	Mayor o igual a 2400
7	Río Tulas	7.44	18.5	28.8	7.08	4.71	13.48	1.67	0.05	0.007	6.8	15.6	20	Mayor o igual a 2400
8	Río Lempa Citalá	8.54	22.2	74	10.38	7.13	35	0.37	0.46	0.001	0.4	15.6	70	Mayor o igual a 2400
9	Río Nunuapa	7.91	19.5	74.5	9.18	3.79	35	0.59	0.08	0.001	0.6	12	105	Mayor o igual a 2400
10	Río Olopita	8.68	26.1	204.9	7.56	5.45	98.1	0.71	0.13	0.013	3.87	60	110	Mayor o igual a 2400
11	Río Jupilingo	8.18	25.8	232	8.29	3.99	111.4	0.33	0.47	0.001	0.47	66	135	Mayor o igual a 2400
12	Río Angue	7.58	24.3	235	6.68	11.6	112.7	0.56	0.12	0.001	0.33	62.4	120	Mayor o igual a 2400
13	Río San José	7.07	22.7	721	0.53	61	353	1.29	0.3	0.001	0.8	750	155	Mayor o igual a 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.91	24.9	108	11.9	3	51.2	0.39	0.07	0.001	0.77	114	55	Mayor o igual a 2400
15	Río Guajoyo	7.89	25	329	6.8	8.31	158	2.44	0.2	0.006	18.33	118.8	175	Mayor o igual a 2400
16	Río Cusmapa 2													
17	Río Cusmapa 1													
18	Río Ostúa 1	7.96	27.7	478	8.06	18.1	232	2.15	0.99	0.032	37	114	185	Mayor o igual a 2400
19	Río Ostúa 2	7.6	29.7	314	12.8	4.09	151.1	2.91	0.84	0.154	23.87	117.6	155	Mayor o igual a 2400
20	Río Pomola	7.61	20.9	64.9	9.3	3.29	30.6	24.24	0.07	0.053	52.53	12	60	Mayor o igual a 2400
Limite Máximo Aceptable		7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
Limite Máximo Permisible		6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

Continúa apéndice 1.

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA FEBRERO DE 2017														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.46	17.93	48.3	9.34	3.87	24.6	0.430	0.26	0.0020	1.40	24	30	Mayor o igual a 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.45	18.6	55.8	9.02	5.57	30.1	0.330	0.2	0.0040	1.40	48	35.00	Mayor o igual a 2400
3	Río Frio	7.48	20.6	71.1	7.99	4.5	31.5	0.660	0.27	0.0040	9.73	30.00	25	
4	Río Quillio	7.6	23.6	56.7	10.3	13	27.4	0.580	0.12	0.0060	5.87	37.20	20	
5	Río Quillio 2													
6	Río Quillio 3													
7	Río Tulas	7.5	20.1	44.05	10.75	7.3	22.9	0.400	0.18	0.0050	3.33	30	30	
8	Río Lempa Citalá													
9	Río Nunuapa	7.60	21	87.95	9.47	1	45.1	1.160	0.11	0.0010	6.27	108	45	Mayor o igual a 2400
10	Río Olopita	7.95	22.2	140.3	9.37	10	70.4	0.890	0.14	0.0030	8.13	138.00	75	Mayor o igual a 2400
11	Río Jupilingo													
12	Río Angue													
13	Río San José													
14	Río Lempa Masahuat													
15	Río Guajoyo													
16	Río Cusmapa 2													
17	Río Cusmapa 1													
18	Río Ostúa 1													
19	Río Ostúa 2													
20	Río Pomola	7.37	24	75.1	10.04	8.6	36.05	0.570	0.13	0.0040	8.67	28.8	35	
	Limite Máximo Aceptable	7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
	Limite Máximo Permisible	6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA NOVIEMBRE DE 2017														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	6.7	17.7	52	7.33	4.56	17.92	0.26	0.780	0.011	8.23	5.70	63	460
2	Río Lempa Cascajal	6.75	17.9	53.7	7.75	4.27	38.4	0.14	0.622	0.010	8.53	4.50	45	240
3	Río Frio													
4	Río Quillio													
5	Río Quillio 2													
6	Río Quillio 3													
7	Río Tulas													
8	Río Lempa Citalá													
9	Río Nunuapa													
10	Río Olopita	7.62	20.6	149	8.31	6	102.4	0.44	0.647	0.009	2.90	18.90	120	460
11	Río Jupilingo													
12	Río Angue													
13	Río San José													
14	Río Lempa Masahuat													
15	Río Guajoyo													
16	Río Cusmapa 2													
17	Río Cusmapa 1													
18	Río Ostúa 1													
19	Río Ostúa 2													
20	Río Pomola													
	Limite Máximo Aceptable	7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
	Limite Máximo Permisible	6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

