

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**



**Variación espacial y temporal de los índices de contaminación del agua
en la microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018**

Tesis para obtener el grado académico de:

MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Bach. Betsy Suri Ramos Pacheco

Asesores:

Mtro. David Choque Quispe

Mtra. Gloria Ines Barboza Palomino

Ayacucho - Perú

2021

Dedicatoria

Con gratitud a mis padres Cirilo y Valeria, a Percy por su amor y apoyo incondicional, a mi querido hijo Andy, por ser la fuente inagotable en mi vida.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Escuela de posgrado, a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, a su plana docente, por haberme acogido en mis estudios de posgrado.

Al MSc. Ing. David Choque Quispe y la MCs. Ing. Gloria Inés Barboza Palomino, por su asesoramiento, orientación en la investigación, por su apoyo incondicional y sus conocimientos compartidos en el desarrollo de este trabajo.

Al MSc. Ing. Carlos Alberto Ligarda Samanez, Yadira Quispe Quispe, Ing. Herson Danny Arone Palomino, Ing. Nidia García Nauto e Ing. Diego Elio Peralta Guevara, por su apoyo incondicional y contribución a la ejecución del trabajo.

A los distinguidos miembros del jurado, por acceder amablemente a formar parte de este.

Índice General

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice General.....	iv
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras	x
Índice de Anexos	xi
Abreviaturas.....	xii
Resumen	xiii
Summary.....	xv
Introducción.....	17
Capítulo I Problema De Investigación.....	19
1.1. Identificación Del Problema	19
1.2. Descripción Del Problema	19
1.3. Formulación Del Problema.....	20
1.3.1. Problema general	20
1.3.2. Problemas específicos.....	20
1.4. Objetivos.....	21
1.4.1. Objetivo general	21
1.4.2. Objetivos específicos	21
1.5. Hipótesis	21
1.5.1. Hipótesis general	21
1.5.2. Hipótesis específicas.....	21
1.6. Justificación	22
1.7. Importancia	22

Capítulo II Marco Teórico	24
2.1. Antecedentes De La Investigación	24
2.1.1. Internacionales	24
2.1.2. Nacionales	25
2.2. Bases Teóricas	26
2.2.1. Aguas continentales superficiales.....	26
2.2.2. Microcuenca Chumbao.....	27
2.2.3. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos	28
Parámetros físicos del agua	28
Parámetros químicos del agua	29
Parámetros microbiológicos del agua.....	31
2.2.4. Calidad de agua	31
2.2.5. Índice de contaminación de agua (ICO).....	32
Índice de contaminación por mineralización.....	34
Índice de contaminación por materia orgánica.....	35
Índice de contaminación por sólidos suspendidos.....	35
Índice de contaminación trófico	36
2.3. Definición De Términos	36
2.3.1. Sólidos suspendidos.....	36
2.3.2. Conductividad.....	37
2.3.3. Alcalinidad	37
2.3.4. Dureza.....	37
2.3.5. Oxígeno disuelto (% Saturación).....	37
2.3.6. Demanda bioquímica de oxígeno	37
2.3.7. Fósforo total.....	37

2.3.8. Coliformes totales.....	37
Capítulo III Materiales Y Métodos.....	38
3.1. Aspectos Generales Ubicación Del Estudio	38
3.1.1. Ubicación geográfica.....	38
3.1.2. Ubicación hidrográfica	38
3.1.3. Área de estudio	38
3.2. Tipo De Investigación.....	39
3.3. Diseño De Investigación.....	40
3.4. Población De Estudio	41
3.5. Muestra	41
3.6. Tipo De Muestreo	41
3.7. Métodos Y Técnica Para La Recolección De Datos.....	42
3.7.1. Determinación de sólidos suspendidos totales	42
3.7.2. Determinación de la conductividad	42
3.7.3. Determinación de la alcalinidad	42
3.7.4. Determinación de la dureza	43
3.7.5. Determinación del porcentaje de oxígeno	43
3.7.6. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.....	44
Preparación de la solución tampón de fosfato	44
Preparación de la solución sulfato de magnesio (MgSO ₄)	44
Preparación de la solución cloruro de calcio (CaCl ₂)	44
Preparación de la solución cloruro de hierro (FeCl ₃)	44
Preparación de la solución cloruro de amonio (NH ₄ Cl)	44
Preparación de la solución mix de nutrientes	45
3.7.7. Determinación de fósforo total.....	45

3.7.8. Determinación de coliformes totales	46
Preparación de caldo Sulfato de Laurilo.....	46
Preparación de caldo Verde Brillante	46
3.8. Procesamiento Y Análisis Estadístico	47
3.8.1. Procesamiento de datos	47
3.8.2. Análisis estadístico	47
Prueba de diferencia significativa	47
Prueba de rangos múltiples.....	48
Prueba de correlación de Pearson	48
Capítulo IV Resultados.....	49
4.1. Puntos De Muestreo.....	49
4.2. Parámetros Evaluados En La Microcuenca Chumbao.....	49
4.2.1. Parámetros físicos.....	49
4.2.2. Parámetros químicos	53
4.2.3. Parámetro microbiológico	61
4.3. Determinación De Los Índices De Contaminación	62
4.3.1. Índice de contaminación por sólidos suspendidos.....	62
4.3.2. Índice de contaminación por mineralización.....	64
4.3.3. Índice de contaminación por materia orgánica.....	65
4.3.4. Índice de contaminación por tráfico	67
4.4. Correlación De Parámetros E Ico	68
Capítulo V Discusiones	71
5.1. Parámetros Físicos, Químicos Y Microbiológico.....	71
5.1.1. Parámetros físicos.....	71
5.1.2. Parámetros químicos	72

5.1.3. Parámetro microbiológico	75
5.2. Índices De Contaminación Del Agua	75
5.2.1. Índice de contaminación por sólidos suspendidos.....	75
5.2.2. Índice de contaminación por mineralización.....	76
5.2.3. Índice de contaminación por materia orgánica.....	77
5.2.4. Índice de contaminación por trófico	77
5.3. Correlación Entre Los Parámetros E ICOS	77
Conclusiones.....	79
Recomendaciones	81
Referencias Bibliográficas.....	82
Anexos.....	88

Índice de Tablas

Tabla 1	Índices de Contaminación.....	32
Tabla 2	Valores y rangos ICO	34
Tabla 3	Índice de contaminación por tráfico	36
Tabla 4	Matriz de diseño DCA	40
Tabla 5	Matriz de diseño DBCA	40
Tabla 6	Coordenadas de los puntos de muestreo	41
Tabla 7	Especificaciones de los valores de muestra y solución nutriente	45
Tabla 8	Características de la toma de muestras	49
Tabla 9	Sólidos suspendidos totales en los puntos de muestreo y temporadas	50
Tabla 10	Conductividad en los puntos de muestreo y temporadas.....	52
Tabla 11	Alcalinidad en los puntos de muestreo y temporadas.....	53
Tabla 12	Dureza en los puntos de muestreo y temporadas.....	55
Tabla 13	Porcentaje de saturación de oxígeno en los puntos de muestreo y temporadas	56
Tabla 14	DBO5 en los puntos de muestreo y temporadas	58
Tabla 15	Fósforo total en los puntos de muestreo y temporadas.....	59
Tabla 16	Coliformes totales en los puntos de muestreo y temporadas	61
Tabla 17	ICOSUS en los puntos de muestreo y temporada.....	63
Tabla 18	ICOMI en los puntos de muestreo y temporadas	64
Tabla 19	ICOMO en los puntos de muestreo y temporadas	66
Tabla 20	ICOTRO en los puntos de muestreo y temporadas	67
Tabla 21	Correlación de parámetros e ICOS temporada de lluvia.	69
Tabla 22	Correlación de parámetros e ICOS temporada de estiaje	70

Índice de Figuras

Figura 1.	Ciclo del Agua	27
Figura 2	Microcuenca Chumbao	28
Figura 3	Área de estudio microcuenca Chumbao	39
Figura 4	Sólidos suspendidos totales en los puntos de muestreo y temporadas	51
Figura 5	Conductividad puntos de muestreo y temporadas	52
Figura 6	Alcalinidad en los puntos de muestreo y temporadas.....	54
Figura 7	Dureza en los puntos de muestreo y temporadas.....	56
Figura 8	Porcentaje de saturación de oxígeno en los puntos de muestreo y temporadas	57
Figura 9	DBO5 en los puntos de muestreo y temporadas.....	59
Figura 10	Fósforo total en los puntos de muestreo y temporadas.....	60
Figura 11	Coliformes totales en los puntos de muestreo y temporadas.....	62
Figura 12	ICOSUS en los puntos de muestreo y temporadas	63
Figura 13	ICOMI en los puntos de muestreo y temporadas	65
Figura 14	ICOMO en los puntos de muestreo y temporadas	67

Índice de Anexos

Anexo 1	ANOVA y análisis Tukey para Sólidos suspendidos totales.....	89
Anexo 2	ANOVA y análisis Tukey para Conductividad	95
Anexo 3	ANOVA y análisis Tukey para Alcalinidad	100
Anexo 4	ANOVA y análisis Tukey para Dureza	105
Anexo 5	ANOVA y análisis Tukey para % Saturación de oxígeno.....	110
Anexo 6	ANOVA y análisis Tukey para DBO ₅	115
Anexo 7	ANOVA y análisis Tukey para Fósforo total	120
Anexo 8	Resultados coliformes totales en los puntos de muestreo y temporada.....	125
Anexo 9	ANOVA y análisis Tukey para ICOSUS	127
Anexo 10	ANOVA y análisis Tukey para ICOMO	132
Anexo 11	ANOVA y análisis Tukey para ICOMO	137
Anexo 12	Cálculo de Índice de contaminación por sólidos suspendidos, por mineralización y materia orgánica.....	142
Anexo 13	Certificado de calidad del espectrofotómetro Hanna Iris HI801	145
Anexo 14	Certificado de calibración del multiparámetro Hanna 98.....	146
Anexo 15	Informe de control de calidad de Estufa de Ventilación Forzada.....	147
Anexo 16	Informe de control de calidad de Balanza Analítica.....	148
Anexo 17	Panel fotográfico.....	149

Abreviaturas

ICO	: Índice de contaminación de agua
ICA	: Índice de calidad de agua
ICOSUS	: índice de contaminación por sólidos suspendidos
ICOMI	: índice de contaminación por mineralización
ICOMO	: índice de contaminación por materia orgánica
ICOTRO	: índice de contaminación por tráfico
ECA	: Estándar de calidad del agua
m.s.n.m.	: metros sobre el nivel del mar
DBO	: Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	: Demanda química de oxígeno
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
DBCA	: Diseño de bloque completo al azar
DCA	: Diseño completamente al azar
°C	: Grados Celsius
SST	: Sólidos suspendidos totales
nm	: nanómetros
mg	: miligramos
L	: litros
mL	: mililitros
μS	: micro Siemens
cm	: centímetros
NMP	: Número más probable

Resumen

Los recursos hídricos son el principal componente para el desarrollo de las actividades del hombre y el normal funcionamiento de los seres vivos y ecosistemas, sin embargo, durante el ciclo del agua estas pueden sufrir contaminación por fuentes naturales o antrópicas, deteriorando y disminuyendo su calidad; motivo por el cual existen diferentes formas de cualificar las características del agua, siendo una de ellas los índices de contaminación, cuya particularidad es puntualizar el tipo de contaminación que puede presentar el agua. El objetivo del trabajo fue evaluar los índices de contaminación (ICOs) del agua en la microcuenca del río Chumbao en el tramo comprendido entre las coordenadas 13°46'38,4" S y 073°15'32,3" W a 13°35'26,4" S y 073° 27'00,8" W, y altitud de 4079 a 2572 m.s.n.m. respectivamente, ubicada en los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera de la provincia de Andahuaylas. Se determinó la variación espacial y temporal del índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e índice de contaminación por trófico (ICOTRO) en 8 puntos de muestreo, la determinación de los parámetros para los ICOs se adaptó de acuerdo con la metodología propuesta por la Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Los datos se procesaron utilizando los paquetes estadísticos Statgraphics centurión XVI.II y Statistica V8. Los resultados del ICOSUS oscilaron entre 0,06 a 0,39 durante la temporada de lluvia y entre 0,00 a 0,28 durante la temporada de estiaje, indicando “ninguna” y “baja” contaminación por sólidos suspendidos en ambas temporadas, los valores obtenidos del ICOMI oscilaron entre 0,02 a 0,35 durante la temporada de lluvia y entre 0,08 a 0,90 durante la temporada de estiaje, asimismo los valores del ICOMO oscilaron entre 0,11 a 0,34 para la temporada de lluvia y entre 0,08 a 0,83 durante la temporada de estiaje, indicando grados de contaminación de “ninguna” a “baja” en la temporada de lluvia; y entre “ninguna” a “muy alta” en la temporada

de estiaje para ambos índices de contaminación; por otra parte el ICOTRO, presentó estado mesotrófico y eutrófico durante la temporada de lluvia, y estado eutrófico en la temporada de estiaje. La correlación entre los parámetros físicos, químicos, microbiológicos e índices de contaminación mostraron fuerte correlación positiva para ambas temporadas, aunque no se evidencio este comportamiento para el porcentaje de oxígeno coliformes totales y fósforo. Concluyendo que las aguas superficiales de la microcuenca del Chumbao presentan contaminación creciente aguas abajo durante su recorrido.

Palabras claves: microcuenca, índice de contaminación, lluvia, estiaje.

Summary

Water resources are the main component for the development of human activities and the normal functioning of living beings and ecosystems; however, during the water cycle these can be contaminated by natural or anthropic sources, deteriorating and diminishing their quality; This is the reason why there are different ways of qualifying water characteristics, one of them being contamination indexes, whose particularity is to specify the type of contamination that water can present.

The objective of this work was to evaluate the contamination indexes (ICOs) of the water in the Chumbao river micro-basin in the section comprised between the coordinates $13^{\circ}46'38,4$ "S and $073^{\circ}15'32,3$ " W at $13^{\circ}35'26,4$ "S and $073^{\circ}27'00,8$ " W, and altitude from 4079 to 2572 meters above sea level respectively, located in the districts from San Jerónimo, Andahuaylas and Talavera of the province from Andahuaylas. It was determined the spatial and temporal variation for contamination index by mineralization (ICOMI), contamination index by organic matter (ICOMO), contamination index by suspended solids (ICOSUS) and contamination index by trophic (ICOTRO) in 8 sampling points was determined; the determination of the parameters for the ICOs was carried out according to the methodology proposed by the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. The data was processed using the statistical packages Statgraphics centurion XIV and Statistica V8. The ICOSUS results ranged from 0,06 to 0,39 during the rainy period and from 0,00 to 0,28 during the dry period, indicating "none" and "low" contamination by suspended solids in both periods. The values obtained from ICOMI ranged from 0,02 to 0,35 during the rainy period and from 0,08 to 0,90 during the dry period. Also, ICOMO values ranged from 0,11 to 0,34 for the rainy period and from 0,08 to 0,83 during the dry period which indicates that pollution levels go from "none" to "low" in the rainy period and between "none" to "very high" in the dry period for both pollution indices. On the other hand, the ICOTRO presented

a mesotrophic and eutrophic state during the rainy period and a eutrophic state during the dry period. The correlation between the physical, chemical, microbiological parameters and pollution indexes showed a strong positive correlation for both periods. Although, this behavior was not evident for the percentage of oxygen, total coliforms and phosphorus. Concluding that the surface waters of the Chumbao microbasin have an increasing pollution downstream during their journey.

Keywords: microbasin, pollution index, rain, dry.

Introducción

Actualmente las diferentes actividades desarrolladas por el hombre se han incrementado generando residuos que modifican las características naturales del agua; la aparición de sustancias no deseables y tóxicas, son cada vez más abundantes y estas pueden llegar al agua por diversos factores como arrastre de partículas, descargas de aguas residuales, escorrentías agrícolas, efluentes de diversos procesos industriales, etc. (Torres, Cruz, Patiño, Carlos, y Pérez, 2010).

La microcuenca Chumbao no es ajena a este problema, la falta de concientización de la población aledaña al cauce ha convertido esta zona en un botadero de residuos sólidos, modificando la calidad de sus aguas en todo su trayecto, la contaminación antrópica se ha incrementado con el pasar del tiempo y como consecuencia se tiene el deterioro y la falta de disponibilidad de este recurso valioso para el funcionamiento de los ecosistemas y seres vivos.

La microcuenca nace en la zona alta de la cordillera situada a 4400 m.s.n.m., sus aguas atraviesan los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera; actividades como la crianza de truchas, extracción de agregados, lavaderos de carros, talleres mecánicos, peladoras de maíz, etc., descargan sus aguas residuales con alta carga orgánica e inorgánica modificando las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas, disminuyendo su calidad y disponibilidad.

En la actualidad, se desconoce el grado y tipo de contaminación que presenta la zona de estudio, motivo por el cual la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la variación espacial y temporal de los índices de contaminación (ICOs) del agua en la microcuenca del Chumbao, para lo cual se empleó la metodología propuesta por Ramírez, Restrepo y Viña (1997), con el fin de realizar una cualificación del agua a través de los criterios planteados en el ICOSUS, ICOMI, ICOMO e ICOTRO. Asimismo, el estudio

permitió observar el comportamiento de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los diferentes puntos de muestreo, durante las temporadas de lluvia y estiaje.

Capítulo I

Problema De Investigación

1.1. Identificación Del Problema

El desarrollo de la población urbana y rural aumento el uso de los recursos naturales para diferentes actividades generando diversos contaminantes que alteran el ambiente, el agua es uno de los recursos que ha sido fuertemente afectado, por estas actividades que generan sustancias cada vez más agresivas y difíciles de tratar debido a la naturaleza química que presentan (Samboni, Carvajal y Escobar, 2007), estos contaminantes pueden ser orgánicos e inorgánicos que, al entrar en contacto con las aguas, alteran su composición, disponibilidad y calidad (Linden et al., 2015).

La calidad de vida de la población de Andahuaylas está relacionada con la calidad de agua y su disponibilidad, las diferentes actividades generan aguas residuales así como residuos que en muchos casos son descargados al cauce, estos desechos pueden contener microorganismos de origen fecal, aceites y grasas, compuestos químicos, insecticidas, fertilizantes, plaguicidas, sales, ácidos, bases, colorantes, hormonas, medicamentos, metales, etc. que varían las características físicas, químicas y microbiológicas del recurso hídrico.

La falta de concientización de la población aledaña a la microcuenca del Chumbao ha convertido este cauce en un botadero de residuos sólidos, trayendo como consecuencia el deterioro y la falta de disponibilidad de este recurso para el normal funcionamiento de los ecosistemas y seres vivos.

1.2. Descripción Del Problema

Las fuentes de agua son el principal componente para el desarrollo de las diferentes actividades de los seres humanos. Las aguas superficiales son susceptibles a contaminación debido a fuentes naturales (arrastre de partículas con presencia material orgánico e

inorgánico, etc.) o fuentes antrópicas (descargas de aguas residuales domésticas e industriales, escorrentías agrícolas, etc.) durante su trayecto. (Torres et al., 2010).

El río Chumbao actúa como receptor de aguas drenadas por las lagunas de la zona alta de la cordillera situada a 4400 m.s.n.m., siendo las más importantes las lagunas Huachoccocha, Paccoccocha, Antaccocha y Pampahuasi, asimismo existen algunos afluentes naturales que desbocan en su cauce (Ministerio de Agricultura y Alimentación, 1980), así como efluentes con alta carga orgánica e inorgánica; sufriendo modificaciones en su composición y calidad, estos efluentes son generados mayormente por las diferentes actividades generadas por el hombre, trayendo como resultado el deterioro de las aguas y generando desequilibrio en los ecosistemas.

1.3. Formulación Del Problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál será la variación espacial y temporal de los índices de contaminación (ICO) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018?

1.3.2. Problemas específicos

¿Cuál será la variación espacial y temporal del índice de contaminación por mineralización (ICOMI) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018?

¿Cuál será la variación espacial y temporal del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018?

¿Cuál será la variación espacial y temporal del índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018?

¿Cuál será la variación espacial y temporal del índice de contaminación por trófico (ICOTRO) de agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la variación espacial y temporal de los índices de contaminación (ICO) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar la variación espacial y temporal del índice de contaminación por mineralización (ICOMI) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018

Determinar la variación espacial y temporal del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018

Determinar la variación espacial y temporal del índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018

Determinar la variación espacial y temporal del índice de contaminación por trófico (ICOTRO) del agua en la Microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La variación espacial y temporal de los índices de contaminación (ICO) del agua en la Microcuenca Chumbao, indican que existe contaminación de la Microcuenca del río Chumbao.

1.5.2. Hipótesis específicas

La variación espacial y temporal del índice de contaminación por mineralización (ICOMI) del agua en la Microcuenca Chumbao, indican que existe contaminación inorgánica por iones.

La variación espacial y temporal del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) del agua en la Microcuenca Chumbao, indican que existe contaminación orgánica.

La variación espacial y temporal del índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) del agua en la Microcuenca Chumbao, indican que existe contaminación inorgánica.

La variación espacial y temporal del índice de contaminación por trófico (ICOTRO) del agua en la Microcuenca Chumbao, indican que existe contaminación orgánica por nutrientes.

1.6. Justificación

El estudio resulta conveniente debido a que se evalúa las características físicas, químicas, microbiológicas e índices de contaminación de las aguas de la microcuenca del río Chumbao, estos resultados tienen relevancia social puesto que se orienta a determinar un problema ambiental, que servirá como base para establecer estrategias de mitigación. Por otra parte, en el desarrollo de la presente investigación se recolectaron conocimientos teóricos pertinentes al tema de estudio, los cuales fueron sistematizados y ordenados, esto es un aporte teórico efectivo para que los investigadores que se aproximen al tema encuentren información teórica pertinente y clara como fundamento del trabajo de campo.

El propósito de la presente investigación es contribuir con el conocimiento científico realizando una investigación sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua con el fin de realizar un diagnóstico del estado actual de las aguas del río Chumbao, mediante la valoración de los índices de contaminación por sólidos suspendidos, materia orgánica, mineralización y trófico

1.7. Importancia

La importancia del presente estudio fue determinar la variación espacial y temporal del estado actual de contaminación del agua del río Chumbao empleando los índices de

contaminación de agua, este método tiene la ventaja de ser sencillo, rápido y fácil de interpretar por lo cual este estudio permitirá que la población tenga conocimiento acerca del grado de contaminación que presenta el río, además la información obtenida servirá para su difusión y generar conciencia entre los pobladores, con el único fin de motivar el principio de valoración y gestión integrada del recursos hídrico, implementando políticas ambientales de conservación, planes de monitoreo, alternativas de mitigación para asegurar de esa forma el uso eficiente y sostenible del recurso hídrico.

Asimismo, el estudio permitió observar el comportamiento de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos durante el trayecto de la microcuenca del río Chumbao, durante las temporadas de avenida y estiaje, adicionalmente permitirá establecer mecanismos de control de la contaminación asociado con las descargas de efluentes. También el estudio servirá como antecedente para la evaluación de las diferentes fuentes hídricas del departamento de Apurímac, y evaluar los índices de contaminación, con el objetivo de proponer un modelo de gestión sostenible de las fuentes hídricas altoandinas.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes De La Investigación

2.1.1. Internacionales

Chavarro y Gélvez (2016), evaluaron la calidad de las aguas de la quebrada Fucha, empleando cuatro índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO) en tres puntos de la quebrada; realizaron un análisis multivariado para evaluar la relación entre la precipitación y los usos del suelo como variable indicadora. No encontraron contaminación por mineralización y la quebrada en general presentó condiciones eutróficas, de igual manera establecieron una correlación estadísticamente significativa entre la precipitación y el índice de contaminación por tráfico (ICOTRO), así como entre el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e índice de contaminación por tráfico (ICOTRO).

Miranda, Ramírez y Sánchez (2016), realizaron un estudio fisicoquímico y microbiológico en cinco estaciones del río algodonol, con el objetivo de evaluar la calidad del agua para consumo humano a partir de la determinación de los índices de contaminación del agua (ICO). Los resultados fisicoquímicos que obtuvieron no mostraron concentraciones por encima de los valores máximos permitidos en la normatividad, de igual forma no se presentó contaminación por mineralización (ICOMI), por materia orgánica (ICOMO) en las estaciones evaluadas. Encontraron baja contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) en las estaciones E1 y E2, durante el período de menos lluvia. Concluyendo que la fuente de agua del río algodonol, es apta para tratamiento convencional de potabilización.

Jiménez y Vélez (2006), realizaron un análisis comparativo de los indicadores de calidad de aguas superficiales en la cuenca Doña María localizada en Antioquia. Para ello emplearon el índice de calidad – ICA propuesto por NFS (National Sanitation Foundation) e índice de contaminación – ICO. Resaltaron la pertinencia de emplear índices de

contaminación ya que permite diferenciar los procesos físicos y antrópicos que ejercen mayor presión sobre la calidad del agua, empleando menor cantidad de variables a diferencia de los índices de calidad del agua como la propuesta por la NFS que no puede explicar dicha diferencia, debido a que la técnica de agregación en la que se fundamenta genera pérdidas de información.

Ramírez et al. (1997), formularon cuatro índices de contaminación, para calificar las cualidades del agua, estos índices fueron propuestos a partir de experiencia acumulada en programas de monitoreo hidrobiológicos que fueron implementados por la industria petrolera en Colombia por más de seis años. Desarrollaron los índices en función de las concentraciones de las distintas variables y los usos del agua en base a la legislación de diversos países. Dichos índices de contaminación (ICO) son: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, e ICOTRO o trófica del sistema. Los índices son de fácil estimación (matemática o gráficamente) y permiten puntualizar el tipo de problema ambiental existente.

2.1.2. Nacionales

Chávez, Leiva, Rascón, Hoyos y Corroto (2016), evaluaron el estado ecológico del lago de Pomacochas, empleando parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y la aplicación del índice de contaminación por trófico, para ello realizaron muestreos en junio y julio del 2015, donde concluyeron que la mayor concentración bacteriana se presentó en la zona centro-oeste del lago con valores superiores a 1600 NMP/100mL, evidenciando contaminación fecal en esta zona. Asimismo, las variables analizadas no evidencian contaminación por eutrofización.

