



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“ESTUDIO DE VARIABILIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA EN
LOS RÍOS ARRACACHES, CHONTAS, LA CHIRAL Y LA
HONDA, MEDIANTE EL ICA-NSF”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: DAVID ONOFRE RIVAS MACAS
TUTOR: Ing. CAMILO PAVEL HARO BARROSO, M.Eng.

Riobamba - Ecuador

2018

© 2018, David Onofre Rivas Macas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “ESTUDIO DE VARIABILIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS RÍOS ARRACACHES, CHONTAS, LA CHIRAL Y LA HONDA, MEDIANTE EL ICA-NSF”, de responsabilidad del señor DAVID ONOFRE RIVAS MACAS, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Camilo Pavel Haro Barroso DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----
Ing. Diego Vacili Burbano Salas MIEMBRO DEL TRIBUNAL	-----	-----

Yo, David Onofre Rivas Macas soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

David Onofre Rivas Macas

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, David Onofre Rivas Macas declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, octubre de 2018

David Onofre Rivas Macas

070490290-7

DEDICATORIA

A Dios por su amor incondicional y por haber guiado cada uno de mis pasos, sin Él nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres, Félix Onofre y Maruja Esperanza, por haber dejado de lado todos sus sueños para apoyarme y cumplir los míos, por heredarme el legado de que todo lo que me proponga en esta vida lo puedo cumplir, sin la necesidad de interferir en los intereses y sueños de cada ser humano.

A mis hermanas, Mercedes y Mariela, por estar en cada momento apoyándome, por ser fuente de inspiración para seguir superándome y alcanzar nuevas metas.

A ti ñaño Manuel, mi viejo, porque después de mis padres eres Tú quien me apoya en cada momento para triunfar cada día, todos estos años de esfuerzo y sacrificio van para ti, para que te recuperes pronto y poder disfrutar de tu compañía nuevamente.

David

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), noble institución de la cual siempre llevaré su nombre en alto en cada momento, por la oportunidad de permitirme formarme como profesional ético y con valores.

A Camilo Haro y Diego Burbano, docentes guías, gracias por sus aportes de conocimientos y experiencia en el desarrollo del presente trabajo, y por supuesto a todos mis maestros a lo largo de la carrera.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Piñas (GADM Piñas) administración 2014 - 2019, por la oportunidad, el apoyo y las facilidades brindadas para llevar a cabo con éxito el presente proyecto.

Al personal de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Piñas (EPAA-P), de manera especial a Lisbeth por su apoyo en el laboratorio de la empresa, a Alejandro, Daniel y Urbano por su apoyo y carisma en cada uno de los monitoreos realizados.

A María Carmita Barros Sarmiento, del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) por su predisposición a ayudar y facilitar información valiosa para el desarrollo del presente proyecto.

A mis familiares, amigos/as y cada una de las personas que aportaron con su granito de arena para que este sueño sea posible, mi eterna gratitud hacia todos ustedes.

David

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	5
 CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
1.1. Antecedentes del proyecto	6
1.2. Marco Conceptual	7
1.2.1. Marco legal	7
1.2.2. <i>Agua</i>	9
1.2.3. <i>Ecosistemas acuáticos</i>	9
1.2.3.1. <i>Ríos</i>	10
1.2.4. <i>Calidad de agua</i>	10
1.2.4.1. <i>Índices aplicables para la determinación de la calidad del agua</i>	11
1.2.4.2. <i>Actividades antrópicas que afectan la calidad del agua en el cantón Piñas</i>	17
 CAPÍTULO II	 19
2. MARCO METODOLÓGICO	19
2.1. Localización y caracterización de la zona de estudio	19
2.1.1. <i>Localización de la zona de estudio</i>	19
2.1.2. <i>Caracterización de la zona de estudio</i>	20
2.1.2.1. <i>Orografía e hidrología</i>	20
2.1.2.2. <i>Clima</i>	20
2.1.2.3. <i>Uso de suelo</i>	21
2.2. Metodología	22
2.2.1. <i>Tipo de proyecto</i>	22
2.2.1 <i>Determinación de los puntos de monitoreo</i>	22
2.2.3. <i>Recolección de la información</i>	24
3.2.3.1. <i>Información ambiental de base de puntos de muestreo</i>	25
2.2.3.1. <i>Determinación de caudales</i>	26
2.2.3.2. <i>Toma y preservación de la muestra</i>	27
2.2.3.3. <i>Caracterización de la calidad del agua</i>	28

2.2.4.	<i>Cálculo del índice de calidad del agua</i>	29
2.2.5.	<i>Análisis de datos</i>	31
CAPÍTULO III		32
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1.	Determinación de Caudales.....	32
3.2.	Caracterización física, química y microbiológica los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.....	33
3.3.	Cálculo del índice de calidad del agua (ICA-NSF) en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.....	36
3.4.	Análisis estadístico descriptivo de la calidad del agua de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.....	38
3.4.1.	<i>Caudal (Q)</i>	38
3.4.2.	<i>Oxígeno Disuelto (OD)</i>	40
3.4.3.	<i>Potencial de Hidrógeno (pH)</i>	44
3.4.4.	<i>Diferencia de Temperatura (ΔT)</i>	47
3.4.5.	<i>Coliformes Fecales (CF)</i>	50
3.4.6.	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)</i>	53
3.4.7.	<i>Nitratos (NO_3^-)</i>	56
3.4.8.	<i>Fosfatos (PO_4^{3-})</i>	59
3.4.9.	<i>Sólidos Disueltos Totales (SDT)</i>	62
3.4.10.	<i>Turbidez</i>	65
3.4.11.	<i>Índice de calidad del agua ICA-NSF</i>	68
3.5.	Análisis de datos bivalente en la calidad del agua de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.....	72
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1: Parámetros utilizados en el Universal Water Quality Index con sus respectivos pesos relativos	11
Tabla 2-1: Comparativa entre el ICA-NSF y el Índice Rojas con sus respectivos pesos relativos	12
Tabla 3-1: Parámetros y límites permisibles considerados para el índice desarrollado por el Canadian Council of Ministers of the Environment	13
Tabla 1-2: Coordenadas WGS 84 zona 17 Sur de las captaciones de la empresa EPAA-P en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y la Honda	20
Tabla 2-2: Características principales de las microcuencas de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y la Honda	20
Tabla 3-2: Precipitación registrada por la estación pluviométrica M0773 en el periodo enero 2017 – enero 2018.....	21
Tabla 4-2: Características a tener en cuenta para la selección del punto de muestreo en aguas continentales superficiales.....	23
Tabla 5-2: Coordenadas WGS 84 zona 17 Sur de los puntos de muestreo en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y la Honda	23
Tabla 6-2: Plan de muestreo de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y la Honda	24
Tabla 7-2: Matriz de datos generales obtenidos en campo	25
Tabla 8-2: Matriz de datos de Caudal.....	27
Tabla 9-2: Matriz de identificación de la muestra	28
Tabla 10-2: Tabla de metodologías utilizadas en la caracterización física, química y microbiológica	29
Tabla 11-2: Parámetros de calidad del ICA-NSF y sus pesos respectivos.....	29
Tabla 12-2: Valoración de calidad de agua según el ICA-NSF	31
Tabla 1-3: Caudales de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda	32
Tabla 2-3: Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos d el río Arracaches	33
Tabla 3-3: Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológico del río Chontas ..	34
Tabla 4-3: Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológico del río La Chiral	35
Tabla 5-3: Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológico del río La Honda	35
Tabla 6-3: Resultados de los valores ICA-NSF calculados para los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.....	37
Tabla 7-3: Estadística descriptiva para caudal (L/s).....	38
Tabla 8-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para caudal.....	39

Tabla 9-3: Estadística descriptiva para Oxígeno Disuelto	40
Tabla 10-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Oxígeno Disuelto.....	42
Tabla 11-3: Estadística descriptiva para Potencial de Hidrógeno	44
Tabla 12-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Potencial de Hidrógeno.	46
Tabla 13-3: Estadística descriptiva para Diferencia de Temperatura.....	47
Tabla 14-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Diferencia de Temperatura.	49
Tabla 15-3: Estadística descriptiva para Coliformes Fecales	50
Tabla 16-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Coliformes Fecales.	52
Tabla 17-3: Estadística descriptiva para Demanda Bioquímica de Oxígeno	53
Tabla 18-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	55
Tabla 19-3: Estadística descriptiva para Nitratos	56
Tabla 20-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Nitratos.....	58
Tabla 21-3: Estadística descriptiva para Fosfatos.....	59
Tabla 22-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Fosfatos.	61
Tabla 23-3: Estadística descriptiva para Sólidos Disueltos Totales.....	62
Tabla 24-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Sólidos Disueltos Totales.	63
Tabla 25-3: Estadística descriptiva para Turbidez.....	65
Tabla 26-4: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Turbidez.	67
Tabla 27-3: Estadística descriptiva para índice de calidad del agua (ICA – NSF).....	68
Tabla 28-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para el índice de calidad del agua (ICA-NSF).	70
Tabla 29-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio del río Arracaches	73
Tabla 30-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio del río Chontas	74
Tabla 31-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio del río La Chiral	75
Tabla 32-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio del río La Honda.....	76
Tabla 33-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Mapa de localización de la zona de estudio	19
Figura 2-2: Ubicación de los puntos de muestreo	24
Figura 3-2: Caudal circulante a través de una sección transversal	26
Figura 4-2: Curva ejemplo Determinación de la Calidad-DBO ₅	30

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-3: Caudal Vs. precipitación.....	33
Gráfico 2-3: Caudal.....	39
Gráfico 3-3: Diagramas de caja para Oxígeno Disuelto	41
Gráfico 4-3: Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto	43
Gráfico 5-3: Diagramas de caja para Potencial de Hidrógeno	45
Gráfico 6-3: Diagramas de caja para Diferencial de Temperatura.....	48
Gráfico 7-3: Diferencial de Temperatura	49
Gráfico 8-3: Diagramas de caja para Coliformes Fecales.....	51
Gráfico 9-3: Diagramas de caja para Demanda Bioquímica de Oxígeno	54
Gráfico 10-3: Demanda Bioquímica de Oxígeno Vs. precipitación	55
Gráfico 11-3: Diagramas de caja para Nitratos	57
Gráfico 12-3: Diagramas de caja para Fosfatos.....	60
Gráfico 13-3: Fosfatos	61
Gráfico 14-3: Diagramas de caja para Sólidos Disueltos Totales	63
Gráfico 15-3: Sólidos Disueltos Totales.....	64
Gráfico 16-3: Diagramas de caja para Turbidez.....	66
Gráfico 17-3: Diagramas de caja para índice de calidad del agua (ICA-NSF)	69
Gráfico 18-3: Índice de calidad del agua (ICA-NSF).....	70
Gráfico 19-3: Índice de calidad del agua (ICA-NSF) Vs. precipitación	71
Gráfico 20-3: Índice de calidad del agua (ICA-NSF) Vs. caudal	72

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Anexo fotográfico

ANEXO B. Metodología para el análisis de la muestra

ANEXO C. Curvas de calidad de los parámetros en estudio

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ΔT	Diferencia de Temperatura
ARCA	Agencia de Regulación y Control del Agua - Ecuador
CEDERENA	Corporación para el Desarrollo
CF	Coliformes Fecales
EPAA-P	Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Piñas
GADMP	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Piñas
ICA	Índice de Calidad del Agua
ICA-NSF	Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation (USA)
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
NSF	National Sanitation Foundation
OEA	Organización de los Estados Americanos
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua - Ecuador
SDT	Sólidos Disueltos Totales
T	Turbidez
WQI	Water Quality Index
WWAP	World Water Assessment Programme

RESUMEN

En la actualidad, el deterioro de la calidad del agua está relacionado con las características del ecosistema, la geología de la zona y las actividades antrópicas que se desarrollan en el área. El presente estudio tuvo por objeto determinar la variabilidad de la calidad del agua entre los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, mediante la utilización del Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF). Inicialmente se procedió a realizar la caracterización físico, química y microbiológica de los ríos en mención, estableciéndose tres puntos de muestreo en cada uno de los cauces en estudio, se determinó el caudal del curso hídrico en cada monitoreo, in situ se midió los parámetros Potencial de Hidrógeno, Sólidos Disueltos Totales y Temperatura, adicional se tomó una muestra puntual en cada sitio con la finalidad de realizar análisis ex situ de los parámetros Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Turbidez y Coliformes Fecales, esto se realizó con una frecuencia mensual entre los meses de octubre 2017 y enero 2018. Posteriormente se realizó el cálculo del valor ICA-NSF, a partir de los subíndices establecidos por la NSF. Los índices obtenidos fueron sometidos a técnicas de estadística descriptiva y análisis bivariante, mediante el análisis estadístico se establecieron diferencias y/o similitudes entre los parámetros estudiados. El valor ICA-NSF promedio en el río Arracaches es 83,91 ocupando el valor más bajo, por su parte el río La Honda presenta 84,65, seguido del río La Chiral con 86,53 y el río Chontas presenta 86,86, siendo este el valor más representativo en el aporte de calidad del agua. De acuerdo a la ponderación cualitativa que propone el ICA-NSF, el agua de los ríos en mención es buena, sin embargo, esta se ve afectada en mayor proporción por la presencia de actividades ganaderas que aportan con microorganismos patógenos a los cursos hídricos, es necesario la implementación de un plan de manejo integral con un monitoreo continuo a los ríos en estudio, lo cual facilite su protección.

PALABRAS CLAVE: <BIOTECNOLOGÍA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <CALIDAD DE AGUA> <ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS> <ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA-NSF)> PIÑAS (CANTÓN)> <EL ORO (PROVINCIA)>

ABSTRACT

It was determined the variability of the water quality of rivers Arracaches, Chontas, La Chiral and La Honda, canton Piñas, El Oro province, through the use of the Water Quality Index of the National Sanitation Foundation (WQI-NSF), in principle was made the characterization of the channels, the calculation of the WQI-NSF value and statistical analysis relevant. Settled 3 sampling points on each of the rivers in study, determined the flow of water in each course monitoring, in the place was measured the parameters Potential of Hydrogen, Total Dissolved Solids and Temperature, it took an additional point sample at each point, with the purpose of performing analysis outside the parameters Dissolved Oxygen, Biochemical Oxygen Demand, Nitrates, Phosphates, Turbidity and Fecal Coliforms, this was done with a monthly frequency between October 2017 and January 2018. Once obtained the entire data set for the calculations were performed to quantify the WQI-NSF value and subsequently applying techniques of descriptive statistics and bivariate analysis, through the statistical analysis was established differences and/or similarities between the studied variables. The WQI-NSF value average in the river Arracaches is 83.91 occupying the lowest value, for its part, La Honda river presents 84.65, followed the river La Chiral with 86.53 and the river Chontas presents 86.86, this being the value more representative in the contribution of water quality. According to the qualitative weighing proposed by the WQI-NSF, the water of the rivers is good; however, it is affected by the presence of livestock activities that contribute with pathogenic microorganisms to water courses, it is necessary to implement an integrated management plan with a continuous monitoring in rivers in study, which facilitates its protection.

KEY WORDS: <BIOTECHNOLOGY>, < ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <WATER QUALITY>, <ANTHROPOGENIC ACTIVITIES>, <WATER QUALITY INDEX (WQI-NSF)> PIÑAS (CANTON)>, <EL ORO (PROVINCE)>.

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

El agua es un recurso natural de gran importancia para el desarrollo socioeconómico de una sociedad; su gestión sostenible, infraestructuras eficientes, un acceso seguro y confiable, y los servicios de saneamiento, mejoran la calidad de vida y por ende la economía local, convirtiéndose el agua en esencial para el desarrollo sostenible (WWAP, 2016, p.2).

De acuerdo a la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), en nuestro país, aproximadamente el 73,28 % de los caudales hídricos disponibles son utilizados para la generación hidroeléctrica, un 15,5 % en actividades agrícolas, el 6,82 % en actividades industriales, un 2,52 % para la acuicultura, un 0,05 % se destina a actividades turísticas, el 0,05 % para abrevaderos de ganado, y únicamente el 2,13 % se destina para consumo humano (SEANGUA y ARCA, 2017, p.32).

A pesar de existir estrategias eficientes para la gestión de los recursos hídricos, la calidad del agua puede verse afectada por diferentes factores, entre ellos: la geología de la zona, las características del ecosistema y las actividades antrópicas (Agricultura, pesca, deforestación, descargas de efluentes, uso excesivo de recursos hídricos, etc.) (Espinosa y Rodríguez, 2016, p.204-205).

Torres et al., (2010, p.86-95), resaltan que el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y agrícola, han limitado el aprovechamiento de los recursos hídricos, modificando las características físicas, químicas y microbiológicas, dando como resultado disminución de la calidad del agua, creando sistemas complejos y con elevados costos de depuración.

Con el incremento de las actividades antrópicas, los cuerpos de agua reciben continuamente descargas de contaminantes y sedimentos que exceden la capacidad de autodepuración, causando graves problemas de contaminación y alto riesgo toxicológico para el hombre y los animales (Vilches et al., 2009).

En la actualidad, las comunidades se abastecen de agua potable mayoritariamente desde cuerpos de agua superficial (Manantiales, riachuelos, etc.) y una parte de cuerpos de agua subterránea (Pozos freáticos y artesianos), los cuales nacen en zonas de alta montaña donde la expansión de

la frontera agropecuaria y el desarrollo urbano, genera la pérdida de ecosistemas (Páramos y bosques), eliminando así su vegetación natural (Sánchez et al., 2007, pp.23-46).

Guerrero et al., (2017, p.9) mencionan que el cambio de uso de suelo afecta a los procesos de captación del agua lluvia, a las infiltraciones y a la capacidad de retención dentro del suelo; por lo que, la calidad puede disminuir con el contacto de aguas residuales industriales, aguas residuales domésticas o aguas procedentes de actividades antrópicas tradicionales, lo que limita el acceso a agua de buena calidad.

El suministro de agua potable de la zona urbana del cantón Piñas proviene de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, siendo estos amenazadas por actividades antrópicas (Agricultura, ganadería, etc.) llevadas a cabo en la zona aledaña (Jaramillo, 2008, p.16-17).

La conservación de la calidad y cantidad de agua proveniente de esta zona, ha despertado el interés del Gobierno Autónomo Municipal del Cantón Piñas (GADMP) de preservar las diferentes cuencas hidrográficas; por lo que, en la última década se han implementado diferentes programas para la protección de estas zonas.

En la actualidad se viene implementando un programa de conservación de microcuencas; sin embargo, la falta de integración, responsabilidades y competencias con otras instituciones gubernamentales, impiden que exista un monitoreo continuo en las zonas en estudio, pudiendo afectar al éxito de los programas implementados.

Justificación

Ecuador es un país privilegiado en materia de recursos hídricos dentro del contexto mundial, donde se puede distinguir tres regiones orográficamente homogéneas: la zona montañosa entre los 1600 y los 4400 msnm; la faja de laderas y piedemonte con alturas que van de los 400 a los 1200 msnm y la llanura amazónica con alturas medias del orden de los 300-400 msnm; donde, existen abundantes redes de drenaje superficial y la presencia de cuerpos de agua permanentes y temporarios, resultado de las fuertes precipitaciones en cada zona (OEA, 1995, pp.34-36).

Las instituciones encargadas del abastecimiento de agua, tienen como finalidad el suministro constante del líquido vital en sus jurisdicciones al aumentar la demanda de este recurso, por lo que es necesario utilizar soluciones inmediatas en las zonas de captación, así como una eficiente gestión que permita una alta disponibilidad en sus cursos hídricos.

El agua que abastece al cantón Piñas proviene de los ríos: Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, donde se aplica procesos de tratamiento y desinfección, garantizando su calidad hasta el consumidor final; siendo esta zona hídrica de vital importancia en el cantón, es necesario diagnosticar los posibles impactos presentes y de esta manera generar propuestas que minimicen las alteraciones en dichos sitios.

El Municipio de Piñas y la Corporación para el Desarrollo (CEDERENA) en 2005, iniciaron el levantamiento de la información base que incluyó el reconocimiento y caracterización de las microcuencas de interés, el acercamiento y diálogo con los propietarios, el análisis de alternativas de restauración para optimizar el manejo de estas áreas y la difusión a la ciudadanía sobre la importancia de preservar de dichos espacios; lográndose diferentes tipos de acuerdos con los propietarios de los terrenos y además concientizar e involucrar a la comunidad en la preservación de las microcuencas, acciones que se mantienen hasta la actualidad (Jaramillo, 2008, pp.7).

En base a lo mencionado es necesario actualizar la información disponible, además de la obtención de nuevos datos que establezcan el estado actual de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, así como la detección de los posibles focos de contaminación que estarían incidiendo sobre la pérdida de la calidad del agua en estos, lográndose identificar las principales alteraciones que se estarían generando y cómo podrían estas afectar al abastecimiento de agua de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del cantón Piñas.

Al finalizar este estudio, se obtendrá una herramienta de evaluación a los programas de conservación de microcuencas que lleva a cabo el GADMP, lo cual garantizaría la implementación de nuevas estrategias y métodos que permitan un manejo sostenible de este recurso, generando propuestas de mitigación de los posibles impactos encontrados a partir de los resultados obtenidos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la variabilidad de la calidad del agua a lo largo de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, a partir del estudio del ICA-NSF.

Objetivos específicos

Caracterizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos requeridos para el Índice ICA-NSF, de las muestras provenientes de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.

Calcular el Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF) de las diferentes muestras de agua analizadas de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.

Comparar la variabilidad de la calidad del agua de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda mediante técnicas estadísticas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes del proyecto

Con la finalidad de establecer el estado actual de las diferentes fuentes de agua, se han desarrollado a nivel mundial una serie de índices y metodologías que permiten establecer la calidad del agua en un determinado acuífero, las mismas que difieren sea en la cantidad de parámetros utilizados como en los pesos designados para cada uno de estos.

En estudios realizados por Coello et al. (2103, pp.66-71), se determinó que para calcular la calidad de agua utilizando ICA-NSF en los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho, fueron necesarios el establecimiento de puntos de monitoreo en cada uno de los ríos durante un año, permitiendo concluir que las tres microcuencas presentan buena calidad, destacando la existencia de parámetros que muestran mayor variación, tal como sólidos totales, sulfatos y conductividad cuyos picos máximos se alcanzaron en los meses de menor precipitación, lo cual indica que esta metodología puede ser replicada en otras zonas.

En el periodo mayo - noviembre de 2015, la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP – Unidad de Negocio HIDROPAUTE), demostró un claro interés por monitorear la calidad del agua de los ríos Mazar y Pindilig, principales afluentes de la cuenca del río Paute, mediante la aplicación del Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF). Los resultados obtenidos, permitieron determinar la calidad actual de estos cuerpos de agua, lo cual permitió a la empresa tomar decisiones sobre la gestión de estas subcuencas hidrográficas (Carrillo y Urgilés, 2016, pp.63-110).

Chávez (2016, pp.26-52), con el objetivo de determinar la calidad del agua del río Maguazo, utiliza el método WQI (Water Quality Index), la metodología Riparian Forest Quality index (QBR) y el Índice del hábitat fluvial (HIF). Este proyecto permitió determinar que el río Maguazo presenta una calidad media del agua, por lo cual se debe gestionar su cuidado, conservación y tratamiento para poder ser destinado al consumo humano, validando este proceso para ser replicado en otras zonas.

En 2017 se evalúa la calidad de agua del río Portoviejo, mediante la aplicación del índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento. Estableciéndose puntos de muestreo a través de un modelo matemático y su estimación mediante un muestreo continuo. Los resultados

obtenidos demuestran que la calidad del agua va disminuyendo a medida que el río recorre la trayectoria de su cauce, debido a la alta carga contaminante producto del vertimiento de aguas residuales y a la disminución de su capacidad de autodepuración (Quiroz et al., 2017, pp. 41-51).

En la cuenca del río Puyango, la cual abarca extensiones de las provincias de Loja y El Oro, los aportes hídricos provenientes de la provincia costera, están comprendidos por el agua procedente de las subcuencas de los ríos Pindo y Moromoro, provenientes de las estribaciones de las cordilleras Chilla y Cerro Negro, y cuenta además con las aportaciones de drenajes menores provenientes de los cantones Balsas y Marcabelí (Ministerio del Ambiente, 2014, pp.5).

Chapa (2014, pp.20-31), con la finalidad de determinar la calidad del agua del río Piñas en el sector urbano, el cual forma parte de la subcuenca del río Pindo, calcula el Índice de Calidad de Agua, realizando para ello diferentes muestreos durante los meses de abril, julio y octubre, a lo largo de 6183 m de curso fluvial, demostrando que el valor del ICA-NSF en los puntos 1,2,3 y 4 fueron de 80, 68, 56 y 59 respectivamente, lo cual se traduce en una calidad buena y regular, concluyendo que el principal foco de contaminación se genera por la descarga de aguas residuales provenientes del área urbana del cantón.

En la subcuenca del río Moromoro, pocos son los estudios realizados en cuanto a calidad y cantidad del agua; sin embargo, de acuerdo a Jaramillo (2008, pp.15), donde se menciona que en el año 2005 se realizó un trabajo de reconocimiento y la caracterización de la subcuenca alta del río Moromoro, se determinó que el 90% del área total se encuentra ocupada por pastizales y el 10% restante formado por bosques remanentes, incluyéndose además la cuantificación del caudal y la caracterización del agua de los ríos que abastecen de agua potable al cantón Piñas.

1.2 Marco Conceptual

1.2.1 Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador en el Art. 318 inciso 4 manifiesta que, el Estado, a través de la autoridad única del agua, será responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a riego y consumo humano, que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden respectivamente (Asamblea Constituyente, 2008).

De acuerdo al Art. 411 la Constitución señala que:

El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Asamblea Constituyente, 2008, pp. 123).

El 15 de mayo de 2008, se creó la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), con el objetivo de convertirse en una institución que conduzca los procesos de gestión de recursos de una manera integrada y sustentada en los ámbitos de cuencas, subcuencas, microcuencas, demarcaciones hidrográficas e hidrogeológicas, y que conjuntamente con la Ley de Aguas se establecieron las reglamentaciones, normativas, manejo y responsabilidades relacionadas con los recursos hídricos superficiales y los acuíferos en el Ecuador (Poveda, 2008, pp.14).