Continúa apéndice 1.

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA MARZO DE 2018														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	7.67	21.5	65.7	7.22	3.65	29	0.89	0.1359	0.005	3.33	12.45	40	Mayor o igual a 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.67	26.1	76.3	6.74	4.3	30.9	0.92	0.1196	0.001	3.73	7.65	35	Mayor o igual a 2400
3	Río Frío	8.04	20.9	74.3	7.74	8.5	30.2	0.79	0.0815	0.009	14.93	15.3	30	Mayor o igual a 2400
4	Río Quillio	8.02	21.8	52.4	7.41	10.2	22.9	0.87	0.2446	0.002	3.27	13.05	20	Mayor o igual a 2400
5	Río Quillio 2	7.82	19.3	35.5	6.56	17	22.9	0.87	0.2446	0.002	3.27	13.05	20	Mayor o igual a 2400
6	Río Quillio 3	7.63	19.2	35.5	6.55	8.92	16.96	0.94	0.1087	0.003	0.2	9.75	20	Mayor o igual a 2400
7	Río Tulas	7.91	22	47.3	7.59	2.47	27.3	0.16	3.8	0.001	0.47	8.85	25	Mayor o igual a 2400
8	Río Lempa Citalá	8.03	28.6	126.5	9.79	17.4	48.7	1.5	0.375	0.003	8.93	2.7	45	Mayor o igual a 2400
9	Río Nunuapa	8.04	25.5	101.6	7.34	1.71	41.5	1.3	0.1522	0.003	4.67	8.85	35	Mayor o igual a 2400
10	Río Olopita	7	23.2	273	5.76	16.7	77.8	0.94	0.288	0.001	37.33	16.95	75	Mayor o igual a 2400
11	Río Jupilingo	7.95	25.5	347	8.36	46.9	144.6	0.97	0.6196	0.007	51.33	11.55	170	Mayor o igual a 2400
12	Río Angue	7.77	26.8	432	1.98	8.83	169.9	1.78	0.5598	0.008	25.8	21.3	165	Mayor o igual a 2400
13	Río San José	8.46	25.7	765.7	0.1	7.32	314	16.02	0.6957	0.037	60.73	49.35	145	Mayor o igual a 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.46	29.3	158.8	8.49	2	59.5	1.41	0.3098	0.003	10.2	10.65	55	Mayor o igual a 2400
15	Río Guajoyo	8.07	28	380.33	5.1	3.54	148.3	2.88	0.6359	0.018	2.88	19.35	145	Mayor o igual a 2400
16	Río Cusmapa 2													
17	Río Cusmapa 1													
18	Río Ostúa 1	8.17	31.4	555	7.8	3.05	201.6	2.32	0.7935	0.027	32.6	12.15	150	Mayor o igual a 2400
19	Río Ostúa 2	7.94	33.5	394.3	9.03	9.87	136.9	2.78	0.75	0.122	18.4	14.55	105	Mayor o igual a 2400
20	Río Pomola	8.04	28.7	94.4	7.49	13.1	35.6	1.11	0.2283	0.004	5.47	9.6	25	Mayor o igual a 2400
Limite Máximo Aceptable		7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
Limite Máximo Permisible		6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