Custodio, Chanamé y Bulege (2013), evaluaron la calidad del agua del río Cunas mediante características fisicoquímicas y biológicas a fin de identificar las zonas con buen estado de conservación, para lo cual establecieron tres sectores de muestreo, entre los meses

de enero y diciembre de 2013, los parámetros evaluados en laboratorio fueron nitratos, fosfatos y coliformes termotolerantes, mientras que los parámetros medidos en campo fueron: oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, temperatura, pH y turbidez. Posteriormente calcularon los índices de calidad según el NSF concluyendo que Angasmayo presentó calidad de agua buena (75,14 en época de lluvia; 74,23 en estiaje), Huarisca calidad media (67,96 en lluvia; 65,22, en estiaje) y Pilcomayo calidad media (61,39 en lluvia; 55,82 en estiaje), y según el índice biótico EPT (Efemerópteros, Plecópteros, Tricópteros), Angasmayo reveló buena calidad de agua, Huarisca regular calidad y Pilcomayo mala calidad de agua.

Calizaya, Avendaño y Delgado (2013), evaluaron la calidad del agua del río Locumba, Tacna para lo cual tomaron muestra de agua en diez estaciones ubicadas a lo largo de la cuenca del río, durante seis períodos, obtuvieron valores de once parámetros fisicoquímicos, la cantidad de diatomeas para determinar el grado de contaminación del agua, concluyendo que a medida que desciende la cuenca la diversidad de diatomeas disminuye y el gradiente de contaminación se incrementa.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aguas continentales superficiales

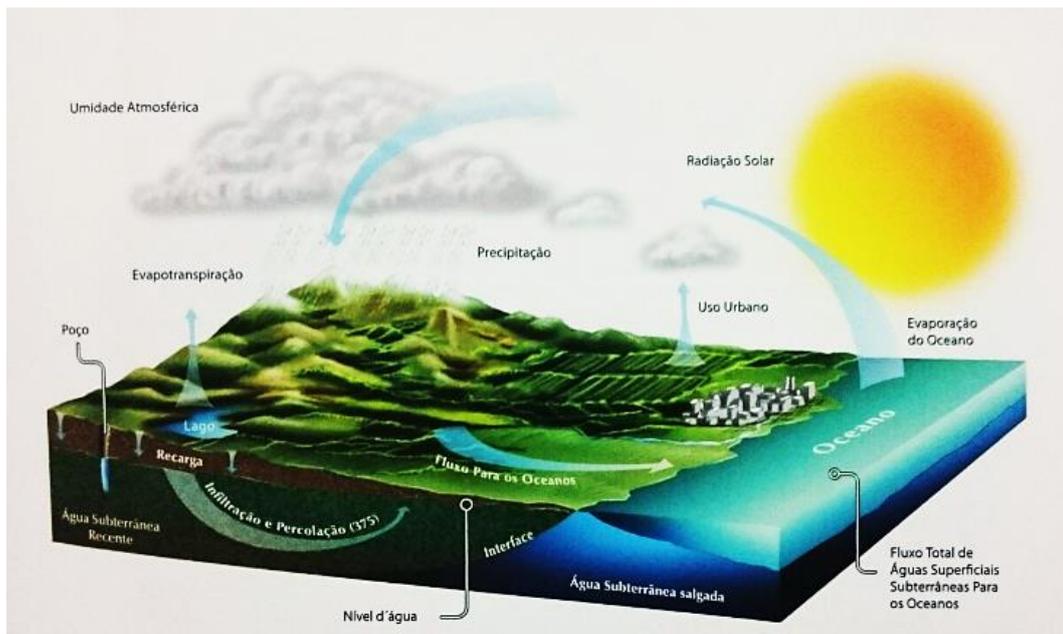
Son aquellas que se encuentran sobre la superficie de la tierra y son ríos, lagos, lagunas, etc., tienen la peculiaridad de ser aguas dulces, renovables pero limitadas y vulnerables, son escasas, por sufrir un permanente conflicto de intereses debido a su estado de recurso esencial, no sólo para la mantención de los procesos vitales, sino también para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente (Gonzales, s.f.), motivo por el cual Solanes (1998), manifiesta que el agua debe ser reconocido como un recurso económico.

Durante el ciclo del agua (Figura1) se modifican las características físicas, químicas y microbiológicas, por contaminantes naturales y antrópicas, este último se produce a causa

de las diversas actividades desarrolladas por el ser humano, mientras que las naturales son muy dispersas y no provocan altas concentraciones de contaminantes, a excepción de lugares muy concretos relacionados con yacimientos mineros (García, 2009).

Figura 1.

Ciclo del Agua



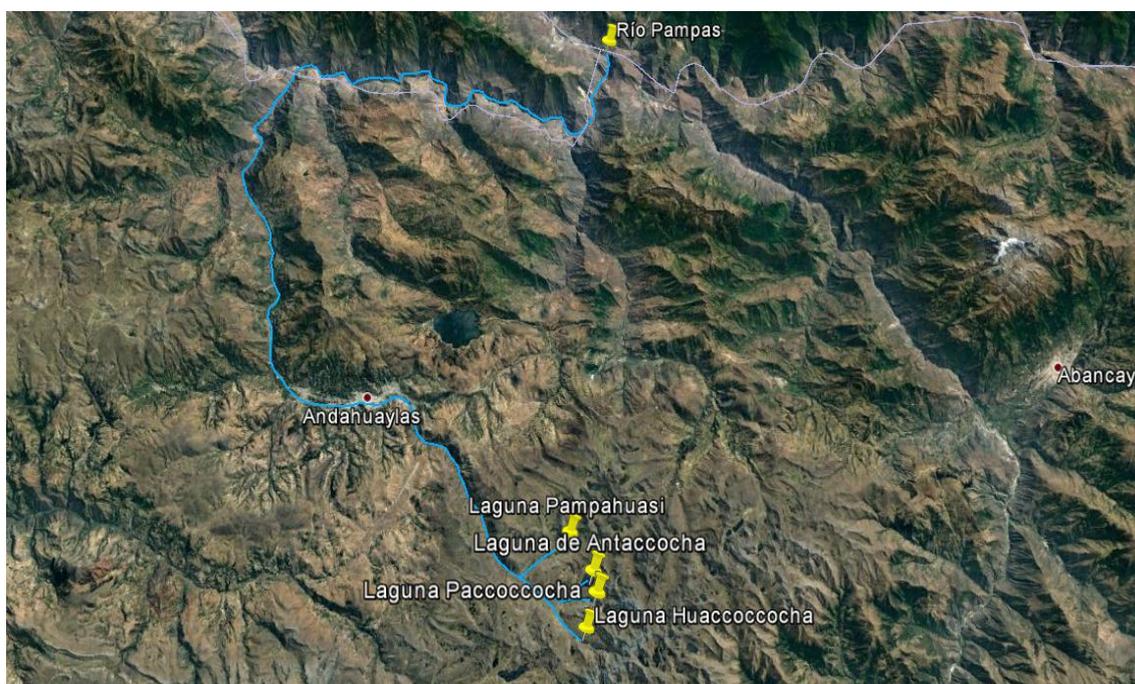
Fuente: Adaptado de Murck, B., Skinner, B., y Potter, S. (1995). Environmental Geology.

Jhon Wiley y Sons. Inc., New York, USA.

2.2.2. Microcuenca Chumbao

En la figura 2 se muestra la microcuenca del Chumbao, la cual nace en la zona alto andina por drenaje de las aguas de las lagunas Huachoccocha, Paccoccocha, Antacocha y Pampahuasi, ubicadas a 4400 m s. n. m., esta microcuenca pertenece al sistema hidrográfico de la cuenca Pampas (MINAG, 1980).

Por otra parte, la distribución de precipitaciones mensuales proporcionada con información pluviométrica por el SENAMHI (2010) indican un período de estiaje más marcado entre los meses de junio a agosto frente al período de precipitación en el resto del año y más acrecentado en el verano.

Figura 2*Microcuenca Chumbao*

Fuente: Extraído de Google Earth.

2.2.3. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Parámetros físicos del agua

Spellman y Drinan (2000), mencionan que las características físicas del agua permiten definir la calidad de un abastecimiento de agua, las cuales son: turbiedad, color, sabor, olor, sólidos, conductividad, temperatura, etc.

La conductividad es una medida indirecta de sólidos disueltos en el agua, este parámetro está relacionado con la presencia de iones disueltos especialmente calcio, magnesio, sodio, fósforo, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, cuanto mayor sea la cantidad de iones disueltos mayor será la conductividad del agua (Sierra, 2011). Para estudios en cuerpos acuáticos, los resultados se miden normalmente en campo con el uso de sensores (conductímetro) debidamente calibrado. El valor se da a través de la medida leída por el sensor y la unidad presentada como $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Bem y Dombroski, 2016).

Los sólidos suspendidos son indicadores ambientales importantes para determinar cambios geomorfológicos, contaminación, producción primaria y cambio climático, son capaces de transportar cargas de nutrientes adsorbidos, pesticidas, metales pesados y otras toxinas; son las responsables de la disminución de la penetración de la luz en el agua, afectando la alimentación de los peces, el proceso de fotosíntesis y la temperatura del agua, estos dos últimos relacionados con el cambio climático (Salama y Monbaliu, 2004)

Parámetros químicos del agua

Durante el ciclo hídrico (Figura 1), el agua en sus diferentes estados entra en contacto con sustancias presentes en la atmósfera, suelo, vegetación y subsuelo incorporándolas a su composición ya sea por disolución o arrastre, asimismo la fauna y flora acuática al llevar a cabo diferentes procesos desprenden y consumen distintas sustancias, estos aspectos modifican la composición química natural del agua, es por ello que las aguas presentan en su composición carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, fosfatos, silicatos, metales como elementos traza y gases disueltos como oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono, estos compuestos químicos son empleados como indicadores que permiten vigilar y monitorear los recursos hídricos (Davis y Masten, 2005 y UPCT, s.f.).

Algunos de los parámetros químicos medidos en el agua son alcalinidad, acidez, dureza, pH, materia orgánica (Carbono orgánico total), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), cloro, fluoruros, sulfatos, sulfuros, fósforo, nitrógeno, amoníaco, nitratos, nitritos, fosfatos, aceites, grasas, hidrocarburos, detergentes y metales (Romero, 2009).

La alcalinidad es causada principalmente por sales de ácidos débiles o bases fuertes; mide la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos, pero en niveles elevados puede proporcionar sabor desagradable al agua, en aguas naturales la alcalinidad se debe a la presencia de iones carbonatos y bicarbonatos (Sierra, 2011 y Bem y Dromboski, 2016).

La dureza en el agua es producto de la existencia de cationes bivalentes, principalmente de calcio y magnesio, las cuales ingresan al agua por disolución natural de las formaciones rocosas presentes en el suelo, asimismo podemos encontrar dos tipos de durezas la carbonácea y no carbonácea, la primera es generada por la combinación de la alcalinidad natural con los iones metálicos calcio (Ca^{2+}), y magnesio (Mg^{2+}), mientras que la segunda se debe a la presencia de sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-) y nitratos (NO_3^-) (Sierra, 2011 y Romero, 2009). Por otra parte, la dureza representa un indicador de la calidad de las aguas industriales y de consumo (Capote, Matute y Rojas, 2015)

Entre los gases disueltos en el agua, el oxígeno (O_2) es uno de los más importantes en dinámica y en la caracterización de los ecosistemas acuáticos, su solubilidad está en función de varios factores como temperatura, presión, coeficiente de solubilidad, tensión de vapor, salinidad y composición fisicoquímica del agua (Marín, 2003). Las pérdidas de oxígeno en el agua se deben a la descomposición de materia orgánica, pérdidas para la atmósfera, repulsión de organismos acuáticos y oxidación de iones metálicos como hierro y manganeso, sin embargo, esta disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el agua interfiere en la vida de algunos organismos acuáticos y causa molestias de tipo estético, asimismo cabe mencionar que las principales fuentes de oxígeno en el agua provienen de la atmósfera y la fotosíntesis (Assis, 1998).

La importancia de la medida de la demanda bioquímica de oxígeno radica en que se obtiene información de la biodegradabilidad de la muestra, es decir, indica la cantidad de oxígeno necesario para destruir, estabilizar o degradar la materia orgánica, considerando solamente la actividad microbológica (Rodríguez, 1998 y Sierra, 2011).

El fósforo total es otro parámetro químico que se emplea para la evaluación de la contaminación, toda forma de fósforo presente en aguas naturales, tanto en la forma iónica como en la forma completada, se encuentra en forma de fosfato. El fósforo presente en los

ecosistemas acuáticos continentales procede de fuentes naturales y artificiales, entre las fuentes naturales, las rocas de la cuenca de drenaje constituyen la fuente básica de fosfato, mientras que las artificiales provienen de las actividades desarrolladas por el hombre (Assis, 1998).

Parámetros microbiológicos del agua

El control de los parámetros microbiológicos del agua se lleva a cabo mediante la enumeración de bacterias indicadoras de contaminación, estas bacterias pueden ser utilizadas para valorar la calidad de aguas destinadas al consumo humano, agricultura, industria y recreación (Bachoon, Markand, Otero, Perry y Ramsubaugh, 2010). La determinación bacteriológica más frecuente estima la cantidad de microorganismos del grupo coliformes, el cual incluye dos géneros: *E. coli* y *Aerobacter aerogenes* (Davis y Masten, 2005).

2.2.4. Calidad de agua

La calidad de agua depende de factores naturales y antrópicos que pueden alterar la composición física química y microbiológica del agua. (ONU, 2013). La calidad de agua comprende una serie de parámetros de comparación de una muestra de agua con unas directrices de calidad o estándares de calidad ambiental (ECA) cumpliendo con los parámetros físicos, químicos y biológicos establecidos, con el fin de darle un uso específico, el cual varía según la actividad (Cortez, 2009). Los usos estipulados para el recurso hídrico dependen de la calidad de este, según la normatividad peruana (D.S. N°004-2017-MINAM) son poblacional y recreacional; extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales; riego de vegetales y bebida de animales; y conservación del ambiente acuático.

En la valoración y evaluación de la calidad del agua se emplean diversas metodologías como la comparación de los parámetros con la normatividad vigente; los indicadores ICA (índice de calidad del agua) e ICO (índice de contaminación del agua)

(Samboni, 2009). En ese contexto, la valoración de la calidad del agua toma cada vez más importancia, los índices de calidad del agua engloban varios parámetros en su mayoría físicoquímicos y en algunos casos microbiológicos que permiten reducir la información a una expresión sencilla o un valor que califica y cualifica la fuente de agua, conocida como: ICA e ICO (Samboni *et al.*, 2007)

2.2.5. Índice de contaminación de agua (ICO)

Ramírez *et al.* (1997) y Ramírez, Restrepo y Cardeñoso (1999) desarrollaron los índices de contaminación (ICO) a partir del análisis multivariable aplicado a parámetros físicos, químicos y microbiológicos resultante de diferentes estudios limnológicos.

Los índices se desarrollaron con base en legislaciones de diversos países, acorde con las concentraciones de los diversos parámetros y los usos potenciales de las aguas, estos índices evalúan el nivel de contaminación del agua mediante la agrupación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que denotan la misma condición ambiental.

La Tabla 1 muestra los índices de contaminación de agua, estos índices son calculados a partir de parámetros físicos, químicos y microbiológicos asimismo fueron agrupados de acuerdo a la expresión que se emplea para su cálculo, el índice de contaminación por mineralización y materia orgánica se calcula por el promedio aritmético; el índice de contaminación por sólidos suspendidos, trófico, temperatura, pH, comunidades biológicas e hidrocarburos se calcula por lectura directa y el índice de contaminación por toxicidad por una ecuación.

Tabla 1

Índices de Contaminación

ICO	Indicador	Expresión
Mineralización ICOMI	Conductividad, dureza y alcalinidad	Ecuación promedio
Materia orgánica ICOMO	DBO, % saturación oxígeno y coliformes totales	aritmético

ICO	Indicador	Expresión
Sólidos ICOSUS	Sólidos suspendidos totales	
Trófico ICOTRO	Fósforo total	
ICOTEM	Temperatura (vertimiento y receptor)	
ICO pH	pH	Ecuación lectura directa
Biológico ICOBIO	Comunidades biológicas	
Hidrocarburos	Hidrocarburos aromáticos, alifáticos en peces y sedimentos	
Toxicidad ICOTOX	Bioensayos (unidades toxicas)	Ecuaciones

Nota. Fuente: Ramírez et al (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. Ciencia Tecnología y Futuro. 1(5), 89-99.

Ramírez *et al.* (1997) presenta las fórmulas para determinar los índices de contaminación; ICOMI se calcula con la conductividad, dureza y alcalinidad, el ICOMO se calcula con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, el ICOSUS se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos y finalmente el ICOTRO se determina por la concentración del fósforo total. Estos cuatro índices de contaminación califican diferentes cualidades de aguas, complementando el panorama ambiental de un curso hídrico. Los índices son de fácil estimación en virtud del reducido número de variables involucradas, la aplicación de estos índices representa claras ventajas económicas, por lo que sería muy importante vincularlos a la legislación ambiental nacional. Los índices de contaminación de agua reflejan nula o baja contaminación cuando son próximos a cero y alta polución en la medida que se aproximan a uno. La tabla 2 muestra los valores y rangos con los cuales se mide el grado de contaminación que presenta el recurso hídrico y la escala de color en función del grado de contaminación.

Tabla 2*Valores y rangos ICO*

ICO	Contaminación	Escala de color	Caracterización
0 – 0,2	Ninguna	Azul	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos
>0,2 – 0,4	Baja	Verde	Con leve incidencia antrópica
>0,4 – 0,6	Media	Amarillo	Notable actividad antrópica
>0,6 – 0,8	Alta	Naranja	Incidencia importante de contaminación
>0,8 – 1	Muy alta	Rojo	Áreas muy contaminadas

Nota. Fuente: Ramírez, et al. (1999). *Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. Ciencias Tecnologías y Futuro. 1(5), 89-99.*

Índice de contaminación por mineralización

El índice de contaminación por mineralización se calcula a partir de la ecuación 1, para los cual se requiere determinar la conductividad, dureza y alcalinidad (Ramírez et al., 1997)

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}}) \quad \text{Ec. (1)}$$

El índice de conductividad se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Log}_{10} I_{\text{conduc.}} = -3,26 + 1,34 \text{Log}_{10} \times \text{conductividad } (\mu\text{S/cm}) \quad \text{Ec. (2)}$$

Conductividad mayor a 270 $\mu\text{S/cm}$, tiene un índice de conductividad = 1.

El índice de dureza se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Log}_{10} I_{\text{dureza}} = -9,09 + 4,40 \text{Log}_{10} \times \text{dureza } (\text{mg/L}) \quad \text{Ec. (3)}$$

Dureza mayor a 110 mg/L , tiene un índice de dureza = 1.

Dureza menor a 30 mg/L , tiene un índice de dureza = 0.

El índice de alcalinidad se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{alcalinidad} = -0,25 + 0,005 \times \text{alcalinidad (mg/L)} \quad \text{Ec. (4)}$$

Alcalinidad mayor a 250 mg/L, tiene un índice de alcalinidad = 1.

Alcalinidad menor a 50 mg/L, tiene un índice de alcalinidad = 0.

Índice de contaminación por materia orgánica

El índice de contaminación por materia orgánica se calcula a partir de la ecuación 5, empleando DBO₅, coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno (Ramírez *et al.*, 1997).

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{coliformes\ totales} + I_{\% \text{oxigeno}}) \quad \text{Ec. (5)}$$

El índice de demanda bioquímica de oxígeno se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \text{Log}_{10} \times DBO \text{ (mg/L)} \quad \text{Ec. (6)}$$

Demanda bioquímica de oxígeno mayor a 30 mg/L, tiene $I_{DBO} = 1$

Demanda bioquímica de oxígeno menor a 2 mg/L, tiene $I_{DBO} = 0$

El índice de coliformes totales se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{Col. Tot.} = -1,44 + 0,56 \text{Log}_{10} \times Col. tot. (NMP/100mL) \quad \text{Ec. (7)}$$

Coliformes totales mayores a 20 000 NMP/100mL, tienen $I_{Col. Tot.} = 1$

Coliformes totales menores a 500 NMP/100mL, tienen $I_{Col. Tot.} = 0$

El índice de porcentaje de saturación se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{oxigeno \%} = 1 - 0,01 \times \text{oxigeno}\% \quad \text{Ec. (8)}$$

Porcentaje de saturación de oxígeno mayor a 100% tienen $I_{\% \text{oxigeno}} = 0$

Índice de contaminación por sólidos suspendidos

El índice por sólidos suspendidos se determina mediante la ecuación 9, según Ramírez *et al.* (1997).

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \text{sólidos suspendidos (mg/L)} \quad \text{Ec. (9)}$$

Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L, tienen $ICOSUS = 1$

Sólidos suspendidos menores a 10 mg/L , tienen $ICOSUS = 0$

Índice de contaminación trófico

Se determina por lectura directa de la concentración del fósforo total que define por sí misma una categoría discreta. La Tabla 3 muestra la categoría y concentración de fósforo total, concentraciones menores a $0,01 \text{ mg P/L}$ indican un estado oligotrófico, aguas con baja producción de algas y muy claras; mientras que valores entre $0,01$ a $0,02 \text{ mg P/L}$ indican un estado mesotrófico, aguas claras y mantienen lechos de plantas acuáticas sumergidas y niveles medios de nutrientes, por otro lado valores entre $0,02$ y 1 mg P/L indican un estado eutrófico, se trata de un cuerpo de agua con niveles altos de nutrientes y por último valores mayores a 1 mg P/L indican un estado hipertrófico, con niveles muy altos de nutrientes (Ramírez *et al.*, 1997).

Tabla 3

Índice de contaminación por trófico

Categoría	Concentración de fósforo total
Oligotrófico	$< 0,01 \text{ (mg/L)}$
Mesotrófico	$0,01 - 0,02 \text{ (mg/L)}$
Eutrófico	$0,02 - 1 \text{ (mg/L)}$
Hipertrófico	$> 1 \text{ (mg/L)}$

Nota. Fuente: Ramírez et al., (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. Ciencia Tecnología y Futuro. 1(3), 135-153.

2.3. Definición De Términos

2.3.1. Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos son empleados para determinar la calidad del agua, generando depósitos de lodos y condiciones anaerobias en medio acuático, además sirve de protección para los microorganismos de los agentes desinfectantes (Sierra, 2011)

2.3.2. Conductividad

Se define como la capacidad de agua para transportar corriente eléctrica que depende de la concentración total de sustancias disueltas (Romero, 2009)

2.3.3. Alcalinidad

Capacidad para neutralizar ácidos, su presencia en aguas naturales se debe a presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos (Romero, 2009).

2.3.4. Dureza

La dureza del agua es la cantidad de calcio y magnesio disuelto en el agua (Spellman y Drinan, 2000)

2.3.5. Oxígeno disuelto (% Saturación)

Es la cantidad de oxígeno presente en el agua, indica presencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas (Romero, 2009).

2.3.6. Demanda bioquímica de oxígeno

Es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un período de cinco días y 20°C (Romero, 2009).

2.3.7. Fósforo total

Es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. El fósforo se encuentra en el agua en varias formas: ortofosfatos, polifosfatos, fosfatos orgánicos; su determinación es necesaria en polución de ríos, lagos y embalses (Marins, de Paula Philo, y Sobreira, 2007).

2.3.8. Coliformes totales

Bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gran negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a 35°C (Romero, 2009)

Capítulo III

Materiales Y Métodos

3.1. Aspectos Generales Ubicación Del Estudio

3.1.1. *Ubicación geográfica*

La zona de estudio estuvo localizada geográficamente en la sierra sur, en la región de Apurímac provincia de Andahuaylas, con coordenadas $13^{\circ}46'38,4''S$ y $073^{\circ}15'32,3''W$ en el primer punto (P1) y con coordenadas $13^{\circ}35'26,4''S$ y $073^{\circ}27'00,8''W$ en el punto ocho (P8), con una altura de 4079 y 2572 m.s.n.m. respectivamente.

3.1.2. *Ubicación hidrográfica*

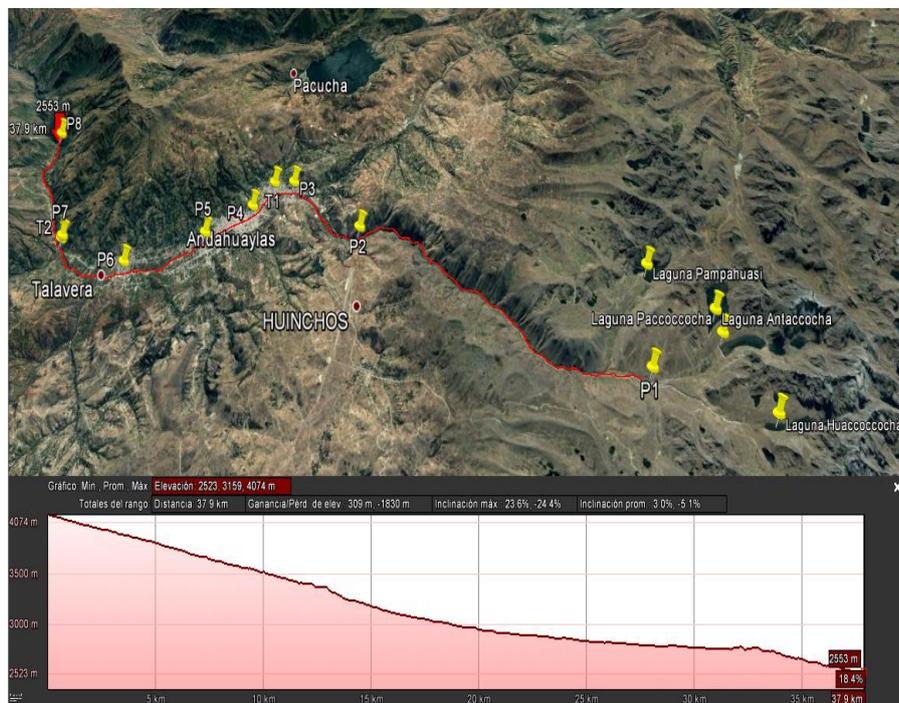
Hidrográficamente la microcuenca Chumbao pertenece a la cuenca del río Pampas, afluente del río Apurímac. Los principales tributarios son las lagunas Pampahuasi, Paccoccocha, Antaccocha y Huachoccocha. Los límites de la microcuenca Chumbao son por el este la microcuenca Cavira, por el oeste la microcuenca Huancaray, por el norte la microcuenca de Pacucha y por el sur las microcuencas Chacña, Lucre y Ccorahuire.