El Código Orgánico del Ambiente vigente desde el 12 de abril de 2017, establece en su Artículo 30, inciso 7, sobre los Objetivos del Estado relativos a la biodiversidad, lo siguiente:

Adoptar un enfoque integral y sistémico que considere los aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos, en coordinación con la Autoridad Única del Agua (Código Orgánico del Ambiente, 2017, pp.20).

Este mismo Código señala en su Artículo 191:

Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (Código Orgánico del Ambiente, pp.55).

1.2.2 Agua

El agua además de ser indispensable para la vida y para el desarrollo de la mayoría de las actividades del ser humano, es un recurso natural escaso, no reemplazable, irregular en su disponibilidad en el tiempo y espacio, vulnerable y susceptible a usos repetitivos (COHIFE, 2003, pp. 7-8). Es un recurso que se renueva a través del ciclo hidrológico; sin embargo, esto no garantiza su permanencia infinita, debido que al pasar de un estado físico a otro (sólido, líquido o gaseoso) puede sufrir alteraciones en su composición natural (Oxígeno e Hidrógeno, H₂O) (Camilloni y Vera, 2006: pp.2-6).

Dentro de su ciclo, el agua que alcanza el suelo queda retenida de forma instantánea en función de las irregularidades geológicas, formando el almacenamiento superficial (Mezkiritz, 2012, pp.1-2). Cuando el paisaje no favorece su retención, ésta circula por ríos y arroyos hasta alcanzar lagos o mares, dando lugar a escorrentía superficial; mientras que otra parte se infiltra en el terreno, ya sea en capas someras quedando disponible para continuar su ciclo, o pudiendo alcanzar capas profundas por percolación, formando acuíferos subterráneos, las cuales pueden aflorar en manantiales, generando escorrentías superficiales (Vélez, 1999, pp.190).

1.2.3 Ecosistemas acuáticos

De acuerdo con Sen (2017), un ecosistema acuático es cualquier sistema desarrollado en el agua, en el que las plantas y los animales interactúan con las características químicas y físicas del medio. Se subdividen en ecosistemas marinos y ecosistemas de agua dulce, donde los ecosistemas marinos cubren más del 70 por ciento de la superficie de la tierra (océanos, estuarios, arrecifes de coral y los ecosistemas costeros) mientras que los ecosistemas de agua dulce cubren menos del 1 por ciento de la tierra y se subdividen en lóticos y lénticos.

Todas las aguas superficiales que se distribuyen en los continentes se denominan ecosistemas acuáticos epicontinentales, destacándose entre estos, los sistemas lóticos, que hace referencia a cuerpos de agua corriente (arroyos o ríos), y los lénticos, relacionados con aguas estancadas (pantanos, estanques, lagos y los humedales). Estos ecosistemas son estudiados sistemáticamente por la limnología (Cervantes, 2007, pp.37-39).

1.2.3.1 Ríos

Los ríos son cuerpos de aguas lóaticas (aguas corrientes), siendo estos corrientes de agua continua que desembocan en otra corriente de agua o en el mar (IEMAZ, 2010, pp.10).

Clasificación de los ríos:

Según Marín (2011), todos los ríos pueden ser clasificados en dos grandes grupos, dependiendo de la libertad para ajustar su forma y su gradiente:

- **Cauces de lecho rocoso:** confinados entre afloramientos rocosos, de tal manera que el material que compone el fondo y las márgenes determina la morfología del cauce.
- **Cauces aluviales:** el río fluye en un canal cuyo fondo y márgenes, están constituidas por material transportado por el río bajo las condiciones actuales de flujo. En este caso hay libertad para ajustar dimensiones, forma, patrón y pendiente del cauce en respuesta a cambios.

Factores que influyen en la disposición de los ríos:

Este influye en la divisoria de aguas que marca los límites entre las diferentes cuencas y sistemas hidrográficos, además en las características de cada río (caudal y fuerza erosiva), debido a que en las zonas con fuertes pendientes provocan un descenso rápido del agua, pasando por cauces estrechos encajados entre montañas lo cual incrementa su fuerza erosiva. Por el contrario, en las zonas llanas o de valle, los ríos fluyen lentamente, lo cual genera un incremento de los márgenes de los mismos. Estos cursos se abren paso entre el relieve buscando descender hacia el mar entre valles y depresiones (IEDA, 2010).

1.2.4 Calidad de agua

La calidad del agua son los atributos que presenta el agua, de tal manera, que reúna criterios de aceptabilidad para diversos usos, incluyendo los factores bióticos o abióticos que influyen en el uso beneficioso del agua, entre los cuales tenemos: químicos, físicos y biológicos. Para la determinación de la calidad del agua se consideran parámetros que indican la presencia de materia orgánica, elementos eutrofizantes, carga microbiana, entre otros, lo que favorece al diagnóstico de un determinado cuerpo hídrico (Chang, 2012, pp.34-56).

Para Romero (2009, pp.27-42), la calidad del agua influye directamente en el grado de bienestar del hombre y en el equilibrio de los ecosistemas. La calidad del agua se encuentra relacionada directamente con el uso para el cual va a ser destinado, por lo cual, el agua de calidad es aquella que al ser utilizada no provoca daños potenciales relacionados con las características físicas, químicas y microbiológicas.

1.2.4.1 Índices aplicables para la determinación de la calidad del agua

- **Universal Water Quality Index (UWQI)**

Boyacioglu (2007, pp.101-106), desarrolló el Universal Water Quality Index (UWQI) donde destacan 11 parámetros fisicoquímicos y uno microbiológico. Este sencillo índice tiene gran aceptación para determinar la calidad del agua superficial utilizada en el abastecimiento de plantas de tratamiento de agua potable y está basado en directivas de la Unión Europea para agua utilizada en consumo humano con tratamiento previo, siendo ampliamente utilizada en los diferentes países que la conforman. Entre los principales parámetros se destacan los siguientes: véase Tabla 1-2.

Tabla 1-1: Parámetros utilizados en el Universal Water Quality Index con sus respectivos pesos relativos

Parámetro	Peso Relativo
Oxígeno Disuelto	0.114
Potencial de Hidrógeno	0.029
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.057
Nitratos	0.086
Fosforo Total	0.057
Cadmio	0.086
Mercurio	0.086
Arsénico	0.113
Fluoruro	0.086
Coliformes Totales	0.114
Cianuro	0.086
Selenio	0.086

Fuente: BOYACIOGLU, 2007.

Realizado por: David Rivas, 2018

- **Índice Rojas**

Rojas (1991), adaptó el ICA-NSF a las características del río Cauca, para lo cual realizó un análisis de su comportamiento en tiempo y espacio. Como resultado de esto, se redujeron el número de parámetros, considerándose además el grado de importancia, lo cual conllevó a la modificación pesos porcentuales asignados en tal índice, como se observa a continuación:

Tabla 2-1: Comparativa entre el ICA-NSF y el Índice Rojas con sus respectivos pesos relativos

Parámetro	Pesos Relativos Índice ICA-NSF	Pesos Relativos Índice Rojas
Oxígeno Disuelto	0,17	0.114
Potencial de Hidrógeno	0,11	0.029
DBO ₅	0,11	0.057
Coliformes Fecales	0,16	0.086
Turbiedad	0,08	0.057
Sólidos Disueltos Totales	0,07	0.086
Nitratos	0,10	-
Fosfatos	0,10	-
Diferencia de Temperatura	0,10	-

Fuente: ROJAS, 1991.

Realizado por: David Rivas, 2018

- **Índice de abastecimiento Público (IAP)**

La Compañía Brasileña de Tecnología de Saneamiento Ambiental como respuesta al aumento en la complejidad de los contaminantes vertidos a las fuentes de agua, desarrolla e implementa el ICA de agua cruda para abastecimiento público (IAP). Su cálculo se realiza mediante el producto de la ponderación de los resultados del índice de calidad de agua ICA ((Temperatura del agua, pH, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Fecales, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos Disueltos Totales y Turbidez) y el índice de sustancias tóxicas –ISTO–, el primero adaptado a partir del ICA de NSF y el segundo desarrollado en el año 2002 (Torres et al., 2009: pp.79-94).

Este índice es el resultado de la ponderación de los resultados del ICA y el ISTO (Índice de Sustancias Tóxicas y Organolépticas), compuesto por el grupo de sustancias que afectan la calidad organoléptica del agua, y también como sustancias tóxicas (Blasetti et al., 2011: pp.47).

- **CCME WQI**

El Canadian Council of Ministers of the Environment de Canadá (CCME) desarrolló un ICA destinado a la evaluación de la calidad ecológica de las aguas comparando los valores de cada parámetro con un punto de referencia, obtenido este de una norma o guía de calidad del agua. Este índice permite evaluar la calidad de las aguas destinadas a consumo humano, gracias a su flexibilidad en los parámetros y por directrices para protección de la vida acuática (Salcedo, 2015, pp.831-837). Los parámetros y los límites permisibles se muestran en la Tabla 3-2.

Tabla 2-1: Parámetros y límites permisibles considerados para el índice desarrollado por el Canadian Council of Ministers of the Environment

Parámetro	Límite Permisible	Unidades
Potencial de Hidrógeno	6.5 – 8.5	-
Sólidos Disueltos Totales	1000	mg/l
Turbidez	5	mg/l
Color	20	mg/l
Dureza Total	500	mg/l
Cloruros	250	mg/l
Fluoruros	0.15	mg/l
Hierro	0.3	mg/l
Manganeso	1.5	mg/l

Fuente: SALCEDO, 2015.

Realizado por: David Rivas, 2018

- **Índice de la National Sanitation Foundation (ICA - NSF)**

El índice de Calidad de Agua "Water Quality Index" (WQI), desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, se obtiene a partir de estudios realizados por Ball y Church (1980), donde se investigó la relación existente en diferentes ríos sobre la calidad del agua.

El desarrollo del proyecto comenzó con el estudio de 35 variables de contaminación, las cuales fueron analizadas y clasificadas como parámetros inclusivos, no inclusivos o indecisos; luego se compararon las respuestas dadas por los expertos sobre las categorías analizadas previamente; en la etapa final, los investigadores asignaron curvas de valoración a cada variable seleccionada, entre ellas destacan: Oxígeno Disuelto, pH, Diferencia de Temperatura, Coliformes Fecales, DBO₅, Nitratos, Fosfatos, Sólidos Disueltos Totales, y Turbidez (Brown et al., 1970: pp. 339-343).

Brown et al., con el apoyo de la NSF, desarrolló e implementó un ICA formal previamente demostrado. Esta clasificación permitió considerar las características que debe poseer una fuente de captación para ser destinado al consumo humano. Fue desarrollado en Estados Unidos; sin embargo, es empleado en casi todo el mundo y ha sido validado y/o adaptado en diferentes estudios. A continuación, se describen cada uno de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos utilizados, así como su impacto ambiental originado por su variabilidad.

- **Oxígeno disuelto (OD)**

Es la cantidad de Oxígeno presente en el agua, la cual es de vital importancia para la vida acuática y la calidad de la misma. La mayoría de Oxígeno disuelto en sistemas como ríos y lagos se consigue por el contacto con la atmósfera, además del salpiqueo del agua sobre rocas y cascadas, lo que atrapa el Oxígeno aumentando sus concentraciones (Sawyer et al., 2003: pp.593-603).

Las plantas fotosintéticas aportan además una cantidad significativa de Oxígeno en el agua. Este parámetro es de vital importancia debido a su relación con el desarrollo de la ictiofauna, puesto que la disminución de sus niveles generaría una reducción de la población de peces por asfixia; mientras que a concentraciones elevadas, existiría una mayor concentración de organismos acuáticos que inciden además con el proceso de autodepuración a nivel del río. (Molnar, 2005, pp.85).

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Hace relación a menos el logaritmo de la concentración de Hidrógeno presente en una solución, mismo que indica la naturaleza ácida, neutra o básica del agua. En el agua pura, el pH es igual a 7 lo que indica una naturaleza neutra de la misma, es decir contiene una cantidad igual de iones H^+ y OH^- . Cuando el agua es ácida puede generar problemas de corrosión, mientras que si el agua es alcalina puede generar problemas de incrustaciones (Molnar, 2005, pp.86).

Muchas formas de vida acuática son muy sensibles a los niveles de ácido o alcalinidad en el agua, en el que la contaminación puede generar variaciones graduales de pH, lo cual afectaría a las diferentes especies que se desarrollan en estos ecosistemas. La mayoría de los cuerpos de agua tienen la mayor diversidad biológica cuando el pH está cerca de 7 (Talavera y Zapata, 1998, pp.1-2).

- **Diferencia de Temperatura (ΔT)**

Es otro de los parámetros importantes en un cuerpo de agua debido que afecta la mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos. La vida acuática requiere un rango óptimo de temperatura para prosperar, tal es así que si la temperatura se incrementa, genera la volatilización del Oxígeno y un incremento de la capacidad metabólica de los organismos acuáticos, generando la pérdida del oxígeno disuelto en el agua; por el contrario, una baja temperatura en el agua provoca una alta concentración de Oxígeno disuelto y mayor disponibilidad de nutrientes (Molnar, 2005, pp.86).

La mayor parte de la contaminación térmica proviene de las industrias, donde el agua es utilizada en sistemas de enfriamiento, generación de electricidad o para diferentes procesos que involucran intercambio de calor, alterando la calidad de la misma. Otro factor que influye en la variación de la temperatura es la deforestación en hábitats ribereños, lo que genera una disminución de la sombra y un incremento de la temperatura del agua en el curso hídrico (Echarri, 2010).

- **Coliformes Fecales**

Son un conjunto de microorganismos que se encuentran en el tracto intestinal de los animales de sangre caliente. Su presencia en lagos, arroyos y ríos es un indicativo de la presencia de descargas de aguas residuales o de materia fecal proveniente de los animales. Los coliformes pueden ingresar al torrente de humanos y animales, provocando enfermedades entéricas debido a la presencia de patógenos dañinos (Molnar, 2005, pp.86).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)**

La DBO_5 es una medida de la cantidad de Oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica, mediante procesos biológicos aerobios. Representa una medida indirecta de la concentración de la materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente (Sánchez et al., 2007, pp.124). Las bacterias aeróbicas degradan los compuestos orgánicos presentes en el agua, contribuyendo así con la disminución de O_2 , debido que requieren del mismo para oxidar la materia orgánica tal como se observa en la siguiente reacción:

Materia Orgánica + O_2 + Nutrientes \rightarrow CO_2 + H_2O + Nutrientes + Energía + Microorganismos

Cuando el material orgánico se descompone, libera nutrientes que desencadena el crecimiento de plantas y aumenta la disponibilidad de nutrientes, lo que reduce los niveles de Oxígeno. La prueba de DBO_5 da una aproximación del nivel de desechos biodegradables presentes en el agua, estos pueden ser residuos orgánicos; es decir, cualquier material que en su composición contenga Carbono. El agua con una alta DBO_5 por lo general presenta una alta concentración de bacterias (Sawyer et al., 2003: pp.604-624).

- **Nitratos (NO_3^-)**

Es un nutriente importante para la síntesis de aminoácidos y proteínas en los ecosistemas acuáticos; sin embargo, en elevadas concentraciones podrían generar problemas de eutrofización y/o niveles excesivos de N. Los nitratos ingresan hacia los cursos hídricos mediante el arrastre o escorrentías generadas por las precipitaciones sobre pastizales o campos agrícolas, arrastrando al Nitrógeno y Fósforo contenidos en los fertilizantes, generando eutrofización (Sawyer et al., 2003: pp.631-648).

En el agua, los compuestos del Nitrógeno (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- y Nitrógeno Orgánico) desempeñan un rol fundamental en el crecimiento de los organismos. El Nitrógeno orgánico es susceptible a procesos de oxidación en el Ciclo del Nitrógeno, convirtiéndose en Nitrógeno Amoniacal, posteriormente a Hidroxilamina, y finalmente en Nitrito y Nitrato. La contaminación por nitratos afecta a la superficie y a las aguas subterráneas, siendo la causa principal de las zonas muertas en el golfo de México, la bahía de Chesapeake y el estrecho de Long Island (Molnar, 2005, pp.86).

- **Fosfatos totales (PO_4^{3-})**

Los Fosfatos son nutrientes esenciales para las plantas acuáticas, pero sólo en concentraciones muy bajas. Las cantidades excesivas de fósforo se acumulan fácilmente, y pequeñas cantidades pueden contaminar grandes volúmenes de agua. Al igual que el Nitrógeno, el Fósforo ingresa al agua por el arrastre de fertilizantes, teniéndose además un aporte significativo proveniente de las aguas residuales y la utilización de detergentes. El fósforo se presenta en el agua tanto en formas orgánicas como inorgánicas (Molnar, 2005, pp.86).

- **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

Son elementos disueltos en el agua presentes bajo forma de catiónica o aniónica, disminuyendo la calidad del agua e incrementando la conductividad eléctrica de la misma. Entre los principales

elementos presentes bajo forma disuelta encontramos al Sodio (Na^+), Magnesio (Mg^{2+}), Calcio (Ca^{2+}), Cloruro (Cl^-), Anión Bicarbonato (HCO_3^-) y Sulfato (SO_4^{2-}). Una concentración constante es necesaria para la vida acuática, la cual mantiene el equilibrio osmótico en las células de los organismos (Sawyer et al., 2003: pp.649-658).

Los cambios en la concentración pueden conducir a un debilitamiento del organismo o incluso a la muerte. Los altos niveles de SDT pueden afectar a los procesos de fotosíntesis, disminuyendo la calidad y el sabor del agua potable. Entre las principales fuentes de descarga encontramos las sales utilizadas en invierno en diferentes partes del mundo, aguas residuales urbanas (Residenciales, Comerciales y Pluviales), productos químicos agrícolas y factores que aumentan la erosión del suelo, como la construcción de carreteras y la tala de árboles (Molnar, 2005, pp.86).

- **Turbidez (T)**

Es una medida de transparencia del agua, donde la luz se dispersa por efecto de la presencia de pequeñas partículas (orgánicas e inorgánica) que se encuentran suspendidas en el medio. Cuanto mayor sea la turbiedad, el agua poseerá una apariencia más opaca, generando un descenso en la penetración de la luz, lo que interfiere con la producción de Oxígeno fotosintético de las algas y la productividad primaria (Sawyer et al., 2003: pp.518-522).

Otra de las consecuencias es la disminución de la concentración de oxígeno disuelto debido al incremento de la temperatura del agua. Los sólidos suspendidos afectan además a la fauna íctica, provocando obstrucción de las branquias en los peces y asfixia a las larvas de insectos depositados en zonas bentónicas. La presencia de sólidos suspendidos proviene de la erosión del suelo o la canalización del dragado. El aumento de los caudales de agua erosiona los bancos de arroyos y permite que el agua transporte una carga más pesada de partículas, tormentas y efluentes de aguas residuales sanitarias, y el aumento del crecimiento de algas (Molnar, 2005, pp.86).

1.2.4.2 Actividades antrópicas que afectan la calidad del agua en el cantón Piñas

En el cantón Piñas se ha visto en los últimos años una continua disminución en la calidad del agua, debido a problemas relacionados con la deforestación, los incendios forestales y la conversión del uso de suelo de bosques a pastizales, lo que representa una amenaza latente hacia los recursos hídricos de la zona. Los suelos se ven empobrecidos por conceptos del arrastre de la cobertura orgánica, debido que en su mayoría son arcillosos. Dichos suelos son susceptibles a un continuo lavado del mismo, lo que provoca que las aguas adquieran una coloración amarillenta.

Al tratarse de una zona ganadera, la principal actividad de los suelos es la producción de pastizales, lo que implica un vertido continuo de material fecal hacia los ríos, pudiendo generar un incremento de la carga microbiana y de nutrientes como PO_4^{3-} , NO_3^- , NH_4^+ y NO_2^- ; por otro lado, la producción agrícola puede generar problemas de contaminación, a través de la introducción de elementos tales como Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), presentes en los fertilizantes, que posteriormente son arrastrados hacia cuerpos hídricos superficiales y subterráneos, causando problemas de eutrofización (Jaramillo, 2008).

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Localización y caracterización de la zona de estudio

2.1.1 Localización de la zona de estudio

Los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda se encuentran localizados en la provincia de El Oro, en el cantón Piñas, de los cuales se dota de agua potable a la zona urbana de dicho cantón. La ubicación de estas fuentes hídricas y de sus captaciones se muestran en la Figura 1-2, así como sus Coordenadas Geográficas las cuales detallan en la Tabla 1-2.

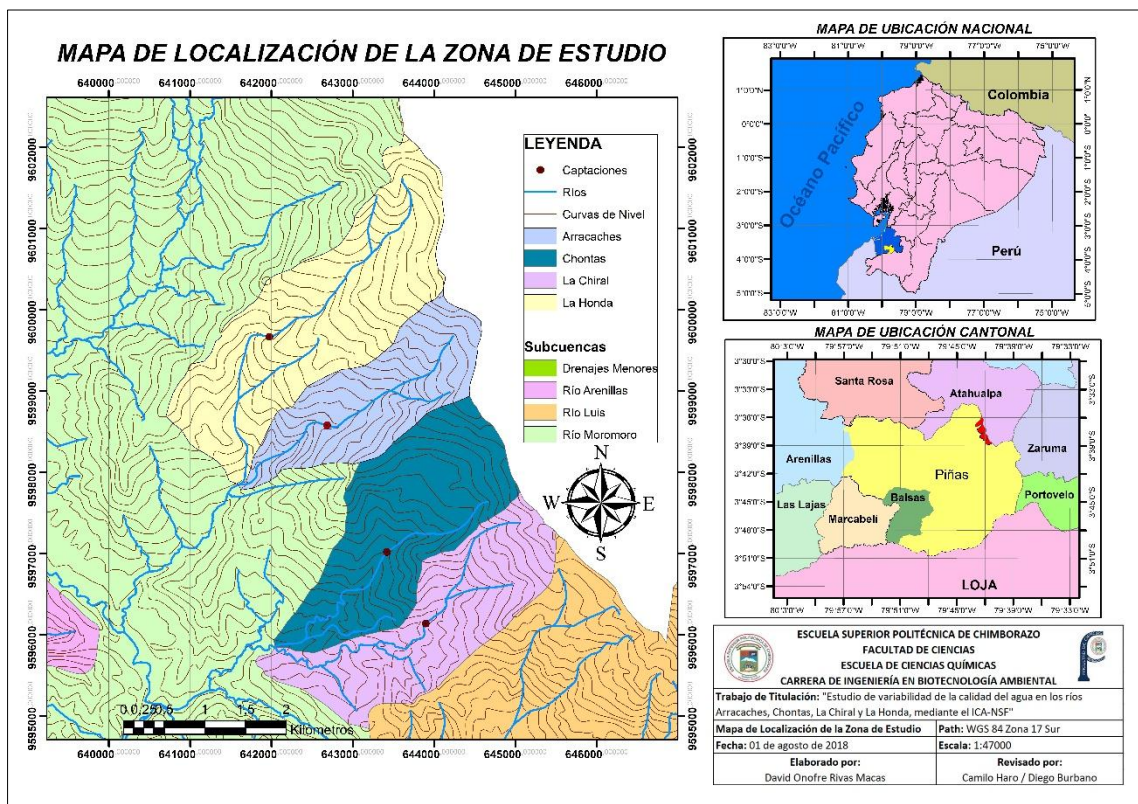


Figura 1-2: Mapa de localización de la zona de estudio

Realizado por: Rivas, David; 2018

Tabla 1-2: Coordenadas WGS 84 zona 17 Sur de las captaciones de la empresa EPAA-P en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y la Honda.

Punto	Coordenadas	
	X	Y
Captación Arracaches	643156	9599084
Captación Chontas	643974	9597591
Captación La Chiral	644339	9596826
Captación La Honda	642465	9600242

Realizado por: David Rivas, 2018

2.1.2 Caracterización de la zona de estudio

2.1.2.1 Orografía e hidrología

El presente estudio se desarrolló en las microcuencas de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, las cuales pertenecen a la subcuenca del río Moromoro, misma que forma parte del sistema hidrográfico que compone la Cuenca del río Puyango. Los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda se encuentran ubicados en las estribaciones de la cordillera de los Andes, en el sector Monos al nordeste del cantón Piñas, provincia de El Oro, con una altitud comprendida entre los 300 y 2035 msnm. Las principales características de esta zona se resumen en la Tabla 2-3.

Tabla 2-2: Características principales de las microcuencas de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y la Honda.

Microcuenca	Características			
	Área (km ²)	Longitud Axial (km)	Caudal (l/s)	Altitud (msnm)
Arracaches	2,4357	1,3373	19,83	1429
Chontas	2,2455	1,3363	9,93	1348
La Chiral	1,5146	1,0537	11,10	1300
La Honda	2,4060	1,3034	16,7	1528

Fuente: Jaramillo, 2008, pp. 16-17.

Realizado por: David Rivas, 2018

2.1.2.2 Clima

La mayor parte de la provincia de El Oro presenta un clima tropical, con diferentes pisos altitudinales. La provincia cuenta además con 8 estaciones meteorológicas; sin embargo, estas se encuentran por debajo de los 1150 metros de altura (GADM Piñas, 2015, pp. 78).

En el cantón Piñas la precipitación promedio anual es de 1,313 mm, presentando niveles máximos mensuales en el mes de marzo con 500 mm y los mínimos en el mes de agosto con una media de 5 mm. La temperatura promedio anual es de 22°C, teniendo las máximas y mínimas mensuales durante los meses de marzo y julio respectivamente. La humedad ambiental bordea el 89,3 % anual y la nubosidad se encuentra en torno a las 6,16 octas, con los picos máximos durante los meses de enero y febrero (GADM Piñas, 2015, pp. 39).