BASE DE DATOS MONITOREO RIO LEMPA JULIO DE 2018														
No.	Puntos de Monitoreo	Parámetros												
		pH	Temperatura Agua	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Demanda Biológica de Oxígeno	Dureza	Coliformes Fecales
		Unidades	°C	uS/cm	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	NMP/100 ml
1	Río Atulapa	8.8	21.4	52.6	7.23	0.4	26.6	0.22	0.69	0.002	0.07	6.9	25	Mayor o igual a 2400
2	Río Lempa Cascajal	7.4	21.9	54.1	7.04	2.3	27.1	0.2	0.75	0.003	0.07	7.8	0.138	Mayor o igual a 2400
3	Río Frío	7.2	22.2	64.6	7.06	0.7	32.2	0.22	0.39	0.001	5.2	8.1	30	Mayor o igual a 2400
4	Río Quillio	7.5	20.7	35.5	7.02	3	18.25	0.34	0.07	0.004	1.87	7.2	10	Mayor o igual a 2400
5	Río Quillio 2	7.4	20.7	38.7	7.03	6.1	19.86	0.16	0.11	0.004	0.4	6.3	15	Mayor o igual a 2400
6	Río Quillio 3	7.31	23.2	51.8	6.97	10.7	25.2	0.11	0.08	0.001	0.007	6	10	Mayor o igual a 2400
7	Río Tulas	7.47	22.8	45.2	6.99	11.3	22.2	0.17	0.09	0.004	2.07	7.5	15	Mayor o igual a 2400
8	Río Lempa Citalá	7.47	30.3	129.6	7.27	3.64	55	0.64	0.29	0.005	9.6	4.5	35	Mayor o igual a 2400
9	Río Nunuapa	7.3	25.4	96.6	7.14	1.12	45.2	0.82	0.28	0.001	6.6	3.6	35	Mayor o igual a 2400
10	Río Olopita	8.48	24.2	242	6.6	2.8	117.4	0.54	0.62	0.001	34.4	9.9	9.9	Mayor o igual a 2400
11	Río Jupilingo	8.44	30.8	413	7.67	3.5	177.3	2.56	0.55	0.003	48.13	4.8	185	Mayor o igual a 2400
12	Río Angue	7.58	25.3	301	6.09	1.1	144	0.88	0.46	0.002	28.47	14.2	150	Mayor o igual a 2400
13	Río San José	7.78	24.9	336	1.78	3.5	161.4	3.76	0.48	0.002	8.87	12	130	Mayor o igual a 2400
14	Río Lempa Masahuat	8.13	27.5	143.7	7.56	2.7	64.6	0.44	0.3	0.002	3.6	4.2	70	Mayor o igual a 2400
15	Río Guajoyo	8.28	27.8	356	6.28	3.9	162.2	1.66	0.72	0.007	6.93	3.9	145	Mayor o igual a 2400
16	Río Cusmapa 2	8.41	29.3	449	8.79	1.2	198.4	0.86	0.72	0.001	24.53	3	115	Mayor o igual a 2400
17	Río Cusmapa 1	8.43	26.9	273	6.47	2.8	125.9	2.21	1.66	0.007	0.14	2.7	180	Mayor o igual a 2400
18	Río Ostúa 1	8.39	29	436	6.56	1.4	193.7	1.11	1.11	0.044	13.4	5.1	125	Mayor o igual a 2400
19	Río Ostúa 2	8.31	28.6	254	7.9	3.3	112.7	1.13	1.24	0.021	6.2	4.8	90	Mayor o igual a 2400
20	Río Pomola	7.35	28.4	76.5	7.06	12	33.6	2.29	0.14	0.003	2.13	5.1	20	Mayor o igual a 2400
Limite Máximo Aceptable		7.0 a 7.5	15 a 25	-----	8	5	-----	0.5	-----	-----	100	3	100	3
Limite Máximo Permisible		6.5 a 8.5	34	menor de 1,500	4	15	500	1	10	0.1	250	25	500	3