3.1.3. *Área de estudio*

El área de estudio se muestra en la Figura 3, en ella se muestra la microcuenca del río Chumbao, la cual fue delimitada para el estudio, a partir de P1 hasta P8.

Figura 3

Área de estudio microcuenca Chumbao



Fuente: Extraído de Google Earth.

3.2. Tipo De Investigación

El enfoque de investigación fue cuantitativo, porque se refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes así como describir, explicar, comprobar y predecir los fenómenos; durante la investigación se evaluaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales fueron empleados para determinar los índices de contaminación (ICO) del agua, también se realizó un análisis estadístico con el fin de establecer pautas del comportamiento espacial y temporal de los índices de contaminación, posteriormente se obtuvieron conclusiones sobre el grado de contaminación que presentó la microcuenca del Chumbao. El alcance de la investigación fue explicativo, porque se explicó el comportamiento de la variación espacial y temporal de los índices de contaminación por sólidos suspendidos, materia orgánica, mineralización y trófico en el agua de la microcuenca de Chumbao. Por otra parte, la presente investigación es de tipo aplicada porque se aplicaron los

conocimientos teóricos en el campo para realizar un diagnóstico sobre la variación espacial y temporal de la contaminación por sólidos suspendidos, materia orgánica, mineralización y trófico en el agua de la microcuenca Chumbao (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014)

3.3. Diseño De Investigación

El diseño de investigación empleado para la evaluación de la variación espacial de los parámetros e índices de contaminación fue el Diseño Completamente al Azar (DCA), la Tabla 4 muestra la matriz de diseño DCA.

Tabla 4

Matriz de diseño DCA

Factor de interés (Medición espacial)		
PM 01	....	PM 08
R _{1,1}	....	R _{8,1}
R _{1,2}	....	R _{8,2}

Nota. Donde, PM: medición espacial (punto de muestreo); R_i: Índices de contaminación del factor *i*

Por otra parte, asimismo se aplicó el Diseño de Bloque Completo al Azar (DBCA), para evaluar la variación de los parámetros e índices de contaminación durante las temporadas de lluvia y estiaje. La tabla 5 muestra la matriz del diseño DBCA.

Tabla 5

Matriz de diseño DBCA

Factor de bloque (Medición temporal)	Factor de interés (Medición espacial)		
	PM 01	....	PM 08
Temporada de lluvia	R _{1,1}	....	R _{8,1}
Temporada de estiaje	R _{1,2}	....	R _{8,2}

Nota. Donde, PM: medición espacial (punto de muestreo); R_{ij}: Índices de contaminación del factor *i* y bloque *j*

3.4. Población De Estudio

Se consideró como población de estudio las aguas de la microcuenca del río Chumbao.

3.5. Muestra

Se obtuvieron muestras de agua del tramo comprendido desde el punto P1 con coordenadas 13°46'38,4" S y 073°15'32,3" W, hasta el punto P8 con coordenadas 13°35'26,4" S y 073° 27'00,8" W, la Tabla 6 muestra las coordenadas de los puntos de muestreo.

Tabla 6

Coordenadas de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Coordenadas	
P1	13°46'38,4"S	073°15'32,3"W
P2	13°41'10,9"S	073°20'19,7"W
P3	13°39'23,4"S	073°21'30,7"W
P4	13°39'33,2"S	073°22'38,2"W
P5	13°39'37,0"S	073°23'52,7"W
P6	13°39'27,4"S	073°25'50,8"W
P7	13°38'17,0"S	073°27'10,6"W
P8	13°35'26,4"S	073°27'00,8"W

Nota. Donde, S: Latitud Sur; W: Latitud Oeste

3.6. Tipo De Muestreo

El muestreo fue por juicio del investigador, se consideró la existencia de afluentes naturales y efluentes.

3.7. Métodos Y Técnica Para La Recolección De Datos

3.7.1. *Determinación de sólidos suspendidos totales*

Para la determinación de sólidos suspendidos totales se utilizó el método gravimétrico (Method 2540-D).

Procedimiento

Se registró el peso del filtro y la placa de vidrio en gramos (P_0). Posteriormente se colocó el filtro en el equipo de filtración y se filtró 400 mL de muestra, se retiró con cuidado el filtro del equipo de filtración y se transfirió a la placa, la cual se secó a 105° por 1 hora en una estufa, se enfrió en un desecador para equilibrar la temperatura y se registró el peso en gramos (P_1).

La cantidad de sólidos suspendidos totales se calculó con la ecuación 10.

$$SST (mg/L) = \frac{(P_1 - P_0) \times 1000000}{\text{Volumen muestra (mL)}} \quad \text{Ec. (10)}$$

3.7.2. *Determinación de la conductividad*

Para la determinación de la conductividad se utilizó el método electrométrico.

Procedimiento

Previamente se calibró el multiparámetro con las soluciones estándar, se encendió el equipo, la sonda de medición se introdujo al cauce del río, enseguida se esperó a que la lectura se estabilice y se registró el dato en el equipo, posteriormente se apagó el equipo y se enjuagó con agua destilada, para la próxima medición.

3.7.3. *Determinación de la alcalinidad*

Para la determinación de la alcalinidad se utilizó el método espectrofotométrico, la lectura se realizó a 610 nm.

Procedimiento

Se encendió el espectrofotómetro y se seleccionó el método Alcalinidad, luego se llenó la cubeta con 10 mL de muestra hasta la marca, se tapó e introdujo en el equipo, se

presionó la tecla cero, la pantalla mostró “0” y se tuvo listo el equipo para la medición. Posteriormente se retiró la cubeta, se agregó 1 mL de reactivo de alcalinidad (HI7755), se colocó la tapa y se invirtió 5 veces, se volvió a colocar la cubeta en el equipo y se presionó la tecla lectura para comenzar con la medición. El equipo mostró el resultado en mg de carbonato de calcio/L.

3.7.4. Determinación de la dureza

Para la determinación de la dureza se utilizó el método espectrofotométrico, la lectura se realizó a 466 nm (Method 130.1)

Procedimiento

Se encendió el espectrofotómetro y se seleccionó el método Dureza, luego se tomó la cubeta y se añadió 0,5 mL de muestra, 0,5 mL de reactivo indicador de dureza (HI93735IND-0) y se llenó la cubeta hasta la marca de 10 mL con el reactivo A rango bajo de dureza (HI93735A-LR), se agregó dos gotas del reactivo tampón de dureza, se colocó la tapa e invirtió 5 veces para mezclar, se colocó la cubeta en el equipo y se presionó la tecla cero, la pantalla mostró “0” y se tuvo listo el equipo para la medición. Posteriormente se retiró la cubeta y se agregó el contenido de un paquete del reactivo de fijación (HI93735C-0), se cerró la tapa y agito suavemente por 20 segundos para mezclar, se reinsertó la cubeta y se procedió con la lectura, el equipo mostró la concentración en mg de carbonato de calcio/L.

3.7.5. Determinación del porcentaje de oxígeno

Para la determinación del porcentaje de oxígeno se utilizó el método electrométrico.

Procedimiento

Previamente se calibró el multiparámetro con las soluciones estándar, se encendió el equipo, la sonda de medición se introdujo al cauce del río, enseguida se esperó a que la

lectura se estabilice, y se registró los datos en el equipo, posteriormente se apagó el equipo y se enjuagó con agua destilada, para la próxima medición.

3.7.6. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno

Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno se utilizó el método respirométrico/manométrico – Oxitop (Method 4500-0C&5210B)

Preparación de la solución tampón de fosfato

Se preparó una solución tampón de fosfato con 8,5 g de fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4 p. a), 21,75 g de fosfato dibásico de potasio (K_2HPO_4 p. a), 33,4 g de fosfato de sodio heptahidratado ($Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ p. a), 1,7 g de cloruro de amonio (NH_4Cl p. a), y se enrasó con agua en una fiola de 1000 mL.

Preparación de la solución sulfato de magnesio ($MgSO_4$)

Se preparó una solución de sulfato de magnesio con 22,5 g de sulfato de magnesio heptahidratado ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$ p. a), se enrasó con agua en una fiola de 1000 mL.

Preparación de la solución cloruro de calcio ($CaCl_2$)

Se preparó una solución de cloruro de calcio con 27,5 g de cloruro de calcio anhidro ($CaCl_2$ p. a), enrasó con agua en una fiola de 1000 mL.

Preparación de la solución cloruro de hierro ($FeCl_3$)

Se preparó una solución de cloruro de hierro con 0,25 g de cloruro de hierro hexahidratado ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$ p. a), se enrasó con agua en una fiola de 1000 mL.

Preparación de la solución cloruro de amonio (NH_4Cl)

Se preparó una solución de cloruro de con 38,2 g de cloruro de amonio (NH_4Cl p. a), se neutralizó el pH a 7 con KOH , se enrasó con agua en una fiola 1000 mL.

Preparación de la solución mix de nutrientes

Se preparó la solución mix de nutrientes con la siguiente proporción: 3 mL de solución de tampón fosfato, 1 mL de solución de sulfato de magnesio, 1 mL de solución de cloruro férrico, 1 mL de cloruro de calcio, 1 mL de solución de cloruro de amonio.

Procedimiento

Se tomó una botella EVO-DBO y se transfirió volumen de la muestra y se pipeteó la solución de nutriente de acuerdo con el factor de dilución mostrado en la Tabla 7, se colocó la barra magnética dentro de la botella, se colocó el depósito de goma en la boca de la botella con 2 a 4 perlas de *NaOH* (*p. a.*), se cerró la botella con el sensor y se colocó sobre el sistema de agitación el cual se colocó en la incubadora refrigeradora a 20°C, se encendió el sensor y dejó por 5 días para la lectura.

Tabla 7

Especificaciones de los valores de muestra y solución nutriente

Factor de multiplicación	DBO esperada (mg/L)	Volumen de muestra (mL)	Volumen de solución del nutriente (mL)
1	0 – 40	432	1,7
2	0 – 80	365	1,5
5	0 – 200	250	1,0
10	0 – 400	164	0,6
20	0 – 800	97	0,4
50	0 – 2000	43,5	0,2

3.7.7. Determinación de fósforo total

Para la determinación de fósforo total se utilizó el método espectrofotométrico, la lectura se realizó a 610 nm (Method 365.2, 4500-PE, ascorbic acid method)

Procedimiento

Se precalentó el reactor HANNA a 150°C, se tomó y retiró la tapa de un vial HI93758V-0 reactivo de fósforo, se agregó 5 mL de muestra manteniendo el vial en un ángulo de 45 grados y un sobre de reactivo persulfato de potasio, se tapó y se agitó suavemente hasta que todo el polvo se disuelva, se insertó el vial en el reactor por 30 min a 150°C, al finalizar la digestión se colocó los viales con cuidado en la gradilla de tubos de ensayo y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se encendió el espectrofotómetro y se seleccionó el método Fósforo total, se insertó el adaptador de vial de 13 mm, se retiró la tapa del vial y se agregó 2 mL de HI93758C-0 solución de NaOH 1,54 N manteniendo el vial a 45 grados, se colocó la tapa e insertó el vial en el adaptador, se presionó la tecla cero, la pantalla mostró “0” y se tuvo listo el equipo para la medición. Posteriormente se retiró el vial y se agregó el sobre de HI93758-0 reactivo de fósforo, se agito durante dos minutos hasta que el polvo se disuelva, se reinserto y se inició con la lectura. La pantalla mostró los resultados como mg P/L.

3.7.8. *Determinación de coliformes totales*

Para la determinación de los coliformes totales se utilizó el método de tubos múltiples (Method 9221B-9221C)

Preparación de caldo Sulfato de Laurilo

Se disolvió 35,6 g de caldo sulfato de laurilo en 1000 mL de agua desmineralizada, luego se transfirió el caldo en tubos de ensayo dotados de tubitos de fermentación, posteriormente se esterilizó en autoclave por 15 min a 121 °C.

Preparación de caldo Verde Brillante

Se disolvió 40 g de caldo verde brillante en 1000 mL de agua desmineralizada, luego se transfirió el caldo en tubos de ensayo dotados de tubitos de fermentación, posteriormente se esterilizó en autoclave por 15 min a 121 °C.

Procedimiento

La muestra de agua se agregó a los tubos con caldo sulfato de laurilo, se incubó a 35°C por 24 horas, se registró los tubos que presentaron formación de gas (prueba presuntiva), posteriormente de cada tubo que contenía gas se transfirió una asada a los tubos con caldo verde brillante, se incubó a 35°C por 48 horas, se confirmó la presencia de coliformes por la presencia de gas (prueba confirmativa), se registró el número de tubos confirmados y se procedió a la lectura del NMP de coliformes totales (Anexo 11) para expresar el resultado.

3.8. Procesamiento Y Análisis Estadístico

3.8.1. *Procesamiento de datos*

El procesamiento de datos se realizó empleando los paquetes estadísticos Statgraphics centurión XVI.II y Statistica V8, los resultados se presentan en tablas compuestas, haciendo uso de estadística descriptiva, además se presentan figuras de medias para observar la igualdad o diferencia entre puntos de muestreo durante las temporadas de avenidas y estiaje en el presente estudio.

3.8.2. *Análisis estadístico*

Prueba de diferencia significativa

Los datos se analizaron a través de un ANOVA, la prueba de hipótesis se realizó con un nivel de significancia del 5%.

La hipótesis estadística probada para la prueba significativa fue:

Hipótesis nula, H_{01} : Los niveles de los índices de contaminación en los puntos de muestreo en la microcuenca Chumbao no presentan diferencia significativa.

Hipótesis nula, H_{02} : Los niveles de los índices de contaminación en las temporadas de muestreo en la microcuenca Chumbao no presentan diferencia significativa.

Prueba de rangos múltiples

Se aplicó el test Tukey a fin de identificar los puntos de muestreo que mostraron diferencia significativa. Este test se realizó con un nivel de significancia del 5%.

Prueba de correlación de Pearson

Se aplicó una prueba de correlación de Pearson, a fin de evaluar la relación que existe entre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con los índices de contaminación. Se empleó un nivel de significancia del 5%.

Capítulo IV

Resultados

4.1. Puntos De Muestreo

La toma de muestras se realizó de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado con Resolución Jefatura N° 010-2016-ANA (ANA, 2016), las características de toma de muestras se muestran en la Tabla 8; en total fueron 8 puntos de muestreo distribuido espacialmente en el tramo de estudio como se pudo apreciar en la Figura 3.

Tabla 8

Características de la toma de muestras

Puntos de muestreo	Global Positioning System (GPS)		Hora de muestreo		Cantidad (mL)
			Lluvia (28/03/2018)	Estiaje (02/08/2018)	
P1	13°46'38,4"S	073°15'32,3"W	10:51:57	08:06:16	2015
P2	13°41'10,9"S	073°20'19,7"W	15:05:11	10:37:05	2015
P3	13°39'23,4"S	073°21'30,7"W	15:38:46	10:57:09	2015
P4	13°39'33,2"S	073°22'38,2"W	16:06:18	11:18:06	2015
P5	13°39'37,0"S	073°23'52,7"W	16:22:36	11:30:43	2015
P6	13°39'27,4"S	073°25'50,8"W	16:39:24	11:46:02	2015
P7	13°38'17,0"S	073°27'10,6"W	17:14:33	11:58:28	2015
P8	13°35'26,4"S	073°27'00,8"W	17:41:05	12:30:70	2015

Nota. La cantidad de agua muestrea fue 15 mL en tubos de ensayo para análisis microbiológico y 2000mL en botellas PEAD para análisis físicos y químicos.

4.2. Parámetros Evaluados En La Microcuenca Chumbao

4.2.1. Parámetros físicos

Los parámetros físicos evaluados en la microcuenca del río Chumbao, fueron la conductividad y sólidos suspendidos totales, los cuales fueron determinados en 8 puntos a

lo largo del río Chumbao durante la temporada de lluvia y estiaje, estos permitieron calcular los índices de contaminación.

Los sólidos suspendidos totales fueron determinados por gravimetría empleando una estufa de convección forzada marca Binder y una balanza analítica marca Satourios con resolución de medida de 0,0001 g, los resultados se muestran en la Tabla 9 en ella se puede apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas (p -value $< 0,05$) (Anexo 1), los valores reportados durante la temporada de lluvia oscilaron entre 27,67 mg/L a 136,17 mg/L mientras que en la temporada de estiaje oscilaron entre 3,33 mg/L a 99,56 mg/L, por otro lado se puede apreciar que el coeficiente de variación fue menor al 10% en ambas temporadas.

Tabla 9

Sólidos suspendidos totales en los puntos de muestreo y temporadas

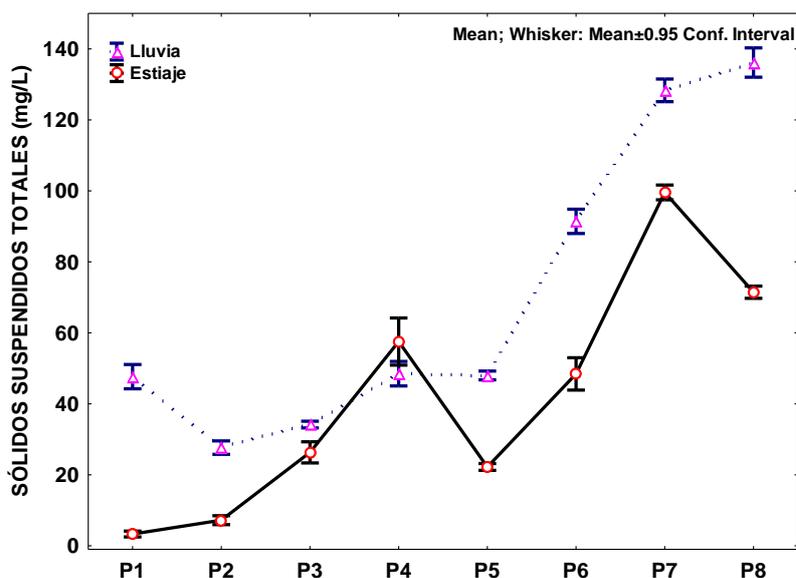
Puntos de Muestreo	Sólidos suspendidos totales (mg/L)							
	Lluvia ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P1	47,67	\pm	1,38 ^A	2,89	3,33	\pm	0,33 ^A	9,91
P2	27,67	\pm	0,76 ^B	2,75	7,22	\pm	0,51 ^B	7,06
P3	34,17	\pm	0,38 ^C	1,11	26,33	\pm	1,20 ^C	4,56
P4	48,50	\pm	1,39 ^A	2,87	57,56	\pm	2,67 ^D	4,64
P5	48,00	\pm	0,50 ^A	1,04	22,22	\pm	0,38 ^E	1,71
P6	91,42	\pm	1,38 ^D	1,51	48,44	\pm	1,84 ^F	3,80
P7	128,33	\pm	1,28 ^E	1,00	99,56	\pm	0,84 ^G	0,84
P8	136,17	\pm	1,66 ^F	1,22	71,44	\pm	0,69 ^H	0,97

Nota: \bar{x} es la media; S es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$. Los datos empleados para su cálculo se muestran en el Anexo 1.

Además, en la Figura 4 se puede apreciar que los sólidos suspendidos se incrementaron de forma gradual durante la temporada de lluvia, mientras que en la temporada de estiaje el incremento se dio a partir del punto 3 con ligeros descensos en los puntos 5 y 8.

Figura 4

Sólidos suspendidos totales en los puntos de muestreo y temporadas



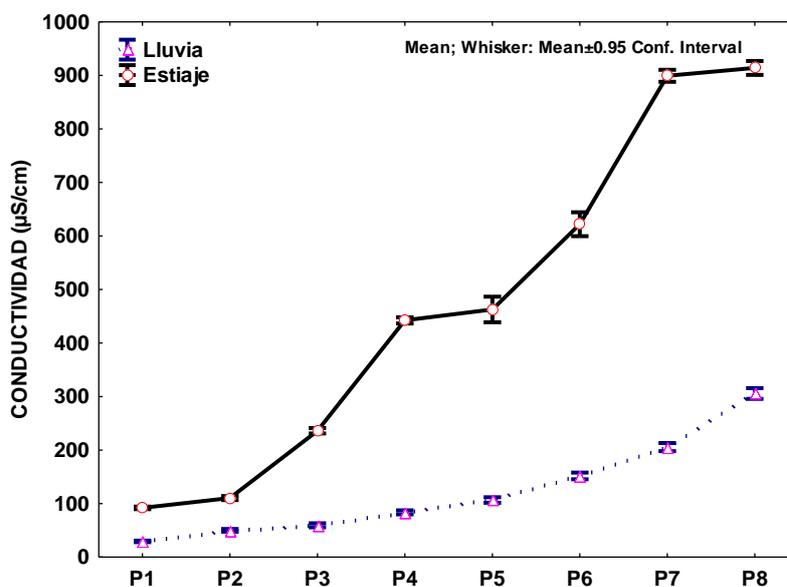
La conductividad se determinó por el método electrométrico empleando un multiparámetro Hanna 9829, los resultados se muestran en la Tabla 10, en ella se puede apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas ($p\text{-value} < 0,05$) (Anexo 2), los valores obtenidos en la temporada de lluvia oscilaron entre 29,33 $\mu\text{S/cm}$ a 305,67 $\mu\text{S/cm}$ y entre 92,00 $\mu\text{S/cm}$ a 914,00 $\mu\text{S/cm}$ en la temporada de estiaje, asimismo el coeficiente de variación fue menor al 3% en ambas temporadas.

Por otra parte, en la Figura 5 se puede observar el comportamiento de la conductividad del agua de la microcuenca Chumbao, durante la temporada de lluvia el incremento fue gradual a partir del punto 2, mientras que en la temporada de estiaje la conductividad presentó un incremento pronunciado a partir del punto 3.

Tabla 10*Conductividad en los puntos de muestreo y temporadas*

Puntos de Muestreo	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)							
	Lluvia ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P1	29,33	\pm	0,58 ^A	1,98	92,00	\pm	1,00 ^A	1,09
P2	50,00	\pm	1,00 ^B	2,00	110,33	\pm	1,53 ^B	1,39
P3	59,33	\pm	1,53 ^C	2,58	236,00	\pm	2,00 ^C	0,85
P4	83,67	\pm	1,53 ^D	1,83	442,33	\pm	2,31 ^D	0,52
P5	106,67	\pm	2,08 ^E	1,95	462,67	\pm	9,61 ^E	2,08
P6	151,67	\pm	2,52 ^F	1,66	622,00	\pm	9,00 ^F	1,45
P7	205,67	\pm	3,06 ^G	1,49	899,33	\pm	4,51 ^G	0,50
P8	305,67	\pm	4,04 ^H	1,32	914,00	\pm	5,20 ^G	0,57

Nota: \bar{x} es la media; S es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$. Los datos empleados para el cálculo se muestran en el Anexo 2.

Figura 5*Conductividad puntos de muestreo y temporadas*

4.2.2. Parámetros químicos

Los parámetros químicos empleados para la determinación de los índices de contaminación fueron la alcalinidad, dureza, % de saturación de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y fósforo total, estos parámetros se evaluaron en dos temporadas lluvia y estiaje, en total fueron 8 puntos evaluados en la zona de estudio.

La alcalinidad se determinó por el método espectrofotométrico para lo cual se empleó un espectrofotómetro Hanna Iris 801, la Tabla 11 muestra los resultados de la alcalinidad expresado como mg CaCO₃/L, en ella se puede observar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas (p-value<0,05) (Anexo 3), los valores de la temporada de lluvia oscilaron entre 0,88 mg/L a 54,55 mg/L; y entre 15,18 mg/L a 191,32 mg/L en la temporada de estiaje, mientras que el coeficiente de variación fue menor del 4%.

Tabla 11

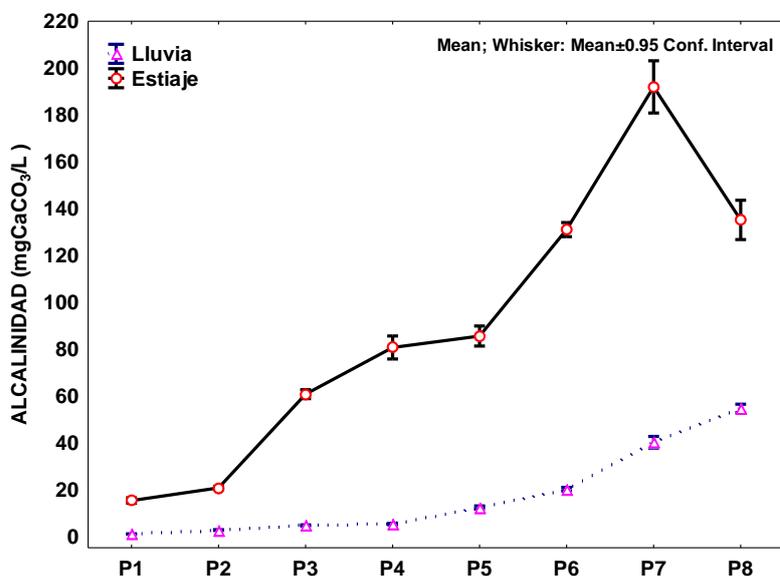
Alcalinidad en los puntos de muestreo y temporadas

Puntos de Muestreo	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)							
	Lluvia ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P1	0,88	\pm	0,02 ^A	2,27	15,18	\pm	0,47 ^A	3,10
P2	2,58	\pm	0,06 ^B	2,33	20,58	\pm	0,27 ^A	1,31
P3	4,54	\pm	0,11 ^C	2,42	60,64	\pm	0,76 ^B	1,25
P4	5,14	\pm	0,12 ^C	2,33	80,59	\pm	1,98 ^C	2,46
P5	12,20	\pm	0,28 ^D	2,30	85,48	\pm	1,72 ^C	2,01
P6	20,05	\pm	0,30 ^E	1,50	130,97	\pm	1,21 ^D	0,92
P7	40,09	\pm	1,00 ^F	2,49	191,32	\pm	3,43 ^E	1,79
P8	54,55	\pm	0,73 ^G	1,34	135,10	\pm	3,38 ^D	2,50

Nota: \bar{x} es la media; S es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$. Los datos empleados para el cálculo se muestran en el Anexo 3.