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología a través de la estación pluviométrica ordinal M0773, ubicada a 1126 msnm en el cantón Piñas, provincia de El Oro reporta los siguientes datos de precipitación en el periodo de estudio:

Tabla 3-2: Precipitación registrada por la estación pluviométrica M0773 en el periodo enero 2017 – enero 2018

Año	Mes	Precipitación mensual (mm)
2017	Enero	207,1
	Febrero	191,9
	Marzo	279,62
	Abril	281,1
	Mayo	35,9
	Junio	30,14
	Julio	15
	Agosto	4,4
	Septiembre	3,5
	Octubre	35,9
	Noviembre	16,3
	Diciembre	63,1
2018	Enero	171,5

Fuente: INAMHI, 2018

Realizado por: David Rivas, 2018

2.1.2.3 *Uso de suelo*

De acuerdo al Plan Provincial de Riego y Drenaje del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP, 2012) citado en GADM Piñas (2015, pp. 75), en el cantón Piñas el 41,30 % se destina para actividades ganaderas, mientras que los cultivos de ciclo corto, frutales y otros, abarca el 15,50 %. La vegetación herbácea cubre un 14,30 % del territorio, en el que los matorrales ocupan el 11,90 %, los cultivos de cacao, café y caña de azúcar un 10,90 %, los bosques un 5,90 %, el área urbana un 0,12 % y finalmente el 0,11 % es utilizado en para diferentes fines.

Además, Jaramillo (2008, pp. 16) estableció que en el área en estudio, un 90 % del suelo son pastizales y el 10 % corresponde a bosques remanentes (Bosque nublado premontano y montano).

2.2 Metodología

2.2.1 Tipo de proyecto.

El presente estudio de tipo Técnico, tuvo como finalidad evaluar la variabilidad de la calidad del agua de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda. En la primera fase se realizó el levantamiento de la información base que permitió identificar los puntos de muestreo a lo largo de los diferentes ríos sujetos de estudio, lo cual permitió efectuar el análisis de la calidad del agua de las muestras obtenidas en los ríos en mención. Con los datos obtenidos se procedió a evidenciar las posibles alteraciones y fluctuaciones respecto a la estacionalidad durante el periodo de estudio (octubre 2017 – enero 2018), lo que estarían incidiendo sobre la calidad del agua. Su valoración se efectuó a través de la aplicación del ICA-NSF.

Para el estudio en mención, fue necesario efectuar un acercamiento con el Departamento de Gestión Ambiental y Turismo (DEGAT) del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Piñas (GADM Piñas) y con la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Piñas (EPAA-P), a fin de recabar información de base, además del aval con el cual se pudo llevar a cabo el presente proyecto. Además, se mantuvo contacto con técnicos de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) con la finalidad de obtener información hidrometeorológica.

2.2.2 Determinación de los puntos de monitoreo

Se llevó a cabo un recorrido con personal de la EPAA-P, siendo estos conocedores del área y de las actividades que ahí se realizan, lo que permitió determinar en cada río tres puntos de monitoreo, siendo estos en la zona alta, zona media y la zona previa a la captación de la Planta de Agua Potable. De acuerdo con Martín (2012), para la selección de los puntos de los puntos de muestreo se tomaron las siguientes consideraciones: Véase la Tabla 4-3.

Tabla 4-2: Características a tener en cuenta para la selección del punto de muestreo en aguas continentales superficiales.

Característica	Descripción
Accesibilidad	El punto de muestreo debe estar en un lugar accesible, para que sea posible la toma de muestras, el transporte de los equipos y material de muestreo.
Representatividad	El punto de muestreo debe ser lo más representativo posible de las características generales del cuerpo de agua que se pretende analizar: la masa de agua debe estar mezclada totalmente; si existiera un vertido, éste debe ser caracterizado en su totalidad, etc.
Seguridad	El punto de muestreo, sus alrededores y las condiciones meteorológicas deben garantizar la seguridad de quien lleva a cabo la toma de muestras: precaución y equipos de seguridad.

Fuente: Martín, 2012. (<http://eimaformacion.com>)

Realizado por: David Rivas, 2018

Otros de los aspectos considerados para la selección de los puntos de muestreo fueron: localización, ubicación geográfica, clima, temperatura, precipitación, usos del suelo y agua, así como el diagnóstico socioeconómico. A lo largo del recorrido, se seleccionaron los puntos de monitoreo con un GPS Garmin Gpsmap 62sc, los cuales vienen identificados y georreferenciados de acuerdo a la Tabla 5-3 y a la Figura 2-3, que se muestran a continuación:

Tabla 5-2: Coordenadas WGS 84 zona 17 Sur de los puntos de muestreo en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y la Honda.

Río	Punto	Coordenadas		Altitud (msnm)
		X	Y	
Arracaches	A-01	643965	9599619	1648
	A-02	643643	9599408	1503
	A-03	643384	9599389	1429
Chontas	CH-01	644807	9598085	1569
	CH-02	644582	9597601	1516
	CH-03	644121	9597596	1348
La Chiral	LC-01	644956	9597241	1411
	LC-02	644601	9597058	1327
	LC-03	644385	9596843	1300
La Honda	H-01	643965	9601632	1737
	H-02	643451	9601109	1651
	H-03	642823	9600457	1528

Realizado por: David Rivas, 2018

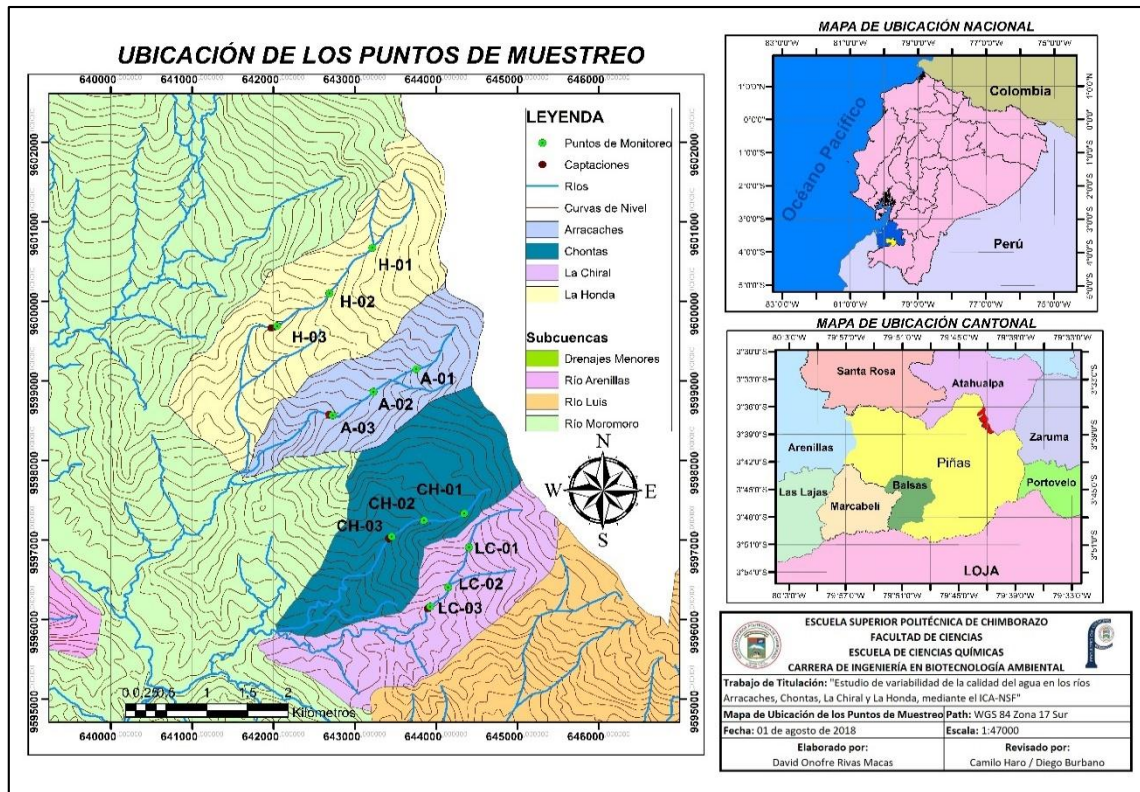


Figura 2-2: Ubicación de los puntos de muestreo

Realizado por: Rivas, David; 2018

Se efectuaron los muestreos con una frecuencia mensual, durante el periodo de octubre 2017 - enero 2018, se estableció cuatro muestreos debido al difícil acceso a la zona en los meses con mayor presencia de precipitación, realizándose de acuerdo al siguiente cronograma:

Tabla 6-2: Plan de muestreo de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y la Honda.

Río	Mes				Total de monitoreos
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	
Arracaches	10-10-2017	07-11-2017	06-12-2017	16-01-2018	4
Chontas	17-10-2017	21-11-2017	13-12-2017	23-01-2018	4
La Chiral	24-10-2017	14-11-2017	20-12-2017	30-01-2018	4
La Honda	03-10-2017	31-10-2017	28-11-2017	09-01-2018	4

Realizado por: David Rivas, 2018

2.2.3 Recolección de la información

Para la recolección de la información de base durante cada monitoreo propuesto, se procedió a identificar con un GPS, las coordenadas geográficas de cada una de las estaciones de monitoreo propuestas; además de registrar los datos relacionados con las condiciones ambientales y el estado

de los ríos, mediciones de caudales, medición de parámetros físicos y químicos del agua, tal como se detalla a continuación:

3.2.3.1. Información ambiental de base de puntos de muestreo

En el muestreo de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, se realizó las observaciones de las diferentes aportaciones, captaciones y actividades antrópicas que inciden sobre la calidad y cantidad del recurso hídrico de los ríos en mención; siendo importante para el análisis de los resultados obtenidos y de las posibles recomendaciones a realizarse para la conservación de los ríos en estudio. Se registró además la ubicación geográfica, las características del área, parámetros de medición in-situ e impactos ambientales en la zona de estudio. Los datos recabados fueron llenados de acuerdo a la siguiente matriz. Véase Tabla 7-3.

Tabla 7-2: Matriz de datos generales obtenidos en campo.

MATRIZ DE DATOS GENERALES OBTENIDOS EN CAMPO							
<i>Responsable</i>		<i>Coordenadas</i>		<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Sistema</i>	
<i>Fecha</i>							
<i>Hora Inicio</i>		<i>Zona UTM</i>					
<i>Hora Fin</i>		<i>Altitud</i>					
<i>Provincia</i>		<i>Recipientes</i>					
<i>Cantón</i>		<i>Condición Climática</i>		<i>Soleado</i>	<i>Nublado</i>	<i>Lluvia</i>	
<i>Sector</i>							
<i>Nombre de río</i>		<i>Temperatura Ambiente</i>					
<i>Código de río</i>		<i>Punto de Muestreo</i>					
DATOS DE CALIDAD DEL AGUA IN SITU			OBSERVACIONES				
<i>Temperatura</i>							
<i>Sólidos Totales Disueltos</i>							
<i>pH</i>							
<i>Características Organolépticas</i>				<i>Actividades Antropogénicas</i>			
<i>Olor</i>	<i>Apariencia</i>	<i>Sabor</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Tipo</i>	<i>Estimación %</i>	<i>Riesgo</i>	<i>Observaciones</i>
Efluentes				Residuos			
<i>Domésticos</i>	<i>Industriales</i>	<i>Combustibles</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Basura</i>	<i>Escombros</i>	<i>Excretas</i>	<i>Cadáveres</i>

Realizado por: David Rivas, 2018

2.2.3.1 Determinación de caudales

El caudal hace referencia al volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un curso hídrico en un tiempo determinado (Véase Figura 2-2) (Ordoñez, 2011, pp.11). El caudal de un río afecta la concentración de contaminantes y sustancias naturales, así como la distribución de los hábitats y organismos a lo largo de la corriente. Las mediciones de caudal son importantes porque en base a los mismos, se calcula la carga contaminante de un determinado contaminante (Sierra, 2011, pp.231).

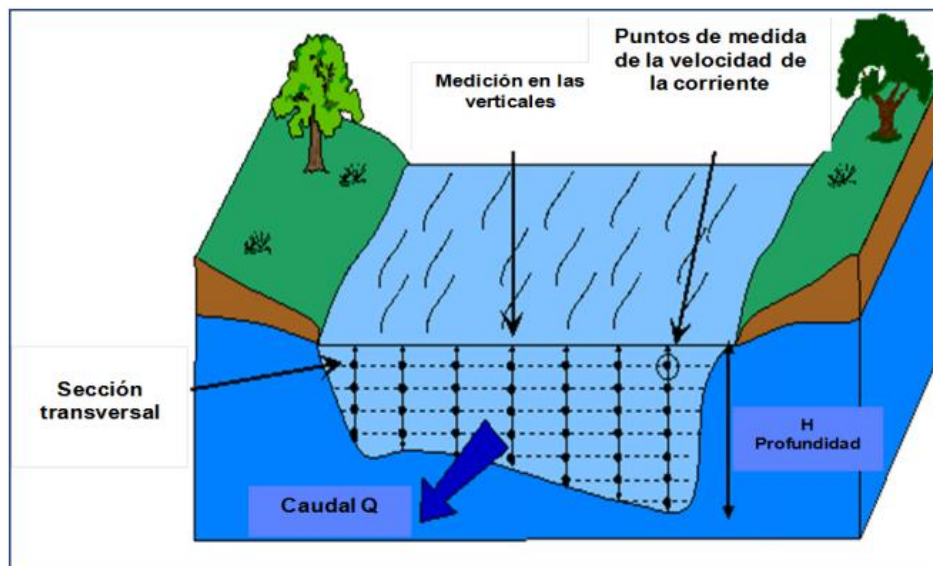


Figura 3-2: Caudal circulante a través de una sección transversal

Fuente: Musy, 2001 citado por Ordoñez, 2011.

Realizado por: David Rivas; 2018

Para la determinación de caudales en los diferentes puntos de monitoreo apostados a lo largo de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, se empleó el método del flotador, que consiste en determinar el tiempo que requiere un objeto en recorrer una distancia conocida (Chamorro, 2011, pp.5-6) (Véase Figura 2-3). Con los datos del tiempo y la longitud se obtiene la velocidad, que multiplicada por el área de la sección transversal del curso en estudio, se determina el caudal, a través de la siguiente expresión:

$$Q = A * V$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad de la corriente (m/s)

A = Área Transversal de la corriente (m²)

$$V = \frac{l}{t}$$

Dónde:

V = Velocidad de la corriente (m/s)

l = Longitud del cauce (m)

t = Tiempo de recorrido (s)

El cálculo del caudal se lo realizó en cada monitoreo, obteniendo cinco repeticiones para la determinación de la velocidad con la finalidad de reducir el margen de error y perfeccionar la calidad de la medición, realizándose en cada uno de los puntos de los ríos en estudio. Véase Tabla 8-3.

Tabla 8-2: Matriz de datos de Caudal

MATRIZ DE DATOS DE CAUDAL							
<i>Ancho</i>		<i>Alto 1</i>		<i>Tiempo 1</i>		<i>Distancia</i>	
		<i>Alto 2</i>		<i>Tiempo 2</i>		<i>Área</i>	
		<i>Alto 3</i>		<i>Tiempo 3</i>		<i>Caudal</i>	
		<i>Alto 4</i>		<i>Tiempo 4</i>		OBSERVACIONES	
		<i>Alto 5</i>		<i>Tiempo 5</i>			
<i>Ancho medio</i>		<i>Alto medio</i>		<i>Tiempo medio</i>			

Realizado por: David Rivas, 2018

2.2.3.2 Toma y preservación de la muestra

En cada uno de los puntos de monitoreo de los ríos en estudio se tomaron muestras puntuales, que consisten en la recolección de forma manual y/o automática de agua a lo largo del curso en mención, sea este superficial, subsuperficial e en el fondo (INEN, 2013, pp. 2). Para lograr la preservación de la muestra hasta el laboratorio correspondiente, se utilizará una cadena de custodia que mantenga a la muestra por debajo de la temperatura de monitoreo.

La finalidad de la recolección de la muestra es la obtención de una parte representativa de la unidad de estudio, además de un volumen necesario para luego ser analizado en el laboratorio respectivo; para lo cual es necesario una correcta identificación de la muestra y su respectiva cadena de custodia hasta llegar al sitio de análisis (Véase Tabla 9-3).

Tabla 9-2: Matriz de identificación de la muestra

Microcuenca		
ID Punto		
ID Muestra		
Coordenadas	X	Y
Fecha		
Hora		
Parámetro a Analizar		
Responsable		

Realizado por: David Rivas, 2018

Para llevar a cabo la toma de muestras se siguió las sugerencias de Leiva et al., (2009, pp. 5-6), quien indica un protocolo y recomendaciones a seguir para la toma de muestras en fuentes de agua superficial, con la finalidad de lograr condiciones asépticas, garantizando la representatividad y la preservación de la muestra.

2.2.3.3 *Caracterización de la calidad del agua*

Una vez tomadas las muestras en las diferentes estaciones de monitoreo, se realizó in situ la determinación de Diferencia de Temperatura, pH y Sólidos Disueltos Totales, mientras que la determinación de Fosfatos, Nitratos, Coliformes Fecales, Turbidez se realizó en el laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable del cantón Piñas. Para parámetros como el Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno, las muestras fueron trasladadas al Laboratorio SAQMIC. SA, ubicado en la ciudad de Riobamba. La Caracterización realizada, se la efectuó de acuerdo a las siguientes metodologías: Véase Tabla 10-3.

Tabla 10-2: Tabla de metodologías utilizadas en la caracterización física, química y microbiológica

Parámetro	Método	Equipo	Tipo de Ensayo
Oxígeno Disuelto	Winkler	HACH DR2800	Ex Situ
pH	Electroquímico / Potenciométrico	pH-Metro	In Situ
Temperatura	Electroquímico / Potenciométrico	pH-Metro	In Situ
Coliformes Fecales	Filtración por membrana / Microfiltración	Equipo de microfiltración por membrana y bomba de succión	Ex Situ
DBO ₅	Gasométrico	BOD Sensor System 6	Ex Situ
Nitratos	355 N Nitrato RA PP / Método de Reducción de Cadmio	Espectrofotómetro HACH DR2800	Ex Situ
Fosfatos	490 P REACT. PV / Método de Ácido Ascórbico	Espectrofotómetro HACH DR2800	Ex Situ
Sólidos Disueltos Totales	Electrométrico	Conductivímetro	In Situ
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro	Ex Situ

Realizado por: David Rivas, 2018

2.2.4 Cálculo del índice de calidad del agua

Una vez caracterizadas las muestras de agua, se procedió a calcular los índices de calidad ICA-NSF, para cada uno de los puntos de muestreo, con la finalidad de establecer un diagnóstico del estado actual de los ríos en estudio. El cálculo del índice de calidad del agua, se lo realizó a partir de la suma lineal de los subíndices y de una función de agregación del producto ponderado, tomándose en consideración los pesos asignados de cada parámetro seleccionado (Fernández & Solano, 2005, pp. 46). El índice asigna pesos, según su importancia, tal como lo indica en la Tabla 10-3.

Tabla 11-2: Parámetros de calidad del ICA-NSF y sus pesos respectivos.

PARÁMETRO	UNIDADES	Wi
1 Oxígeno Disuelto	% Saturación	0.17
2 pH	Unidades de pH	0.11
3 Diferencia de Temperatura	°C	0.10
4 Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0.16
5 DBO ₅	mg/L	0.11
6 Nitratos	mg/L	0.10
7 Fosfatos	mg/L	0.10
8 Sólidos Disueltos Totales	mg/L	0.07
9 Turbidez	UNT	0.08

Fuente: Fernández & Solano, 2005

Para calcular el Índice de ICA-NSF se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) o una función ponderada multiplicativa (ICAm). Expresándose matemáticamente como:

$$ICAa = \sum_{i=1}^n Wi * Sub i$$

$$ICAm = \prod_{i=1}^9 Sub i^{Wi}$$

Donde:

Wi: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub i: Subíndice del parámetro i, que indica la calidad parcial de cada uno de los parámetros de estudio, obtenido mediante interpolaciones de curvas establecidas por la NSF. (Fernández & Solano, 2005, pp. 46)

Mediante la aplicación de la técnica multiplicativa para la determinación del ICA-NSF, se puede obtener mayor sensibilidad de los parámetros utilizados en el índice en mención, lo cual se ve reflejado en el cambio de la calidad mas precisa. Para obtener el valor de ICA-NSF es necesario reemplazar en las ecuaciones antes mencionadas los valores de Sub i para cada parámetro asignado. Los valores de Sub i se determinan mediante el uso de las curvas de calidad parcial, que relacionan tanto la concentración o el valor de un determinado parámetro, con el Sub i, tal como se observa a continuación:

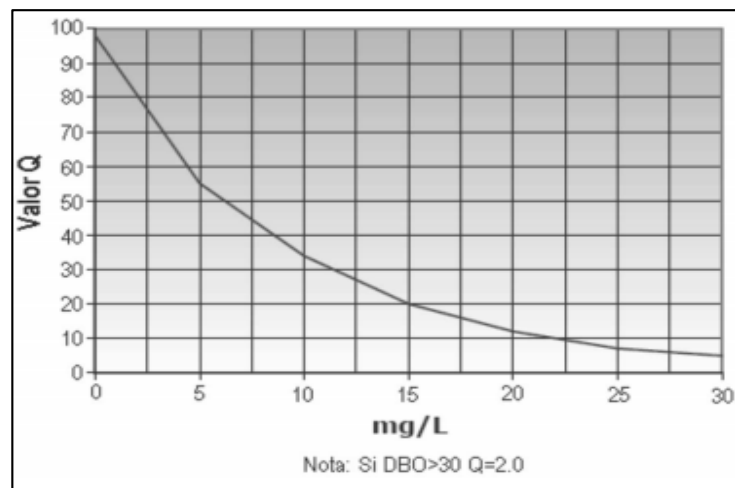






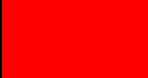
Figura 4-2: Curva ejemplo Determinación de la Calidad-DBO₅

Fuente: SNET, 2012.
Realizado por: David Rivas; 2018

Para determinar el valor del Sub *i* en el caso de la DBO₅, si la concentración es mayor de 30 mg/L el valor Sub *i* es igual a 2. Si la concentración de la DBO₅ es menor a 30 mg/L se debe buscar el valor en la abscisa en la Figura 4-3 y se procede a interpolar al valor en el eje de las Y. El valor encontrado es el valor Sub *i* de DBO₅ y se procede a reemplazarlo en las ecuaciones. Para los otros parámetros restantes, la metodología aplicada es similar a la indicada anteriormente, considerando curvas específicas para cada parámetro, tal como se muestra en el Anexo E.

El Índice de Calidad de Agua (ICA) se expresa de acuerdo a la Tabla 11-3.

Tabla 12-2: Valoración de calidad de agua según el ICA-NSF

CALIDAD DEL AGUA	RANGO DE VALOR	DESCRIPCIÓN	COLOR
Excelente	91 – 100	No presenta peligros para el ecosistema. Es adecuada para el desarrollo de todas las especies.	
Buena	71 – 90	Sostiene una alta biodiversidad de vida acuática. Se presentan períodos donde algún indicador muestra peligros para el ecosistema. En este caso, si la situación no mejora en un período breve, se empezarían a ver cambios en la composición del ecosistema.	
Regular	51 – 70	Existen signos de contaminación, como aumento en la concentración de nutrientes. Se observa una reducción de la diversidad en los organismos acuáticos y un desequilibrio en el crecimiento de algas y vegetación acuática.	
Mala	26 – 50	Sostiene una baja biodiversidad de vida acuática, principalmente de especies tolerantes. Manifiesta problemas con fuentes de contaminación puntuales y no puntuales.	
Muy Mala	0 – 25	Posibilita el crecimiento de poblaciones elevadas de un limitado número de organismos resistentes a aguas muy contaminadas.	

Fuente: Fernández & Solano, 2005
Realizado por: David Rivas, 2018

El cálculo del Índice de Calidad de Agua se lo realizó mediante el Software Icatost v1.0.0.44 (Fernández et al, 2005), de la Universidad de Pamplona, la cual es una herramienta para la Valoración de la Calidad del Agua.

2.2.5 *Análisis de datos*

Los resultados fueron sometidos al respectivo análisis estadístico descriptivo donde se determinó la Media, Mediana, Cuartiles, Mínimo y Máximo, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación. Los datos obtenidos fueron representados en Diagramas de Caja; además se realizó el Análisis de Varianza Unifactorial (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre los conjuntos de datos para cada parámetro estudiado, y el cálculo del Coeficiente de Correlación de Pearson, para establecer si los parámetros guardan relación entre ellos.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación de Caudales

Una vez realizadas las mediciones de caudales en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, se obtuvieron los siguientes resultados: Véase Tabla 1-4.

Tabla 1-3: Caudales de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda

		Caudal (l/s)			
Río	Punto	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Arracaches	A-01	27,95	20,55	25,39	37,21
	A-02	32,19	27,62	30,33	47,29
	A-03	36,54	29,59	34,80	53,40
Chontas	CH-01	2,26	1,97	2,88	15,71
	CH-02	3,19	2,34	4,24	21,04
	CH-03	5,59	4,00	6,60	26,25
La Chiral	LC-01	3,14	2,76	7,29	26,74
	LC-02	7,31	6,79	10,43	32,37
	LC-03	10,76	8,16	14,77	41,02
La Honda	H-01	20,80	18,41	22,26	32,34
	H-02	32,56	26,53	32,25	43,16
	H-03	46,09	36,88	45,02	54,44
		Caudal Promedio			
Arracaches		32,23	25,92	30,17	45,96
Chontas		3,68	2,77	4,57	21,00
La Chiral		7,07	5,90	10,83	33,38
La Honda		33,15	27,27	33,18	43,31

Realizado por: David Rivas, 2018

Como se puede observar en la Tabla 1-4, los ríos presentan los caudales máximos en el mes de enero y con respecto a los datos proporcionados por el INAMHI corresponderían al mes con mayor precipitación. Además, se puede evidenciar altos contrastes entre las épocas seca y húmeda, siendo notable su incremento (Véase Gráfico 1-4).