Fuente: Elaboración propia, 2019

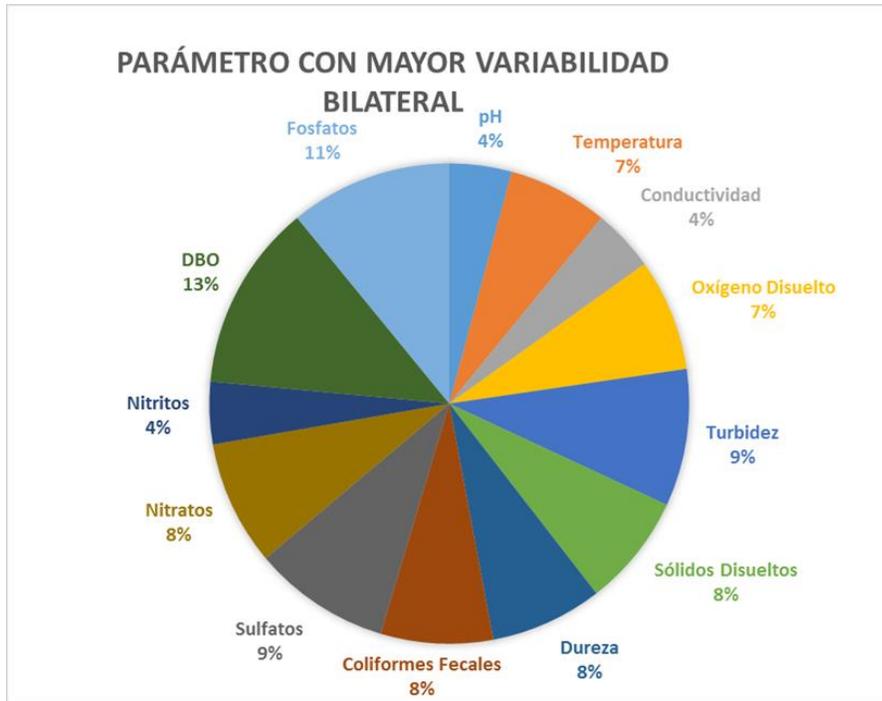
Apéndice 2. Resumen análisis univariado de la variabilidad temporal de la calidad física, química y microbiológica del agua en la red hidrológica superficial de la cuenca alta del río Lempa y río Jupilingo.



Fuente: Elaboración propia, 2019

En la gráfica se puede observar que según el primer análisis estadístico de variabilidad realizado para este estudio a través del análisis univariado, los años con mayor variabilidad entre parámetros estudiados fueron 2013, 2011 y 2018.

Apéndice 3. Resumen de la prueba pareada T, el parámetro con mayor variabilidad bilateral a través del período 2010 al 2018 fue la demanda biológica de oxígeno.



Fuente: Elaboración propia, 2019

Según la prueba pareada T, Los años con mayor índice de comparación de variabilidad bilateral son el 2010, 2011 y 2012.



Fuente: Elaboración propia, 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
BIBLIOTECA
"Lic. Zoot. Edgardo Guillén R."



**CONSTANCIA DE RECEPCION DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN
DE**

ESTUDIANTE:

Dora Dulce María Moreira Gómez

REGISTRO ACADÉMICO:

201241779

CARRERA:

Ingeniería en Gestión Ambiental Local

CON EL TÍTULO:

Variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua en la cuenca alta del Río Lempa (El Salvador, Honduras, Guatemala) y del río Jupilingo en el periodo del año 2010 al 2018 en la Región Trifinio

La encargada de Biblioteca del Centro Universitario de Oriente, hace constar que se recibió de forma virtual el TRABAJO DE GRADUACIÓN descrito anteriormente, por lo cual se le extiende la presente, de acuerdo al Artículo 58.8, del Punto NOVENO, DEL ACTA 37-2020, del Consejo Directivo del Centro Universitario de Oriente.

Chiquimula, 29 de junio de 2021.



f)



[sello]

[QR]