Figura 6

Alcalinidad en los puntos de muestreo y temporadas



La Figura 6 muestra la alcalinidad del agua, en ella se puede apreciar un incremento pronunciado a partir del punto 3 con un ligero descenso en el punto 8 durante la temporada de estiaje, mientras que en la temporada de lluvia el incremento fue gradual a partir del punto 5.

La dureza del agua se determinó mediante el método espectrofotométrico, empleando un espectrofotómetro Hanna Iris 801, los resultados se muestran en la Tabla 12, en ella se puede apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas ($p\text{-value} < 0,05$) (Anexo 4). Los valores reportados oscilaron entre 13,56 mg/L a 69,80mg/L en la temporada de lluvia, y entre 23,76 mg/L a 250,98 mg/L durante el estiaje, el coeficiente de variación fue menor al 3%.

Tabla 12*Dureza en los puntos de muestreo y temporadas*

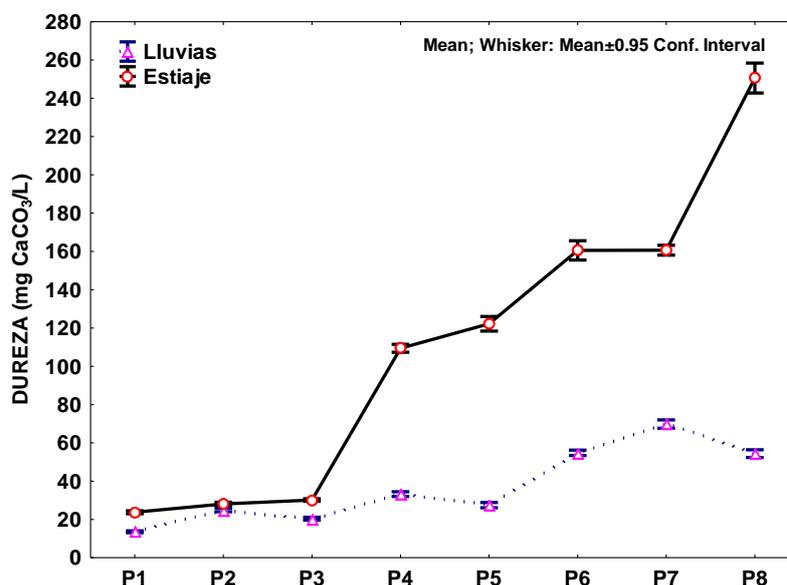
Puntos de Muestreo	Dureza (mg CaCO ₃ /L)							
	Lluvia ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P1	13,56	\pm	0,20 ^A	1,47	23,76	\pm	0,30 ^A	1,26
P2	24,98	\pm	0,38 ^B	1,52	28,09	\pm	0,35 ^{BC}	1,25
P3	20,39	\pm	0,31 ^C	1,52	30,12	\pm	0,27 ^C	0,90
P4	33,21	\pm	0,50 ^D	1,51	109,38	\pm	0,83 ^D	0,76
P5	27,47	\pm	0,56 ^E	2,04	122,19	\pm	1,54 ^E	1,26
P6	54,78	\pm	0,57 ^F	1,04	160,53	\pm	2,02 ^F	1,26
P7	69,80	\pm	0,88 ^G	1,26	160,63	\pm	1,03 ^F	0,64
P8	54,36	\pm	0,82 ^F	1,51	250,58	\pm	3,16 ^G	1,26

Nota: \bar{x} es la media; S es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$. Los datos empleados para el cálculo se muestran en el Anexo 4.

Asimismo, la Figura 7 muestra el comportamiento de la dureza del agua en la microcuenca Chumbao en todos los puntos de muestreo y en ambas temporadas, en ella podemos apreciar que la dureza aumento a partir del punto 4 durante la temporada de estiaje, mientras que en la temporada de lluvias la concentración de la dureza se mantuvo casi constante con ligeros incrementos.

Figura 7

Dureza en los puntos de muestreo y temporadas



El % de saturación de oxígeno se determinó por el método electrométrico, los resultados se muestran en la Tabla 13, en ella se puede apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas ($p\text{-value} < 0,05$) (Anexo 5). Los valores reportados durante la temporada de lluvia oscilaron entre 98,40% a 108,10%, mientras que en la temporada de estiaje oscilaron entre 48,80% a 116,10%, asimismo el coeficiente de variación fue menor al 2%.

Tabla 13

Porcentaje de saturación de oxígeno en los puntos de muestreo y temporadas

Puntos de Muestreo	% Saturación de Oxígeno							
	Lluvias ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P1	104,70	\pm	0,82 ^A	0,78	92,83	\pm	0,71 ^A	0,76
P2	103,50	\pm	1,00 ^{AC}	0,97	95,67	\pm	0,93 ^B	0,97
P3	104,57	\pm	1,10 ^A	1,05	91,70	\pm	0,90 ^{AC}	0,98
P4	101,27	\pm	0,64 ^{BC}	0,63	89,40	\pm	0,89 ^C	1,00

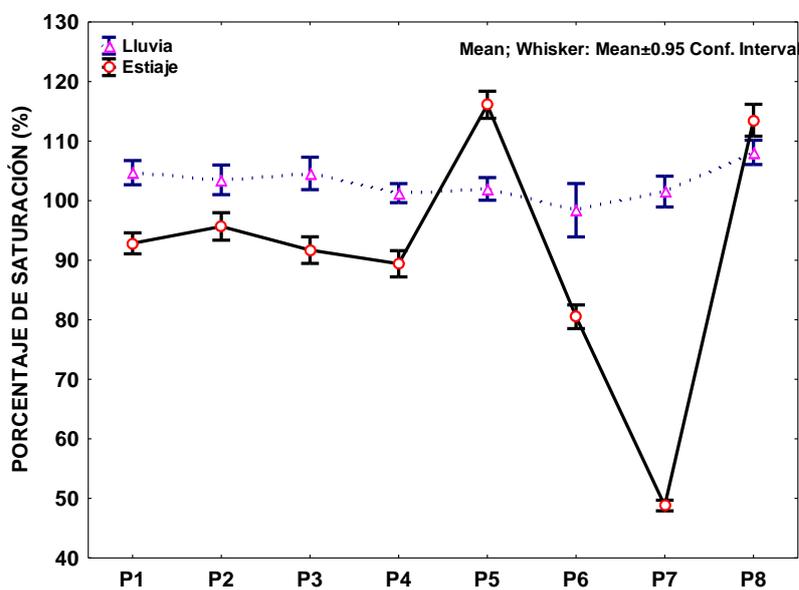
Puntos de Muestreo	% Saturación de Oxígeno							
	Lluvias ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P5	101,97	\pm	0,76 ^{AC}	0,75	116,10	\pm	0,92 ^D	0,79
P6	98,40	\pm	1,80 ^B	1,83	80,50	\pm	0,80 ^E	0,99
P7	101,53	\pm	1,04 ^C	1,02	48,80	\pm	0,36 ^F	0,74
P8	108,10	\pm	0,82 ^D	0,76	113,50	\pm	1,08 ^G	0,95

Nota: \bar{x} es la media; S es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$,

Los datos empleados para el cálculo se muestran en el Anexo 5.

Figura 8

Porcentaje de saturación de oxígeno en los puntos de muestreo y temporadas



La Figura 8 muestra el comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno en los diferentes puntos de muestreo y temporadas, los valores se mantuvieron casi constantes durante la temporada de lluvias, mientras que en la temporada de estiaje se pudo apreciar variaciones a partir de punto 5 con descensos e incrementos.

La Demanda bioquímica de oxígeno fue determinada mediante el método respirométrico/manométrico, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 14, en ella se puede apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas ($p\text{-value}<0,05$) (Anexo 6), los valores reportados durante la temporada de lluvia oscilaron entre 0,00 mg O₂/L a 0,85 mg O₂/L, mientras que en la temporada de estiaje oscilaron entre 0,00 mg O₂/L a 28,60 mg O₂/L, el coeficiente de variación fue menor 5%.

Asimismo, en la Figura 9, podemos apreciar que solo los puntos 6, 7 y 8 de la temporada de lluvias y los puntos 4, 6 y 7 de la temporada de estiaje muestran valores sobre la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos para degradar la materia orgánica.

Tabla 14

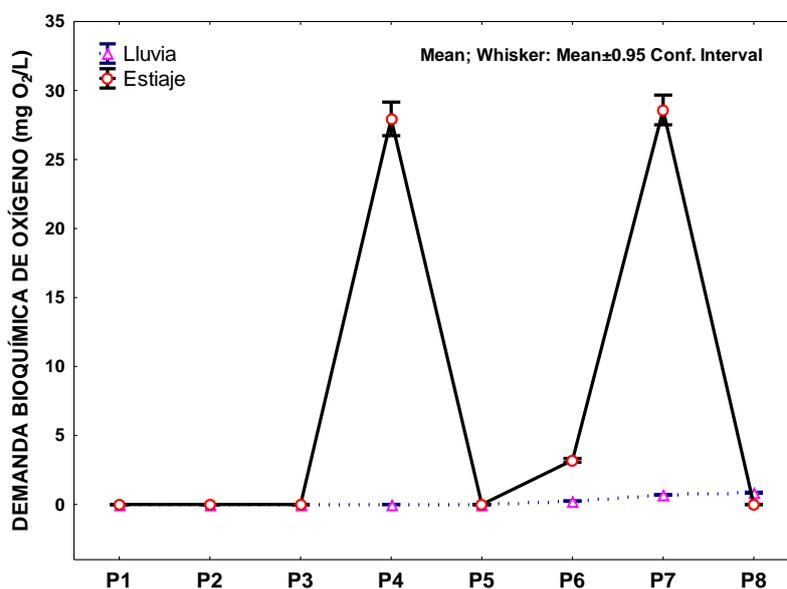
DBO5 en los puntos de muestreo y temporadas

Puntos de Muestreo	Demanda bioquímica de oxígeno (mg O ₂ /L)							
	Lluvia ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P1	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00
P2	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00
P3	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00
P4	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00	27,95	\pm	0,49 ^B	1,75
P5	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00
P6	0,25	\pm	0,01 ^B	4,00	3,20	\pm	0,06 ^C	1,88
P7	0,70	\pm	0,01 ^C	1,43	28,60	\pm	0,43 ^B	1,50
P8	0,85	\pm	0,02 ^D	2,35	0,00	\pm	0,00 ^A	0,00

Nota: \bar{x} es la media; S es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$. Los datos empleados para el cálculo se muestran en el Anexo 6.

Figura 9

DBO5 en los puntos de muestreo y temporadas



El fósforo total se determinó mediante el método espectrofotométrico, los resultados se muestran en la Tabla 15, en ella se puede apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas ($p\text{-value} < 0,05$) (Anexo 7), los valores reportados en la temporada de lluvias oscilaron entre 0,01 mg P/L a 0,14 mg P/L y entre 0,04 mg P/L a 0,69 mg P/L durante la temporada de estiaje, mientras que el coeficiente de variación fue menor al 5%.

Tabla 15

Fósforo total en los puntos de muestreo y temporadas

Puntos de Muestreo	Fósforo total (mg P/L)							
	Lluvia ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P1	0,02	\pm	0,00 ^A	0,00	0,69	\pm	0,01 ^A	1,67
P2	0,01	\pm	0,00 ^B	0,00	0,04	\pm	0,00 ^B	0,00
P3	0,02	\pm	0,00 ^A	0,00	0,25	\pm	0,01 ^C	2,28
P4	0,05	\pm	0,00 ^C	0,00	0,55	\pm	0,01 ^D	1,04

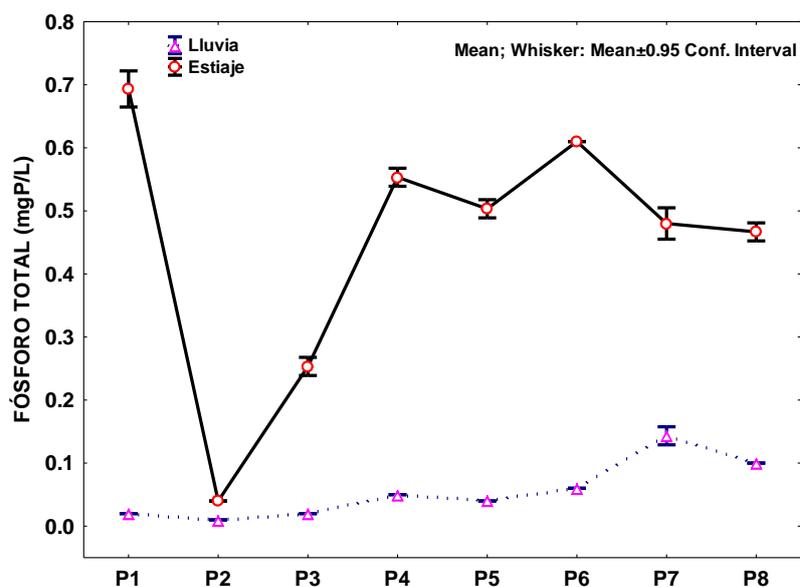
Puntos de Muestreo	Fósforo total (mg P/L)							
	Lluvia ^A				Estiaje ^B			
	\bar{x}	\pm	S	CV(%)	\bar{x}	\pm	S	CV(%)
P5	0,04	\pm	0,00 ^D	0,00	0,50	\pm	0,01 ^E	1,15
P6	0,06	\pm	0,00 ^E	0,00	0,61	\pm	0,00 ^F	0,00
P7	0,14	\pm	0,01 ^F	4,03	0,48	\pm	0,01 ^G	2,08
P8	0,10	\pm	0,00 ^G	0,00	0,47	\pm	0,01 ^G	1,24

Nota: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$. Los datos totales se encuentran en el Anexo 7.

La Figura 10, muestra el comportamiento del fósforo total en los diferentes puntos de muestreo y temporadas de la microcuenca Chumbao, en ella podemos observar que la concentración de Fósforo total se mantiene casi constante durante la temporada de lluvia con un ligero incremento a partir del punto 6, mientras que en la temporada de estiaje es muy variada, con un contenido muy elevado en el punto 1.

Figura 10

Fósforo total en los puntos de muestreo y temporadas



4.2.3. *Parámetro microbiológico*

Los coliformes totales fueron empleados para la determinación del índice de contaminación por materia orgánica, los resultados se muestran en la Tabla 16, en ella podemos apreciar la diferencia entre los puntos de muestreo y temporadas, asimismo, los valores durante la temporada de lluvia oscilaron entre 1500 a >110000 NMP/mL y entre 700 a >110000 NMP/100mL en la temporada de estiaje.

Tabla 16

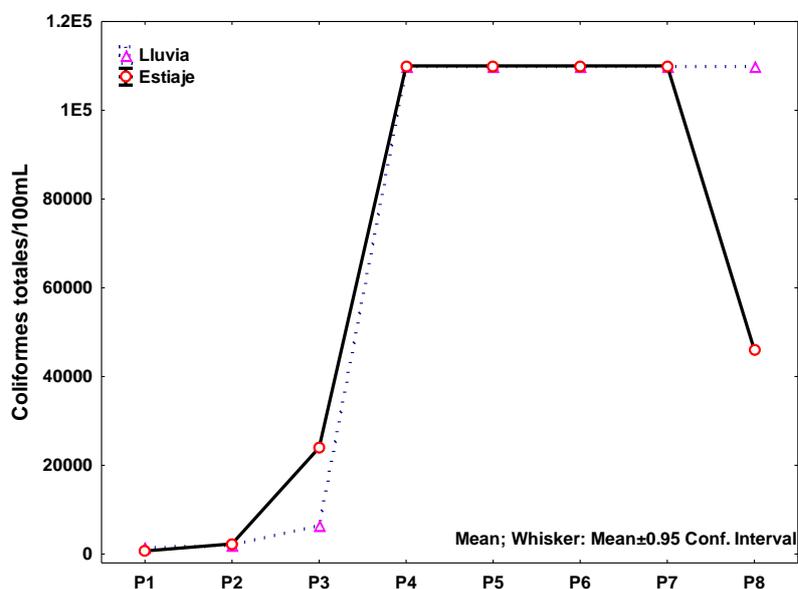
Coliformes totales en los puntos de muestreo y temporadas

Puntos de Muestreo	Coliformes Totales (NMP/100mL)	
	Lluvias	Estiaje
P1	1500	700
P2	2000	2300
P3	6400	24000
P4	110000	>110000
P5	110000	110000
P6	>110000	>110000
P7	>110000	>110000
P8	>110000	46000

Nota: Los resultados del análisis se muestra en el Anexo 8.

Figura 11

Coliformes totales en los puntos de muestreo y temporadas



La Figura 11 muestra el comportamiento del contenido de coliformes totales en el agua del río Chumbao, en ella podemos observar que la cantidad de coliformes totales se incrementa a partir del punto 3 en ambas temporadas, sin embargo, durante la temporada de estiaje se puede apreciar un descenso en la cantidad de coliformes totales en el punto 8.

4.3. Determinación De Los Índices De Contaminación

Los índices de contaminación evaluados fueron el índice de contaminación por sólidos suspendidos, materia orgánica, mineralización y trófico, el Anexo 12 muestra una casuística de su cálculo.

4.3.1. Índice de contaminación por sólidos suspendidos

Se determinó a través de la Ecuación 9, los resultados se muestran en la Tabla 17, en ella se puede apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas ($p\text{-value} < 0,05$) (Anexo 9), los valores reportados durante la temporada de lluvia oscilaron entre 0,06 a 0,39, mientras que en la temporada de estiaje los valores fueron menores oscilando entre 0,00 a 0,28.

Tabla 17

ICOSUS en los puntos de muestreo y temporada

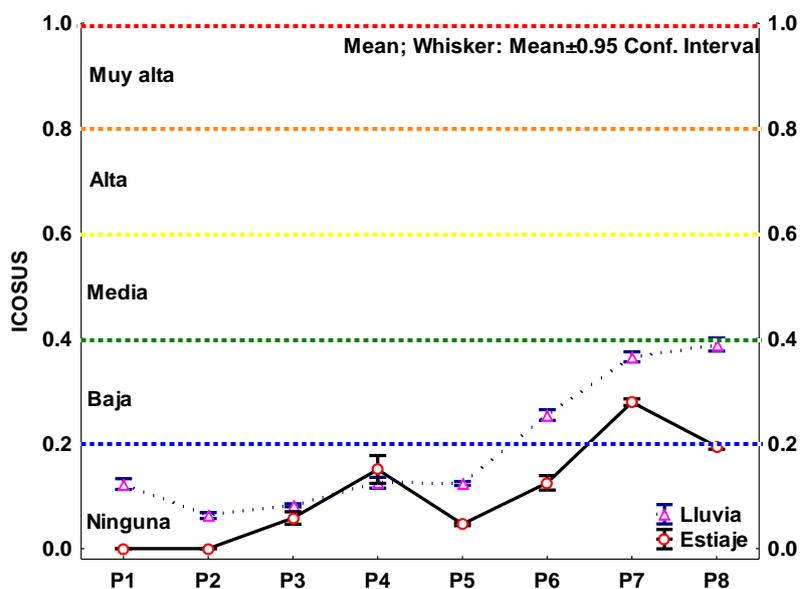
Puntos de Muestreo	ICOSUS					
	Lluvia ^A			Estiaje ^B		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	S
P1	0,12	\pm	0,00 ^A	0,00	\pm	0,00 ^A
P2	0,06	\pm	0,00 ^B	0,00	\pm	0,00 ^A
P3	0,08	\pm	0,00 ^C	0,06	\pm	0,00 ^B
P4	0,13	\pm	0,00 ^A	0,15	\pm	0,01 ^C
P5	0,12	\pm	0,00 ^A	0,05	\pm	0,00 ^B
P6	0,25	\pm	0,00 ^D	0,13	\pm	0,01 ^D
P7	0,36	\pm	0,00 ^E	0,28	\pm	0,00 ^E
P8	0,39	\pm	0,00 ^F	0,19	\pm	0,00 ^F

Nota: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$.

Los datos totales se encuentran en el Anexo 9.

Figura 12

ICOSUS en los puntos de muestreo y temporadas



Por otra parte, la Figura 12 presenta la cualificación del agua del río, de acuerdo con los criterios establecidos para el ICOSUS. Los resultados obtenidos durante la temporada de estiaje muestran que los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 8, indicaron “ninguna contaminación”, mientras que el punto 7 indicó “baja contaminación” por sólidos suspendidos totales, por otro lado, en la temporada de lluvia los puntos 1, 2, 3, 4 y 5, indicaron “ninguna contaminación”, el punto 6, 7 y 8 indicaron “baja contaminación” por sólidos suspendidos totales.

4.3.2. Índice de contaminación por mineralización

Se determinó a través de la Ecuación 1, los resultados se muestran en la Tabla 18, en ella se puede apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas ($p\text{-value} < 0,05$) (Anexo 10), asimismo los valores del ICOMI durante la temporada de lluvia oscilaron entre 0,02 a 0,35, mientras que en la temporada de estiaje oscilaron entre 0,08 a 0,90.

Tabla 18

ICOMI en los puntos de muestreo y temporadas

Puntos de Muestreo	ICOMI					
	Lluvia ^A			Estiaje ^B		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	S
P1	0,02	\pm	0,00 ^A	0,08	\pm	0,00 ^A
P2	0,03	\pm	0,01 ^B	0,10	\pm	0,00 ^A
P3	0,04	\pm	0,01 ^B	0,30	\pm	0,01 ^B
P4	0,07	\pm	0,00 ^C	0,66	\pm	0,04 ^C
P5	0,09	\pm	0,01 ^D	0,73	\pm	0,01 ^D
P6	0,17	\pm	0,01 ^E	0,80	\pm	0,00 ^E
P7	0,26	\pm	0,01 ^F	0,90	\pm	0,01 ^G
P8	0,35	\pm	0,00 ^G	0,81	\pm	0,01 ^E

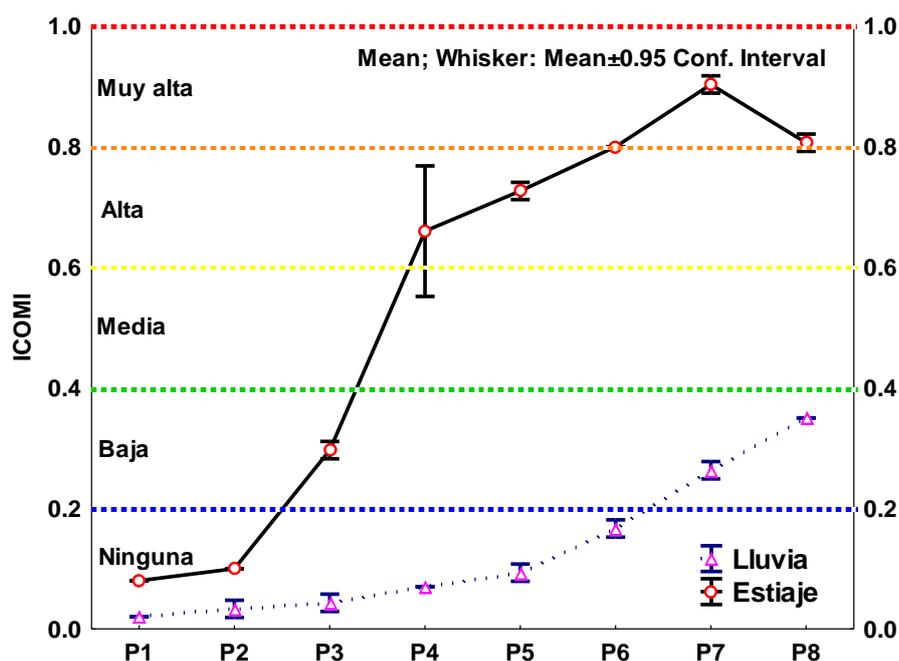
Nota: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$.

Los datos totales se encuentran en el Anexo 10.

La cualificación del agua del río establecidos de acuerdo al ICOMI se muestran en la Figura 13, en ella podemos observar que durante la temporada de lluvia los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 indicaron “ninguna contaminación” y los puntos 7 y 8 “baja contaminación” por mineralización, en cambio en la temporada de estiaje los puntos 1 y 2 indicaron “ninguna contaminación”, el punto 3 “baja contaminación”, los puntos 4, 5 y 6 “alta contaminación” y los puntos 7 y 8 “muy alta contaminación” por mineralización.

Figura 13

ICOMI en los puntos de muestreo y temporadas



4.3.3. Índice de contaminación por materia orgánica

Se determinó a través de la Ecuación 5, la Tabla 19 muestra los resultados, en ella podemos apreciar que existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo y temporadas ($p\text{-value} < 0,05$) (Anexo 11), los valores determinados del ICOMO durante la

temporada de lluvia oscilaron entre 0,11 a 0,34, mientras que en la temporada de estiaje oscilaron entre 0,08 a 0,83.