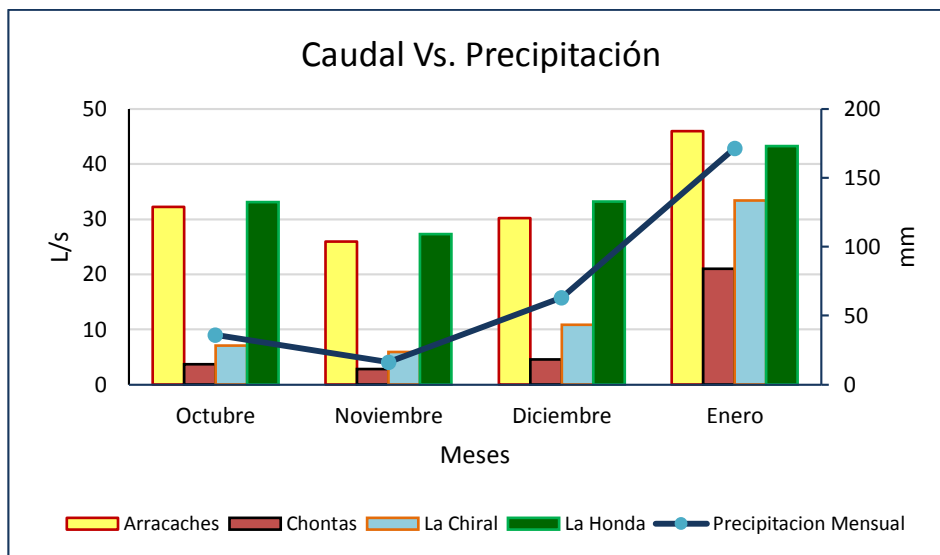


Gráfico 1-3: Caudal Vs. precipitación

Realizado por: Rivas, David; 2018.

3.2 Caracterización física, química y microbiológica los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda

Posterior al muestreo realizado durante los meses de octubre 2017 - enero 2018 se procedió a la caracterización física, química y microbiológica de los diferentes parámetros, necesarios para el cálculo del ICA-NSF, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 2-3: Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del río Arracaches

Mes	Punto	ΔT (°C)	SDT (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	NO_3^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	OD (% Sat)	DBO ₅ (mg/L)	CF (UFC/100 mL)
Octubre	A-01	3,5	33,9	6,76	1,34	1	0,27	94,09	4,26	0
	A-02	3,9	36,8	6,74	1,14	0,4	0,12	93,84	3,71	37
	A-03	3,2	37,8	6,57	0,803	0,5	0,17	96,26	4,32	42
Noviembre	A-01	6,1	34,8	7,23	0,819	0,4	0,25	93,49	4,05	0
	A-02	5,1	35,7	6,95	0,51	0,5	0,19	94,69	3,65	0
	A-03	4,1	38,7	7,2	0,598	0,4	0,19	99,17	3,79	52
Diciembre	A-01	4,9	36,4	7,12	2,62	1	0,28	102,05	2,65	45
	A-02	4,1	40,6	7,08	1,07	0,7	0,18	102,78	2,29	15
	A-03	3,3	40,8	7,06	0,995	0,7	0,26	100,36	2,42	49
Enero	A-01	4,5	32	6,43	2,85	1,3	0,09	95,15	2,77	0
	A-02	3,8	32,3	6,28	2,88	1,2	0,32	92,78	2,63	0
	A-03	3,3	32,6	6,23	2,69	1	0,13	89,11	1,99	78

Realizado por: David Rivas, 2018

De acuerdo a la Tabla 2-4, los parámetros estudiados en el río Arracaches se encuentran afectados por la época en la cual fueron medidos, influyendo notablemente la presencia de precipitaciones, generando escorrentías que alteran las condiciones normales de los cauces, con la posible presencia de nutrientes procedentes de actividades agrícolas, sin embargo, se puede inferir que las variaciones presentadas son bajas al compararlos de un periodo a otro, observándose homogeneidad en la mayoría de sus valores; a excepción de Coliformes Fecales (CF), causadas por la presencia de heces fecales de la actividad ganadera, presentando en su valores una alta variabilidad de un punto a otro.

Tabla 3-3: Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológico del río Chontas

Mes	Punto	ΔT (°C)	SDT (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	NO_3^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	OD (% Sat)	DBO ₅ (mg/L)	CF (UFC/100 mL)
Octubre	CH-01	4,1	37,7	6,45	0,322	0,6	0,19	94,09	3,72	0
	CH-02	3,6	37,4	6,1	0,345	0,5	0,18	95,69	3,24	0
	CH-03	3,6	43,9	6,21	1,15	0,7	0,18	96,26	3,51	27
Noviembre	CH-01	5,1	39,1	6,74	0,269	0,5	0,25	80,47	4,05	0
	CH-02	4,5	39,3	6,76	0,763	1	0,14	80,92	3,24	22
	CH-03	4,5	47,3	6,6	0,895	1,2	0,24	78,11	3,18	0
Diciembre	CH-01	5,3	37,6	6,46	0,598	0,6	0,15	80,59	2,14	0
	CH-02	4,6	37,2	6,48	0,69	0,7	0,19	83,08	2,21	0
	CH-03	3,4	42,2	6,67	1,38	1	0,21	84,38	3,09	37
Enero	CH-01	4,3	25,1	6,84	2,35	1,2	0,07	93,12	1,22	0
	CH-02	2,9	24,7	6,92	2,35	0,9	0,06	96,26	1,35	0
	CH-03	2,3	25,5	6,82	2,46	1,4	0,12	96,55	1,55	0

Realizado por: David Rivas, 2018

El comportamiento de la calidad del agua del río Chontas en el periodo de estudio se muestra en la Tabla 3-4, siendo este homogéneo con leves variaciones en el tiempo; siendo la calidad del agua influenciada por la presencia de precipitaciones, debido al arrastre de sedimentos incrementando la Turbidez y al aumento del caudal, siendo este último determinante al facilitar los procesos de oxigenación en el río; al igual que en el río Arracaches presenta alta variabilidad en la concentración de Coliformes Fecales (CF), siendo la principal causa las actividades ganaderas adyacentes, aportando con heces fecales en su paso por abrevaderos no controlados.

Tabla 4-3: Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológico del río La Chiral

Mes	Punto	ΔT (°C)	SDT (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	NO_3^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	OD (% Sat)	DBO ₅ (mg/L)	CF (UFC/100 mL)
Octubre	LC-01	4,2	30,4	6,86	0,789	0,6	0,19	99,88	4,32	39
	LC-02	3,2	29,8	6,79	0,815	0,6	0,25	102,22	4,52	0
	LC-03	1,8	24,4	6,64	1,14	0,4	0,19	102,01	4,46	0
Noviembre	LC-01	5,4	30,4	6,29	0,976	0,4	0,19	93,49	3,5	46
	LC-02	4,6	37,8	6,47	0,759	0,4	0,18	91,43	3,98	0
	LC-03	3,6	31,5	6,81	1,06	0,4	0,19	97,95	3,62	0
Diciembre	LC-01	4,8	24,5	6,8	1,85	1	0,1	98,07	2,87	0
	LC-02	4,1	23,7	6,73	2,33	1,1	0,04	92,75	2,2	54
	LC-03	3,7	26,1	6,28	1,54	0,8	0,07	101,69	2,47	0
Enero	LC-01	4,6	22,1	6,7	2,36	0,8	0,1	96,26	1,54	96
	LC-02	3,2	22,3	6,73	1,71	1	0,11	97,95	1,61	0
	LC-03	3,1	24,3	6,61	2,52	1,2	0,09	98,67	1,76	0

Realizado por: David Rivas, 2018

De acuerdo a la Tabla 4-4, los parámetros estudiados en el río La Chiral se encuentran condicionados por la presencia de precipitaciones, arrastrando nutrientes y sedimentos a través de la escorrentía, incrementando los niveles de Nitratos, así como la concentración de Turbidez; en el caso del parámetro Coliformes Fecales (CF), resaltan sus valores por la presencia o ausencia de UFC, consecuencia de las fuentes no puntuales de heces fecales a lo largo del río.

Tabla 5-3: Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológico del río La Honda

Mes	Punto	ΔT (°C)	SDT (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	NO_3^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	OD (% Sat)	DBO ₅ (mg/L)	CF (UFC/100 mL)
Octubre	H-01	4,9	26,4	6,24	0,391	0,4	0,2	77,05	3,01	25
	H-02	4,8	26,8	6,18	0,384	0,5	0,21	74,40	2,9	0
	H-03	4,6	32,6	6,04	0,275	0,4	0,15	73,25	3,41	0
Noviembre	H-01	5,3	27,01	6,78	1,19	0,3	0,19	91,83	3,82	46
	H-02	5,4	28,1	6,81	1,26	0,5	0,2	93,49	3,85	0
	H-03	5,1	33,5	6,11	0,786	0,6	0,27	96,80	4,13	0
Diciembre	H-01	5,5	29	7,21	0,744	0,7	0,34	94,91	4,72	62
	H-02	5,3	29,4	7,11	0,878	0,7	0,26	97,87	4,21	0
	H-03	4,7	35,6	6,95	1,07	1	0,28	98,34	3,51	0
Enero	H-01	4,6	27,3	6,92	1,37	0,7	0,2	98,34	2,09	84
	H-02	4,1	27,7	6,72	1,24	1,2	0,18	104,73	2,11	0
	H-03	3,6	32,3	6,63	1,32	0,6	0,18	101,54	2,03	0

Realizado por: David Rivas, 2018

El comportamiento de la calidad del agua del río La Honda se puede observar en la Tabla 5-4; encontrándose la calidad del agua influenciada por la presencia de precipitaciones, siendo el caudal determinante debido al arrastre de sedimentos incrementando la Turbidez, además presentando procesos de dilución en las concentraciones de materia orgánica (DBO₅) a medida que se incrementan las precipitaciones. A diferencia de las unidades de estudio antes mencionadas, en el río La Honda la presencia de Coliformes Fecales (CF) es uniforme a lo largo del tiempo en el punto H-01, diferenciándose de la ausencia aguas abajo.

3.3 Cálculo del índice de calidad del agua (ICA-NSF) en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda

Una vez realizada la caracterización de las muestras provenientes de los ríos en estudio, se procedió con la cuantificación de la calidad del agua, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 6-3: Resultados de los valores ICA-NSF calculados para los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda.

Río		Arracaches		Chontas		La Chiral		La Honda	
Mes	Punto	ICA-NSF	Clasificación ICA-NSF	ICA – NSF	Clasificación ICA-NSF	ICA – NSF	Clasificación ICA-NSF	ICA – NSF	Clasificación ICA-NSF
Octubre	A-01	87,69	Buena	87,58	Buena	81,67	Buena	78,03	Buena
	A-02	81,97	Buena	88,86	Buena	88,28	Buena	83,51	Buena
	A-03	80,87	Buena	80,44	Buena	88,77	Buena	82,97	Buena
Noviembre	A-01	88,1	Buena	85,84	Buena	78,71	Buena	80,34	Buena
	A-02	89,08	Buena	81,32	Buena	86,93	Buena	88,02	Buena
	A-03	82,41	Buena	85,57	Buena	88,98	Buena	84,76	Buena
Diciembre	A-01	81,49	Buena	86,99	Buena	89,38	Buena	79,07	Buena
	A-02	85,71	Buena	87,38	Buena	82,23	Buena	88,27	Buena
	A-03	82,76	Buena	80,48	Buena	88,15	Buena	88,4	Buena
Enero	A-01	87,69	Buena	92,6	Excelente	82,3	Buena	82,07	Buena
	A-02	79,71	Buena	92,82	Excelente	91,91	Excelente	90,11	Excelente
	A-03	79,39	Buena	92,38	Excelente	90,99	Excelente	90,29	Excelente

Realizado por: David Rivas, 2018

De acuerdo con la Tabla 6-4, los Índices de Calidad del Agua de los ríos Chontas, La Chiral y La Honda se incrementan en los meses con mayor precipitación; por el contrario, en el río Arracaches sus valores del ICA-NSF se ven perjudicados en los meses lluviosos, disminuyendo levemente su calidad, encontrándose las zonas cerca de las riberas libres de vegetación arbórea, favoreciendo esto a la presencia de contaminantes.

3.4 Análisis estadístico descriptivo de la calidad del agua de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda

Con los resultados obtenidos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, valores del ICA-NSF y Caudal, se procedió a realizar el análisis estadístico descriptivo, con la finalidad de establecer diferencias y/o similitudes con respecto a la calidad del agua entre los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, tal como se observa a continuación:

3.4.1 Caudal (Q)

Tabla 7-3: Estadística descriptiva para caudal (L/s)

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	27,77	20,55	37,21	7,00	25,19%
A-02	34,35	27,62	47,29	8,82	25,68%
A-03	38,58	29,59	53,40	10,31	26,72%
CH-01	5,71	1,97	15,71	6,68	117,07%
CH-02	7,70	2,34	21,04	8,93	115,87%
CH-03	10,61	4,00	26,25	10,48	98,75%
LC-01	9,98	2,76	26,74	11,36	113,78%
LC-02	14,22	6,79	32,37	12,20	85,78%
LC-03	18,68	8,16	41,02	15,14	81,06%
H-01	23,45	18,41	32,34	6,13	26,15%
H-02	33,62	26,53	43,16	6,94	20,63%
H-03	45,61	36,88	54,44	7,18	15,75%

Realizado por: David Rivas, 2018

En la Tabla 7-4 se puede observar la variación en los niveles de Caudal presente en los diferentes puntos de muestreo, el río La Honda posee los valores más bajos de variabilidad entre 15,75 y 26,15 %, el río Arracaches posee valores entre 25,19 y 26,72 %, el río La Chiral entre 81,06 y 113,78 %, los valores más altos de variabilidad se encuentran en el río Chontas encontrándose estos entre 98,75 y 117,07 %.

Tabla 8-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para caudal.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	6004,4510	3	2001,4837	18,3900	0,00000012
Dentro de los grupos	4353,4081	40	108,8352		
Total	10357	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

La Tabla 8-4 muestra el análisis de varianza unifactorial aplicado a los valores de Caudal en cada punto de muestreo, obteniéndose un $F = 18,3900$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,00000012 < 0,05$ señala que los valores de Caudal en los cuatro ríos en cada monitoreo presentan diferencias significativas entre sí, por lo que se concluye que los datos no son estadísticamente iguales.

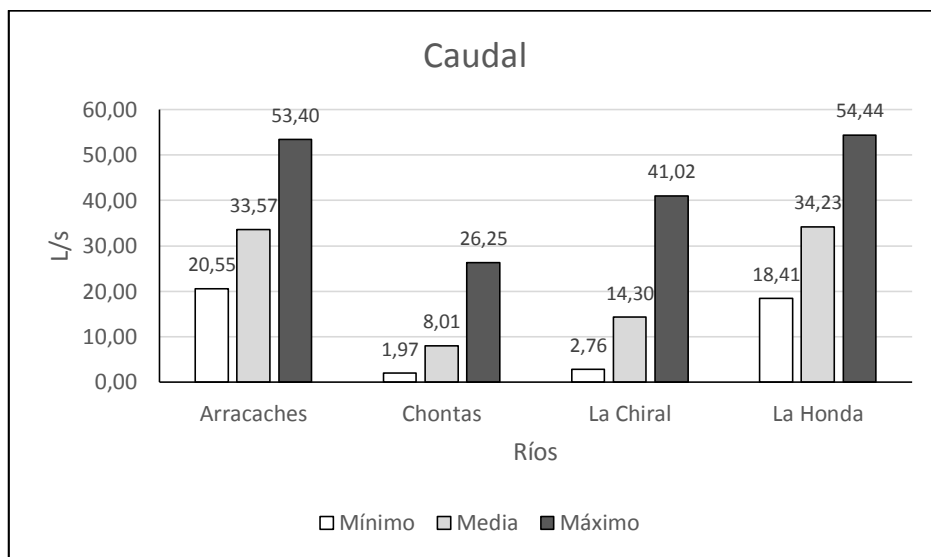


Gráfico 2-3: Caudal

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En el Gráfico 2-4 se puede apreciar que el río Chontas presenta el valor más bajo de Caudal con 8,01 L/s, en el río Chontas el valor medio se encuentra en 14,30 L/s, el río Arracaches aporta 33,57 L/s y el valor promedio más alto se encuentra en el río La Honda con 34,23 L/s. Se puede ultimar que los ríos Arracaches y La Honda realizan los mejores aportes en cuanto a cantidad de agua en la zona de estudio. Los valores de caudal presentan una alta variabilidad en el periodo de monitoreo (octubre 2017 – enero 2018), en el Gráfico 1-4 se puede apreciar tal variación, incrementándose los valores de Caudal a razón del incremento de precipitación.

3.4.2 Oxígeno Disuelto (OD)

Tabla 9-3: Estadística descriptiva para Oxígeno Disuelto

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	96,20	93,49	93,64	94,62	100,33	102,05	93,64	0,98	5,71	1,73	0,15	3,96	4,12%
A-02	96,02	92,78	93,05	94,26	100,75	102,78	93,05	1,22	6,49	2,02	0,26	4,57	4,76%
A-03	96,23	89,11	90,90	97,71	100,06	100,36	90,90	6,82	2,35	0,30	1,79	5,05	5,24%
CH-01	87,07	80,47	80,50	86,85	93,85	94,09	80,50	6,35	6,99	0,24	0,03	7,56	8,68%
CH-02	88,99	80,92	81,46	89,38	96,11	96,26	81,46	7,93	6,73	0,14	0,54	8,12	9,13%
CH-03	88,82	78,11	79,67	90,32	96,48	96,55	79,67	10,64	6,16	0,07	1,57	9,12	10,27%
LC-01	96,92	93,49	94,18	97,16	99,42	99,88	94,18	2,98	2,26	0,45	0,69	2,72	2,81%
LC-02	96,09	91,43	91,76	95,35	101,15	102,22	91,76	3,59	5,80	1,07	0,33	4,96	5,16%
LC-03	100,08	97,95	98,13	100,18	101,93	102,01	98,13	2,05	1,75	0,08	0,18	2,07	2,07%
H-01	90,54	77,05	80,75	93,37	97,49	98,34	80,75	12,62	4,11	0,86	3,70	9,37	10,35%
H-02	92,62	74,40	79,17	95,68	103,02	104,73	79,17	16,51	7,34	1,72	4,77	13,00	14,04%
H-03	92,49	73,25	79,14	97,57	100,74	101,54	79,14	18,43	3,17	0,80	5,89	12,97	14,03%

Realizado por: David Rivas, 2018

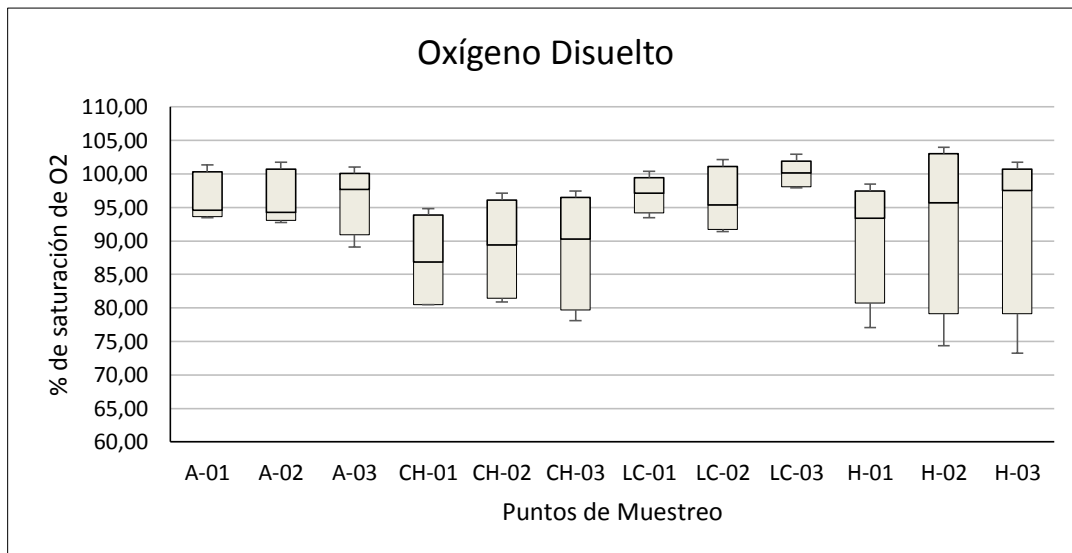


Gráfico 3-3: Diagramas de caja para Oxígeno Disuelto
Realizado por: Rivas, David; 2018.

Como se puede observar en la Tabla 9-4, la variación del % de Oxígeno Disuelto entre los diferentes ríos es evidente, siendo el río La Honda la que presenta una mayor variabilidad con respecto a la media, obteniéndose valores entre 10,35 y 14,04 %, frente a los alcanzados por los ríos Chontas con un 8,68 y 10,27 %, Arracaches con 4,12 a 5,24 % y La Chiral con 2,81 y 5,10 %. Esta diferencia radica debido en que el % de Saturación de O₂ varía entre las diferentes estaciones de muestreo, siendo en los meses de diciembre y enero cuando se incrementa las precipitaciones en la zona, lo cual incide en el enriquecimiento de Oxígeno en las aguas; sin embargo, en el río Chontas, se observa niveles bajos de OD producto de una mayor presencia de actividades ganaderas que contrastan con los valores alcanzados en el río La Chiral, donde los bosques de ribera favorecen la contención de la materia orgánica y evitan el arrastre de nutrientes, corroborando lo expuesto por González (1999: pp.501), donde manifiesta que el bosque ripario sombrea el cauce, disminuyendo la temperatura del agua, con lo que mejora su contenido en Oxígeno Disuelto, regulando la entrada de luz y el crecimiento de las algas.

De acuerdo con el Gráfico 3-4, el río Chontas exhibe en los puntos CH-01 y CH-02 una distribución simétrica de acuerdo con la posición de la mediana; sin embargo, en el punto CH-03 presenta una distribución asimétrica negativa, indicando que la mayoría de los datos de % de OD se encuentran en los valores superiores de los datos. Esta variación se debe a que en el mes de noviembre, se reporta el valor más bajo de OD con un 78,10 %, diferenciándose de los meses de octubre, diciembre y enero, con valores de 96,26, 84,38 y 96,35 % respectivamente. Con respecto al río La Honda, el cual presenta una distribución asimétrica negativa en los puntos H-01, H-02 y H-03 en los valores de % Sat OD, indica que la mayor parte de los datos reportados se encuentran cerca a los valores máximos registrados.

En el caso de los ríos Arracaches y La Chiral de acuerdo con el Gráfico 3-4, se puede visualizar una baja dispersión en sus datos. En el caso del río Arracaches, en los puntos A-01 y A-02 se observa una distribución asimétrica positiva, indicando que la mayor parte de sus datos reportados se encuentran en los valores inferiores de los reportados, a diferencia del punto A-03 que muestra una distribución asimétrica negativa, encontrándose la mayor parte de datos entre los valores superiores, estos valores altos en este punto se deben a que a medida que avanza el río por su cauce los niveles del % Sat OD aumentan, ya sea por fotosíntesis o mezcla turbulenta (Fosalba et al., 2007, pp.1-3).

Para el río La Chiral, los puntos LC-01 y LC-03 siguen una distribución simétrica, formando estos valores un grupo homogéneo, en el caso del punto LC-02 presenta una leve distribución asimétrica positiva, encontrándose la mayor parte de sus datos en los valores inferiores, esta disminución en la concentración de OD se debe a los continuos aportes de materia orgánica en el agua debido a la actividad ganadera adyacente, sin embargo, el río se depura al mostrar incremento de OD en el punto LC-03.

Tabla 10-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Oxígeno Disuelto.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	624,9190	3	208,3063	4,2541	0,0106
Dentro de los grupos	1958,6244	40	48,9656		
Total	2583,5435	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

Un análisis de varianza unifactorial (Tabla 10-4) fue aplicado a los distintos ríos para el parámetro OD, obteniéndose un $F = 4,2541$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,0106 < 0,05$ señaló que los valores de Oxígeno en los cuatro ríos en cada monitoreo presentan diferencias significativas entre sí, por lo que se concluye que los datos no son estadísticamente iguales.

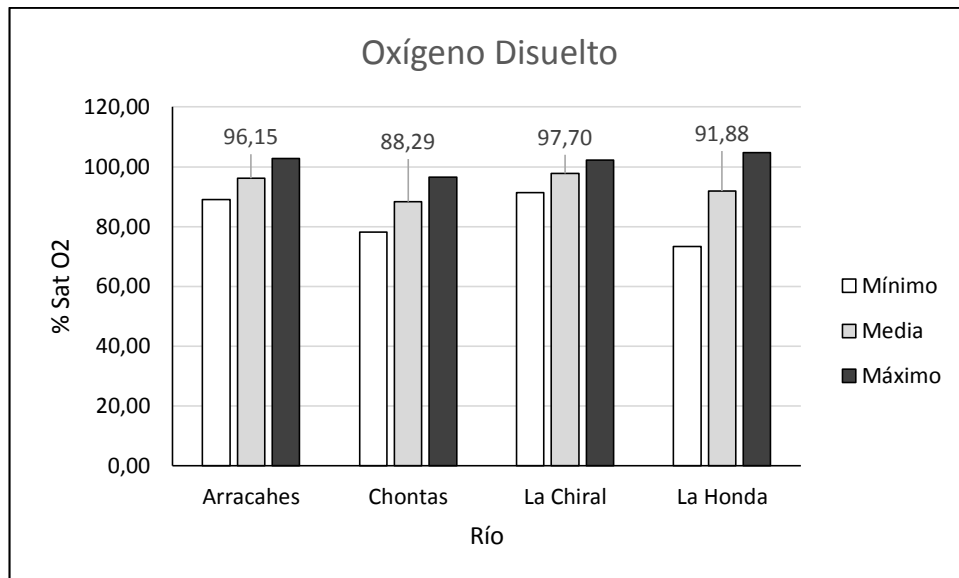


Gráfico 4-3: Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En el Gráfico 4-4 se puede observar que el río La Chiral presenta el valor más alto para % Sat. O₂, valores similares se reportan en el río Arracahes, sin embargo, estos resultados difieren de los valores representados en el río Chontas y La Honda. Se puede ultimar que los ríos La Chiral y La Honda realizan los mejores aportes en cuanto a calidad del agua en la zona de estudio.