Por otra parte, la cualificación del agua del río a través de los criterios establecidos para el ICOMO, se presentan en la Figura 14, los resultados obtenidos muestran que los puntos 1 y 2 indicaron “ninguna contaminación” mientras que los puntos 3, 4, 5, 6, 7 y 8 indicaron “baja contaminación” por materia orgánica durante la temporada de lluvia, en cambio, durante la temporada de estiaje los puntos 1 y 2 indicaron “ninguna contaminación”, los puntos 3, 5 y 8 “baja contaminación”, el punto 6 “contaminación media”, el punto 4 “alta contaminación” y finalmente el punto 7 “muy alta contaminación” por materia orgánica.

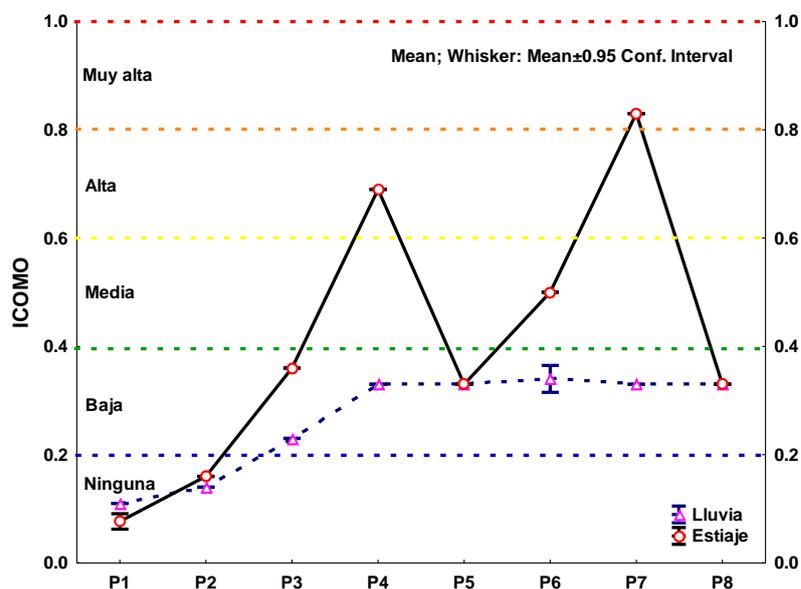
Tabla 19

ICOMO en los puntos de muestreo y temporadas

Puntos de Muestreo	ICOMO					
	Lluvia ^A			Estiaje ^B		
	\bar{x}	\pm	S	\bar{x}	\pm	S
P1	0,11	\pm	0,00 ^A	0,08	\pm	0,01 ^A
P2	0,14	\pm	0,00 ^B	0,16	\pm	0,08 ^B
P3	0,23	\pm	0,00 ^C	0,36	\pm	0,08 ^C
P4	0,33	\pm	0,00 ^D	0,69	\pm	0,00 ^D
P5	0,33	\pm	0,00 ^D	0,33	\pm	0,12 ^E
P6	0,34	\pm	0,01 ^D	0,50	\pm	0,12 ^F
P7	0,33	\pm	0,00 ^D	0,83	\pm	0,00 ^G
P8	0,33	\pm	0,00 ^D	0,33	\pm	0,19 ^E

Nota: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey, con $\alpha = 5\%$.

Los datos totales se encuentran en el Anexo 11.

Figura 14*ICOMO en los puntos de muestreo y temporadas*

4.3.4. Índice de contaminación por tráfico

Se determinó por lectura directa del fósforo total, de acuerdo con la Tabla 3, los resultados se muestran en la Tabla 20, en ella se puede apreciar que durante la temporada de lluvias las aguas presentaron un sistema Mesotrófico en los puntos 1, 2 y 3 y Eutrófico en los puntos 4, 5, 6, 7 y 8, mientras que en la temporada de estiaje se presentó un sistema Eutrófico en todos los puntos.

Tabla 20*ICOTRO en los puntos de muestreo y temporadas*

Puntos de Muestreo	ICOTRO	
	LLUVIA	ESTIAJE
P1	Mesotrófico	Eutrófico
P2	Mesotrófico	Eutrófico
P3	Mesotrófico	Eutrófico
P4	Eutrófico	Eutrófico
P5	Eutrófico	Eutrófico

Puntos de Muestreo	ICOTRO	
	LLUVIA	ESTIAJE
P6	Eutrófico	Eutrófico
P7	Eutrófico	Eutrófico
P8	Eutrófico	Eutrófico

4.4. Correlación De Parámetros E Ico

En la Tabla 21, se muestran los valores de la correlación de los índices de contaminación con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, evaluados durante la temporada de lluvia en ella se puede apreciar que la mayoría de los parámetros se correlacionan positivamente, a excepción del % de saturación de oxígeno que no muestra correlación alguna con los otros parámetros ($p\text{-value} > 0,05$). De la misma forma en la Tabla 22, se muestran los valores de la correlación durante la temporada de estiaje donde se puede apreciar que el parámetro de fósforo total y coliformes totales no muestra correlación alguna con los otros parámetros, asimismo el % de oxígeno no muestra correlación alguna con la conductividad y dureza ($p\text{-value} > 0,05$).

Tabla 21

Correlación de parámetros e ICOS temporada de lluvia.

Parámetros	SST (mg/L)	Conductividad (μS/cm)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	%Saturación de oxígeno	DBO ₅ (mg/L)	Coliformes totales (NMP/100mL)	Fósforo total (mg/L)	ICOSUS	ICOMI	ICOMO
SST (mg/L)	1,0000 p= ---										
Conductividad (μS/cm)	,9383 p=,000	1,0000 p= ---									
Alcalinidad (mg/L)	,8231 p=,000	,7836 p=,000	1,0000 p= ---								
Dureza (mg/L)	,9018 p=,000	,8330 p=,000	,7921 p=,000	1,0000 p= ---							
%Saturación de oxígeno	,1097 p=,610	,2385 p=,262	,0881 p=,682	-2221 p=,297	1,0000 p= ---						
DBO ₅ (mg/L)	,9682 p=,000	,9489 p=,000	,8151 p=,000	,8477 p=,000	,2883 p=,172	1,0000 p= ---					
Coliformes totales (NMP/100mL)	,6530 p=,001	,6915 p=,000	,5704 p=,004	,7365 p=,000	-,3392 p=,105	,5289 p=,008	1,0000 p= ---				
Fósforo total (mg/L)	,9239 p=,000	,8345 p=,000	,8060 p=,000	,9238 p=,000	-,0327 p=,879	,8919 p=,000	,7031 p=,000	1,0000 p= ---			
ICOSUS	1,0000 p=0,00	,9383 p=,000	,8231 p=,000	,9018 p=,000	,1097 p=,610	,9682 p=,000	,6530 p=,001	,9239 p=,000	1,0000 p= ---		
ICOMI	,9686 p=,000	,9927 p=0,00	,8162 p=,000	,8713 p=,000	,2140 p=,315	,9745 p=,000	,6732 p=,000	,8823 p=,000	,9686 p=,000	1,0000 p= ---	
ICOMO	,5927 p=,002	,6690 p=,000	,5483 p=,006	,7120 p=,000	-,3358 p=,109	,4901 p=,015	,9440 p=,000	,6576 p=,000	,5927 p=,002	,6426 p=,001	1,0000 p= ---

Tabla 22

Correlación de parámetros e ICOS temporada de estiaje

Parámetros	SST (mg/L)	Conductividad (μS/cm)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	%Saturación de oxígeno	DBO ₅ (mg/L)	Coliformes totales (NMP/100mL)	Fósforo total (mg/L)	ICOSUS	ICOMI	ICOMO
SST (mg/L)	1,0000 p= ---										
Conductividad (μS/cm)	,9156 p=,000	1,0000 p= ---									
Alcalinidad (mg/L)	,9332 p=,000	,9537 p=,000	1,0000 p= ---								
Dureza (mg/L)	,7718 p=,000	,9442 p=,000	,8211 p=,000	1,0000 p= ---							
%Saturación de oxígeno	-,5318 p=,007	-,2618 p=,216	-,4866 p=,016	,0179 p=,934	1,0000 p= ---						
DBO ₅ (mg/L)	,6965 p=,000	,4060 p=,049	,5104 p=,011	,2134 p=,317	-,6830 p=,000	1,0000 p= ---					
Coliformes totales (NMP/100mL)	,1810 p=,397	,0707 p=,743	,2287 p=,282	-,0799 p=,711	-,1814 p=,396	,1407 p=,512	1,0000 p= ---				
Fósforo total (mg/L)	,2396 p=,259	,3014 p=,152	,2851 p=,177	,3456 p=,098	-,0980 p=,649	,2258 p=,289	-,1500 p=,484	1,0000 p= ---			
ICOSUS	,9994 p=0,00	,9138 p=,000	,9307 p=,000	,7692 p=,000	-,5383 p=,007	,6991 p=,000	,1686 p=,431	,2644 p=,212	1,0000 p= ---		
ICOMI	,8356 p=,000	,9204 p=,000	,9171 p=,000	,8794 p=,000	-,2166 p=,309	,4696 p=,021	,2209 p=,300	,3991 p=,053	,8300 p=,000	1,0000 p= ---	
ICOMO	,8533 p=,000	,6587 p=,000	,7858 p=,000	,4644 p=,022	-,6654 p=,000	,8789 p=,000	,4213 p=,040	,2191 p=,304	,8484 p=,000	,7535 p=,000	1,0000 p= ---

Capítulo V

Discusiones

5.1. Parámetros Físicos, Químicos Y Microbiológico

5.1.1. Parámetros físicos

Los resultados de los sólidos suspendidos totales se mostraron en la Tabla 9, en ella se pudo apreciar valores altos durante la temporada de lluvia, especialmente en los puntos 6, 7 y 8 con concentraciones de 91,42mg/L, 128,33mg/L y 136,17mg/L respectivamente, mientras que en la temporada de estiaje estos valores fueron menores a excepción del punto 7 (99,56mg/L) y 8 (71,44mg/L); estas variaciones se deben a diferentes factores como la dinámica del río, el tipo de material del cauce, las descargas de aguas residuales y las precipitaciones, asimismo la evaluación de este parámetro constituye un indicador importante de carga contaminante, ya que la mayoría de sustancias se acumulan y fijan en pequeñas partículas y están pueden ser tóxicas y peligrosas, afectando el paso de luz y limitando el desarrollo de la vida acuática (Kulkarni, 2011). Asimismo, la concentración de sólidos suspendidos en aguas superficiales tiene un efecto estimulante en la tasa de nitrificación (Sierra, 2011).

Con respecto a la normativa peruana, el estándar de calidad del agua para la conservación del ambiente acuático (ECA) establecen como límite máximo 100 mg/L, para la conservación de ambientes acuáticos (D.S. 004-2017-MINAN), comparando este valor con los resultados obtenidos podemos observar que los puntos 7 y 8 de la temporada de lluvia y el punto 7 de la temporada de estiaje, no cumplen con lo establecido, indicando contaminación del agua por fuentes alóctonas o autóctonas (Hakanson, 2004).

Por otra parte, los resultados de la conductividad se mostraron en la Tabla 10, en ella se pudo observar valores altos durante la temporada de estiaje comparada con la temporada de lluvia, variaciones temporales similares fueron reportada por Gamarra *et al.* (2018) y

Mei *et al.* (2014), estas variaciones se deben principalmente a las descargas de aguas residuales al cauce del río, arrastre del material particulado del cauce del río. En cuanto, a los Estándares de Calidad del Agua (ECA) se tiene establecido como valor máximo 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (D.S. 004-2017-MINAM), cumpliendo con este límite en todos los puntos de muestreo, sin embargo, el punto 8 de la temperatura de estiaje con un valor de 914 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se encuentra próximo a este valor.

5.1.2. *Parámetros químicos*

Los resultados de la alcalinidad se mostraron en la Tabla 11, en ella se pudo apreciar que durante la temporada de estiaje los valores fueron altos especialmente en los puntos 6, 7 y 8 con reportes de 130, 97mg/L CaCO_3 , 191,32mg/L CaCO_3 y 135,10mg/L CaCO_3 respectivamente, resultados similares fueron reportados por Gamarra *et al.* (2018), esta variación se debe a la concentración de carbonatos, bicarbonatos e iones hidroxilos en el agua, que están relacionadas directamente con la productividad del agua (Dómenech y Peral, 2006), en cuanto a la temporada de lluvia los valores son mínimos especialmente en los puntos 1, 2, 3 y 4 indicando que estas aguas presentan baja capacidad amortiguadora haciéndolas susceptibles a la acidificación. Con respecto a los valores de los puntos de muestreo en ambas temporadas se puede apreciar que estos se van incrementando a medida que el agua sigue su curso, esto puede estar asociado a diversos factores como la geología que presenta el área de estudio (Segnini y Chancón, 2005), la cantidad de CO_2 atmosférico que se disuelve en el agua, la oxidación bacteriana de la materia orgánica (Glynn y Heinke, 1999), y la turbulencia del agua que genera un cambio en la presión parcial del CO_2 asociado a la liberación de CO_2 (Leibowitz, Fortes, de Lima, Eskinazi y Oliveira, 2017).

En cuanto, a la dureza del agua, esta se debe al contenido de iones Calcio y Magnesio presente en el agua, los resultados mostrados en la Tabla 12 muestran valores bajos y altos durante la temporada de lluvia y estiaje respectivamente, valores temporales similares

fueron reportados por Gamarra *et al.*, (2018), asimismo los resultados de los puntos de muestreo se van incrementando, estas variaciones están asociadas a la temporalidad y al origen litológico, debido a la alta complejidad geológica que presenta el área de estudio (Segnini y Chancón, 2005), de tal forma que la dureza se incrementa a medida que las aguas corren río abajo arrastrando y disolviendo minerales en su trayecto.

Por otro lado, el porcentaje de saturación de oxígeno del agua depende de la temperatura, presión y salinidad de los cuerpos hídricos (Pérez y Rodríguez, 2008), los resultados se mostraron en la Tabla 13, los valores reportados durante las temporadas presentaron diferencias, en la temporada de avenidas los valores fueron altos a excepción del punto 6 (98,40%), mientras que en la temporada de estiaje los valores fueron menores a excepción de los puntos 5 y 8 con valores 116,10% y 113,50%, respectivamente. Esta variación se debe a las precipitaciones, que incrementan la turbulencia en el río, lo cual favorece el contacto entre aire atmosférico y agua (Marín, 2003), asimismo, estas variaciones también se deben a características como: la geomorfología del cauce (Gonzales, Caicedo y Aguirre 2013; Jiménez y Vélez, 2006) y procesos químicos y biológicos (Guerrero, Manjarréz y Nuñez, 2003).

Los valores obtenidos en los diferentes puntos de muestreo en ambas temporadas mostraron variaciones y reflejaron relativamente niveles buenos de oxígeno a excepción del punto 7 de la temporada de estiaje, esta baja concentración se debe a la existencia de materia orgánica en descomposición, lo que significa que los microorganismos emplean el oxígeno para descomponer, además es preciso mencionar que a partir del punto 4 se tiene presencia de aguas residuales especialmente domésticas con alta carga de materia orgánica, que son descargadas al cauce del río modificando sus características, sin embargo en los puntos 5 y 8 se tiene una sobresaturación de oxígeno, de acuerdo a Marín (2003), esta variación se puede explicar a través de la evolución de la oxigenación que presenta 3 zonas: zona de

degradación, zona de descomposición y la zona de recuperación. En la primera se inicia la descomposición bacteriana de la materia orgánica decreciendo la oxigenación del agua a un 40% de saturación, en la segunda zona el O_2 apenas existe, se producen desprendimiento de gases y las aguas presentan aspecto pardo o negruzco, y por último en la tercera zona comienza a oxigenarse el agua, ya que la producción fotosintética de O_2 supera al gastado en la descomposición bacteriana de materia orgánica.

Los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno mostrados en la Tabla 14, reportan la cantidad de oxígeno necesario que los microorganismos requieren para degradar la materia orgánica, en ese sentido los Estándares de Calidad de Agua (ECA), establecen como límite máximo 10 mg O_2/L (D.S. 004-2017-MINAM); comparando este valor con los resultados se puede apreciar que los puntos 4 y 7 de la temporada de estiaje no cumplen con la normativa indicando contaminación por materia orgánica. Asimismo los resultados de la temporada de lluvia fueron menores y similares a los reportados por Jiménez y Vélez (2006) en la quebrada Doña María, mientras que en la temporada de estiaje los valores fueron altos especialmente en los puntos 4 y 7 con valores de 27,95 mg O_2/L y 28,60 mg O_2/L respectivamente, valores similares fueron reportados en el río Amazonas (25 mg O_2/L) por Cerdeña, Reyes y Vásquez (2014), estas variaciones entre los puntos de muestreo están directamente relacionadas con las descargas de aguas residuales especialmente domésticas y la capacidad de autodepuración que presenta el río.

En cuanto al fósforo total los resultados se mostraron en la Tabla 15, los valores fueron bajos durante la temporada de lluvia y altos en la temporada de estiaje, valores temporales similares fueron reportados por Álvarez *et al.* (2006), Montoya, Acosta y Zuluaga (2011) y Mei *et al.* (2014), estas variaciones están asociadas a fuentes naturales como la disolución de rocas y minerales fosfáticos, asimismo por fuentes antrópicas como

las descargas de aguas residuales domésticas y residuos de las actividades ganaderas y agrícolas (Marín, 2003).

En relación con la normativa peruana los Estándares de Calidad para el Agua establecen como límite máximo 0,05mg/L de Fósforo total para la conservación de ambientes acuáticos (D.S. N°004-2017-MINAM), los resultados reportados evidenciaron que los puntos 4, 6, 7 y 8 de la temporada de lluvia y los puntos 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 de la temporada de estiaje no cumplen con lo estipulado en la normativa.

5.1.3. *Parámetro microbiológico*

Los coliformes totales son considerados como indicadores de contaminación por su sencilla, económica y rápida identificación, los resultados se mostraron en la Tabla 16, en ella se puede apreciar que los valores reportados durante la temporada de lluvia oscilaron entre 1500 NMP/100mL a más de 110000 NMP/100mL, mientras que en la temporada de estiaje oscilaron entre 700 NMP/100mL a más de 110000 NMP/100mL, valores similares fueron reportados por Gonzales *et al.* (2013), Cerdeña *et al.* (2014) y Aldana y Zacarias (2014), sin embargo se observa un incremento elevado de coliformes totales, a partir del punto 3 en ambas temporadas, estas variaciones se deben principalmente a las aguas residuales provenientes de las actividades domésticas que son descargadas al cauce del río sin ningún tipo de tratamiento, lo cual hace evidente el alto contenido de microorganismos patógenos, y este hecho se ve influenciado aún más con el arrojado de residuos sólidos domiciliarios a las riberas de río.

5.2. Índices De Contaminación Del Agua

5.2.1. *Índice de contaminación por sólidos suspendidos*

Los resultados del índice de contaminación por sólidos suspendidos fueron mostrados en la Tabla 17, los valores reportados durante la temporada de lluvia oscilaron entre 0,06 a 0,39 indicando “ninguna” a “baja” contaminación, mientras que en la temporada

de estiaje oscilaron entre 0,00 a 0,28 indicando “ninguna” a “baja” contaminación por sólidos suspendidos totales, resultados similares fueron reportados por Chavarro y Gélvez (2016) en la quebrada Fucha y por Miranda, Ramírez y Sánchez (2016) en el río Algodonal, asimismo se pudo observar que los valores de los ICOSUS se incrementan en ambas temporadas a medida que el agua sigue su curso, estas variaciones están asociadas principalmente con los procesos erosivos y extractivos que degradan los sistemas acuáticos, impidiendo el paso de luz y evitando el proceso de fotosíntesis. (Gomi, Moore y Hassan, 2005 y Ramírez *et al.*, 1997). Por otra parte, el agua del río Chumbao se encuentra en proceso de contaminación por sólidos suspendidos, esto es más evidente durante la temporada de lluvia, donde las precipitaciones incrementan el caudal de río y este a su vez arrastra y lava el material particulado que puede encontrarse en la zona de estudio, incrementando así el valor del ICOSUS, el cual es empleado como criterio de calidad, y está relacionado con el riesgo sanitario, debido a la presencia de bacterias patógenas, así como material flotante que afecta la calidad estética del agua (Sierra, 2011).

5.2.2. Índice de contaminación por mineralización

Los resultados del índice de contaminación por mineralización se presentaron en la Tabla 18, los valores reportados durante la temporada de lluvia oscilaron entre 0,02 a 0,35 indicando “ninguna” a “baja” contaminación, mientras que en la temporada de estiaje oscilaron entre 0,08 a 0,90 indicando “ninguna” a “muy alta” contaminación por mineralización, por tanto, es evidente que la contaminación por minerales se incrementa a medida que el agua sigue su curso, los valores determinados fueron influenciados por la conductividad que está asociada principalmente a vertimientos de residuos domésticos (Sierra, 2011), seguido por la dureza y alcalinidad. Resultados similares fueron reportados por Díaz, Quintero, Lozano, Fonseca, Valdes, (2017) y Gamarra *et al.* (2018)

5.2.3. Índice de contaminación por materia orgánica

En la Tabla 19 se mostró los resultados del índice de contaminación por materia orgánica, en ella podemos apreciar que los valores oscilaron entre 0,11 a 0,34 indicando “ninguna” a “baja” contaminación durante la temporada de lluvia, y entre 0,08 y 0,83 en la temporada de estiaje indicando “ninguna” a “muy alta” contaminación por materia orgánica, estos resultados manifiestan que la contaminación se incrementa a medida que el agua discurre aguas abajo, uno de los indicadores del ICOMO es la presencia de coliformes que procede de descargas de aguas residuales especialmente domésticas (Sierra, 2011), resultados temporales similares fueron reportados por Chavarro y Gélvez (2016), Díaz et al. (2017) y Gamarra et al. (2018), los valores de este indicador fueron influenciados mayormente por la presencia de coliformes totales, seguido por la DBO y el porcentaje de saturación.

5.2.4. Índice de contaminación por tráfico

El índice de contaminación por tráfico se mostró en la Tabla 20, en ella se pudo apreciar que el agua del río presenta un estado mesotrófico en los puntos 1, 2 y 3 y un estado eutrófico en los puntos 4, 5, 6, 7 y 8 durante la temporada de lluvia, mientras que en la temporada de estiaje todos los puntos reportaron un estado eutrófico, esta variación está asociada a la concentración de fósforo total que puede llegar al agua por diversas causas como el uso de fertilizantes a base de fósforo empleados en la agricultura, erosión de suelos, suelos agrícolas, escorrentías que lavan el suelo arrastrando nutrientes, y actividades antrópicas aledañas al cauce (Rapal, 2010), resultados similares fueron reportados por Chavarro y Gélvez (2016) en las aguas de la quebrada Fucha.

5.3. Correlación Entre Los Parámetros E ICOS

En la Tabla 21, se mostraron los valores de correlación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, durante la temporada de lluvia, en ella se pudo apreciar

que todos los parámetros se correlacionan positivamente, es decir, al incrementarse el valor de un parámetro los demás también se incrementan, aunque, el parámetro porcentaje de saturación de oxígeno, no muestran correlación alguna ($p\text{-value} > 0,05$).

Por otra parte, se pudo observar que ICOSUS mostró una correlación positiva fuerte con el ICOMI (0,9686), seguido por el ICOMO (0,5927), esto significa, que con el incremento de contaminación por sólidos suspendidos, la contaminación por mineralización y materia orgánica también incrementaron, de igual forma se pudo apreciar una correlación positiva fuerte entre el ICOMO e ICOMI (0,6426).

La correlación de los parámetros físicos químicos y microbiológicos evaluados durante la temporada de estiaje se mostraron en la Tabla 22, en ella se pudo apreciar que la mayoría de los parámetros se correlaciona positivamente a excepción del porcentaje de oxígeno que su correlación es negativa, no obstante, el parámetro fósforo total no mostró ninguna correlación con los parámetros físicos, químicos, microbiológicos e índices de contaminación ($p\text{-value} > 0,05$).

Con respecto a los índices de contaminación se pudo apreciar que el ICOSUS presento una correlación fuerte positiva con el ICOMI (0,8300) e ICOMO (0,8484), de la misma forma el ICOMI e ICOMO (0,7535).

Conclusiones

El agua de la microcuenca del río Chumbao presentó variación temporal y espacial de los índices de contaminación, presentando contaminación por sólidos suspendidos, mineralización, materia orgánica y trófico, a excepción de los dos primeros puntos de muestreo, esto se relaciona con la inexistencia de actividades antrópicas en esa zona, contrariamente se aprecia que la contaminación se incrementa a medida que agua sigue su curso atravesando, evidenciando contaminación por materia orgánica e inorgánica.

La cualificación del agua a partir de los criterios del ICOSUS presentó grados de contaminación entre “ninguna” a “baja” en ambas temporadas, con rangos entre 0,06 a 0,39 en la temporada de lluvia y valores entre 0,00 a 0,28 en la temporada de estiaje, en cuanto a la variación de los puntos de muestreo se precisa que los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 de la temporada de lluvia y los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 8 de la temporada de estiaje no presentaron contaminación por sólidos suspendidos, sin embargo el resto de los puntos presentaron contaminación baja, esto se asocia a procesos erosivos y extractivos que generan material particulado y coloidal.

El ICOMI, presentó grados de contaminación entre “ninguna” a “baja” durante la temporada de lluvia, y entre “ninguna” a “muy alta” durante la temporada de estiaje, con valores entre 0,02 a 0,35 durante la temporada de lluvias y entre 0,08 a 0,90 durante el estiaje, asimismo, los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 de la temporada de lluvia y los puntos 1 y 2 de la temporada de estiaje no presentaron contaminación por mineralización, mientras que el resto de los otros puntos presentaron contaminación, estas variaciones están relacionadas con la presencia de sustancias ionizadas en el agua que incrementan la conductividad.

El ICOMO, presentó grados de contaminación entre “ninguna” a “baja” durante la temporada de lluvia y entre “ninguna” a “muy alta” en la temporada de estiaje, con valores entre 0,11 a 0,34 durante la temporada de lluvia y 0,08 a 0,83 en la temporada de estiaje, en

cuanto a los puntos de muestreo, los puntos 1 y 2 de ambas temporadas no mostraron contaminación, sin embargo a partir del punto 3 en ambas temporadas la contaminación por materia orgánica se incrementó, esto se relaciona principalmente a la presencia de coliformes totales por descargas de aguas residuales especialmente domésticas.