3.4.3 Potencial de Hidrógeno (pH)

Tabla 11-3: Estadística descriptiva para Potencial de Hidrógeno

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	6,89	6,43	6,51	6,94	7,20	7,23	6,51	0,43	0,26	0,03	0,08	0,36	5,28%
A-02	6,76	6,28	6,40	6,85	7,05	7,08	6,40	0,45	0,20	0,03	0,12	0,35	5,19%
A-03	6,77	6,23	6,32	6,82	7,17	7,20	6,32	0,50	0,35	0,04	0,09	0,45	6,61%
CH-01	6,62	6,45	6,45	6,60	6,82	6,84	6,45	0,15	0,22	0,03	0,00	0,20	2,99%
CH-02	6,57	6,10	6,20	6,62	6,88	6,92	6,20	0,43	0,26	0,04	0,10	0,36	5,47%
CH-03	6,58	6,21	6,31	6,64	6,78	6,82	6,31	0,33	0,15	0,04	0,10	0,26	3,96%
LC-01	6,66	6,29	6,39	6,75	6,85	6,86	6,39	0,36	0,10	0,01	0,10	0,26	3,86%
LC-02	6,68	6,47	6,54	6,73	6,78	6,79	6,54	0,20	0,04	0,01	0,07	0,14	2,14%
LC-03	6,59	6,28	6,36	6,63	6,77	6,81	6,36	0,26	0,14	0,04	0,08	0,22	3,36%
H-01	6,79	6,24	6,38	6,85	7,14	7,21	6,38	0,48	0,29	0,07	0,14	0,41	5,99%
H-02	6,71	6,18	6,32	6,77	7,04	7,11	6,32	0,45	0,27	0,08	0,14	0,39	5,78%
H-03	6,61	6,04	6,06	6,37	6,87	6,95	6,06	0,31	0,50	0,08	0,02	0,43	6,75%

Realizado por: David Rivas, 2018

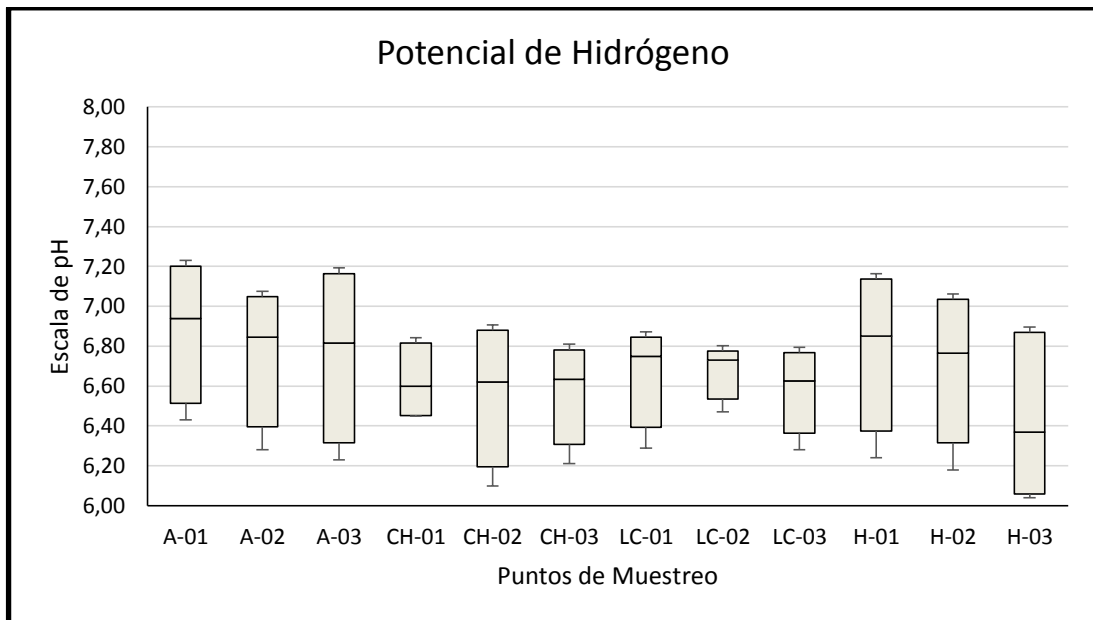


Gráfico 5-3: Diagramas de caja para Potencial de Hidrógeno

Realizado por: Rivas, David; 2018.

Como se puede observar en la Tabla 11-4, la variación del pH en el río La Honda es elevada respecto a la media, con valores que difieren entre el 5,78 al 6,75 %, seguido del río Arracaches con porcentajes que van desde el 5,19 al 6,61 %, posteriormente del río Chontas entre 2,99 y 5,47 % y finalmente del río La Chiral que posee los valores más homogéneos con un % de variación entre 2,14 y 3,86 %. La variación presentada de un punto a otro y en diferentes espacios de tiempo, puede estar influenciada por las condiciones climatológicas, presentando insolaciones fuertes a medida que se avanzaba aguas arriba en cada río, incrementando la temperatura del agua y por ende modificando los valores de pH.

En el Gráfico 5-4, tanto para el río Arracaches y La Honda, se puede observar que los valores de pH poseen una alta variabilidad; así como se puede observar que en los ríos Arracaches, La Chiral y La Honda los valores de pH disminuyen levemente a medida que aumentan su recorrido, a excepción del río Chontas el cual presenta un pequeño incremento en el último punto aguas abajo.

Las variaciones encontradas en la Tabla 11-4 y en el Gráfico 5-4, demuestran que el valor del pH tiende a disminuir a medida que los ríos avanzan en su cauce (Arracaches, La Chiral y La Honda); Fuentes et al., (2008, pp. 152) mencionan que este descenso puede ser por la descomposición de la materia orgánica y la resuspensión de sedimentos; por su parte Castro et al. (1996, pp. 33), señalan que estas fluctuaciones se encuentran relacionadas con el régimen de lluvias, en el que los cambios drásticos de pH se producen en la época seca, contrastando con la época húmeda donde los procesos de dilución favorecen a su estabilidad.

Tabla 12-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Potencial de Hidrógeno.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,2869	3	0,0956	0,9364	0,4321
Dentro de los grupos	4,0855	40	0,1021		
Total	4,3724	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

La Tabla 12-4 representa el análisis de varianza unifactorial aplicado a los distintos ríos para el parámetro pH, obteniéndose un $F = 0,9364$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,4321 > 0,05$ señala que los valores de pH en los cuatro ríos en cada monitoreo no representan diferencias significativas entre sí, concluyendo que los datos son estadísticamente iguales.

3.4.4 Diferencia de Temperatura (ΔT)

Tabla 13-3: Estadística descriptiva para Diferencia de Temperatura

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	4,75	3,50	3,75	4,70	5,80	6,10	3,75	0,95	1,10	0,30	0,25	0,36	7,66%
A-02	4,23	3,80	3,83	4,00	4,85	5,10	3,83	0,17	0,85	0,25	0,03	0,35	8,30%
A-03	3,48	3,20	3,23	3,30	3,90	4,10	3,23	0,08	0,60	0,20	0,02	0,45	12,87%
CH-01	4,70	4,10	4,15	4,70	5,25	5,30	4,15	0,55	0,55	0,05	0,05	0,59	12,53%
CH-02	3,90	2,90	3,08	4,05	4,58	4,60	3,08	0,97	0,52	0,02	0,18	0,80	20,62%
CH-03	3,45	2,30	2,58	3,50	4,28	4,50	2,58	0,92	0,77	0,23	0,28	0,90	26,19%
LC-01	4,75	4,20	4,30	4,70	5,25	5,40	4,30	0,40	0,55	0,15	0,10	0,50	10,53%
LC-02	3,78	3,20	3,20	3,65	4,48	4,60	3,20	0,45	0,83	0,13	0,00	0,69	18,40%
LC-03	3,05	1,80	2,13	3,35	3,68	3,70	2,13	1,23	0,33	0,03	0,32	0,87	25,65%
H-01	5,08	4,60	4,68	5,10	5,45	5,50	4,68	0,43	0,35	0,05	0,08	0,40	7,94%
H-02	4,90	4,10	4,28	5,05	5,38	5,40	4,28	0,77	0,33	0,03	0,17	0,59	12,13%
H-03	4,50	3,60	3,85	4,65	5,00	5,10	3,85	0,80	0,35	0,10	0,25	0,64	14,17%

Realizado por: David Rivas, 2018

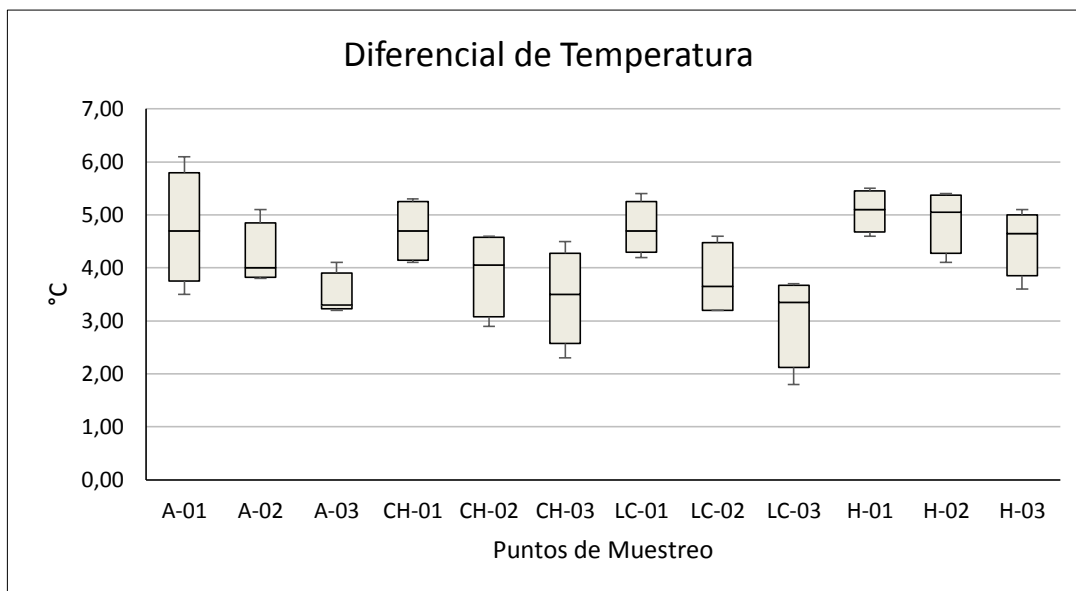


Gráfico 6-3: Diagramas de caja para Diferencial de Temperatura

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En la Tabla 13-4, se puede observar la variación de los resultados obtenidos para el parámetro Diferencia de Temperatura (ΔT), registrándose la más alta dispersión respecto a la media en el río Chontas, con valores que oscilan entre 12,53 y 26,19 %; seguido por los ríos La Chiral y La Honda con valores que oscilan entre el 10,53 al 25,65 % y del 7,94 al 14,17 % respectivamente; y finalmente el río Arracaches con valores entre 7,66 y 12,87 %. Esta variación en ΔT entre las unidades de estudio, se debe principalmente a la altitud de un punto a otro, donde los ríos Chontas y La Chiral se encuentran entre los 1348-1569, y 1300-1410 msnm respectivamente, siendo estos los que presentaron alta variabilidad, mientras que en los ríos Arracaches y La Honda, su altitud fluctúa entre 1429-1648, y 1528-1737 msnm, por lo que al encontrarse a mayor altitud, presentan una mayor homogeneidad de sus datos.

De acuerdo al Gráfico 6-4, en todos los grupos de datos la tendencia es similar, siendo en los puntos más cercanos a las captaciones, donde la ΔT presenta sus valores más bajos, debiéndose a que en cada río el monitoreo se lo realizó aguas arriba, obteniendo valores menores para Temperatura Ambiente en los puntos más bajos de los cuerpos hídricos, incrementándose a medida que se avanzaba por el cauce.

Tabla 14-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Diferencia de Temperatura.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	6,5142	3	2,1714	3,1062	0,0360
Dentro de los grupos	30,7583	44	0,6990		
Total	37,2725	47			

Realizado por: David Rivas, 2018

La Tabla 14-4 representa el análisis de varianza unifactorial aplicado a los distintos ríos para el parámetro ΔT , obteniéndose un $F = 3,1062$ con un alfa de $0,05$ y con una confianza del 95% . El P-valor respectivo de $0,0360 < 0,05$ señala que los valores de pH en los cuatro ríos en cada monitoreo presentan diferencias significativas entre sí, concluyendo que los datos no son estadísticamente iguales.

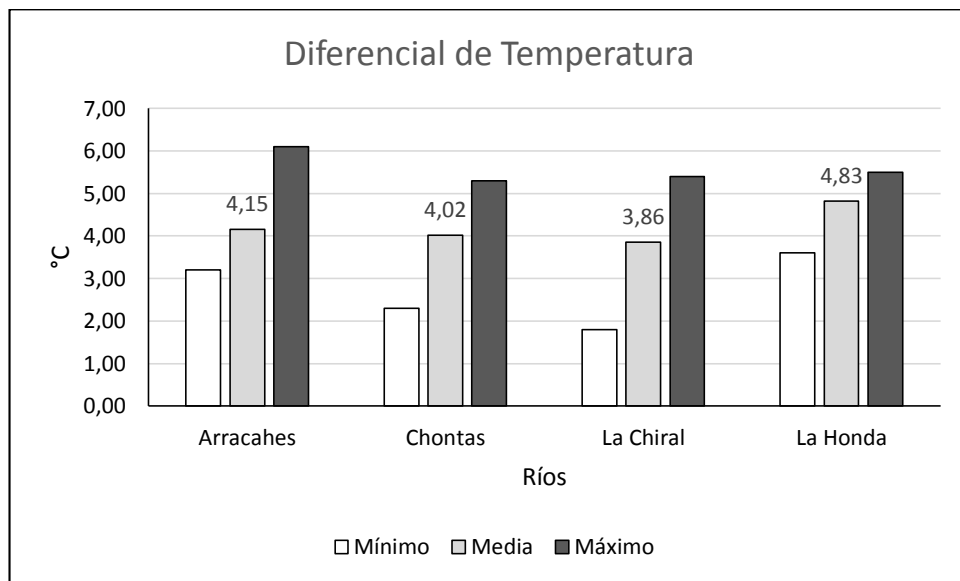


Gráfico 7-3: Diferencial de Temperatura

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En el Gráfico 7-4 se pudo observar que el río La Honda presenta el mayor valor promedio respecto a la Diferencia de Temperatura, diferenciándose de los valores obtenidos de los ríos Arracaches y Chontas; mientras que el río La Chiral, presenta el valor promedio más bajo con una diferencia muy marcada con respecto a los otros ríos, realizando el mejor aporte en cuanto a calidad del agua.

3.4.5 Coliformes Fecales (CF)

Tabla 15-3: Estadística descriptiva para Coliformes Fecales

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	11,25	0,00	0,00	0,00	33,75	45,00	0,00	0,00	33,75	11,25	0,00	22,50	200,00%
A-02	13,00	0,00	0,00	7,50	31,50	37,00	0,00	7,50	24,00	5,50	0,00	17,49	134,56%
A-03	55,25	42,00	43,75	50,50	71,50	78,00	43,75	6,75	21,00	6,50	1,75	15,73	28,48%
CH-01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
CH-02	5,50	0,00	0,00	0,00	16,50	22,00	0,00	0,00	16,50	5,50	0,00	11,00	200,00%
CH-03	16,00	0,00	0,00	13,50	34,50	37,00	0,00	13,50	21,00	2,50	0,00	18,92	118,26%
LC-01	45,25	0,00	9,75	42,50	83,50	96,00	9,75	32,75	41,00	12,50	9,75	39,42	87,12%
LC-02	13,50	0,00	0,00	0,00	40,50	54,00	0,00	0,00	40,50	13,50	0,00	27,00	200,00%
LC-03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
H-01	54,25	25,00	30,25	54,00	78,50	84,00	30,25	23,75	24,50	5,50	5,25	24,96	46,01%
H-02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
H-03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%

Realizado por: David Rivas, 2018.

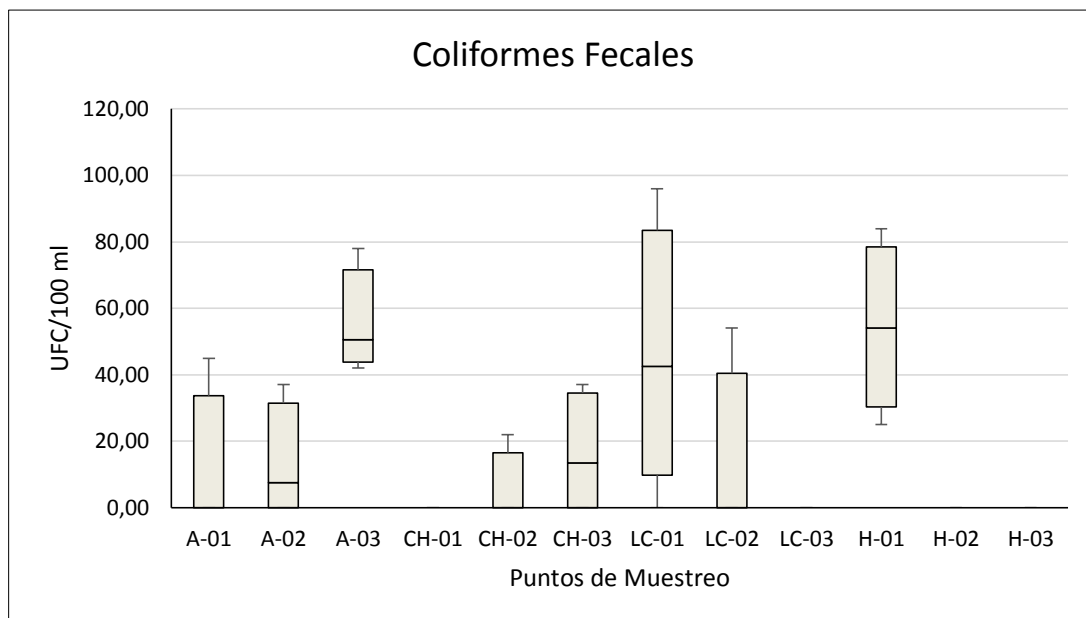


Gráfico 8-3: Diagramas de caja para Coliformes Fecales

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En la Tabla 15-4 se puede observar la variación en la concentración de Coliformes Fecales reportado en el periodo de estudio, presentan una alta heterogeneidad en sus conjuntos de datos, destacando puntos que se caracterizan por la ausencia total de colonias termotolerantes (CH-01, LC-03, H-02 y H-03) obteniendo un valor del coeficiente de variación 0 %; un destacado grupo de puntos presenta alta variedad de datos entre presencia y ausencia de actividad bacteriana de origen fecal (A-01, A-02, CH-02, CH-03, LC-01, LC-02), dando lugar a coeficientes de 200,00 %, 134,56 %, 200,00%, 118,26%, 87,12% y 200,00% respectivamente para cada punto; así como también existen puntos donde la presencia de Coliformes Fecales es constante en el tiempo (A-03, H-01) con coeficientes de variación de 28,48 y 46,01 %.

De acuerdo al Gráfico 8-4, el comportamiento bacteriológico termotolerante es muy variado en los ríos en estudio, donde se observa que no existe mayor influencia de las precipitaciones como lo manifiestan en la mayoría de estudios relacionados con la calidad del agua de ríos. De acuerdo a los valores reportados, la concentración de colonias tiende a aumentar conforme avanza el río por su cauce; sin embargo, en otras estaciones sucede totalmente lo contrario, disminuyendo su cantidad e incluso se reporta su ausencia total, debido a los procesos de dilución consecuencia de las aportaciones de los caudales.

En cada una de las áreas donde se ubican las unidades de estudio, las actividades agropecuarias relacionadas con el ganado vacuno son predominantes en un 90 %. A pesar de existir vegetación arbórea en las riveras de algunos ríos (La Honda, Chontas, La Chiral), la calidad del agua se ve

influenciada por Coliformes Fecales en ciertos periodos de tiempo, esto se debe a que los ganaderos utilizan pastoreo rotativo a una escala de 4 UA 200 Kg/ha mensual (Cuatro Unidades Animales de 200 kg por hectárea mensual) de acuerdo con habitantes de la zona, lo que supone tal variación en el número de colonias de bacterias termotolerantes encontradas en cada punto de monitoreo.

Otra de las causas relacionadas a esta variabilidad en la concentración de Coliformes Fecales, podría ser la carencia de nutrientes a lo largo del cauce, al no tener disponibilidad de fuentes de carbono necesarias para su crecimiento, aguas abajo sus concentraciones comienzan a disminuir e incluso a desaparecer por completo.

Tabla 16-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Coliformes Fecales.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	2453,0909	3	817,6969	1,1009	0,3600
Dentro de los grupos	29708,9091	40	742,7227		
Total	32162	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

Un análisis de varianza unifactorial (Tabla 16-4) fue aplicado a los distintos ríos para el parámetro OD, obteniéndose un $F = 1,1009$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,3600 > 0,05$ señaló que los valores de Coliformes Fecales en los cuatro ríos en cada monitoreo no representan diferencias significativas entre sí por lo que se concluye que los datos son estadísticamente iguales.

3.4.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Tabla 17-3: Estadística descriptiva para Demanda Bioquímica de Oxígeno

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	3,43	2,65	2,68	3,41	4,21	4,26	2,68	0,73	0,80	0,05	0,03	0,84	24,47%
A-02	3,07	2,29	2,38	3,14	3,70	3,71	2,38	0,77	0,56	0,02	0,09	0,72	23,40%
A-03	3,13	1,99	2,10	3,11	4,19	4,32	2,10	1,01	1,08	0,13	0,11	1,10	35,27%
CH-01	2,78	1,22	1,45	2,93	3,97	4,05	1,45	1,48	1,04	0,08	0,23	1,33	47,95%
CH-02	2,51	1,35	1,57	2,73	3,24	3,24	1,57	1,16	0,52	0,00	0,22	0,91	36,38%
CH-03	2,83	1,55	1,94	3,14	3,43	3,51	1,94	1,20	0,29	0,08	0,39	0,87	30,85%
LC-01	3,06	1,54	1,87	3,19	4,12	4,32	1,87	1,31	0,93	0,21	0,33	1,17	38,36%
LC-02	3,08	1,61	1,76	3,09	4,39	4,52	1,76	1,33	1,30	0,14	0,15	1,39	45,25%
LC-03	3,08	1,76	1,94	3,05	4,25	4,46	1,94	1,11	1,21	0,21	0,18	1,20	38,95%
H-01	3,41	2,09	2,32	3,42	4,50	4,72	2,32	1,10	1,08	0,23	0,23	1,12	32,95%
H-02	3,27	2,11	2,31	3,38	4,12	4,21	2,31	1,07	0,75	0,09	0,20	0,95	29,05%
H-03	3,27	2,03	2,38	3,46	3,98	4,13	2,38	1,09	0,52	0,16	0,35	0,89	27,09%

Realizado por: David Rivas, 2018

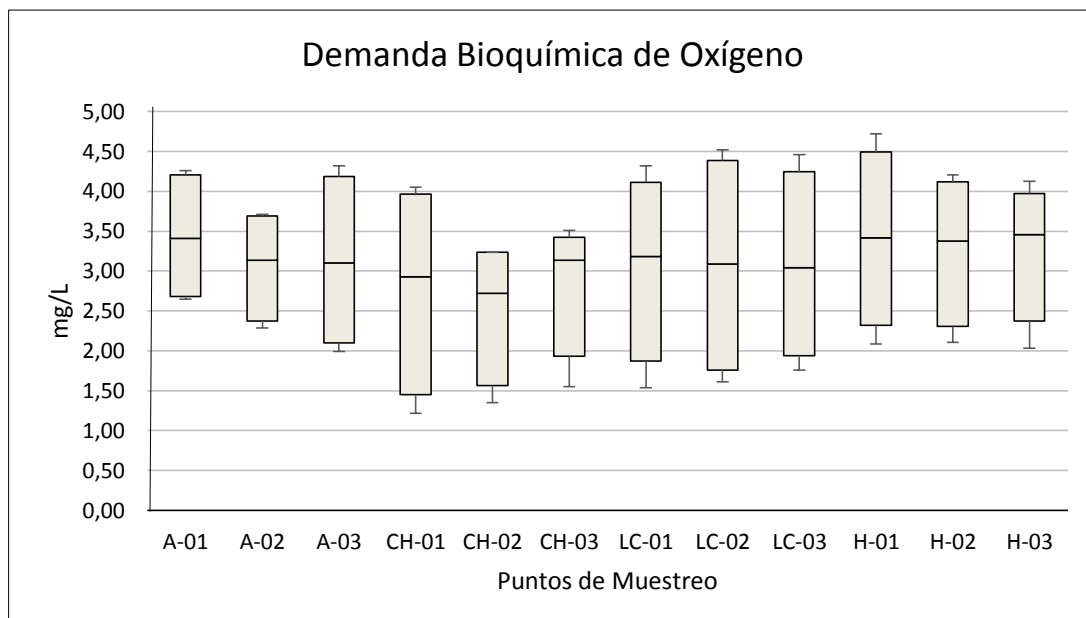


Gráfico 9-3: Diagramas de caja para Demanda Bioquímica de Oxígeno

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En la Tabla 17-4 se puede observar la variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), para cada punto varía respecto a la media en un rango 23,40 hasta 47,95 %, Esta variación está directamente relacionada con las precipitaciones pluviales reportadas en esta zona, debido que la presencia de lluvias favorece de forma positiva a la dilución de la carga orgánica en los cauces en mención, tal como lo muestra en el Gráfico 8-4.

En el Gráfico 9-4 se puede observar una distribución simétrica en los ríos Arracaches, La Chiral y La Honda, lo que evidencia la homogeneidad entre sus datos. En el caso del río Chontas, todos sus puntos presentan una distribución asimétrica negativa, indicando que la mayor parte de sus valores de DBO_5 se encuentran en el grupo superior. Esta variación en relación a las otras unidades de estudio, puede estar influenciada por un llamativo descenso en los valores de DBO_5 en el mes de enero, el cual fue en mayor respecto a los otros ríos, (Véase Gráfico 10-4); donde se evidencia también el comportamiento de la concentración de DBO_5 a través del tiempo, esto demuestra la capacidad de autodepuración, acompañado de procesos de dilución debido a las aportaciones de los caudales.