Las aguas de la microcuenca del Chumbao presentaron contaminación por trófico en los puntos de muestreo y temporadas, a excepción de los puntos 1,2 y 3 de la temporada de lluvia que presentaron condiciones mesotróficas; este tipo de contaminación se asocia con la presencia de fósforo que denotan condiciones eutróficas.

Recomendaciones

Establecer programas de vigilancia y protección de la calidad del agua de la microcuenca Chumbao involucrando a los actores sociales como la Autoridad Local del Agua, Municipalidades distritales y provinciales, Gobierno Regional, Universidades, Comités de regantes y población en general

Se recomienda al Gobierno Regional y Municipal otorgar un mayor grado de prioridad en sus presupuestos de inversión anual, para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, y reducir el impacto que generan las descargas de aguas domésticas e industriales sobre la calidad del agua.

Realizar la difusión sobre la importancia de los estudios sobre el grado de contaminación que presenta las aguas de la microcuenca Chumbao, generalmente estos aspectos no son perceptibles para las personas, pero los ecosistemas son altamente sensibles a estos efectos.

Continuar con monitoreos periódicos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de la microcuenca Chumbao, para hacer un seguimiento de la calidad de sus aguas.

Profundizar en estudios más rigurosos sobre el efecto de la contaminación del agua sobre las actividades productivas que emplean esta fuente hídrica.

Referencias Bibliográficas

- Aldana, M. L., Zacarias, E. E. (2014). Índice de calidad de agua del río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos del tratamiento de potabilización. *Ciencia y Tecnología*. 1(1), 21-34.
- Alvarez, A., Rubiños, E. J., Gavi, F., Alarcón, J. J., Hernández, E., Ramírez, C., Mejía, E., Pedreros, F., Nicolas, E., Salazar, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, Mexico: Diagnóstico y predicción. *Ioyton* 75, 71-83.
- Assis, F. (1998). *Fundamentos de Limnología*. Río de Janeiro: Interciencia.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales. Perú: Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-03541.
- Bachoon, D. S., Markand, S., Otero, E., Perry, G., y Ramsubaugh, A. (2010). Assessment of non-point sources of fecal pollution in coastal waters of Puerto Rico and Trinidad. *Marine Pollution Bulletin*, 60(7), 1117-1121. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.04.020>
- Bem, C. C., y Dombroski, L. F. (2016). Manual de procedimientos analíticos aplicado ao monitoramento de parâmetros associados á qualidades da água em corpos aquáticos. Brasil-Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Recuperado de https://docs.ufpr.br/~heloise.dhs/TH058/Manual%20POPs_%C1gua_Revisado2016.pdf
- Capote, T. J., Matute, S. B., y Rojas, J. R. (2015). Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 46(1-2), 25-37. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772015000100003&lng=es&tlng=es.

- Cerdeña, C. P., Reyes, W., y Vásquez, A. (2014). Contaminación de las aguas del río Itaya por las actividades portuarias en el Puerto Masusa, Iquitos, Perú. *Ciencia Amazónica* 4(1), 100-105.
- Chavarro, A. G., y Gélvez, E. J. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Mutis*, 6(2), 19-31.
- Davis, L. M., y Masten, S. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. Mexico: McGRAW-HILL/ Interamericana Editores S. A. de C.V.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 07 de junio de 2017.
- Díaz, I. C., Quintero, H. F., Lozano, Y., Fonseca, L. C., y Valdes, D. M. (2017). Ríos Tejo y Chiquito: Evaluación de los ICO's dentro la estructura urbana de Ocaña, Norte de Santander. *Revista Ingenio UFPSO*, 13, 213-221.
- Doménech, X., y Peral, J. (2006). *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Barcelona: Reverte.
- Gamarra, O. A., Barrena, M. A., Barboza, E., Rascón, J., Corroto, F., y Taramona, L. A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179-194. <https://dx.doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25111>
- García, M. (2009). *Biología y Geología*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Manuel_Rodriguez26/publication/263925744_La_hidrosfera_El_ciclo_del_agua_La_contaminacion_del_agua_Metodos_de_analisis_y_depuracion_El_problema_de_la_escasez_del_agua/links/5486d67c0cf2ef34478c2e1e/
- Glynn, J., y Heike, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Pearson Educación.

- Gomi, T, R Moore y M Hassan. (2005). Suspended sediment dynamics in small forest streams of the Pacific Northwest. *Journal of American Water Resources Association* 41(4), 877-898.
- González, M. V., Caicedo, O., y Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINUIS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(1), 97-107.
- Gonzales, S. (s.f.). Contaminación difusa de las aguas continentales. Recuperado de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR35534.pdf>
- Guerrero, B.F., Manjarréz, H.A., y Núñez, P.N. (2003). Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*, 8, 43-54.
- Hakanson, L. (2004). Internal loading: A new solution to an old problem in aquatic sciences. *Lakes & Reservoirs. Research and Management*, 9(1), 3-23.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la Investigación Científica*. México: McGraw-Hill.
- Jiménez, M. A. y Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial. *Revista Avances en recursos hidráulicos*, 14, 53-69.
- Kulkarni, A. (2011). Water quality retrieval from landsat TM imagery. *Procedia Computer Science*, 6, 475-480. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.08.088>
- Leibowitz, Z. W., Fortes, L. A., De Lima, P. V., Eskinazi, E. M., y Oliveira, N. (2017). Significant changes in water pCO₂ caused by turbulence from waterfall. *Limnologica*, 62, 1-4.
- Linden, R., Antunes, M. V, Heinzemann, L. S., Fleck, J. D., Staggemeier, R., Fabres, R. B., ... Spilki, F. R. (2015). Caffeine as an indicator of human fecal contamination in the

- Sinos River: a preliminary study. *Brazilian Journal of Biology*, 75(2), 81-84.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.0513>
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamiento y control de calidad de aguas*. Cartagena, España: Editorial Díaz de Santos.
- Marins, R. V., de Paula Philo, F. J., y Sobreira, C. A. (2007). Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental y dos processos estuarinos do rio Jaguaribe-costa nordeste oriental Brasileira. *Química Nova*, 30(5), 1208-1214
<https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000500029>
- Mei, K., Liao, L., Zhu, Y., Lu, P., Wang, Z., Dahlgren, R.A., y Zhang, M. (2014). Evaluation of spatial-temporal variations and trends in surface water quality across a rural-suburban-urban interface. *Environmental Science and Pollution Research* 21(13), 8036- 8051.
- Ministerio de Agricultura y Alimentación. (MINAG). (1980). Estudio de la cuenca del río Chumbao (Andahuaylas - Apurímac). Dirección General de Aguas y Suelos. Proyecto Manejo de Cuencas.
- Miranda, R., Ramírez, D., y Sanchez E. A. (2016). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano mediante indicadores fisicoquímicos y microbiológico en el río Agodonal. *Ingenio UFPSO*, 9, 131-141.
- Montoya, Y., Acosta, Y., y Zuluaga, E. (2011). Evaluación de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores de índices ICA, el BMWP/COL y ASPT. *Caldasia* 33(1), 193-210.
- Murck, B., Skinner, B., y Potter, S. (1995). *Environmental geology*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Organización de la Naciones Unidas. (ONU). (2013). Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. Departamento de Asuntos Económicos y

sociales de las Naciones Unidas.

<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

- Park, S. S., y Lee, Y. S. (2002). A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. *Ecological Modelling*, 152(1), 65-75. Recuperado de <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/a-water-quality-modeling-study-of-the-nakdong-river-korea-9lo7RiFsqI>.
- Pérez, A. G., y Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 1905-1918.
- Ramírez, A. y Restrepo, R., Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *Ciencia Tecnología y Futuro* 1(3), 135 - 153.
- Ramírez, A., Restrepo, R. y Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. *Ciencia Tecnología y Futuro*. 1(5), 89-99.
- RAPAL (2010). *Contaminación y eutrofización del agua, impactos del modelo de agricultura industrial*. Uruguay: Rapal.
- Rodríguez, M. G. (1998). Demanda bioquímica de oxígeno de efluentes con productos xenobióticos. *Ingeniería del agua*. 4(5), 47-54.
- Romero, J. A. (2009). *Calidad de agua*. Colombia: Escuela colombiana de Ingeniería.
- Salama, S., y Monbaliu, J. (2004). Quantitative estimation of suspended particulate matter from chris images. *Heverlee: ESA Publications Division*, 2, 1-6.
- Samboni, N. E., Carvajal, E. Y., y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista de Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.

- Segnini, S., y Chacón, M. M. (2005). Caracterización fisicoquímica del hábitad interno ribereño de ríos andinos en la cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotropicos*, 18(1), 38-61.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Recuperado de http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Estudio_Climatico_del_proceso_de_meso_ZEE_de_la_region_Apurimac.pdf
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad de Agua*. Medellín, Colombia: Ediciones de la U.
- Solanes, M. (1998). Manejo integrado del recurso agua, con la perspectiva de los principios de Dublín. *Revista CEPAL* 1(64), 165-185.
- Spellman, F., y Drinan, J. (2000). *Manual del agua potable*. ZARAGOZA (España): Acribia, S. A.
- Torres, P., Cruz, C. H., Patiño, P., Carlos, J., y Pérez, A. (2010). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.IYU18-2.ifcd>
- UPCT. http://www.upct.es/~minaeecs/analisis_aguas.pdf
- World Health Organization (1997). Guidelines for drinking-water quality. Geneva. WHO Library Cataloguing in Publication Data.

Anexos

Anexo 1*ANOVA y análisis Tukey para Sólidos suspendidos totales****Registro de pesos para cálculo de sólidos suspendidos temporada de lluvia***

Puntos de muestreo	Peso		Peso		Peso	
	inicial (P0)	Peso final (P1)	inicial (P0)	Peso final (P1)	inicial (P0)	Peso final (P1)
	R1		R2		R3	
P1	16,8771	16,8959	17,6335	17,6522	16,6721	16,6918
P2	17,8348	17,8462	19,5034	19,5142	17,6307	17,6417
P3	18,4251	18,4386	19,0895	19,1033	18,2209	18,2346
P4	18,2443	18,2643	18,8368	18,8561	18,2401	18,2590
P5	19,2221	19,2411	19,8781	19,8975	19,0177	19,0369
P6	16,6283	16,6646	18,2846	18,3218	19,4242	19,4604
P7	17,5776	17,6295	19,1687	19,2199	19,3736	19,4245
P8	19,5933	19,6476	20,1847	20,2399	19,3896	19,4435

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente de los pesos iniciales y finales para el cálculo de los sólidos suspendidos, el volumen de muestra filtrada fue de 400mL

Registro de pesos para cálculo de sólidos suspendidos temporada de estiaje

Puntos de muestreo	Peso		Peso		Peso	
	inicial (P0)	Peso final (P1)	inicial (P0)	Peso final (P1)	inicial (P0)	Peso final (P1)
	R1		R2		R3	
P1	18,1543	18,1554	19,0841	19,0851	19,6721	19,673
P2	17,2229	17,2251	17,3074	17,3094	18,7136	18,7159
P3	19,0116	19,0196	18,1796	18,1878	19,7136	19,7211
P4	19,8162	19,8334	18,1514	18,1679	18,2401	18,2582
P5	19,1568	19,1634	19,4088	19,4156	19,6305	19,6371
P6	18,6807	18,6958	18,6807	18,6952	18,1722	18,1862

P7	18,0116	18,0415	17,0116	17,0417	19,3590	19,3886
P8	18,6456	18,6672	18,6356	18,6568	18,6356	18,6571

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente de los pesos iniciales y finales para el cálculo de los sólidos suspendidos, el volumen de muestra filtrada fue de 300mL

Datos Sólidos suspendidos totales en los puntos de muestreo y temporada

Puntos de Muestreo	Sólidos suspendidos (mg/L)							
	Lluvias				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	47,00	46,75	49,25	47,67	3,67	3,33	3,00	3,33
P2	28,50	27,00	27,50	27,67	7,33	6,67	7,67	7,22
P3	33,75	34,50	34,25	34,17	26,67	27,33	25,00	26,33
P4	50,00	48,25	47,25	48,50	57,33	55,00	60,33	57,56
P5	47,50	48,50	48,00	48,00	22,00	22,67	22,00	22,22
P6	90,75	93,00	90,50	91,42	50,33	48,33	46,67	48,44
P7	129,75	128,00	127,25	128,33	99,67	100,33	98,67	99,56
P8	135,75	138,00	134,75	136,17	72,00	70,67	71,67	71,44

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente de los sólidos suspendidos; \bar{x} es la media.

Tabla ANOVA SST – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	37909,5	7	5415,65	4825,08	0,0000
Intra grupos	17,9583	16	1,1224		
Total (Corr.)	37927,5	23			

Prueba de rangos múltiples SST – Lluvia

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	27,6667	X
3	3	34,1667	X
1	3	47,6667	X
5	3	48,0	X
4	3	48,5	X
6	3	91,4167	X
7	3	128,333	X
8	3	136,167	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	20,0	3,33809
1 - 3	*	13,5	3,33809
1 - 4		-0,833333	3,33809
1 - 5		-0,333333	3,33809
1 - 6	*	-43,75	3,33809
1 - 7	*	-80,6667	3,33809
1 - 8	*	-88,5	3,33809
2 - 3	*	-6,5	3,33809
2 - 4	*	-20,8333	3,33809
2 - 5	*	-20,3333	3,33809
2 - 6	*	-63,75	3,33809
2 - 7	*	-100,667	3,33809
2 - 8	*	-108,5	3,33809
3 - 4	*	-14,3333	3,33809
3 - 5	*	-13,8333	3,33809
3 - 6	*	-57,25	3,33809

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
3 - 7	*	-94,1667	3,33809
3 - 8	*	-102,0	3,33809
4 - 5		0,5	3,33809
4 - 6	*	-42,9167	3,33809
4 - 7	*	-79,8333	3,33809
4 - 8	*	-87,6667	3,33809
5 - 6	*	-43,4167	3,33809
5 - 7	*	-80,3333	3,33809
5 - 8	*	-88,1667	3,33809
6 - 7	*	-36,9167	3,33809
6 - 8	*	-44,75	3,33809
7 - 8	*	-7,83333	3,33809

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA SST – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	23413,2	7	3344,74	1961,87	0,0000
Intra grupos	27,2779	16	1,70487		
Total (Corr.)	23440,4	23			

Prueba de rangos múltiples SST – Estiaje

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	3,33333	X
2	3	7,22333	X
5	3	22,2233	X
3	3	26,3333	X

6	3	48,4433	X
4	3	57,5533	X
8	3	71,4467	X
7	3	99,5567	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-3,89	3,69606
1 - 3	*	-23,0	3,69606
1 - 4	*	-54,22	3,69606
1 - 5	*	-18,89	3,69606
1 - 6	*	-45,11	3,69606
1 - 7	*	-96,2233	3,69606
1 - 8	*	-68,1133	3,69606
2 - 3	*	-19,11	3,69606
2 - 4	*	-50,33	3,69606
2 - 5	*	-15,0	3,69606
2 - 6	*	-41,22	3,69606
2 - 7	*	-92,3333	3,69606
2 - 8	*	-64,2233	3,69606
3 - 4	*	-31,22	3,69606
3 - 5	*	4,11	3,69606
3 - 6	*	-22,11	3,69606
3 - 7	*	-73,2233	3,69606
3 - 8	*	-45,1133	3,69606
4 - 5	*	35,33	3,69606
4 - 6	*	9,11	3,69606
4 - 7	*	-42,0033	3,69606
4 - 8	*	-13,8933	3,69606
5 - 6	*	-26,22	3,69606

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 - 7	*	-77,3333	3,69606
5 - 8	*	-49,2233	3,69606
6 - 7	*	-51,1133	3,69606
6 - 8	*	-23,0033	3,69606
7 - 8	*	28,11	3,69606

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA SST – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:PUNTOS DE MUESTREO	56171,9	7	8024,55	56,17	0,0000
B:TEMPORADAS	9560,09	1	9560,09	66,92	0,0000
RESIDUOS	5571,36	39	142,855		
TOTAL (CORREGIDO)	71303,3	47			

Prueba de rangos múltiples SST – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Estiaje (2)	24	42,0142	2,43974	X
Lluvia (1)	24	70,2396	2,43974	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	28,2254	6,97892

* indica una diferencia significativa.

Anexo 2

ANOVA y análisis Tukey para Conductividad

Datos Conductividad en los puntos de muestreo y temporada

Puntos de Muestreo	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)							
	Lluvias				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	29,00	30,00	29,00	29,33	92,00	93,00	91,00	92,00
P2	50,00	51,00	49,00	50,00	110,00	112,00	109,00	110,33
P3	59,00	61,00	58,00	59,33	236,00	238,00	234,00	236,00
P4	84,00	82,00	85,00	83,67	445,00	441,00	441,00	442,33
P5	106,00	109,00	105,00	106,67	461,00	473,00	454,00	462,67
P6	152,00	154,00	149,00	151,67	622,00	613,00	631,00	622,00
P7	205,00	209,00	203,00	205,67	904,00	895,00	899,00	899,33
P8	302,00	305,00	310,00	305,67	917,00	917,00	908,00	914,00

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente de la conductividad; \bar{x} es la media.

Tabla ANOVA Conductividad – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	182953,	7	26136,2	4939,12	0,0000
Intra grupos	84,6667	16	5,29167		
Total (Corr.)	183038,	23			

Prueba rangos múltiples Conductividad – Lluvia

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	29,3333	X
2	3	50,0	X

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	59,3333	X
4	3	83,6667	X
5	3	106,667	X
6	3	151,667	X
7	3	205,667	X
8	3	305,667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	-20,6667	6,51163
1 – 3	*	-30,0	6,51163
1 – 4	*	-54,3333	6,51163
1 – 5	*	-77,3333	6,51163
1 – 6	*	-122,333	6,51163
1 – 7	*	-176,333	6,51163
1 – 8	*	-276,333	6,51163
2 – 3	*	-9,33333	6,51163
2 – 4	*	-33,6667	6,51163
2 – 5	*	-56,6667	6,51163
2 – 6	*	-101,667	6,51163
2 – 7	*	-155,667	6,51163
2 – 8	*	-255,667	6,51163
3 – 4	*	-24,3333	6,51163
3 – 5	*	-47,3333	6,51163
3 – 6	*	-92,3333	6,51163
3 – 7	*	-146,333	6,51163
3 – 8	*	-246,333	6,51163
4 – 5	*	-23,0	6,51163
4 – 6	*	-68,0	6,51163

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
4 – 7	*	-122,0	6,51163
4 – 8	*	-222,0	6,51163
5 – 6	*	-45,0	6,51163
5 – 7	*	-99,0	6,51163
5 – 8	*	-199,0	6,51163
6 – 7	*	-54,0	6,51163
6 – 8	*	-154,0	6,51163
7 – 8	*	-100,0	6,51163

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA Conductividad – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2,19703E6	7	313861,	10760,96	0,0000
Intra grupos	466,667	16	29,1667		
Total (Corr.)	2,1975E6	23			

Prueba de rangos múltiples Conductividad – Estiaje

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	92,0	X
2	3	110,333	X
3	3	236,0	X
4	3	442,333	X
5	3	462,667	X
6	3	622,0	X
7	3	899,333	X
8	3	914,0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-18,3333	15,2875
1 - 3	*	-144,0	15,2875
1 - 4	*	-350,333	15,2875
1 - 5	*	-370,667	15,2875
1 - 6	*	-530,0	15,2875
1 - 7	*	-807,333	15,2875
1 - 8	*	-822,0	15,2875
2 - 3	*	-125,667	15,2875
2 - 4	*	-332,0	15,2875
2 - 5	*	-352,333	15,2875
2 - 6	*	-511,667	15,2875
2 - 7	*	-789,0	15,2875
2 - 8	*	-803,667	15,2875
3 - 4	*	-206,333	15,2875
3 - 5	*	-226,667	15,2875
3 - 6	*	-386,0	15,2875
3 - 7	*	-663,333	15,2875
3 - 8	*	-678,0	15,2875
4 - 5	*	-20,3333	15,2875
4 - 6	*	-179,667	15,2875
4 - 7	*	-457,0	15,2875
4 - 8	*	-471,667	15,2875
5 - 6	*	-159,333	15,2875
5 - 7	*	-436,667	15,2875
5 - 8	*	-451,333	15,2875
6 - 7	*	-277,333	15,2875
6 - 8	*	-292,0	15,2875

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
7 - 8		-14,6667	15,2875

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA Conductividad – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTOS DE MUESTREO	1,7861E6	7	255157,	16,74	0,0000
B: TEMPORADAS	1,45603E6	1	1,45603E6	95,53	0,0000
RESIDUOS	594437,	39	15242,0		
TOTAL (CORREGIDO)	3,83657E6	47			

Prueba de rangos múltiples Conductividad – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Lluvia (1)	24	124,0	25,2008	X
Estiaje (2)	24	472,333	25,2008	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-348,333	72,0876

* indica una diferencia significativa.

Anexo 3*ANOVA y análisis Tukey para Alcalinidad****Datos Alcalinidad en los puntos de muestreo y temporada***

Puntos de Muestreo	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)							
	Lluvias				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	0,87	0,90	0,86	0,88	15,03	15,71	14,80	15,18
P2	2,56	2,65	2,53	2,58	20,30	20,60	20,83	20,58
P3	4,50	4,66	4,46	4,54	60,54	61,45	59,93	60,64
P4	5,10	5,28	5,05	5,14	80,00	78,97	82,80	80,59
P5	12,10	12,52	11,98	12,20	85,20	83,92	87,33	85,48
P6	20,05	20,35	19,75	20,05	130,40	132,36	130,14	130,97
P7	40,09	39,09	41,09	40,09	190,37	195,13	188,47	191,32
P8	55,10	53,72	54,82	54,55	135,10	131,72	138,48	135,10

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente de la alcalinidad; \bar{x} es la media.

Tabla ANOVA Alcalinidad – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8210,84	7	1172,98	5415,72	0,0000
Intra grupos	3,4654	16	0,216588		
Total (Corr.)	8214,3	23			

Prueba de rangos múltiples Alcalinidad – Lluvia***Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD***

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	0,876667	X
2	3	2,58	X

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	4,54	X
4	3	5,14333	X
5	3	12,2	X
6	3	20,05	X
7	3	40,09	X
8	3	54,5467	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-1,70333	1,31738
1 - 3	*	-3,66333	1,31738
1 - 4	*	-4,26667	1,31738
1 - 5	*	-11,3233	1,31738
1 - 6	*	-19,1733	1,31738
1 - 7	*	-39,2133	1,31738
1 - 8	*	-53,67	1,31738
2 - 3	*	-1,96	1,31738
2 - 4	*	-2,56333	1,31738
2 - 5	*	-9,62	1,31738
2 - 6	*	-17,47	1,31738
2 - 7	*	-37,51	1,31738
2 - 8	*	-51,9667	1,31738
3 - 4		-0,603333	1,31738
3 - 5	*	-7,66	1,31738
3 - 6	*	-15,51	1,31738
3 - 7	*	-35,55	1,31738
3 - 8	*	-50,0067	1,31738
4 - 5	*	-7,05667	1,31738
4 - 6	*	-14,9067	1,31738

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
4 - 7	*	-34,9467	1,31738
4 - 8	*	-49,4033	1,31738
5 - 6	*	-7,85	1,31738
5 - 7	*	-27,89	1,31738
5 - 8	*	-42,3467	1,31738
6 - 7	*	-20,04	1,31738
6 - 8	*	-34,4967	1,31738
7 - 8	*	-14,4567	1,31738

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA Alcalinidad – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	76488,0	7	10926,9	2138,38	0,0000
Intra grupos	81,7581	16	5,10988		
Total (Corr.)	76569,8	23			

Prueba de rangos múltiples Alcalinidad – Estiaje

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	15,18	X
2	3	20,5767	X
3	3	60,64	X
4	3	80,59	X
5	3	85,4833	X
6	3	130,967	X
8	3	135,1	X
7	3	191,323	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-5,39667	5,70045
1 - 3	*	-45,46	5,70045
1 - 4	*	-65,41	5,70045
1 - 5	*	-70,3033	5,70045
1 - 6	*	-115,787	5,70045
1 - 7	*	-176,143	5,70045
1 - 8	*	-119,92	5,70045
2 - 3	*	-40,0633	5,70045
2 - 4	*	-60,0133	5,70045
2 - 5	*	-64,9067	5,70045
2 - 6	*	-110,39	5,70045
2 - 7	*	-170,747	5,70045
2 - 8	*	-114,523	5,70045
3 - 4	*	-19,95	5,70045
3 - 5	*	-24,8433	5,70045
3 - 6	*	-70,3267	5,70045
3 - 7	*	-130,683	5,70045
3 - 8	*	-74,46	5,70045
4 - 5		-4,89333	5,70045
4 - 6	*	-50,3767	5,70045
4 - 7	*	-110,733	5,70045
4 - 8	*	-54,51	5,70045
5 - 6	*	-45,4833	5,70045
5 - 7	*	-105,84	5,70045
5 - 8	*	-49,6167	5,70045
6 - 7	*	-60,3567	5,70045
6 - 8		-4,13333	5,70045

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
7 - 8	*	56,2233	5,70045

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA Alcalinidad – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTOS DE MUESTREO	62749,7	7	8964,24	16,16	0,0000
B: TEMPORADAS	63038,8	1	63038,8	113,65	0,0000
RESIDUOS	21631,4	39	554,651		
TOTAL (CORREGIDO)	147420,	47			

Prueba de rangos múltiples Alcalinidad – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Lluvia (1)	24	17,5033	4,80733	X
Estiaje (2)	24	89,9825	4,80733	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-72,4792	13,7515

* indica una diferencia significativa.