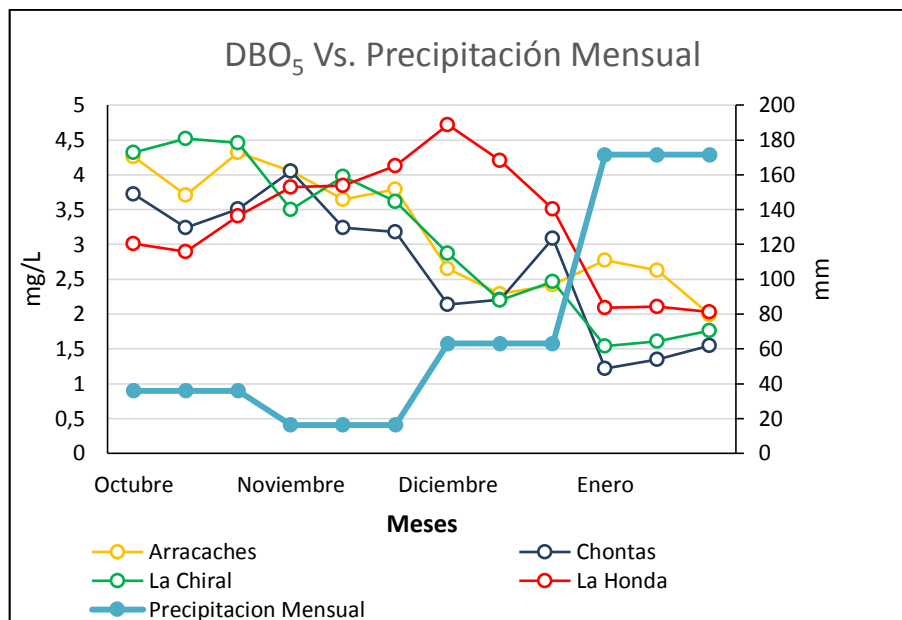


Gráfico 10-3: Demanda Bioquímica de Oxígeno Vs. precipitación

Realizado por: Rivas, David; 2018.

Tabla 18-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	2,5308	3	0,8436	0,9020	0,4478
Dentro de los grupos	41,1504	44	0,9352		
Total	43,6812	47			

Realizado por: David Rivas, 2018

Se aplicó un análisis de varianza unifactorial (Tabla 18-4) a los distintos ríos para el parámetro DBO₅, obteniéndose un F = 0,9020 con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de 0,4478 > 0,05 señaló que los valores de DBO₅ en los cuatro ríos en cada monitoreo no presentan diferencias significativas entre sí, por lo que se concluye que los datos son estadísticamente iguales.

3.4.7 Nitratos (NO_3^-)

Tabla 19-3: Estadística descriptiva para Nitratos

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	0,93	0,40	0,55	1,00	1,23	1,30	0,55	0,45	0,23	0,08	0,15	0,38	40,81%
A-02	0,70	0,40	0,43	0,60	1,08	1,20	0,43	0,18	0,48	0,13	0,03	0,36	50,84%
A-03	0,65	0,40	0,43	0,60	0,93	1,00	0,43	0,18	0,33	0,08	0,03	0,26	40,70%
CH-01	0,73	0,50	0,53	0,60	1,05	1,20	0,53	0,08	0,45	0,15	0,03	0,32	44,16%
CH-02	0,78	0,50	0,55	0,80	0,98	1,00	0,55	0,25	0,18	0,03	0,05	0,22	28,61%
CH-03	1,08	0,70	0,78	1,10	1,35	1,40	0,78	0,33	0,25	0,05	0,08	0,30	27,78%
LC-01	0,70	0,40	0,45	0,70	0,95	1,00	0,45	0,25	0,25	0,05	0,05	0,26	36,89%
LC-02	0,78	0,40	0,45	0,80	1,08	1,10	0,45	0,35	0,28	0,02	0,05	0,33	42,63%
LC-03	0,70	0,40	0,40	0,60	1,10	1,20	0,40	0,20	0,50	0,10	0,00	0,38	54,71%
H-01	0,53	0,30	0,33	0,55	0,70	0,70	0,33	0,23	0,15	0,00	0,03	0,21	39,27%
H-02	0,73	0,50	0,50	0,60	1,08	1,20	0,50	0,10	0,48	0,13	0,00	0,33	45,57%
H-03	0,65	0,40	0,45	0,60	0,90	1,00	0,45	0,15	0,30	0,10	0,05	0,25	38,72%

Realizado por: David Rivas, 2018

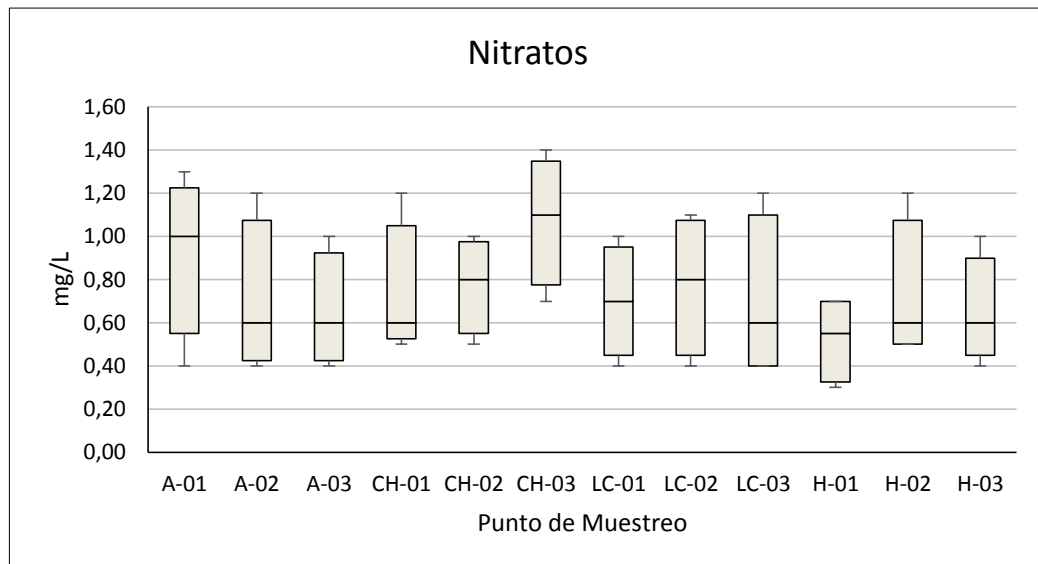


Gráfico 11-3: Diagramas de caja para Nitratos

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En la Tabla 19-4, se puede observar la variación de la concentración de Nitratos reportados en el periodo de estudio, los valores medios más bajos en las concentraciones de NO_3^- los presenta el río La Honda entre 0,53 y 0,73 mg/L, frente a los obtenidos en el río La Chiral con 0,70 y 0,80 mg/L, el río Arracaches con 0,65 y 0,93 mg/L y el río Chontas entre 0,73 y 1,08 mg/L presentando los valores promedio más altos, véase Tabla 17-4.

Se puede observar en el Gráfico 11-4 la tendencia que poseen las concentraciones de NO_3^- a medida que cada río avanza por su cauce, en el caso del río Arracaches los valores tienden a disminuir aguas abajo, pudiéndose destacar su capacidad de autodepuración en las concentraciones de NO_3^- ; en el río Chontas presenta un leve incremento en los valores de NO_3^- a medida que avanza el río por su cauce; los ríos La Chiral y La Honda presentan una alta variabilidad en sus valores, sin embargo, no existe una tendencia marcada respecto al incremento o descenso de sus valores de NO_3^- .

Los valores de NO_3^- obtenidos en los cuatro ríos son relativamente bajos (0,30 – 1,40 mg/L) en relación al valor de referencia sugerido por la Organización Mundial de la Salud para agua potable, el cual se encuentra a 50 mg/L con una exposición a corto plazo. Estas bajas concentraciones de NO_3^- evidencian la utilización de sistemas tradicionales (Desbroce, desbosque, repique) en la eliminación de malezas en la actividad ganadera, sin la utilización de agroquímicos; la leve presencia de NO_3^- se puede derivar de la descomposición natural por microorganismos de materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas de animales (Ávila y Cabrera, 2003: pp. 48).

Tabla 20-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Nitratos.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,2952	3	0,0984	1,0655	0,3745
Dentro de los grupos	3,6945	44	0,0924		
Total	3,9898	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

La Tabla 20-4 representa el análisis de varianza unifactorial aplicado a los distintos ríos para el parámetro NO_3^- , obteniéndose un $F = 1,0655$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,3745 > 0,05$ señala que los valores de NO_3^- en los cuatro ríos en cada monitoreo no representan diferencias significativas entre sí, concluyendo que los datos son estadísticamente iguales.

3.4.8 Fosfatos (PO_4^{3-})

Tabla 21-3: Estadística descriptiva para Fosfatos

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	0,22	0,09	0,13	0,26	0,28	0,28	0,13	0,13	0,02	0,00	0,04	0,09	40,09%
A-02	0,20	0,12	0,14	0,19	0,29	0,32	0,14	0,05	0,10	0,03	0,02	0,08	41,59%
A-03	0,19	0,13	0,14	0,18	0,24	0,26	0,14	0,04	0,06	0,02	0,01	0,05	29,01%
CH-01	0,17	0,07	0,09	0,17	0,24	0,25	0,09	0,08	0,07	0,02	0,02	0,08	45,76%
CH-02	0,14	0,06	0,08	0,16	0,19	0,19	0,08	0,08	0,03	0,00	0,02	0,06	41,47%
CH-03	0,19	0,12	0,14	0,20	0,23	0,24	0,14	0,06	0,04	0,01	0,02	0,05	27,33%
LC-01	0,15	0,10	0,10	0,15	0,19	0,19	0,10	0,05	0,05	0,00	0,00	0,05	35,84%
LC-02	0,15	0,04	0,06	0,15	0,23	0,25	0,06	0,09	0,09	0,02	0,02	0,09	62,32%
LC-03	0,14	0,07	0,08	0,14	0,19	0,19	0,08	0,07	0,05	0,00	0,01	0,06	47,43%
H-01	0,23	0,19	0,19	0,20	0,31	0,34	0,19	0,01	0,11	0,04	0,00	0,07	30,89%
H-02	0,21	0,18	0,19	0,21	0,25	0,26	0,19	0,02	0,04	0,01	0,01	0,03	16,02%
H-03	0,22	0,15	0,16	0,23	0,28	0,28	0,16	0,07	0,05	0,00	0,01	0,06	29,46%

Realizado por: David Rivas, 2018

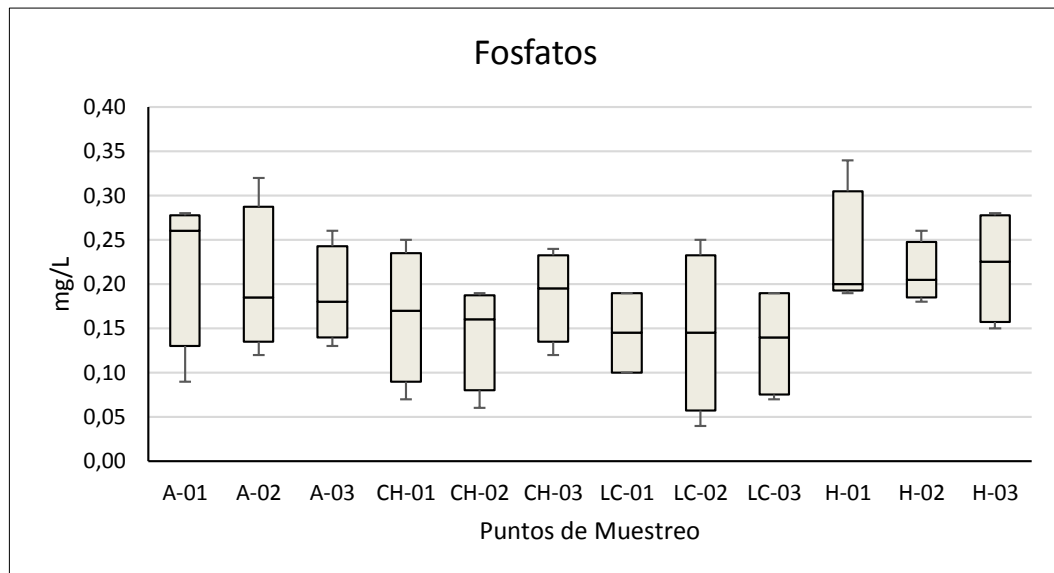


Gráfico 12-3: Diagramas de caja para Fosfatos

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En la Tabla 21-4 se puede observar la variación de la concentración de Fosfato presente en los diferentes puntos de muestreo, en el río La Chiral se ubican los valores más altos de variabilidad en la concentración de Fosfato entre 35,84 y 62,32 %; frente a los valores obtenidos en el río Chontas entre 27,33 y 45,76 %; el río Arracaches entre 29,01 y 41,59 % y los valores más bajos en el conjunto de datos se ubican en el río La Honda entre 16,02 y 30,89 %; además en el Gráfico 12-4, se puede evidenciar que los grupos de datos no presentan una tendencia marcada a lo largo de cada río.

Las variaciones encontradas no demuestran una tendencia general de disminución o incremento de los valores de PO_4^{3-} a medida que avanza el cauce. Rodríguez y Martínez (2008: pp.1) mencionan que entre los mecanismos de transferencia de Fosfato desde el suelo a los sistemas acuáticos, tenemos: disolución y movimiento en forma soluble, transporte de formas adsorbidas asociado al desplazamiento vertical de la fracción coloidal y sobre todo a los materiales erosionados. Por su parte, Glynn & Heinke (1999; pp.318) señala que las aguas naturales reciben aportes de Fósforo presente en los suelos y rocas, como Fosfato de Calcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y como Hidroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, puesto que la roca fosfórica es ligeramente soluble. Los aportes por lixiviación son muy pequeños, originando la presencia de cantidades muy bajas similares a 0,001 ppm, siendo el Fósforo esencial para los procesos vitales en los sistemas biológicos lo cual reduciría su concentración, explicando la variación de PO_4^{3-} de un punto a otro.

Tabla 22-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Fosfatos.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	0,0479	3	0,0160	3,8724	0,0160
Dentro de los grupos	0,1651	40	0,0041		
Total	0,2130	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

Un análisis de varianza unifactorial (Tabla 22-4) fue aplicado a los distintos ríos para el parámetro Fosfatos, obteniéndose un $F = 3,8724$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,0160 < 0,05$ señaló que los valores de PO_4^{3-} en los cuatro ríos en cada monitoreo presentan diferencias significativas entre sí, por lo que se concluye que los datos no son estadísticamente iguales.

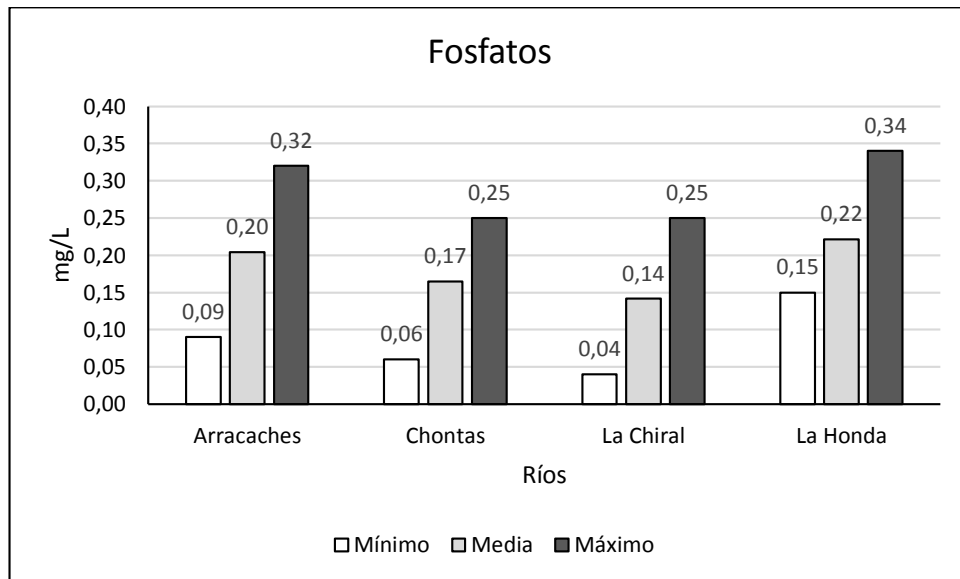


Gráfico 13-3: Fosfatos

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En el Gráfico 13-4 se puede observar que el río La Chiral presenta el valor más bajo de PO_4^{3-} , similar a lo que ocurre con el río Chontas; sin embargo, estos resultados difieren de los valores obtenidos en los ríos Arracaches y La Honda, siendo estos más altos. Las aportaciones de Fosfatos en los ríos La Chiral y Chontas, serían mínimas, lo cual indica una buena calidad respecto a este criterio.

3.4.9 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Tabla 23-3: Estadística descriptiva para Sólidos Disueltos Totales

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	34,28	32,00	32,48	34,35	36,00	36,40	32,48	1,87	1,65	0,40	0,48	1,84	5,36%
A-02	36,35	32,30	33,15	36,25	39,65	40,60	33,15	3,10	3,40	0,95	0,85	3,42	9,41%
A-03	37,48	32,60	33,90	38,25	40,28	40,80	33,90	4,35	2,03	0,52	1,30	3,48	9,30%
CH-01	34,88	25,10	28,23	37,65	38,75	39,10	28,23	9,43	1,10	0,35	3,13	6,55	18,79%
CH-02	34,65	24,70	27,83	37,30	38,83	39,30	27,83	9,48	1,53	0,48	3,13	6,70	19,34%
CH-03	39,73	25,50	29,68	43,05	46,45	47,30	29,68	13,38	3,40	0,85	4,18	9,72	24,46%
LC-01	26,85	22,10	22,70	27,45	30,40	30,40	22,70	4,75	2,95	0,00	0,60	4,21	15,70%
LC-02	28,40	22,30	22,65	26,75	35,80	37,80	22,65	4,10	9,05	2,00	0,35	7,06	24,45%
LC-03	26,58	24,30	24,33	25,25	30,15	31,50	24,33	0,93	4,90	1,35	0,02	3,39	12,74%
H-01	27,43	26,40	26,55	27,16	28,58	29,00	26,55	0,60	1,42	0,43	0,15	1,11	4,06%
H-02	28,00	26,80	27,03	27,90	29,08	29,40	27,03	0,88	1,18	0,32	0,22	1,08	3,86%
H-03	33,50	32,30	32,38	33,05	35,08	35,60	32,38	0,67	2,03	0,52	0,08	1,49	4,45%

Realizado por: David Rivas, 2018

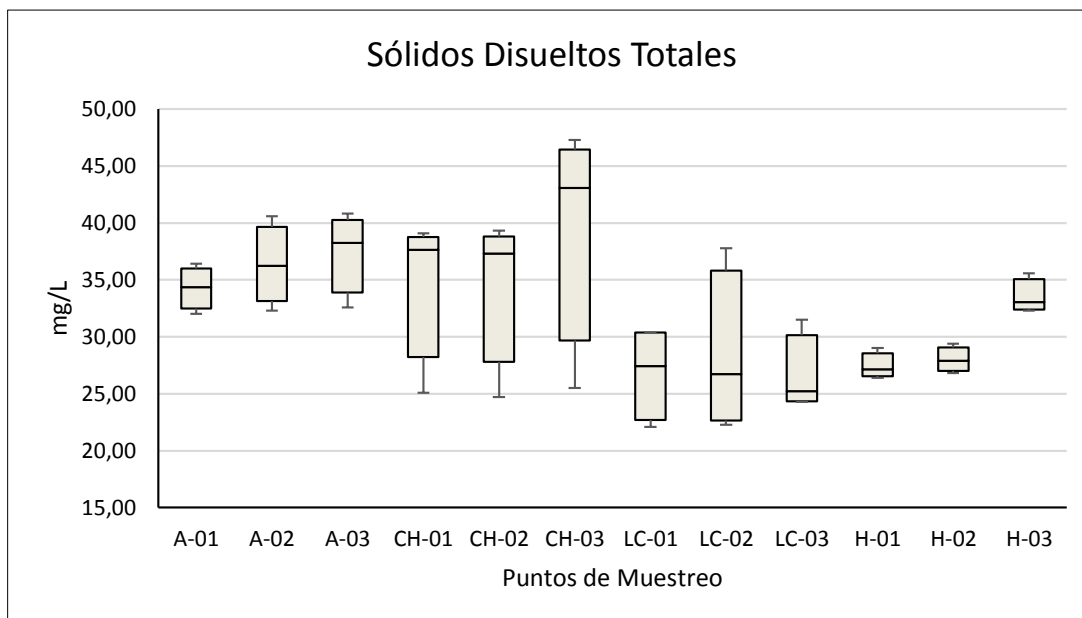


Gráfico 14-3: Diagramas de caja para Sólidos Disueltos Totales

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En la Tabla 23-4 se puede observar la variación de la concentración de Sólidos Totales Disueltos presente en los diferentes puntos de muestreo, encontrándose los valores más altos de variabilidad respecto a la media en el río Chontas con cifras entre 18,79 al 24,46 %, seguido del río La Chiral con un rango entre 12,74 y 24,45 %, el río Arracaches entre 5,36 y 9,41 % y el río La Honda entre 3,86 y 4,45 %

En los ríos Arracaches, Chontas y La Honda se incrementa la concentración de SDT a medida que avanzan por su cauce, véase Gráfico 14-4, mientras que en el río La Chiral contrasta esta situación, ubicándose los valores más bajos en los puntos cercanos a la captación. La presencia de bosques riparios favorece a su disminución; tal como lo indica Elosegí & Sabater (2009: pp. 317), donde manifiesta que los flujos superficiales y subsuperficiales en las zonas de ribera, tienen gran importancia en la dinámica de nutrientes y su función como filtro de materiales sólidos y disueltos.

Tabla 24-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Sólidos Disueltos Totales.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	716,9	3	239,0	9,9233	0,00009
Dentro de los grupos	1035	40	25,88		
Total	1752	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

En la Tabla 24-4 se representa el análisis de varianza unifactorial aplicado a los distintos ríos para el parámetro Sólidos Disueltos Totales, obteniéndose un $F = 9,9233$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,00009 < 0,05$ señala que los valores de SDT en los cuatro ríos en cada monitoreo presentan diferencias significativas entre sí, por lo que se concluye que los datos no son estadísticamente iguales.

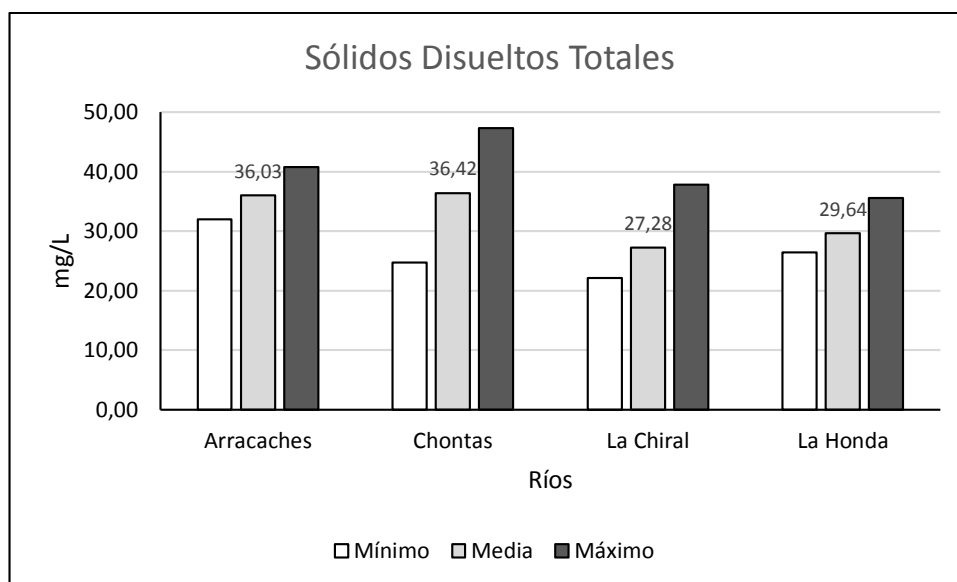


Gráfico 15-3: Sólidos Disueltos Totales

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En el Gráfico 15-4 se puede observar que el río La Chiral presenta el valor medio más bajo para SDT (27,28 mg/L), seguido del río La Honda presentando en su valor medio de 29,64 mg/L, el río Arracaches presenta un valor promedio de 36,03 mg/L, el valor promedio más alto reportado se encuentra en el río Chontas con 36,42 mg/L. Se puede concluir que los ríos La Chiral y La Honda realizan los mejores aportes en cuanto a calidad del agua en relación a SDT en la zona de estudio, debido a que estos se acercan al valor al valor óptimo sugerido por el ICA-NSF (50 mg/L), de acuerdo con Oram (2014a) agua con valores por debajo de 50 mg/L puede ser corrosiva con presencia de metales tóxicos como el cobre y el plomo de las tuberías domésticas, así como podrían encontrarse oligoelementos, elevando el riesgo para la salud. Por otro lado, una concentración por encima del valor referencial de SDT no significa que el agua sea un peligro para la salud, pero sí significa que el agua puede tener problemas estéticos o causar problemas molestos, asociados con manchas, sabor o presencia de precipitados. Elevadas concentraciones de SDT indicaría la presencia de metales tóxicos en niveles elevados.