Anexo 4*ANOVA y análisis Tukey para Dureza****Datos Dureza en los puntos de muestreo y temporada***

Puntos de Muestreo	Dureza (mg CaCO ₃ /L)							
	Lluvias				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	13,56	13,76	13,36	19,27	23,80	24,04	23,44	23,76
P2	24,98	25,35	24,60	22,68	28,14	28,42	27,72	28,09
P3	20,39	20,69	20,08	26,80	30,10	30,40	29,86	30,12
P4	33,21	33,71	32,71	30,34	109,20	110,29	108,65	109,38
P5	27,56	27,97	26,87	41,13	122,40	123,62	120,56	122,19
P6	54,60	55,42	54,33	62,29	160,80	162,41	158,39	160,53
P7	69,68	70,73	68,98	62,08	160,20	161,80	159,88	160,63
P8	54,36	55,18	53,54	54,36	251,00	253,51	247,24	250,58

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente de la dureza; \bar{x} es la media.

Tabla ANOVA Dureza – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8303,03	7	1186,15	3645,24	0,0000
Intra grupos	5,20633	16	0,325396		
Total (Corr.)	8308,24	23			

Prueba de rangos múltiples Dureza – Lluvia***Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD***

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	13,56	X
3	3	20,3867	X

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	24,9767	X
5	3	27,4667	X
4	3	33,21	X
8	3	54,36	X
6	3	54,7833	X
7	3	69,7967	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-11,4167	1,61473
1 - 3	*	-6,82667	1,61473
1 - 4	*	-19,65	1,61473
1 - 5	*	-13,9067	1,61473
1 - 6	*	-41,2233	1,61473
1 - 7	*	-56,2367	1,61473
1 - 8	*	-40,8	1,61473
2 - 3	*	4,59	1,61473
2 - 4	*	-8,23333	1,61473
2 - 5	*	-2,49	1,61473
2 - 6	*	-29,8067	1,61473
2 - 7	*	-44,82	1,61473
2 - 8	*	-29,3833	1,61473
3 - 4	*	-12,8233	1,61473
3 - 5	*	-7,08	1,61473
3 - 6	*	-34,3967	1,61473
3 - 7	*	-49,41	1,61473
3 - 8	*	-33,9733	1,61473
4 - 5	*	5,74333	1,61473
4 - 6	*	-21,5733	1,61473

4 - 7	*	-36,5867	1,61473
4 - 8	*	-21,15	1,61473
5 - 6	*	-27,3167	1,61473
5 - 7	*	-42,33	1,61473
5 - 8	*	-26,8933	1,61473
6 - 7	*	-15,0133	1,61473
6 - 8		0,423333	1,61473
7 - 8	*	15,4367	1,61473

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA Dureza – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	136658,	7	19522,6	8456,76	0,0000
Intra grupos	36,9363	16	2,30852		
Total (Corr.)	136695,	23			

Prueba de rangos múltiples Dureza – Estiaje

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	23,76	X
2	3	28,0933	X
3	3	30,12	X
4	3	109,38	X
5	3	122,193	X
6	3	160,533	X
7	3	160,627	X
8	3	250,583	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-4,33333	4,30091
1 - 3	*	-6,36	4,30091
1 - 4	*	-85,62	4,30091
1 - 5	*	-98,4333	4,30091
1 - 6	*	-136,773	4,30091
1 - 7	*	-136,867	4,30091
1 - 8	*	-226,823	4,30091
2 - 3		-2,02667	4,30091
2 - 4	*	-81,2867	4,30091
2 - 5	*	-94,1	4,30091
2 - 6	*	-132,44	4,30091
2 - 7	*	-132,533	4,30091
2 - 8	*	-222,49	4,30091
3 - 4	*	-79,26	4,30091
3 - 5	*	-92,0733	4,30091
3 - 6	*	-130,413	4,30091
3 - 7	*	-130,507	4,30091
3 - 8	*	-220,463	4,30091
4 - 5	*	-12,8133	4,30091
4 - 6	*	-51,1533	4,30091
4 - 7	*	-51,2467	4,30091
4 - 8	*	-141,203	4,30091
5 - 6	*	-38,34	4,30091
5 - 7	*	-38,4333	4,30091
5 - 8	*	-128,39	4,30091
6 - 7		-0,0933333	4,30091
6 - 8	*	-90,05	4,30091
7 - 8	*	-89,9567	4,30091

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA Dureza – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTOS DE MUESTREO	100133,	7	14304,7	12,43	0,0000
B: TEMPORADAS	64551,7	1	64551,7	56,11	0,0000
RESIDUOS	44870,8	39	1150,53		
TOTAL (CORREGIDO)	209555,	47			

Prueba de rangos múltiples Dureza – Temporadas**Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD**

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Lluvia (1)	24	37,3175	6,9238	X
Estiaje (2)	24	110,661	6,9238	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-73,3438	19,8057

* indica una diferencia significativa.

Anexo 5

ANOVA y análisis Tukey para % Saturación de oxígeno

Datos % Saturación de oxígeno en los puntos de muestreo y temporada

Puntos de Muestreo	% Saturación de oxígeno							
	Lluvia				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	104,50	105,60	104,00	104,70	92,70	93,60	92,20	92,83
P2	103,50	104,50	102,50	103,50	95,40	96,70	94,90	95,67
P3	104,20	105,80	103,70	104,57	91,70	92,60	90,80	91,70
P4	101,00	102,00	100,80	101,27	89,10	90,40	88,70	89,40
P5	101,80	102,80	101,30	101,97	115,90	117,10	115,30	116,10
P6	98,90	99,90	96,40	98,40	80,50	81,30	79,70	80,50
P7	101,20	102,70	100,70	101,53	48,70	49,20	48,50	48,80
P8	107,90	109,00	107,40	108,10	113,20	114,70	112,60	113,50

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del porcentaje de saturación de oxígeno; \bar{x} es la media.

Tabla ANOVA % Saturación de oxígeno – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	176,963	7	25,2804	22,79	0,0000
Intra grupos	17,7467	16	1,10917		
Total (Corr.)	194,71	23			

Prueba de rangos múltiples % saturación de oxígeno – Lluvia

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
6	3	98,4	X

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	3	101,267	XX
7	3	101,533	X
5	3	101,967	XX
2	3	103,5	XX
3	3	104,567	X
1	3	104,7	X
8	3	108,1	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2		1,2	2,9812
1 – 3		0,133333	2,9812
1 – 4	*	3,43333	2,9812
1 – 5		2,73333	2,9812
1 – 6	*	6,3	2,9812
1 – 7	*	3,16667	2,9812
1 – 8	*	-3,4	2,9812
2 – 3		-1,06667	2,9812
2 – 4		2,23333	2,9812
2 – 5		1,53333	2,9812
2 – 6	*	5,1	2,9812
2 – 7		1,96667	2,9812
2 – 8	*	-4,6	2,9812
3 – 4	*	3,3	2,9812
3 – 5		2,6	2,9812
3 – 6	*	6,16667	2,9812
3 – 7	*	3,03333	2,9812
3 – 8	*	-3,53333	2,9812
4 – 5		-0,7	2,9812

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
4 – 6		2,86667	2,9812
4 – 7		-0,266667	2,9812
4 – 8	*	-6,83333	2,9812
5 – 6	*	3,56667	2,9812
5 – 7		0,433333	2,9812
5 – 8	*	-6,13333	2,9812
6 – 7	*	-3,13333	2,9812
6 – 8	*	-9,7	2,9812
7 – 8	*	-6,56667	2,9812

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA % Saturación de oxígeno – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9166,52	7	1309,5	1822,97	0,0000
Intra grupos	11,4933	16	0,718333		
Total (Corr.)	9178,02	23			

Prueba de rangos múltiples % Saturación de oxígeno – Estiaje

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
7	3	48,8	X
6	3	80,5	X
4	3	89,4	X
3	3	91,7	XX
1	3	92,8333	X
2	3	95,6667	X
8	3	113,5	X

5	3	116,1	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-2,83333	2,39914
1 - 3		1,13333	2,39914
1 - 4	*	3,43333	2,39914
1 - 5	*	-23,2667	2,39914
1 - 6	*	12,3333	2,39914
1 - 7	*	44,0333	2,39914
1 - 8	*	-20,6667	2,39914
2 - 3	*	3,96667	2,39914
2 - 4	*	6,26667	2,39914
2 - 5	*	-20,4333	2,39914
2 - 6	*	15,1667	2,39914
2 - 7	*	46,8667	2,39914
2 - 8	*	-17,8333	2,39914
3 - 4		2,3	2,39914
3 - 5	*	-24,4	2,39914
3 - 6	*	11,2	2,39914
3 - 7	*	42,9	2,39914
3 - 8	*	-21,8	2,39914
4 - 5	*	-26,7	2,39914
4 - 6	*	8,9	2,39914
4 - 7	*	40,6	2,39914
4 - 8	*	-24,1	2,39914
5 - 6	*	35,6	2,39914
5 - 7	*	67,3	2,39914
5 - 8	*	2,6	2,39914
6 - 7	*	31,7	2,39914

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
6 - 8	*	-33,0	2,39914
7 - 8	*	-64,7	2,39914

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA % saturación de oxígeno – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTOS DE MUESTREO	5296,72	7	756,674	7,24	0,0000
B: TEMPORADAS	1711,24	1	1711,24	16,37	0,0002
RESIDUOS	4076,01	39	104,513		
TOTAL (CORREGIDO)	11084,0	47			

Prueba de rangos múltiples % saturación de oxígeno – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Estiaje (2)	24	91,0625	2,08679	X
Lluvia (1)	24	103,004	2,08679	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	11,9417	5,96932

* indica una diferencia significativa.

Anexo 6*ANOVA y análisis Tukey para DBO₅****Datos DBO₅ en los puntos de muestreo y temporada***

Puntos de Muestreo	DBO ₅ (mgO ₂ /L)							
	Lluvias				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	27,90	28,46	27,48	27,95
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,25	0,26	0,25	0,25	3,20	3,26	3,15	3,20
P7	0,70	0,71	0,69	0,70	28,50	29,07	28,22	28,60
P8	0,85	0,87	0,84	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente de la demanda bioquímica de oxígeno; \bar{x} es la media.

Tabla ANOVA DBO₅ – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2,62305	7	0,374721	8175,74	0,0000
Intra grupos	0,000733333	16	0,0000458333		
Total (Corr.)	2,62378	23			

Prueba de rangos múltiples DBO₅ – Lluvia***Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD***

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	0	X

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	0	X
2	3	0	X
5	3	0	X
4	3	0	X
6	3	0,253333	X
7	3	0,7	X
8	3	0,853333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2		0	0,0191639
1 – 3		0	0,0191639
1 – 4		0	0,0191639
1 – 5		0	0,0191639
1 – 6	*	-0,253333	0,0191639
1 – 7	*	-0,7	0,0191639
1 – 8	*	-0,853333	0,0191639
2 – 3		0	0,0191639
2 – 4		0	0,0191639
2 – 5		0	0,0191639
2 – 6	*	-0,253333	0,0191639
2 – 7	*	-0,7	0,0191639
2 – 8	*	-0,853333	0,0191639
3 – 4		0	0,0191639
3 – 5		0	0,0191639
3 – 6	*	-0,253333	0,0191639
3 – 7	*	-0,7	0,0191639
3 – 8	*	-0,853333	0,0191639
4 – 5		0	0,0191639

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
4 – 6	*	-0,253333	0,0191639
4 – 7	*	-0,7	0,0191639
4 – 8	*	-0,853333	0,0191639
5 – 6	*	-0,253333	0,0191639
5 – 7	*	-0,7	0,0191639
5 – 8	*	-0,853333	0,0191639
6 – 7	*	-0,446667	0,0191639
6 – 8	*	-0,6	0,0191639
7 – 8	*	-0,153333	0,0191639

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA DBO5 – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3488,52	7	498,36	9220,34	0,0000
Intra grupos	0,8648	16	0,05405		
Total (Corr.)	3489,38	23			

Prueba de rangos múltiples DBO5 – Estiaje

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
8	3	0	X
3	3	0	X
2	3	0	X
5	3	0	X
1	3	0	X
6	3	3,20333	X
4	3	27,9467	X

7	3	28,5967	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		0	0,658099
1 - 3		0	0,658099
1 - 4	*	-27,9467	0,658099
1 - 5		0	0,658099
1 - 6	*	-3,20333	0,658099
1 - 7	*	-28,5967	0,658099
1 - 8		0	0,658099
2 - 3		0	0,658099
2 - 4	*	-27,9467	0,658099
2 - 5		0	0,658099
2 - 6	*	-3,20333	0,658099
2 - 7	*	-28,5967	0,658099
2 - 8		0	0,658099
3 - 4	*	-27,9467	0,658099
3 - 5		0	0,658099
3 - 6	*	-3,20333	0,658099
3 - 7	*	-28,5967	0,658099
3 - 8		0	0,658099
4 - 5	*	27,9467	0,658099
4 - 6	*	24,7433	0,658099
4 - 7		-0,65	0,658099
4 - 8	*	27,9467	0,658099
5 - 6	*	-3,20333	0,658099
5 - 7	*	-28,5967	0,658099
5 - 8		0	0,658099
6 - 7	*	-25,3933	0,658099

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
6 – 8	*	3,20333	0,658099
7 – 8	*	28,5967	0,658099

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA DBO5 – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTOS DE MUESTREO	1767,58	7	252,511	5,71	0,0001
B: TEMPORADAS	629,446	1	629,446	14,24	0,0005
RESIDUOS	1724,43	39	44,2161		
TOTAL (CORREGIDO)	4121,45	47			

Prueba de rangos múltiples DBO5 – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Lluvia (1)	24	0,225833	1,35733	X
Estiaje (2)	24	7,46833	1,35733	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	-7,2425	3,88266

* indica una diferencia significativa.

Anexo 7*ANOVA y análisis Tukey para Fósforo total****Datos Fósforo total en los puntos de muestreo y temporada***

Puntos de Muestreo	Fósforo total (mg P/L)							
	Lluvia				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,70	0,70	0,68	0,69
P2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04
P3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,25	0,25	0,26	0,25
P4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,55	0,56	0,55	0,55
P5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,51	0,50	0,50	0,50
P6	0,06	0,06	0,06	0,06	0,61	0,61	0,61	0,61
P7	0,14	0,15	0,14	0,14	0,48	0,49	0,47	0,48
P8	0,10	0,10	0,10	0,10	0,47	0,46	0,47	0,47

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del fósforo total; \bar{x} es la media.

Tabla ANOVA Fósforo total – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0437292	7	0,00624702	1499,29	0,0000
Intra grupos	0,0000666667	16	0,00000416667		
Total (Corr.)	0,0437958	23			

Prueba de rangos múltiples Fósforo total – Lluvia)***Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD***

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	0,01	X

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	0,02	X
1	3	0,02	X
5	3	0,04	X
4	3	0,05	X
6	3	0,06	X
8	3	0,1	X
7	3	0,143333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	0,01	0,00577814
1 - 3		0	0,00577814
1 - 4	*	-0,03	0,00577814
1 - 5	*	-0,02	0,00577814
1 - 6	*	-0,04	0,00577814
1 - 7	*	-0,123333	0,00577814
1 - 8	*	-0,08	0,00577814
2 - 3	*	-0,01	0,00577814
2 - 4	*	-0,04	0,00577814
2 - 5	*	-0,03	0,00577814
2 - 6	*	-0,05	0,00577814
2 - 7	*	-0,133333	0,00577814
2 - 8	*	-0,09	0,00577814
3 - 4	*	-0,03	0,00577814
3 - 5	*	-0,02	0,00577814
3 - 6	*	-0,04	0,00577814
3 - 7	*	-0,123333	0,00577814
3 - 8	*	-0,08	0,00577814
4 - 5	*	0,01	0,00577814

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
4 - 6	*	-0,01	0,00577814
4 - 7	*	-0,0933333	0,00577814
4 - 8	*	-0,05	0,00577814
5 - 6	*	-0,02	0,00577814
5 - 7	*	-0,103333	0,00577814
5 - 8	*	-0,06	0,00577814
6 - 7	*	-0,0833333	0,00577814
6 - 8	*	-0,04	0,00577814
7 - 8	*	0,0433333	0,00577814

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA Fósforo total – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,918867	7	0,131267	2864,00	0,0000
Intra grupos	0,000733333	16	0,0000458333		
Total (Corr.)	0,9196	23			

Prueba de rangos múltiples Fósforo total – Estiaje

Método: 95, 0 porcentaje Tukey HSD

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	0,04	X
3	3	0,253333	X
8	3	0,466667	X
7	3	0,48	X
5	3	0,503333	X
4	3	0,553333	X
6	3	0,61	X

1	3	0,693333	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	0,653333	0,0191639
1 - 3	*	0,44	0,0191639
1 - 4	*	0,14	0,0191639
1 - 5	*	0,19	0,0191639
1 - 6	*	0,0833333	0,0191639
1 - 7	*	0,213333	0,0191639
1 - 8	*	0,226667	0,0191639
2 - 3	*	-0,213333	0,0191639
2 - 4	*	-0,513333	0,0191639
2 - 5	*	-0,463333	0,0191639
2 - 6	*	-0,57	0,0191639
2 - 7	*	-0,44	0,0191639
2 - 8	*	-0,426667	0,0191639
3 - 4	*	-0,3	0,0191639
3 - 5	*	-0,25	0,0191639
3 - 6	*	-0,356667	0,0191639
3 - 7	*	-0,226667	0,0191639
3 - 8	*	-0,213333	0,0191639
4 - 5	*	0,05	0,0191639
4 - 6	*	-0,0566667	0,0191639
4 - 7	*	0,0733333	0,0191639
4 - 8	*	0,0866667	0,0191639
5 - 6	*	-0,106667	0,0191639
5 - 7	*	0,0233333	0,0191639
5 - 8	*	0,0366667	0,0191639
6 - 7	*	0,13	0,0191639

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
6 - 8	*	0,143333	0,0191639
7 - 8		0,0133333	0,0191639

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA Fósforo total – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTOS DE MUESTREO	0,540398	7	0,0771997	7,12	0,0000
B: TEMPORADAS	1,86835	1	1,86835	172,26	0,0000
RESIDUOS	0,422998	39	0,0108461		
TOTAL (CORREGIDO)	2,83175	47			

Prueba de rangos múltiples Fósforo total – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Lluvia (1)	24	0,0554167	0,0212584	X
Estiaje (2)	24	0,45	0,0212584	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	-0,394583	0,0608102

* indica una diferencia significativa.

Anexo 8*Resultados coliformes totales en los puntos de muestreo y temporada*

Puntos de muestre o	Lluvia			NMP/100 mL	Estiaje			NMP/100 mL
	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³		10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	
P1	2	1	0	1500	1	1	0	700
P2	2	1	1	2000	3	0	0	2300
P3	3	0	2	6400	3	3	0	24000
P4	3	3	2	110000	3	3	3	>110000
P5	3	3	2	110000	3	3	2	110000
P6	3	3	3	>110000	3	3	3	>110000
P7	3	3	3	>110000	3	3	3	>110000
P8	3	3	3	>110000	3	3	1	46000

Nota: 10⁻¹, 10⁻² y 10⁻³ son las diluciones para la determinación de coliformes totales,

NMP/100mL es el Número más probable por 100 mililitros.

MPN values per 100ml of sample and 95% confidence limits for various combinations of positive and negative results (when three 10-ml, three 1-ml, and three 0,1-ml test portions are used)

No. of tubes giving a positive reaction			MPN (per 100 ml)	95% confidence limits	
3 of 10 ml	3 of 1 ml	3 of 0.1 ml		Lower	Upper
0	0	1	3	<1	9
0	1	0	3	<1	13
0	0	0	4	<1	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	49
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	149
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	379
3	1	0	48	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	1	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800

Fuente: Extraído de World Health Organization Geneva (1997). Guidelines for drinking-water quality

Anexo 9*ANOVA y análisis Tukey para ICOSUS****Datos ICOSUS en los puntos de muestreo y temporada***

Puntos de Muestreo	ICOSUS							
	Lluvias				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	0,12	0,12	0,13	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,07	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06
P4	0,13	0,12	0,12	0,13	0,15	0,15	0,16	0,15
P5	0,12	0,13	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05
P6	0,25	0,26	0,25	0,25	0,13	0,12	0,12	0,13
P7	0,37	0,36	0,36	0,36	0,28	0,28	0,28	0,28
P8	0,39	0,39	0,38	0,39	0,20	0,19	0,19	0,19

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del índice de contaminación por sólidos suspendidos; \bar{x} es la media

Tabla ANOVA ICOSUS – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,342629	7	0,048947	1678,18	0,0000
Intra grupos	0,000466667	16	0,0000291667		
Total (Corr.)	0,343096	23			

Prueba de rangos múltiples ICOSUS – Lluvia***Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD***

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	0,0633333	X

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	0,08	X
4	3	0,123333	X
5	3	0,123333	X
1	3	0,123333	X
6	3	0,253333	X
7	3	0,363333	X
8	3	0,386667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	0,06	0,0152875
1 - 3	*	0,0433333	0,0152875
1 - 4		0	0,0152875
1 - 5		0	0,0152875
1 - 6	*	-0,13	0,0152875
1 - 7	*	-0,24	0,0152875
1 - 8	*	-0,263333	0,0152875
2 - 3	*	-0,0166667	0,0152875
2 - 4	*	-0,06	0,0152875
2 - 5	*	-0,06	0,0152875
2 - 6	*	-0,19	0,0152875
2 - 7	*	-0,3	0,0152875
2 - 8	*	-0,323333	0,0152875
3 - 4	*	-0,0433333	0,0152875
3 - 5	*	-0,0433333	0,0152875
3 - 6	*	-0,173333	0,0152875
3 - 7	*	-0,283333	0,0152875
3 - 8	*	-0,306667	0,0152875
4 - 5		0	0,0152875

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
4 - 6	*	-0,13	0,0152875
4 - 7	*	-0,24	0,0152875
4 - 8	*	-0,263333	0,0152875
5 - 6	*	-0,13	0,0152875
5 - 7	*	-0,24	0,0152875
5 - 8	*	-0,263333	0,0152875
6 - 7	*	-0,11	0,0152875
6 - 8	*	-0,133333	0,0152875
7 - 8	*	-0,0233333	0,0152875

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA ICOSUS – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,20445	7	0,0292071	2336,57	0,0000
Intra grupos	0,0002	16	0,0000125		
Total (Corr.)	0,20465	23			

Prueba de rangos múltiples ICOSUS – Estiaje

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	0	X
1	3	0	X
5	3	0,05	X
3	3	0,06	X
6	3	0,123333	X
4	3	0,153333	X
8	3	0,193333	X

7	3	0,28	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		0	0,010008
1 - 3	*	-0,06	0,010008
1 - 4	*	-0,153333	0,010008
1 - 5	*	-0,05	0,010008
1 - 6	*	-0,123333	0,010008
1 - 7	*	-0,28	0,010008
1 - 8	*	-0,193333	0,010008
2 - 3	*	-0,06	0,010008
2 - 4	*	-0,153333	0,010008
2 - 5	*	-0,05	0,010008
2 - 6	*	-0,123333	0,010008
2 - 7	*	-0,28	0,010008
2 - 8	*	-0,193333	0,010008
3 - 4	*	-0,0933333	0,010008
3 - 5		0,01	0,010008
3 - 6	*	-0,0633333	0,010008
3 - 7	*	-0,22	0,010008
3 - 8	*	-0,133333	0,010008
4 - 5	*	0,103333	0,010008
4 - 6	*	0,03	0,010008
4 - 7	*	-0,126667	0,010008
4 - 8	*	-0,04	0,010008
5 - 6	*	-0,0733333	0,010008
5 - 7	*	-0,23	0,010008
5 - 8	*	-0,143333	0,010008
6 - 7	*	-0,156667	0,010008

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
6 - 8	*	-0,07	0,010008
7 - 8	*	0,0866667	0,010008

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA ICOSUS – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTO DE MUESTREO	0,497248	7	0,0710354	54,86	0,0000
B: TEMPORADA	0,0808521	1	0,0808521	62,44	0,0000
RESIDUOS	0,0504979	39	0,00129482		
TOTAL (CORREGIDO)	0,628598	47			

Prueba de rangos múltiples ICOSUS – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	24	0,1075	0,00734512	X
1	24	0,189583	0,00734512	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	0,0820833	0,0210109

* indica una diferencia significativa.

Anexo 10*ANOVA y análisis Tukey para ICOMO****Datos ICOMI en los puntos de muestreo y temporada***

Puntos de Muestreo	ICOMI							
	Lluvia				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,08	0,08	0,08
P2	0,03	0,04	0,03	0,03	0,10	0,10	0,10	0,10
P3	0,04	0,05	0,04	0,04	0,30	0,30	0,29	0,30
P4	0,07	0,07	0,07	0,07	0,64	0,71	0,63	0,66
P5	0,09	0,10	0,09	0,09	0,73	0,72	0,73	0,73
P6	0,17	0,17	0,16	0,17	0,80	0,80	0,80	0,80
P7	0,26	0,27	0,26	0,26	0,90	0,91	0,90	0,90
P8	0,35	0,35	0,35	0,35	0,81	0,80	0,81	0,81

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del índice de contaminación por mineralización; \bar{x} es la media

Tabla ANOVA ICOMI – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,304267	7	0,0434667	2086,40	0,0000
Intra grupos	0,000333333	16	0,0000208333		
Total (Corr.)	0,3046	23			

Prueba de rangos múltiples ICOMI – Lluvia***Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD***

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	0,02	X

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	0,0333333	X
3	3	0,0433333	X
4	3	0,07	X
5	3	0,0933333	X
6	3	0,166667	X
7	3	0,263333	X
8	3	0,35	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	-0,0133333	0,0129203
1 – 3	*	-0,0233333	0,0129203
1 – 4	*	-0,05	0,0129203
1 – 5	*	-0,0733333	0,0129203
1 – 6	*	-0,146667	0,0129203
1 – 7	*	-0,243333	0,0129203
1 – 8	*	-0,33	0,0129203
2 – 3		-0,01	0,0129203
2 – 4	*	-0,0366667	0,0129203
2 – 5	*	-0,06	0,0129203
2 – 6	*	-0,133333	0,0129203
2 – 7	*	-0,23	0,0129203
2 – 8	*	-0,316667	0,0129203
3 – 4	*	-0,0266667	0,0129203
3 – 5	*	-0,05	0,0129203
3 – 6	*	-0,123333	0,0129203
3 – 7	*	-0,22	0,0129203
3 – 8	*	-0,306667	0,0129203
4 – 5	*	-0,0233333	0,0129203

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
4 – 6	*	-0,0966667	0,0129203
4 – 7	*	-0,193333	0,0129203
4 – 8	*	-0,28	0,0129203
5 – 6	*	-0,0733333	0,0129203
5 – 7	*	-0,17	0,0129203
5 – 8	*	-0,256667	0,0129203
6 – 7	*	-0,0966667	0,0129203
6 – 8	*	-0,183333	0,0129203
7 – 8	*	-0,0866667	0,0129203

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA ICOMI – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2,35207	7	0,33601	1322,00	0,0000
Intra grupos	0,00406667	16	0,000254167		
Total (Corr.)	2,35613	23			

Prueba de rangos múltiples ICOMI – Estiaje)

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	0,08	X
2	3	0,1	X
3	3	0,296667	X
4	3	0,66	X
5	3	0,726667	X
6	3	0,8	X
8	3	0,806667	X

7	3	0,903333	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2		-0,02	0,0451287
1 – 3	*	-0,216667	0,0451287
1 – 4	*	-0,58	0,0451287
1 – 5	*	-0,646667	0,0451287
1 – 6	*	-0,72	0,0451287
1 – 7	*	-0,823333	0,0451287
1 – 8	*	-0,726667	0,0451287
2 – 3	*	-0,196667	0,0451287
2 – 4	*	-0,56	0,0451287
2 – 5	*	-0,626667	0,0451287
2 – 6	*	-0,7	0,0451287
2 – 7	*	-0,803333	0,0451287
2 – 8	*	-0,706667	0,0451287
3 – 4	*	-0,363333	0,0451287
3 – 5	*	-0,43	0,0451287
3 – 6	*	-0,503333	0,0451287
3 – 7	*	-0,606667	0,0451287
3 – 8	*	-0,51	0,0451287
4 – 5	*	-0,0666667	0,0451287
4 – 6	*	-0,14	0,0451287
4 – 7	*	-0,243333	0,0451287
4 – 8	*	-0,146667	0,0451287
5 – 6	*	-0,0733333	0,0451287
5 – 7	*	-0,176667	0,0451287
5 – 8	*	-0,08	0,0451287
6 – 7	*	-0,103333	0,0451287

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
6 – 8		-0,00666667	0,0451287
7 – 8	*	0,0966667	0,0451287

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA ICOMI – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTOS DE MUESTREO	1,97863	7	0,282662	16,16	0,0000
B: TEMPORADAS	2,08333	1	2,08333	119,12	0,0000
RESIDUOS	0,6821	39	0,0174897		
TOTAL (CORREGIDO)	4,74407	47			

Prueba de rangos múltiples ICOMI – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Lluvia (1)	24	0,13	0,0269952	X
Estiaje (2)	24	0,546667	0,0269952	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	-0,416667	0,0772203

* indica una diferencia significativa.

Anexo 11*ANOVA y análisis Tukey para ICOMO****Datos ICOMO en los puntos de muestreo y temporada***

Puntos de Muestreo	ICOMO							
	Lluvias				Estiaje			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
P1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,07	0,08	0,08
P2	0,14	0,14	0,14	0,14	0,16	0,16	0,16	0,16
P3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,36	0,36	0,36	0,36
P4	0,33	0,33	0,33	0,33	0,69	0,69	0,69	0,69
P5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
P6	0,34	0,33	0,35	0,34	0,50	0,50	0,50	0,50
P7	0,33	0,33	0,33	0,33	0,83	0,83	0,83	0,83
P8	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del índice de contaminación por materia orgánica; \bar{x} es la media

Tabla ANOVA ICOMO – Puntos de muestreo (Lluvia)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,19005	7	0,02715	2172,00	0,0000
Intra grupos	0,0002	16	0,0000125		
Total (Corr.)	0,19025	23			

Prueba de rangos múltiples ICOMO – Lluvia***Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD***

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	0,11	X

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	0,14	X
3	3	0,23	X
7	3	0,33	X
5	3	0,33	X
8	3	0,33	X
4	3	0,33	X
6	3	0,34	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-0,03	0,010008
1 - 3	*	-0,12	0,010008
1 - 4	*	-0,22	0,010008
1 - 5	*	-0,22	0,010008
1 - 6	*	-0,23	0,010008
1 - 7	*	-0,22	0,010008
1 - 8	*	-0,22	0,010008
2 - 3	*	-0,09	0,010008
2 - 4	*	-0,19	0,010008
2 - 5	*	-0,19	0,010008
2 - 6	*	-0,2	0,010008
2 - 7	*	-0,19	0,010008
2 - 8	*	-0,19	0,010008
3 - 4	*	-0,1	0,010008
3 - 5	*	-0,1	0,010008
3 - 6	*	-0,11	0,010008
3 - 7	*	-0,1	0,010008
3 - 8	*	-0,1	0,010008
4 - 5		0	0,010008

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
4 - 6		-0,01	0,010008
4 - 7		0	0,010008
4 - 8		0	0,010008
5 - 6		-0,01	0,010008
5 - 7		0	0,010008
5 - 8		0	0,010008
6 - 7		0,01	0,010008
6 - 8		0,01	0,010008
7 - 8		0	0,010008

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA ICOMO – Puntos de muestreo (Estiaje)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,35543	7	0,193633	46471,86	0,0000
Intra grupos	0,0000666667	16	0,00000416667		
Total (Corr.)	1,3555	23			

Prueba de rangos múltiples ICOMO – Estiaje

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Punto	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	0,0766667	X
2	3	0,16	X
8	3	0,33	X
5	3	0,33	X
3	3	0,36	X
6	3	0,5	X
4	3	0,69	X

7	3	0,83	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-0,0833333	0,00577814
1 - 3	*	-0,2833333	0,00577814
1 - 4	*	-0,6133333	0,00577814
1 - 5	*	-0,2533333	0,00577814
1 - 6	*	-0,4233333	0,00577814
1 - 7	*	-0,7533333	0,00577814
1 - 8	*	-0,2533333	0,00577814
2 - 3	*	-0,2	0,00577814
2 - 4	*	-0,53	0,00577814
2 - 5	*	-0,17	0,00577814
2 - 6	*	-0,34	0,00577814
2 - 7	*	-0,67	0,00577814
2 - 8	*	-0,17	0,00577814
3 - 4	*	-0,33	0,00577814
3 - 5	*	0,03	0,00577814
3 - 6	*	-0,14	0,00577814
3 - 7	*	-0,47	0,00577814
3 - 8	*	0,03	0,00577814
4 - 5	*	0,36	0,00577814
4 - 6	*	0,19	0,00577814
4 - 7	*	-0,14	0,00577814
4 - 8	*	0,36	0,00577814
5 - 6	*	-0,17	0,00577814
5 - 7	*	-0,5	0,00577814
5 - 8		0	0,00577814
6 - 7	*	-0,33	0,00577814

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
6 - 8	*	0,17	0,00577814
7 - 8	*	0,5	0,00577814

* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA ICOMO – Temporadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: PUNTOS DE MUESTREO	1,15231	7	0,164616	16,32	0,0000
B: TEMPORADAS	0,242252	1	0,242252	24,01	0,0000
RESIDUOS	0,393431	39	0,010088		
TOTAL (CORREGIDO)	1,788	47			

Prueba de rangos múltiples ICOMO – Temporadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TEMPORADAS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Lluvia (1)	24	0,2675	0,020502	X
Estiaje (2)	24	0,409583	0,020502	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-0,142083	0,0586465

* indica una diferencia significativa.

Anexo 12

Cálculo de Índice de contaminación por sólidos suspendidos, por mineralización y materia orgánica

Índice de contaminación por sólidos suspendidos

Para el cálculo del índice de contaminación por sólidos suspendidos se empleó los resultados de sólidos suspendidos totales, mostrado en el anexo 1, por ejemplo, en el punto 8 de la temporada de lluvia la concentración de los sólidos suspendidos fue 136,75 mg/L, reemplazando en la ecuación 9 obtenemos:

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \times 136,75 \text{ (mg/L)}$$

$$ICOSUS = 0,39$$

Índice de contaminación por mineralización

Para el cálculo del índice de contaminación por mineralización se empleó los resultados de conductividad, alcalinidad y dureza, mostrados en los anexos 2, 3 y 4 respectivamente, por ejemplo, en el punto 6 de la temporada de lluvia los resultados promedios de conductividad, alcalinidad y dureza fueron de 151,67 $\mu\text{S/cm}$; 20,05 mgCaCO_3/L y 62,29 mgCaCO_3/L respectivamente, reemplazando estos valores en las ecuaciones 2, 3 y 4 obtenemos los índices de conductividad, alcalinidad y dureza, posteriormente reemplazamos estos valores en la ecuación 1 y obtenemos el índice de contaminación por mineralización promedio para el punto 6 de la temporada de lluvia.

El índice de conductividad se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Log}_{10} I_{\text{conduc.}} = -3,26 + 1,34 \text{ Log}_{10} \times 151,67$$

$$I_{\text{conduc.}} = 0,46$$

El índice de dureza se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Log}_{10} I_{\text{dureza}} = -9,09 + 4,40 \text{ Log}_{10} \times 62,29$$

$$I_{\text{dureza}} = 0,06$$

El índice de alcalinidad se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{alcalinidad} = -0,25 + 0,005 \times 20,05$$

Como la alcalinidad es menor a 50 mg/L , tiene un índice de alcalinidad = 0.

Reemplazando en la ecuación 1 obtenemos el ICOMI para el punto 6 de la temporada de lluvia.

$$ICOMI = \frac{1}{3} (0,46 + 0,06 + 0) = 0,17$$

Índice de contaminación por materia orgánica

Para el cálculo del índice de contaminación por materia orgánica se empleó los resultados de porcentaje de saturación, DBO y coliformes totales, mostrados en los anexos 5, 6 y 9 respectivamente, por ejemplo, en el punto 7 de la temporada de estiaje los resultados promedios de DBO, porcentaje de saturación y coliformes totales fueron de 48,80%, $28,60 \text{ mgO}_2/\text{L}$ y 110000 NMP/100mL respectivamente, reemplazando estos valores en las ecuaciones 6, 7 y 8 obtenemos los índices de DBO, coliformes totales y porcentaje de saturación, posteriormente reemplazamos en la ecuación 5 y obtenemos el índice de contaminación por materia orgánica promedio para el punto 7 de la temporada de estiaje.

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \text{ Log}_{10} \times 28,60$$

$$I_{DBO} = 0,97$$

El índice de coliformes totales se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{Col. Tot.} = -1,44 + 0,56 \text{ Log}_{10} \times 110000$$

Como los coliformes totales son mayores a $20\ 000 \text{ NMP}/100\text{mL}$, $I_{Col. Tot.} = 1$

El índice de porcentaje de saturación se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{\% \text{ oxígeno}} = 1 - 0,01 \times 48,80$$

$$I_{\% \text{ oxígeno}} = 0,51$$

Reemplazando en la ecuación 5 obtenemos el ICOMO para el punto 7 de la temporada de estiaje.

$$ICOMO = \frac{1}{3}(0,97 + 1 + 0,51)$$

$$ICOMO = 0,83$$

Anexo 13

Certificado de calidad del espectrofotómetro Hanna Iris HI801



HI801 Quality Certificate

Serial Number:	Firmware Version:	Baseboard Firmware:
81181401	1.02	1.3

Hanna Instruments certifies that this instrument has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO 9001.

TEST	STATUS
Visual Inspection	PASS
LCD	PASS
Keypad	PASS
Buzzer	PASS
Sliding Cover	PASS
Cuvette Detector	PASS

TEST	STATUS
USB Host	PASS
USB Slave	PASS
Real Time Clock	PASS
Battery Charging	PASS
Fan	PASS

WAVELENGTH ACCURACY - Holmium Oxide Filter

PEAK WAVELENGTH (nm)	TOLERANCE (nm)	RESULT (nm)	STATUS
361.4	359.9 to 362.9	362.0	PASS
447.2	445.7 to 448.7	446.6	PASS
537.0	535.5 to 538.5	536.7	PASS
638.0	636.5 to 639.5	636.8	PASS

PHOTOMETRIC ACCURACY

ABSORBANCE VALUE (590 nm)	TOLERANCE (abs)	RESULT	STATUS
1.0844	1.074 to 1.095	1.0863	PASS
0.5586	0.553 to 0.564	0.5587	PASS

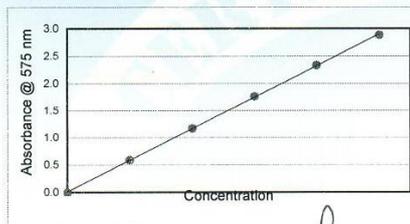
STRAY LIGHT

WAVELENGTH	TOLERANCE	RESULT	STATUS
340.0	< 0.10 %T	0.06%	PASS

PHOTOMETRIC LINEARITY

R-SQUARED	TOLERANCE	STATUS
1.000	0.997 to 1.000	PASS

CONC.	ABSORBANCE (nm)
0	-0.001
1	0.590
2	1.169
3	1.761
4	2.333
5	2.884



Date: 04 03-2018

Tests performed by: Olivia Zapata

Approval: [Signature]
Production Manager

Anexo 14

Certificado de calibración del multiparámetro Hanna 98

CALIBRATION POINTS: 7.01pH 4.01pH 10.01pH 5.00mS/cm
 OPERATOR: S.O 0% D.O 100% D.O

QC INSPECTION
 APPEARANCE
 FUNCTIONING
 DISPLAY

TESTING POINT/S: 7.05pH 10.01pH 14.05pH 11.65mS/cm
 READING/S: 7.02pH 10.00pH 14.05pH 11.30mS/cm 25.00%

INSPECTOR: DA LOT NR: 26318

Standard testing conditions: Temperature: 20 °C Humidity: 60 - 75 %RH

HANNA instruments
Testing Certificate

Tested Parameters:
 pH ORP
 Conductivity RH%
 Temperature D.O.
 Cosmetic
 Mechanics

Part code: HI 9609829-0
SN: 77704
 Lot Nr: 26318
 Inspector ID: DA

HANNA instruments
Testing Certificate

Tested Parameters:
 pH ORP
 Conductivity RH%
 Temperature D.O.
 Cosmetic
 Mechanics

Part code: HI 9609829-4
SN: 77704
 Lot Nr: 26318
 Inspector ID: DA

HANNA instruments
Testing Certificate

Tested Parameters:
 pH ORP
 Conductivity RH%
 Temperature D.O.
 Cosmetic
 Mechanics

Part code: HI 9609829-1
SN: 77704
 Lot Nr: 26318
 Inspector ID: DA

HANNA instruments
Testing Certificate

Tested Parameters:
 pH ORP
 Conductivity RH%
 Temperature D.O.
 Cosmetic
 Mechanics

Part code: HI 9609829-2
SN: 77704
 Lot Nr: 26318
 Inspector ID: DA

Anexo 15

Informe de control de calidad de Estufa de Ventilación Forzada

F-ST-12		Kossodo 											
"INFORME DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO"													
FECHA DE EMISIÓN:	27/02/2018	REFERENCIA:	10009059-01										
INFORMAMOS QUE EL SIGUIENTE PRODUCTO HA SIDO REVISADO POR EL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD DE KOSSODO S.A.C.													
1.- DATOS DEL PRODUCTO													
DESCRIPCIÓN:	ESTUFA DE VENTILACION FORSADA	CÓDIGO:	9110-0208										
MARCA:	BINDER	N° SERIE:	20170000019208										
MODELO:	FED115	HISTORIAL:	BI01327										
2.- RESULTADOS DE LA REVISIÓN													
	CONFORME	NO CONFORME	NO APLICA										
1. INSPECCIÓN FÍSICA													
1.1 INTEGRIDAD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
1.2 INTEGRIDAD DE ACCESORIOS, DOCUMENTOS Y EMBALAJE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
1.3 ACCESORIOS Y DOCUMENTOS COMPLETOS DE ACUERDO AL MANUAL DE USUARIO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO													
2.1 ENCENDIDO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
2.2 "TEST DE INICIO"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
2.3 PRUEBAS DE OPERACIÓN Y PROGRAMACIÓN SEGÚN EL MANUAL DE USUARIO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
2.4 REVISIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
2.5 PRUEBAS DE VERIFICACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PARÁMETRO</th> <th>RESULTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TEMPERATURA</td> <td>CONFORME</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>		PARÁMETRO	RESULTADO	TEMPERATURA	CONFORME	_____	_____	_____	_____	_____	_____		
PARÁMETRO	RESULTADO												
TEMPERATURA	CONFORME												
_____	_____												
_____	_____												
_____	_____												
3.- OBSERVACIONES													
NINGUNO-----													
4.- CONCLUSIONES													
SEGÚN LOS RESULTADOS DE LA REVISIÓN, SE DECLARA AL PRODUCTO:													
<input checked="" type="checkbox"/> CONFORME		<input type="checkbox"/> NO CONFORME											
		 RESPONSABLE DEL CONTROL DE CALIDAD NOMBRE: <input type="text" value="FRANZ CORNEJO CHINCHAY"/>											
 UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA GUERRERO Ing. Morán David Arturo Palomino ASISTENTE DE LABORATORIO													

Anexo 16

Informe de control de calidad de Balanza Analítica

F-ST-12
"INFORME DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO"

Kossodo
el mejor equipo para su laboratorio

FECHA DE EMISIÓN: 09/01/2016 REFERENCIA: 10008704-03

INFORMAMOS QUE EL SIGUIENTE PRODUCTO HA SIDO REVISADO POR EL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD DE KOSSODO SAC:

1.- DATOS DEL PRODUCTO

DESCRIPCIÓN: BALANZA ANALITICA CÓDIGO: ENTRIS224I-1S
 MARCA: BARTORIUS N° SERIE: SA01779
 MODELO: ENTRIS HISTORIAL: 36003038

2.- RESULTADOS DE LA REVISIÓN

	CONFORME	NO CONFORME	NO APLICA
1. INSPECCIÓN FÍSICA			
1.1 INTEGRIDAD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2 INTEGRIDAD DE ACCESORIOS, DOCUMENTOS Y EMBALAJE.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 ACCESORIOS Y DOCUMENTOS COMPLETOS DE ACUERDO AL MANUAL DE USUARIO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			
2.1 ENCENDIDO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2 "TEST DE INICIO"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.3 PRUEBAS DE OPERACIÓN Y PROGRAMACIÓN SEGÚN EL MANUAL DE USUARIO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.4 REVISIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.5 PRUEBAS DE VERIFICACIÓN:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PARÁMETRO	RESULTADO
PESO	CONFORME
.....
.....
.....

3.- OBSERVACIONES

NINGUNO.....

4.- CONCLUSIONES

SEGÚN LOS RESULTADOS DE LA REVISIÓN, SE DECLARA AL PRODUCTO:

CONFORME NO CONFORME

Juan José Guzmán Tacco
 RESPONSABLE DEL CONTROL DE CALIDAD
 NOMBRE: JUAN JOSE GUZMAN TACCO



Anexo 17*Panel fotográfico*

Fotografía 1. Recolección de muestras punto 1



Fotografía 2. Análisis en campo



Fotografía 3. Calibración del multiparametro



Fotografía 4. Análisis de dureza



Fotografía 5. Análisis de alcalinidad



Fotografía 6. Análisis de la DBO



Fotografía 7. Filtración al vacío



Fotografía 8. Fibra con residuos para análisis de sólidos suspendidos

**UNSCH**ESCUELA DE
POSGRADO**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD 017-2021-UNSCH-EPG/EGAP**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado - UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N° 198-2021-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. Betsy Suri Ramos Pacheco
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TÍTULO DE TESIS	Variación espacial y temporal de los índices de contaminación del agua en la microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	25% de similitud
N° DE TRABAJO	1630307358
FECHA	11-ago.-2021

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 11 de agosto del 2021.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Ing. Edith Geovana Asto Peña
Responsable Área Académica

VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA MICROCUENCA CHUMBAO, ANDAHUAYLAS, APURÍMAC, 2018

por Betsi Suri Ramos Pacheco

Fecha de entrega: 11-ago-2021 11:02a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1630307358

Nombre del archivo: Informe_Final_Betsy_Suri_Ramos_Pacheco.pdf (2.8M)

Total de palabras: 28736

Total de caracteres: 137217

VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA MICROCUENCA CHUMBAO, ANDAHUAYLAS, APURÍMAC, 2018

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

ÍNDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

19%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

8%

2

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

3%

3

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

3%

4

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

1%

5

repository.usta.edu.co

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.uis.edu.co

Fuente de Internet

1%

7

David Choque-Quispe, Betsy Suri Ramos-Pacheco, Carlos Alberto Ligarda-Samanez, Aydeé Marilú Solano-Reynoso et al. "Water pollution index of high Andean micro-basin of

1%

the Chumbao River, Andahuaylas, Peru",
Revista Facultad de Ingeniería Universidad de
Antioquia, 2021

Publicación

8	idoc.pub Fuente de Internet	1 %
9	Mónica Lisett Aldana Aguilar, Elvías Edison Zacarias Laynes. "Índices de calidad de agua del río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos de tratamientos de potabilización <i>Water quality index of Cucabaj River located in the municipality of", Ciencia, Tecnología y Salud, 2014</i> Publicación	<1 %
10	infoagro.com Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
14	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %

15	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.pucese.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
18	revistas.utadeo.edu.co Fuente de Internet	<1 %
19	<i>Ivan Zlatkov Iliev. "Microbiological and hydrobiological status in the area of net cage aquaculture networks in Kardzhali Dam, Bulgaria", Dissertation, 2014</i> Publicación	<1 %
20	biblioteca.utb.edu.co Fuente de Internet	<1 %
21	<i>Huan, Y.. "Changes in flavor compounds of dry-cured Chinese Jinhua ham during processing", Meat Science, 200510</i> Publicación	<1 %
22	ridum.umanizales.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1 %
23	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

25	repositorio.upao.edu.pe <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
26	revistas.ufps.edu.co <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
27	cip.org.pe <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
28	<i>Submitted to Universidad Católica San Pablo</i> <i>Trabajo del estudiante</i>	<1 %
29	repositorio.oefa.gob.pe <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
30	www.copladi.udg.mx <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
31	repositorio.upagu.edu.pe <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
32	repositorio-aberto.up.pt <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
33	repositorio.unc.edu.pe <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
34	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080 <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
35	www.corpocesar.gov.co <i>Fuente de Internet</i>	<1 %
36	www.ana.gob.pe <i>Fuente de Internet</i>	<1 %

37

www.scielo.org.co

Fuente de Internet

<1%

38

repositorio.unimagdalena.edu.co

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

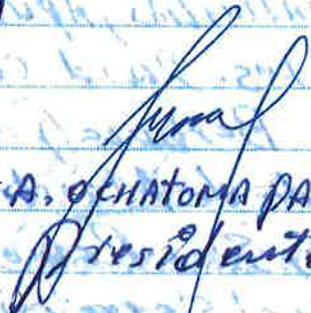


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE MAESTRÍA DE LA BACH. BETSY SURI RAMOS PACHECO.

En la ciudad de Ayacucho, siendo a horas 06.00 p.m. del día nueve de Octubre del Año por Mil Diecinueve, en la Escuela de Posgrado de la UNSU, se reunieron los miembros del jurado conformado por el Dr. José Alberto Ochotoma Paravicino (presidente), Mg. Abel Nilo Juscamaita Tomasevich (director UPEI), Mg. Abraham Fernando Trejo Espinoza (Miembro) y Mg. Tarcila Alcarraz Alfaro (Miembro), para recibir y calificar la sustentación de tesis titulada: VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS INDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AEREA EN LA MICROUENCA CHUMBAS, ANDAHUAYLAS, APURIMAC, 2018, bajo la asesoría de los Msc. Ing. David Choque Quispe y la MSc. Ing. Gloria Ines Barboza Palomino, con la cual aspira obtener el grado de Maestra en Ingeniería Ambiental la Bach. Betsy Suri Ramos Pacheco. El presidente del jurado dispuso que el Secretario docente de lectura de la Resolución Directoral N° 578-2019-UNSU-EPE/D y el Artículo 83 del Reglamento de la Escuela de Posgrado. Acto seguido invito a la aspirante a proceder con la sustentación y defensa pública de la tesis por el lapso no menor de 30 minutos, conforme lo establece el Reglamento de la Escuela de posgrado. Concluida la exposición los miembros del jurado formularon las preguntas y observaciones en el orden siguiente: Mg. Abraham Fernando Trejo Espinoza, Mg. Tarcila Alcarraz Alfaro, Mg. Abel Nilo Juscamaita Tomasevich. y finalmente el Dr. José Alberto Ochotoma Paravicino. Las preguntas fueron respondidas, en tanto que, las observaciones deben ser subsanadas en la versión final de la tesis a entregar a

la Escuela. Finalizada esta fase de sustentación, el presidente del jurado invitó a la sustentante y al público en general, abandonando momentáneamente el auditorio para dar paso a la deliberación y calificación por cada uno de los miembros del jurado. La nota promedio obtenido fue de 18 (Dieciocho), la misma fue aprobada por unanimidad.

El presidente del jurado, siendo las ocho de la noche por finalizado el presente acto académico, En señal de conformidad firman los miembros del jurado.


Dr. JOSE A. GENATOMA PARAVIANO
Presidente


Mg. ABELARDO JUSCARALTA TOMAREVIC
Miembro UPE.


Mg. ABRAHAM RETREJO ESPINOZA
Miembro


Mg. TAREISA ALCARRAZ ALFAR
Miembro


Mg. EDGAR SARAS ZAPATA
Secretario Docente