3.4.10 Turbidez

Tabla 25-3: Estadística descriptiva para Turbidez

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	1,91	0,82	0,95	1,98	2,79	2,85	0,95	1,03	0,81	0,06	0,13	0,98	51,58%
A-02	1,40	0,51	0,65	1,11	2,45	2,88	0,65	0,46	1,34	0,44	0,14	1,03	73,30%
A-03	1,27	0,60	0,65	0,90	2,27	2,69	0,65	0,25	1,37	0,42	0,05	0,96	75,46%
CH-01	0,88	0,27	0,28	0,46	1,91	2,35	0,28	0,18	1,45	0,44	0,01	0,99	111,60%
CH-02	1,04	0,35	0,43	0,73	1,95	2,35	0,43	0,30	1,23	0,40	0,09	0,89	86,22%
CH-03	1,47	0,90	0,96	1,27	2,19	2,46	0,96	0,31	0,93	0,27	0,06	0,69	46,78%
LC-01	1,49	0,79	0,84	1,41	2,23	2,36	0,84	0,58	0,82	0,13	0,05	0,74	49,53%
LC-02	1,40	0,76	0,77	1,26	2,18	2,33	0,77	0,49	0,91	0,16	0,01	0,76	53,86%
LC-03	1,57	1,06	1,08	1,34	2,28	2,52	1,08	0,26	0,94	0,25	0,02	0,67	42,84%
H-01	0,92	0,39	0,48	0,97	1,33	1,37	0,48	0,49	0,36	0,04	0,09	0,44	47,85%
H-02	0,94	0,38	0,51	1,06	1,26	1,26	0,51	0,55	0,20	0,01	0,12	0,41	43,64%
H-03	0,86	0,28	0,40	0,93	1,26	1,32	0,40	0,53	0,33	0,06	0,13	0,45	51,98%

Realizado por: David Rivas, 2018

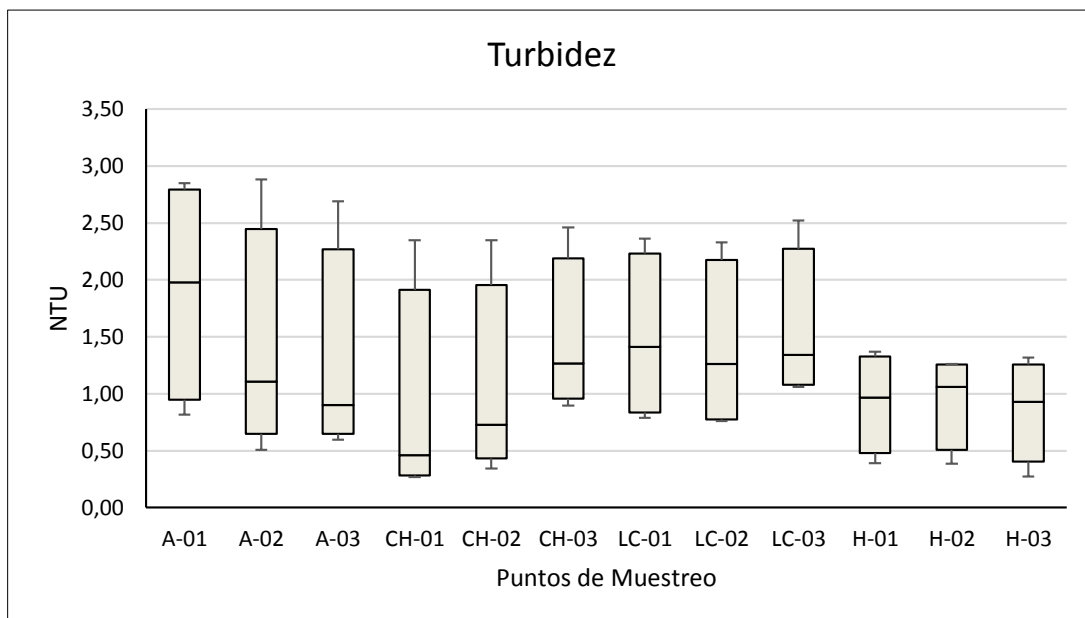


Gráfico 16-3: Diagramas de caja para Turbidez

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En la Tabla 25-4 se puede observar la variación de la concentración de Turbidez presente en los diferentes puntos de muestreo, el río Chontas presenta los valores más altos de variabilidad respecto a la media con cifras que van del 46,78 al 111,60 %, seguido del río Arracaches con valores entre 51,58 y 75,46 %, el río La Honda entre 43,64 y 51,98 % y el valor más bajo de variabilidad lo posee el río La Chiral entre 42,84 y 49,53.

En el Gráfico 16-4, tanto para el río Arracaches, Chontas y La Chiral, se puede observar que los valores de Turbidez poseen una alta variabilidad en el conjunto de datos, por su parte el río La Honda presenta una baja variabilidad en su conjunto de datos.

Las variaciones encontradas en la Tabla 25-4 y en el Gráfico 16-4, demuestran que existe una alta variabilidad en los valores de Turbidez; Montoya et al. (2011: pp.139) mencionan que además de fuentes puntuales de contaminación en los ríos (Domésticas e industriales), las lluvias generan un alto impacto negativo, ocasionando el lavado de los suelos y la resuspensión de los lechos de los ríos, incrementando Sólidos Suspendidos, Color Aparente, Carbono Orgánico Disuelto, Amoniaco, así como el descenso en la Conductividad, Temperatura y Alcalinidad del agua, explicando las variaciones de Turbidez presentadas en los ríos en estudio.

Tabla 26-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para Turbidez.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	2,7370	3	0,9120	1,6506	0,1930
Dentro de los grupos	22,1015	40	0,5525		
Total	24,8375	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

Se realizó un análisis de varianza unifactorial a los distintos ríos para el parámetro Turbidez (Tabla 26-4), obteniéndose un $F = 1,6506$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,1930 > 0,05$ señala que los valores de Turbidez en los cuatro ríos en cada monitoreo no presentan diferencias significativas entre sí, por lo que se concluye que los datos son estadísticamente iguales.

3.4.11 Índice de calidad del agua ICA-NSF

Tabla 27-3: Estadística descriptiva para índice de calidad del agua (ICA – NSF)

Punto de Muestreo	Media	Mínimo	Primer Cuartil	Segundo Cuartil	Tercer Cuartil	Máximo	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote Inferior	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
A-01	86,24	81,49	83,04	87,69	88,00	88,10	83,04	4,65	0,31	0,10	1,55	3,17	3,68%
A-02	84,12	79,71	80,28	83,84	88,24	89,08	80,28	3,57	4,40	0,84	0,56	4,13	4,91%
A-03	81,36	79,39	79,76	81,64	82,67	82,76	79,76	1,88	1,03	0,09	0,37	1,55	1,90%
CH-01	88,25	85,84	86,13	87,29	91,35	92,60	86,13	1,16	4,06	1,26	0,29	2,99	3,38%
CH-02	87,60	81,32	82,84	88,12	91,83	92,82	82,84	5,29	3,71	0,99	1,52	4,77	5,45%
CH-03	84,72	80,44	80,45	83,03	90,68	92,38	80,45	2,58	7,65	1,70	0,01	5,65	6,67%
LC-01	83,02	78,71	79,45	81,99	87,61	89,38	79,45	2,54	5,63	1,77	0,74	4,52	5,45%
LC-02	87,34	82,23	83,41	87,61	91,00	91,91	83,41	4,20	3,40	0,91	1,18	4,00	4,58%
LC-03	89,22	88,15	88,31	88,88	90,49	90,99	88,31	0,57	1,61	0,50	0,16	1,23	1,38%
H-01	79,88	78,03	78,29	79,71	81,64	82,07	78,29	1,42	1,93	0,43	0,26	1,74	2,18%
H-02	87,48	83,51	84,64	88,15	89,65	90,11	84,64	3,51	1,51	0,46	1,13	2,80	3,21%
H-03	86,61	82,97	83,42	86,58	89,82	90,29	83,42	3,16	3,24	0,47	0,45	3,34	3,85%

Realizado por: David Rivas, 2018

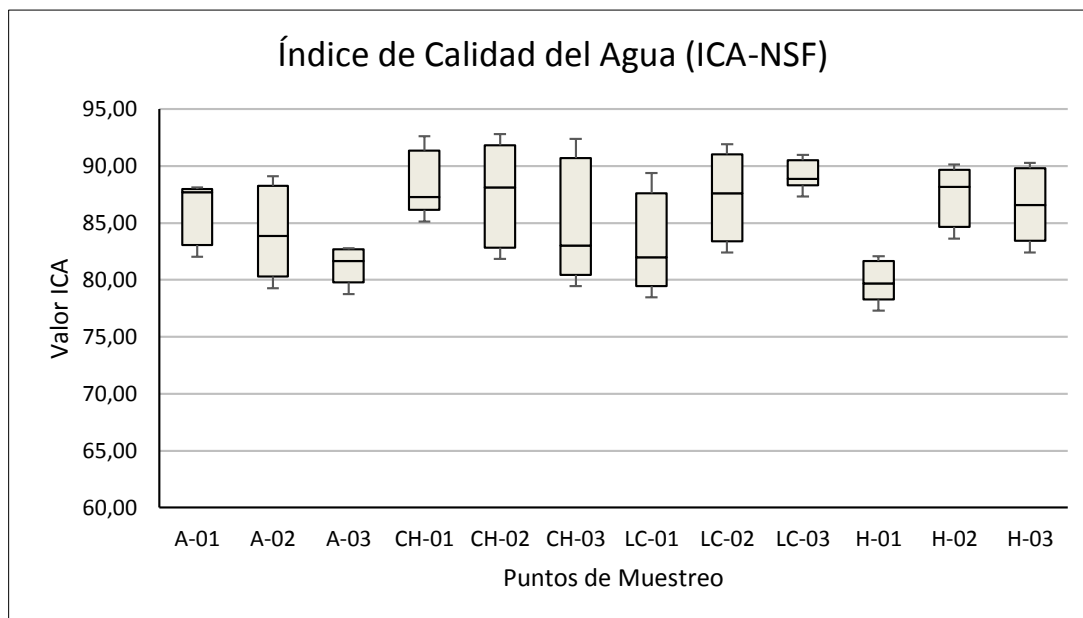


Gráfico 17-3: Diagramas de caja para índice de calidad del agua (ICA-NSF)

Realizado por: Rivas, David; 2018.

En la Tabla 27-4 se puede observar la variación de los valores del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) obtenido en los diferentes puntos de muestreo, el conjunto de datos posee una baja variabilidad respecto a la media, encontrándose los valores entre 1,38 % y 6,67 %, lo cual indica una tendencia homogénea en los valores reportados. El valor promedio más bajo del ICA-NSF se encuentra en el río Arracaches con 83,91, seguido del río La Honda con 84,65, en el río La Chiral se reporta un valor de 86,53 y el valor más alto encontrado se ubica en el río Chontas con 86,86.

El agua de los ríos Arracaches y Chontas se caracteriza por la disminución de su calidad a medida que se avanza por el cauce; el río La Chiral presenta la particularidad de incrementar su calidad del agua a medida que avanza por el cauce, la presencia de zonas boscosas en las riberas del cauce favorece esta situación, tal como lo indican Mendoza et al. (2014: pp.431), donde manifiestan que al ser la franja ribereña una zona de transición entre los hábitats fluviales y terrestres, es vital para la salud de cualquier sistema acuático, manteniendo la calidad del agua al frenar su eutrofización a causada por el escurrimiento superficial de zonas urbanas y agrícolas, actuando como filtro de la contaminación difusa.

En el río La Honda el primero punto presenta valores bajos del ICA-NSF en comparación a los otros dos puntos, viéndose este afectado por la presencia de Coliformes Fecales en los cuatro monitoreos efectuados, afectando esta la calidad del agua en este punto, Oram (2014b) manifiesta que la presencia de bacterias Coliformes Fecales puede ser el resultado del desbordamiento de aguas residuales domésticas o fuentes no puntuales de desechos humanos y animales; además

menciona que estas se multiplican rápidamente cuando las condiciones son favorables para el crecimiento, o mueren en grandes cantidades cuando las condiciones no lo son, debido a que las concentraciones bacterianas dependen de condiciones específicas para el crecimiento, y estas condiciones cambian rápidamente, los recuentos de bacterias Coliformes Fecales no son fáciles de predecir, por ejemplo, aunque las lluvias de invierno pueden arrastrar más materia fecal a una corriente, las temperaturas del agua fría pueden causar una mortalidad importante debido a condiciones ambientales desfavorables, así como la exposición a la luz solar con sus propiedades de desinfección ultravioleta puede tener el mismo efecto, incluso en las aguas más cálidas del verano.

Tabla 28-3: Análisis de varianza unifactorial a los puntos de monitoreo de los ríos en estudio para el índice de calidad del agua (ICA-NSF).

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P-valor
Entre grupos	83,0096	3	27,6699	1,6635	0,1902
Dentro de los grupos	665,3548	40	16,6339		
Total	748,3644	43			

Realizado por: David Rivas, 2018

Un análisis de varianza unifactorial fue aplicado a los valores del ICA-NSF en cada punto de muestreo (Tabla 28-4), obteniéndose un $F = 1,6635$ con un alfa de 0,05 y con una confianza del 95%. El P-valor respectivo de $0,1902 > 0,05$ señala que los valores del ICA-NSF en los cuatro ríos en cada monitoreo no presentan diferencias significativas entre sí, por lo que se concluye que los datos son estadísticamente iguales.

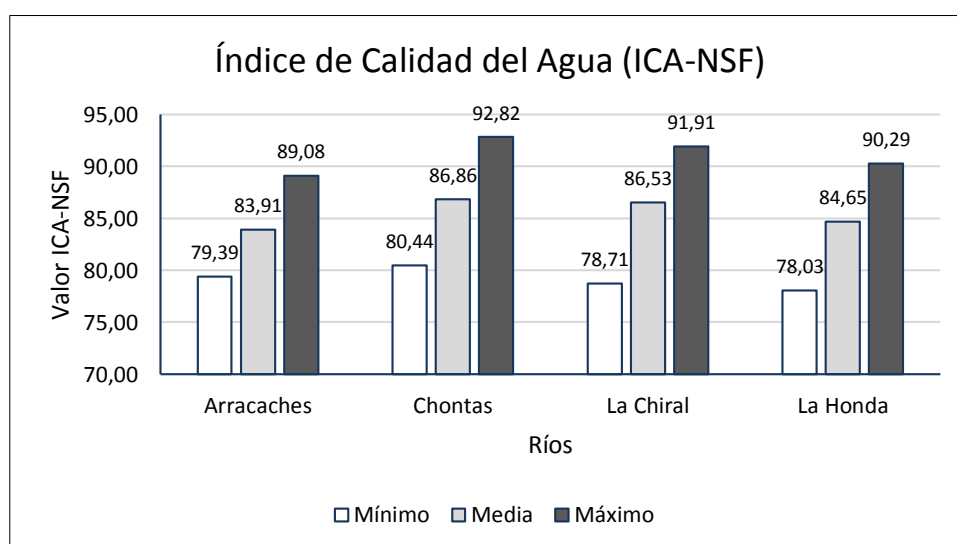


Gráfico 18-3: Índice de calidad del agua (ICA-NSF)

Realizado por: Rivas, David; 2018.

De acuerdo con la Tabla 28-4 los valores del ICA-NSF no presentan diferencias significativas entre sí, sin embargo, el río Chontas destaca por poseer el valor promedio más alto de calidad de agua 86,86; seguido del río La Chiral con 86,53; el río La Honda posee un valor de 84,65 y el río Arracaches presenta el valor promedio más bajo del ICA-NSF con 83,91 (Véase Gráfico 18-4).

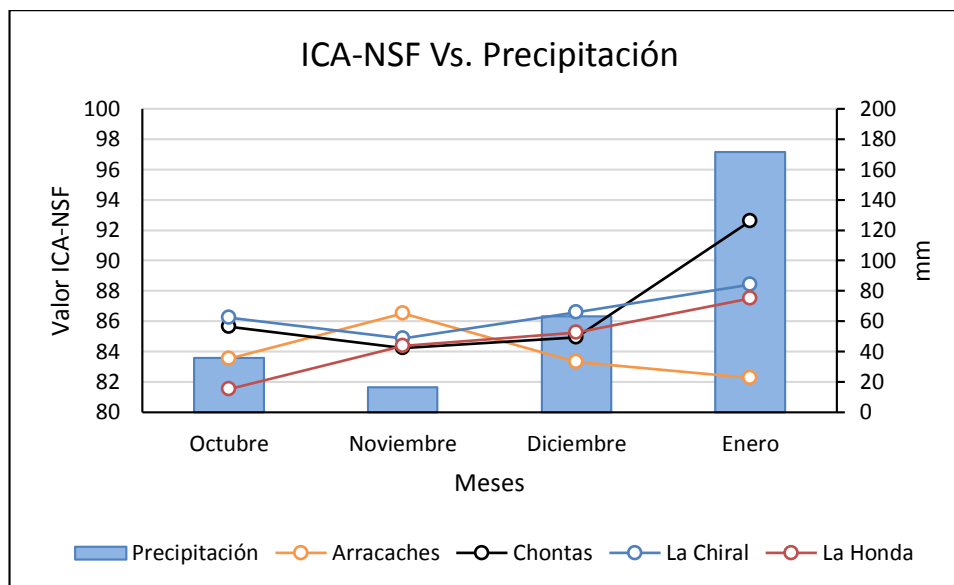


Gráfico 19-3: Índice de calidad del agua (ICA-NSF) Vs. precipitación

Realizado por: Rivas, David; 2018.

La presencia de precipitación en la zona y por ende el aumento del caudal de los ríos puede influenciar de forma positiva o negativa en los valores del ICA-NSF, de acuerdo con los Gráficos 19-4 y 20-4. Los ríos Chontas, La Chiral y La Honda incrementan el valor del ICA-NSF conforme aumentan las precipitaciones; registrándose en la época húmeda incremento en los valores de Oxígeno y por tanto disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. En el río Arracaches en el mes de enero, periodo donde se reportan las precipitaciones más altas, la calidad tiende a disminuir; este periodo se diferencia de los anteriores por presentar disminución en el pH, incremento de Turbidez, registrándose también un aumento en la concentración de Nitratos, lo cual disminuye la calidad del agua en el río.

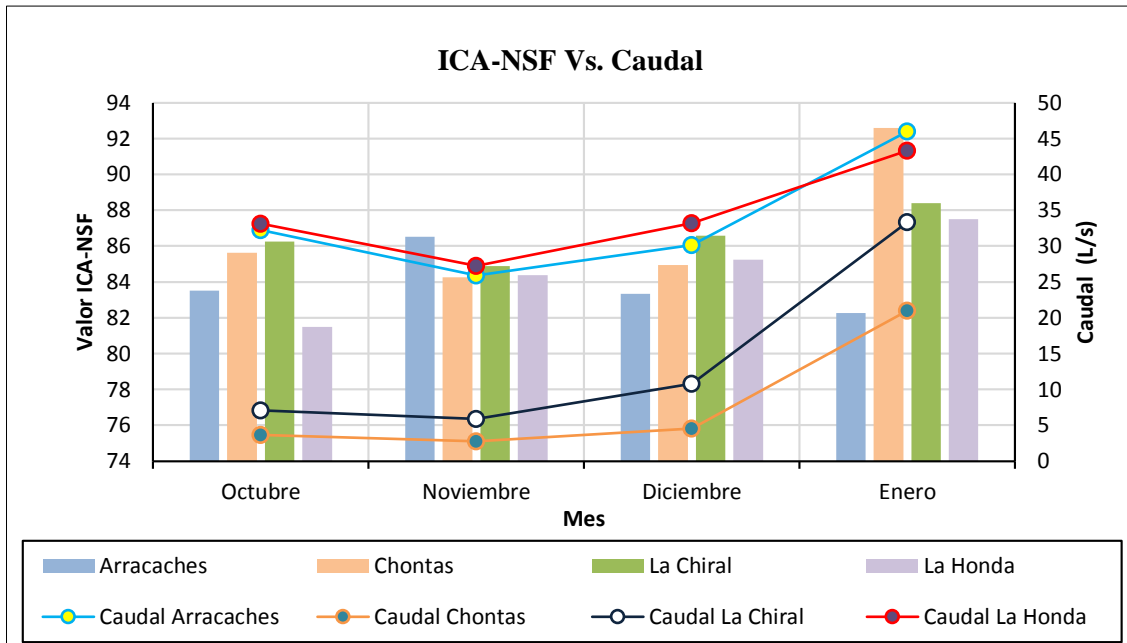


Gráfico 20-3: Índice de calidad del agua (ICA-NSF) Vs. caudal

Realizado por: Rivas, David; 2018.

3.5 Análisis de datos bivariante en la calidad del agua de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda

Las técnicas estadísticas bivariantes permiten realizar un análisis conjunto de dos características, con la finalidad de establecer posibles relaciones entre ellas. En este apartado para establecer relaciones entre los parámetros en estudio, utilizaremos el Coeficiente de Correlación de Pearson (R), utilizado en variables cuantitativas, el cual cuantifica el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente.

Tabla 29-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio del río Arracaches

	ΔT	SDT	pH	Turbidez	NO_3^-	PO_4^{3-}	OD	DBO_5	CF	ICA – NSF	Caudal
ΔT	-	-0,155	0,514	-0,122	-0,217	0,117	0,061	0,194	-0,486	0,586	-0,645
SDT		-	0,478	-0,406	-0,214	0,046	0,480	0,015	0,319	-0,068	-0,394
pH			-	-0,308	-0,608	0,278	0,381	0,259	-0,051	0,392	-0,466
Turbidez				-	0,896	0,032	-0,261	-0,619	0,050	-0,367	0,594
NO_3^-					-	0,135	-0,160	-0,551	-0,170	-0,112	0,508
PO_4^{3-}						-	0,230	0,734	-0,246	-0,078	-0,217
OD							-	-0,161	0,081	0,051	-0,497
DBO_5								-	-0,312	0,354	-0,648
CF									-	-0,727	0,382
ICA – NSF										-	-0,637
Caudal											-

Realizado por: David Rivas, 2018

Tabla 30-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio del río Chontas

	ΔT	SDT	pH	Turbidez	NO_3^-	PO_4^{3-}	OD	DBO_5	CF	ICA - NSF	Caudal
ΔT	-	0,456	-0,150	-0,267	-0,458	0,413	-0,548	0,348	-0,180	-0,290	-0,748
SDT		-	-0,549	-0,334	-0,334	0,552	-0,569	0,511	0,437	-0,344	-0,329
pH			-	0,426	-0,626	-0,436	-0,141	-0,491	-0,089	0,347	0,585
Turbidez				-	0,762	-0,452	0,489	-0,803	0,013	0,510	0,936
NO_3^-					-	-0,388	0,063	-0,537	0,092	0,231	0,667
PO_4^{3-}						-	-0,547	0,829	0,173	-0,508	-0,521
OD							-	-0,311	-0,083	0,463	0,579
DBO_5								-	0,332	-0,515	-0,786
CF									-	-0,809	-0,199
ICA – NSF										-	0,674
Caudal											-

Realizado por: David Rivas, 2018

Tabla 31-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio del río La Chiral

	ΔT	SDT	pH	Turbidez	NO_3^-	PO_4^{3-}	OD	DBO_5	CF	ICA - NSF	Caudal
ΔT	-	0,304	-0,236	-0,006	-0,031	-0,128	-0,567	-0,138	0,497	-0,635	-0,337
SDT		-	-0,206	-0,483	-0,483	0,542	-0,303	0,581	-0,256	-0,181	-0,550
pH			-	0,093	0,206	0,129	0,232	0,082	0,036	0,204	0,026
Turbidez				-	0,862	-0,459	-0,132	-0,886	0,341	0,122	0,722
NO_3^-					-	-0,509	0,005	-0,393	0,073	0,278	0,662
PO_4^{3-}						-	0,225	0,853	-0,240	-0,069	-0,510
OD							-	0,227	-0,404	0,468	0,110
DBO_5								-	-0,315	-0,135	-0,682
CF									-	-0,804	0,005
ICA – NSF										-	0,668
Caudal											-

Realizado por: David Rivas, 2018

Tabla 32-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio del río La Honda

	ΔT	SDT	Ph	Turbidez	NO_3^-	PO_4^{3-}	OD	DBO_5	CF	ICA - NSF	Caudal
ΔT	-	-0,239	0,239	-0,236	-0,353	0,530	-0,191	0,367	0,254	-0,488	-0,806
SDT		-	-0,097	-0,001	-0,001	0,261	0,219	0,174	-0,437	0,424	0,584
pH			-	-0,221	0,430	0,490	0,569	0,211	0,417	0,180	-0,207
Turbidez				-	0,607	-0,051	0,557	-0,601	0,221	0,503	0,143
NO_3^-					-	0,283	0,359	-0,259	-0,136	0,578	0,442
PO_4^{3-}						-	0,302	0,668	0,198	-0,141	-0,265
OD							-	-0,094	0,101	0,570	0,245
DBO_5								-	-0,001	-0,293	-0,693
CF									-	-0,658	-0,533
ICA - NSF										-	0,713
Caudal											-

Realizado por: David Rivas, 2018

Tabla 33-3: Matriz de correlación de los parámetros en estudio en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda

	ΔT	SDT	pH	Turbidez	NO_3^-	PO_4^{3-}	OD	DBO_5	CF	ICA - NSF	CAUDAL
ΔT	-	0,110	0,113	-0,333	-0,296	0,313	-0,337	0,261	0,070	-0,267	-0,110
SDT		-	-0,025	-0,427	-0,427	0,410	-0,245	0,323	-0,044	-0,272	-0,201
pH			-	0,077	0,073	0,191	0,435	0,074	0,184	0,179	0,015
Turbidez				-	0,728	-0,400	0,337	-0,611	0,181	0,131	0,336
NO_3^-					-	-0,241	0,126	-0,576	-0,081	0,260	0,205
PO_4^{3-}						-	-0,022	0,687	-0,022	-0,308	0,075
OD							-	-0,024	0,089	0,312	0,209
DBO_5								-	-0,078	-0,280	-0,250
CF									-	-0,710	0,090
ICA-NSF										-	0,009
CAUDAL											-

Realizado por: David Rivas, 2018

En el río Arracaches los valores de pH y NO^{3-} poseen una correlación negativa, siendo su relación indirectamente proporcional, a medida que la concentración de NO^{3-} se incrementan el valor del pH disminuye, debiéndose esto a los procesos de Nitrificación, la transformación de Nitrito a Nitrato contribuye al descenso de pH, acidificando el suelo y el agua (Campbell & Ogden, 1999: pp.21).

El análisis estadístico bivalente entre DBO_5 y Turbidez para cada uno de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, concuerda con el análisis realizado a todo el conjunto de datos reportados, en todos los análisis se presenta una correlación negativa, indirectamente proporcional, donde ante un incremento de Turbidez los valores de DBO_5 no se ven afectados de forma positiva, atribuyendo esto a que la presencia de Sólidos Suspendidos poseen una naturaleza inorgánica que no influye en los valores obtenidos de DBO_5 .

El análisis de los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, para los parámetros Turbidez y Nitratos presenta una correlación positiva, resultados similares se reportan en el análisis a todo el conjunto de datos, un aumento en la concentración de Turbidez incrementa la concentración de Nitratos, en este caso los Sólidos Suspendidos presentes pueden ser de naturaleza inorgánica al estar relacionado con la presencia de NO^{3-} ; estos resultados corroboran lo expuesto en el párrafo anterior, donde la DBO_5 mantiene una correlación negativa con la Turbidez.

En todos los ríos en estudio (Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda), la correlación existente entre DBO_5 y Fosfatos es positiva, esto concuerda con el análisis realizado a todo el conjunto de datos, demostrando que estos son directamente proporcionales, un incremento en los valores de Fosfatos aumenta los valores de DBO_5 en el agua, a pesar de presentar bajas concentraciones de los dos parámetros, se puede ultimar que se encuentran relacionados por la presencia de problemas de eutrofización, la presencia de Fosfatos favorece la proliferación de algas, estas mueren, se descomponen y elevan los niveles de DBO_5 (Gómez, 2007: pp.8).

En los ríos Arracaches, Chontas y La Honda, el Caudal y ΔT presentan una correlación negativa, siendo indirectamente proporcional, la presencia de Caudales bajos en la época seca incrementa el valor de ΔT , sucediendo lo contrario en la época húmeda donde los caudales se incrementan y los valores de ΔT disminuyen, tal variación hace referencia a la velocidad que presenta el agua en cada época, siendo esta mayor en el periodo de lluvias y por tal motivo el cambio de Temperatura es menor, en contraste a la época seca, donde el cauce posee menos velocidad y ΔT se incrementa de punto a punto.

En los ríos Chontas y La Chiral, el Caudal y la concentración de Turbidez poseen una correlación positiva, directamente proporcional, esto quiere decir que ante un aumento de Caudal, los valores de Turbidez se incrementan, esto se debe al continuo arrastre de sedimentos por la escorrentía provocada en el periodo de lluvias.

El Caudal y los Nitratos en los ríos Chontas y La Chiral, presentan una correlación positiva, siendo esta directamente proporcional, en la temporada húmeda los valores de Caudal se incrementan trayendo consigo aumento en las concentraciones de Nitratos, en el periodo de lluvias el arrastre de nutrientes y sedimentos hacia las riberas del río incrementa la concentración de Nitrógeno en el agua.

En los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, el Caudal y los valores de DBO_5 reportados poseen una correlación negativa, siendo esta indirectamente proporcional, esto quiere decir que ante un aumento de Caudal en estos ríos la presencia de materia orgánica disminuye, ya sea por procesos de dilución o por autodepuración.

En el río Arracaches el valor del ICA-NSF y el Caudal presentan una correlación negativa, existiendo entre estos una relación indirectamente proporcional, es decir que, al aumentar el Caudal en la época húmeda, los valores del ICA-NSF disminuyen, debiéndose al incremento de Turbidez y Nitratos por el arrastre de sedimentos. Es importante mencionar que a diferencia de los otros ríos, este no posee vegetación protectora en sus riberas.

El Caudal y el ICA-NSF en los ríos Chontas, La Chiral y La Honda presentan una correlación positiva, siendo su relación directamente proporcional, ante un incremento del Caudal los valores del ICA-NSF se ven afectados de forma positiva. Esto se debe a que en la época húmeda los valores de Oxígeno Disuelto se incrementan y la DBO_5 disminuye, el aumento de Caudal actúa como una fuerza motriz que incrementa la velocidad del agua y por ende favorece a la depuración de los contaminantes.

La presencia de Coliformes Fecales afecta significativamente a los valores del ICA-NSF, tal como lo reporta el análisis bivariante aplicado a todos los ríos en estudio, sucediendo lo mismo en el análisis a todo el conjunto de datos, obteniendo una correlación negativa entre los dos parámetros, con una relación indirectamente proporcional, un aumento progresivo en el número de Unidades Formadoras de Colonias de Coliformes Fecales disminuye el valor del ICA-NSF en los ríos en estudio, siendo este el parámetro que más influye en la calidad del agua en la zona de estudio.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se determinó la variabilidad de la calidad del agua entre los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda mediante el análisis del ICA-NSF, obteniéndose una buena calidad en los diferentes ríos, tanto en la temporada seca como en la temporada húmeda, siendo el río Chontas el que presenta un menor deterioro frente a lo que se observa en los ríos Arracaches, La Honda y La Chiral, obteniéndose valores promedios de 86,86, 83,91, 84,65 y 86,53 respectivamente; lo que refleja la presencia de diferentes actividades antrópicas relacionadas con la agricultura y ganadería, siendo necesaria la preservación de las microcuencas para evitar una disminución de su calidad.

Se realizó la caracterización de los parámetros físicos, químicos y microbiológico requeridos para el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF), considerando los valores promedio de las distintas estaciones y ríos, estos reflejan un contenido de Oxígeno Disuelto en torno a 93,5 % de Sat. de O₂, Diferencia de Temperatura de 4,2 °C, Potencial de Hidrógeno de 6,7, Sólidos Disueltos Totales de 32,3 mg/L, Turbidez de 1,3 NTU, Nitratos de 0,74 mg/L, Fosfatos de 0,18 mg/L, Coliformes Fecales de 17,8 UFC/100 mL y Demanda Bioquímica de Oxígeno de 3,08 mg/L, siendo vulnerable a sufrir más alteraciones el río Arracaches, seguido de La Chiral, Chontas y La Honda, considerando las diferentes actividades que se desarrollan en estos y a las medidas que han sido adoptadas para mitigar los impactos negativos.

Se calculó el Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA-NSF), en base a los valores obtenidos de los parámetros en estudio en los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, observándose diferencias poco significativas entre las estaciones de muestreo apostadas a lo largo de los tramos de estudio, lo cual indica que la calidad es buena tanto en época seca como en la época lluviosa, presentando valoraciones en torno a 85 del ICA-NSF; sin embargo, durante la estación seca, existe un mayor riesgo de concentración de contaminantes debido a la disminución de los caudales en los ríos, pudiéndose compensar dicha alteración con las contribuciones generadas por las precipitaciones.

Mediante técnicas estadísticas se comparó la variación de la calidad del agua entre los ríos Arracaches, Chontas, La Chiral y La Honda, destacándose una correlación positiva entre Turbidez-Nitratos y Fosfatos-DBO₅, así como la correlación negativa entre Turbidez-DBO₅; lo que indicaría que tanto Nitratos, Fosfatos y DBO₅, contribuirían mayoritariamente en la pérdida de la calidad, debido que al ser parámetros relacionados con procesos de eutrofización, podrían incrementarse por las diferentes actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en la zona.

RECOMENDACIONES

La calidad del agua no se ve influenciada negativamente por el aumento de caudal en los ríos, sin embargo, es necesario la implementación de un plan de manejo integral eficiente, que entre sus acciones tenga un monitoreo continuo a los ríos en estudio, lo cual facilite su protección.

Con la finalidad de argumentar si los incrementos y/o disminución en los valores de los parámetros en estudio, se deben a situaciones ocasionales y momentáneas, se recomienda realizar seguimiento mediante monitoreos en la misma época y/o características semejantes para mayor confiabilidad, e incluso alargar el periodo de muestreo para evaluar el comportamiento de los ríos.

El índice ICA-NSF comúnmente es utilizado con la finalidad de argumentar ponderaciones generales de calidad del agua de consumo, sin embargo, a la falta de metodologías nacionales este estudio es necesario analizarlo desde el punto de vista de otras metodologías y de ser el caso establecer ponderaciones propias para cada zona en nuestro país.

La presencia de zonas boscosas y barreras de protección en los ríos La Honda y La Chiral favorecen al incremento de la calidad del agua, se recomienda tomar las mismas consideraciones en los ríos Arracaches y Chontas, así como en los aportes menores de los cuatro ríos.

BIBLIOGRAFÍA

Asamblea Nacional de la República del Ecuador. *Constitución de la República del Ecuador.* Montecristi - Ecuador: Asamblea Constituyente, 2008, pp. 99 - 123

Asamblea Nacional de la República del Ecuador. *Código Orgánico del Ambiente.* Quito - Ecuador: Asamblea Constituyente, 2017, pp. 20 - 55

Ávila, Julia; Cabrera, Armando. “Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas”. *INGENIERÍA* [en línea], 2003, (México) 7 (2), pp 47 - 54. [Consulta: 15 de abril de 2018]. ISSN 1665-529X. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/467/46770204.pdf>

Ball, R., & Church, R. *Water quality indexing and scoring. Journal of the Environmental Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 1980, 757-771.

Blasetti, Guillermo; et al. *Índices de calidad del agua y síntesis de la situación ambiental de la cuenca* [en línea]. Cipolletti - Argentina: Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), 2011. [Consulta: 23 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.aic.gob.ar/sitio/archivos/201702/ica%20-%20indices%20de%20calidad%20del%20agua.pdf>

Boyacioglu, H. “Development of a water quality index based on a European classification scheme”. *Water SA* [en línea], 2007, (Sudáfrica) 33 (1), pp. 101 - 106. [Consulta: 23 febrero 2018]. ISSN 1816-7950. Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/47882/34252>

Brown, R; et al. “A Water Quality Index – Do We Dare?”. *Water and Sewage Works*. 1970, (Estados Unidos de América). 11, pp. 339 – 343. [Consulta: 24 febrero 2018].

Brunatti, Carlos; De Napoli, Hernán. *Métodos Potenciométricos* [en línea]. Buenos Aires - Argentina: Universidad de Buenos Aires, 2012. [Consulta: 23 febrero 2018]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6305/download/Metodos%20Potenciometricos.pdf>

Calderón, Felipe; Pavlova, Margarita. *Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ método respirométrico* [en línea]. Bogotá - Colombia: Dr. Calderón Laboratorios Ltda. [Consulta: 15 marzo 2018]. Disponible en:

[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_DBO₅_Metodo_R-espirometrico.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_DBO5_Metodo_R-espirometrico.htm)

Camilloni, Inés; & Vera, Carolina. *El ciclo del agua* [En línea]. Buenos Aires - Argentina: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, 2006. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>

Campbell, Craig; & Ogden, Michael. *Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape* [En línea]. New York - USA: John Wiley & Sons Inc, 1999. [Consulta: 18 abril 2018]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=CNNml_0IfKoC&dq=nitrate+Constructed+Wetlands+in+the+Sustainable+Landscape&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Carrillo, M., & Urgilés, P. Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig (Tesis) (Pregrado). [en línea] Universidad de Cuenca, Ecuador. 2016. pp.63-110. [Consulta: 2018-02-12]. Disponible en:

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>

Castro, Leda; et al. *Conductividad, Oxígeno Disuelto, pH y Temperatura en el río Bermúdez (Costa Rica) y su relación con el uso de suelo en la cuenca.* Heredia-Costa Rica: Universidad Nacional de Costa Rica, 1996. [Consulta: 20 abril 2018]. Disponible en: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/5475>

Cervantes, M. *Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México.* México DF - México: Instituto Nacional de Ecología, 2007, pp. 37 - 39

Chamorro, Gloria. *Guía de hidrometría: estimación del caudal por el método de flotadores* [en línea]. Lima – Perú: Ministerio del Ambiente - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), 2011. [Consulta: 20 febrero 2018]. Disponible en: <http://docplayer.es/35184321-Estimacion-del-caudal-por-el-metodo-de-flotadores.html>

Chang, J. *Calidad del Agua.* Guayaquil - Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral: Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, 2012, pp. 34 - 56

Chapa, L. Determinación de la calidad físico-química y microbiológica del río Piñas-Ecuador, en el sector del predio urbano de la ciudad de Piñas (Tesis) (Pregrado). [en línea] Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Guayaquil, Ecuador. 2014, pp.20-31. [Consulta: 2018-02-08]. Disponible en:

http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2205/1/Paper%20acad%C3%A9mico_%20ChS%202014.pdf

Chávez, J. Determinación de la calidad del agua del río Maguazo por medio del método WQI en el periodo abril a junio del 2016 (Tesis) (Pregrado). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp.26-52. [Consulta: 2018-02-08]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/6229/1/236T0238.pdf>

Coello, Julio; et al. “Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador”. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas* [en línea], 2013, (Perú) 15 (30), pp 66 - 71. [Consulta: 18 de febrero de 2018]. ISSN 1682-3087 . Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281/10118>

CONANP [En línea]. Programa de conservación y manejo del sitio Ramsar “Lago de San Juan de los Ahorcados”. Zacatecas: Instituto de Ecología y Medio Ambiente de Zacatecas (IEMAZ), 2010. [Consulta: 20 febrero 2018]. Disponible en: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/lineamientos_instrumentos/LAGO_DE_SAN_JUAN_DE_LOS_AHORCADOS.pdf

Consejo Hídrico Federal. *Principios rectores de política hídrica de la República Argentina* [En línea]. Buenos Aires - Argentina: Consejo Hídrico Federal, 2003. [Consulta: 20 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.cohife.org/advf/documentos/2015/10/561b1c0da79ae.pdf>

Echarri, Luis. *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente* [en línea]. Pamplona-España: Universidad de Navarra, 2010. [Consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/Principal.html>

Elosegi, Arturo., & Sabater, Sergi. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* [en línea]. Bilbao-España: Rubes Editorial, 2009. [Consulta: 25 abril 2018]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=OfOUggC20_UC&dq=bosques+riparios+solidos+disueltos&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Espinosa, Tony M.; Rodríguez, Carmen. “Determinación del Índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Moron y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela”. *INGENIERÍA UC* [en línea], 2016, (Venezuela) 23 (2), pp 204 - 215. [Consulta: 8 de enero de 2018]. ISSN 1316-6832. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/707/70746634011.pdf>

Fernandez, Nelson., & Solano, Fredy. *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua* [en línea]. Pamplona - Colombia: Universidad de Pamplona, 2005. [Consulta: 18 febrero 2018]. Disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag_contenido/02042013/sub_editorial.jsp

Fosalba, Claudia; et al. *Eutrofización de ecosistemas acuáticos: Causas, consecuencias y estrategias de conservación y rehabilitación.* [en línea]. Montevideo-Uruguay; Universidad de la República, 2007. [Consulta: 18 abril 2018]. Disponible en: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf

Fuentes, María; et al. “Estudio Físicoquímico y Bacteriológico del río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela”. *BOLETÍN DEL INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE VENEZUELA* [en línea], 2008, (Venezuela) 47 (2), pp 149 - 158. [Consulta: 14 de abril de 2018]. Disponible en: <http://ojs.udo.edu.ve/index.php/boletiniov/article/view/848/675>

Gázquez, Domingo. *Determinación espectrofotométrica de fósforo* [en línea]. Granada - España: Universidad de Granada, 2012. [Consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ugr.es/~clinares/webexp/Practicas/fosforo.doc>

Glyn, Henry; Heinke, Gary. *Ingeniería Ambiental* [en línea]. México: Prentice Hall Hispanoamérica, S.A, 1996. [Consulta: 20 abril 2018]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=ToQmAKnPpzIC&dq=fuentes+naturales+de+fosfato+agua&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Piñas (GADM Piñas). *Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial Cantonal.* Piñas - Ecuador: GADM Piñas, 2015. pp. 39

Gómez, L. “Microalgas: Aspectos Ecológicos y Biotecnológicos”. *Revista Cubana de Química* [en línea], 2007, (Cuba), XIX (2), pp. 3-20. [Consulta: 28 abril 2018]. ISSN 0258-5995. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/4435/443543707001.pdf>

González, Marta. Las riberas elementos clave del paisaje y en la gestión del agua. En: **Martínez, Francisco.** *El agua a debate desde la Universidad: hacia una nueva cultura del agua: 1er Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas* [en línea]. Zaragoza-España: Intitución Fernando el Católico, 1999, pp. 499-512. [Consulta: 12 abril 2018]. Disponible en: <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/educacionambiental/importanciabosquesribera.pdf>

Guerrero, Norma; et al. “Uso de suelo y su influencia en la calidad del agua de la microcuenca El Sapanal, Ecuador”. *REVISTA CUBANA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS* [en línea], 2017, (Cuba) 5 (2), pp 1 - 11. [Consulta: 10 de enero de 2018]. ISSN 2307-695X. Disponible en: <http://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/article/view/156/265>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). *Coliformes totales y E. Coli por el método de filtración por membrana en agar Chromocult* [en línea]. Bogotá - Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007a. [Consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Aguas+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). *Turbiedad por nefelometría en el equipo Turbiquant 3000 T* [en línea]. Bogotá - Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007b. [Consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo* [en línea]. Quito - Ecuador: INEN, 2013. [Consulta: 18 marzo 2018]. Disponible en: http://apps.normalizacion.gob.ec/filesserver/2018/nte_inen_2176-1.pdf

Jaramillo, C. *Protección de la Cantidad y Calidad del Agua: La experiencia del municipio de Piñas.* Piñas - Ecuador: Gobierno Municipal de Piñas, 2008. pp. 7 – 31.

Juntadeandalucia [en línea]. Factores que influyen en la red hidrográfica. Andalucía: Instituto a Distancia de Andalucía, 2010. [Consulta: 21 febrero 2018]. Disponible en: http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/13122010/ff/es-an_2010121313_9170018/ODE-5ea32056-57b3-3c38-823c-3c0ee3359298/2_factores_que_influyen_en_la_red_hidrogrfica.html

Leiva, Mario; et al. *Procedimiento de muestreo de agua superficial* [en línea]. Huaraz - Perú: Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional “Santiago Antunez de Mayolo”, 2009. [Consulta: 12 marzo 2018]. Disponible en: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/PROCEDIMIENTO_DE_MUESTREO_DE_AGUA_SUPERFICIAL.pdf

Lermann, Beatriz; et al. *Técnica Analítica para Oxígeno Disuelto* [en línea]. Santa Fe - Argentina: Universidad Nacional del Litoral, 2007. [Consulta: 14 marzo 2018]. Disponible en: http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-OxigenoDisuelto.pdf

Martin, María. *Selección del punto de muestreo en aguas continentales superficiales* [en línea]. Madrid – España: Escuela de Ingeniería y Medio Ambiente, 2012. [Consulta: 12 marzo 2018]. Disponible en: <http://eimaformacion.com/seleccion-del-punto-de-muestreo-en-aguas-continentales-superficiales/>

Mendoza, M; et al. “Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], 2014, (México), 30 (4), pp. 429-436. [Consulta: 30 abril 2018]. ISSN 0188-4999. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/370/37032503010.pdf>

Mezkiritz Barberena, Irantzu. Determinación de la capacidad de almacenamiento superficial de agua en un suelo sometido a diferentes labores agrícolas [En línea]. (Pregrado) Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España. 2012. pp. 1-2. [Consulta: 2018-02-19]. Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/5943/577864.pdf>

Ministerio del Ambiente. *Ordenamiento Ambiental Integral en la cuenca del río Puyango.* [en línea]. Quito-Ecuador: Subsecretaría de Calidad Ambiental, 2014. [Consulta: 2018-02-14]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/1.-Documento-Programa-del-Puyango-26-11-2013.pdf>

Molnar, W. *Laboratory Investigations: AP Environmental Science Lab Manual.* Washington D. C.: Apadvantage, 2005.

Montoya, C; et al. “Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización”. *Revista EIA* [en línea], 2011, (Colombia), 1 (16), pp. 137 - 148. [Consulta: 23 abril 2018]. ISSN 1794-1237. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1492/149222630010.pdf>

Ordoñez, Juan. *Cartilla Técnica: Balance Hídrico Superficial* [en línea]. Lima - Perú: Sociedad Geográfica de Lima, 2011. [Consulta: 12 febrero 2018]. Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf

Organización de los Estados Americanos (OEA). *Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo* [en línea]. Washington-Estados Unidos: OEA, 1995. [Consulta: 2018-01-16]. Disponible en: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea49s/oea49s.pdf>

Panachlor. *Sólidos Disueltos Totales (TDS) & Electroconductividad (EC)* [en línea]. Manizales - Colombia: Watermaker-la, 2018. [Consulta: 16 marzo 2018]. Disponible en: [http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-\(TDS\)-Electroconductividad-\(EC\).pdf](http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-(TDS)-Electroconductividad-(EC).pdf)

Poveda, W. *Decreto Ejecutivo No. 1038*. Quito - Ecuador: Registro Oficial No. 346, 2008.

Quiroz, Luis; et al. “Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador”. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL* [en línea], 2017, (Cuba) 38 (3), pp 41 - 51. [Consulta: 20 de febrero de 2018]. ISSN 1815-591X, Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha04317.pdf>

Rodríguez, Silvia., & Martínez, Gloria. *Variabilidad de Fosfatos en Distintas Fuentes de Agua* [en línea]. Corrientes - Argentina: Universidad Nacional de Nordeste, 2009. [Consulta: 14 abril 2018]. Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/investigacion/com2009/CA-046.pdf>

Rojas, O. *Índices de Calidad del agua en Fuente de Captación* [Memorias]. Cali-Colombia: Seminario Internacional sobre calidad del agua para consumo, 1991. [Consulta: 22 de febrero de 2018].

Romero, J. *Calidad del Agua*. Bogotá - Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009, pp. 27 - 42.

Sciencing [En línea]. Types of Aquatic Ecosystems. Washington: Debashree Sen, 2017. [Consulta: 21 febrero 2018]. Disponible en: <https://sciencing.com/types-aquatic-ecosystems-6123685.html>

Salcedo, S; et al. “Evaluación de la calidad del agua subterránea mediante la utilización del Índice CCME-WQI, en el acuífero del Valle de Puebla”. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* [en línea], 2015, (México), 6 (12), pp. 831 - 837. [Consulta: 24 febrero 2018]. ISSN 2007-512X. Disponible en:

http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/58686/6_RevLA%20Ambiente%20y%20Ciencias%20Salcedo%20et%20al_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, Óscar; et al. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* [en línea]. México D.F – México: Instituto Nacional de Ecología, 2007. [Consulta: 11 de enero de 2018]. Disponible en: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perpectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>

Sawyer, Clair; et al. *Chemistry for Environmental Engineering* [en línea]. Quinta Edición. New York – Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 2003. [Consulta: 25 febrero 2018]. Disponible en:

<https://archive.org/details/SawyerC.AndMcCartyP.AndParkinG.2003ChemistryForEnvironmentalEngineeringAndScience>

SENAGUA & ARCA (Secretaría del Agua & Agencia de Regulación y Control del Agua). *Boletín de la Estadística Sectorial del Agua 2017* [Boletín Anual]. Quito-Ecuador: Comunicación Social SENAGUA / ARCA, 2017. [Consulta: 8 de enero de 2018]. Disponible en: https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA_08feb.compressed-2.pdf

Sierra, Carlos. *Calidad del Agua: Evaluación y Diagnóstico* [En línea]. Medellín - Colombia: Ediciones de la U - Universidad de Medellín, 2011. [Consulta: 8 de enero de 2018]. Disponible en:

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/esepochsp/reader.action?docID=3198982&query=calidad+del+agua>

Talavera, V; Zapata, L. *Influencia del pH sobre los organismos acuáticos* [En línea]. Lima-Perú: Edición Tumpis, 1998. [Consulta: 23 febrero 2018]. Disponible en: http://www.nicovita.com/extranet/Boletines/jul_98_03.pdf

Torres, Cecibel. *Procedimiento para la Prueba de Determinación de Nitrato* [en línea]. Panamá - Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá, 2006. [Consulta: 15 marzo 2018]. Disponible en: <http://docplayer.es/7846494-Universidad-tecnologica-de-panama-centro-de-investigaciones-hidraulicas-e-hidrotecnicas-laboratorio-de-sistemas-ambientales.html>

Torres, Patricia; et al. “Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano”. *Ingeniería e Investigación* [en línea], 2010, (Colombia) 30 (3), pp 86 - 95. [Consulta: 9 de enero de 2018]. ISSN 0120-5609. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/643/64316140007.pdf>

Torres, Patricia; et al. “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica”. *Ingenierías Universidad de Medellín* [en línea], 2009, (Colombia) 8 (15), pp 79 - 94. [Consulta: 22 de febrero de 2018]. ISSN 1692-3324. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>

Tripod [En línea]. Clasificación de ríos y cauces. Bogotá: Gregorio Marín, 2011. [Consulta: 22 febrero 2018]. Disponible en: http://transportesedimentos.tripod.com/esp/pagina_nueva_13.htm

Velez, María. *Hidráulica de aguas subterráneas* [En línea]. Segunda Edición. Medellín - Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1999. [Consulta: 17 febrero 2018]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/4993/1/Capitulos_1-5.pdf

Vilches, Amparo; et al. *OEI*. [en línea]. Madrid-España: OEI, 2009. Agotamiento y destrucción de los recursos naturales. [Consulta: 10 de enero 2018]. Disponible en: <http://www.oei.es/historico/decada/accion23.htm>

Water-Research. *Total Dissolved Solids and Water Quality* [en línea]. Dallas-USA: Brian Oriam, 2014a. [Consulta: 25 abril 2018]. Disponible en: <https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/tools/total-dissolved-solids>

Water-Research. *Fecal Coliform Bacteria in Water* [en línea]. Dallas-USA: Brian Oriam, 2014b. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible en: <https://www.water-research.net/index.php/fecal-coliform-bacteria-in-water>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo* [Informe Anual]. París-Francia: UNESCO. [Consulta: 10 de enero de 2018]. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf>

